



CLAUDIO CESAR SILVA DE FREITAS

UM ESTUDO DO RECONHECIMENTO DE LINHAS PALMARES UTILIZANDO PCA E
LIMIAÇÃO LOCAL ADAPTATIVA

CAMPINAS
2014



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO**

CLAUDIO CESAR SILVA DE FREITAS

**UM ESTUDO DO RECONHECIMENTO DE LINHAS PALMARES UTILIZANDO PCA E
LIMIAÇÃO LOCAL ADAPTATIVA**

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica
e de Computação da Universidade Estadual de Campinas
para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica,
na área de Telecomunicações e Telemática.

*Master dissertation thesis
presented to the Electrical Engineering Postgraduation
Program of the School of Engineering Electrical of the
University of Campinas to obtain the M.Sc. grade in
Engineering Electrical, in field of Telecommunication.*

Orientador: Prof. Dr. Yuzo Iano

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO
DEFENDIDA PELO ALUNO CLAUDIO CESAR SILVA DE FREITAS
E ORIENTADO PELO PROF. DR. YUZO IANO

Assinatura do Orientador

**CAMPINAS
2014**

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

F884e Freitas, Claudio Cesar Silva de, 1989-
Um estudo do reconhecimento de linhas palmares utilizando PCA e limiarização local adaptativa / Claudio Cesar Silva de Freitas. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Yuzo Iano.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Biometria. 2. Imagens digitais. 3. Processamento de imagens. 4. Segmentação de imagens. 5. Análise de imagens. 6. Reconhecimento de padrões. I. Iano, Yuzo, 1950-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: A Study of palmprint recognition using PCA and local adaptive thresholding

Palavras-chave em inglês:

Biometrics

Digital images

Image processing

Image segmentation

Image analysis

Pattern recognition

Área de concentração: Telecomunicações e Telemática

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

Banca examinadora:

Yuzo Iano [Orientador]

Adão Boava

Rangel Arthur

Data de defesa: 22-05-2014

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Elétrica

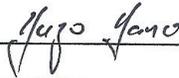
COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

Candidato: Claudio Cesar Silva de Freitas

Data da Defesa: 22 de maio de 2014

Título da Tese: "Um Estudo do Reconhecimento de Linhas Palmares Utilizando PCA e Limiarização Local Adaptativa"

Prof. Dr. Yuzo Iano (Presidente):



Prof. Dr. Adão Boava:



Prof. Dr. Rangel Arthur:



RESUMO

Está cada vez mais claro como a tecnologia biométrica tem se tornado mais presente no cotidiano das pessoas e tema de interesse de grupos de pesquisa ao redor do mundo. Isso é refletido pela grande quantidade de trabalhos existentes na área e muitos investimentos comerciais. Tecnologias biométricas são basicamente sistemas com capacidade de identificar e verificar a identidade de um indivíduo por meio de uma característica física ou comportamental. Esse trabalho propõe um estudo sobre o reconhecimento das linhas palmares que utiliza a análise de componentes principais como método de reconhecimento.

A motivação para esse estudo está na importância de melhorar os métodos existentes de biometria, visto que ainda não existe uma técnica livre de erros ou falsificações. Este estudo é importante pois irá apresentar a aplicação do PCA para a detecção das linhas palmares utilizando uma técnica simples de limiarização adaptativa para extrair as informações biométricas da imagem palmar. Os resultados dessa pesquisa mostraram que o PCA apresentou um desempenho superior quando utilizamos a limiarização adaptativa para a extração das linhas principais da palma da mão. Conclui-se que essa modalidade biométrica apresenta um bom potencial para ser utilizada como medida de identificação e verificação de um usuário. Contudo, é necessário que sejam utilizados os algoritmos de processamento adequados, assim como, deve-se levar em consideração a qualidade e resolução da imagem, o tipo de processamento e o custo computacional necessário.

Palavras-chave: Biometria, palma da mão, linhas principais, PCA, limiarização adaptativa.

ABSTRACT

It is easy to identify how biometric technology has become more present in daily life as it has become the subject of interest from research groups around the world. This reality is a result of a large amount of existing work in the area and many commercial investments. Biometric technologies are basically systems developed in order to identify and verify the identity of an individual through a physical or behavioral characteristic. This work proposes a study on palmprint recognition using PCA and local adaptive thresholding. The motivation for this study is the importance of improving existing methods of biometric systems, since there is no technique completely safe against fails or steals. This is a simple technique used in order to facilitate the development of a palmprint recognition system using simple methods to be applied in different systems, such as embedded systems. The results of this research showed that the PCA reached superior performance when using adaptive thresholding to extract the lines from the palmprint. We conclude that the biometric modality proposed in this study has a good potential to be used in identification and verification of a user. However, it is necessary to use the appropriate algorithm in image processing in order to extract as much information as possible. Additionally, it is necessary to consider the image resolution, and the hardware and computational cost involved in the method proposed.

Keywords: Biometrics, palmprint, principal lines, PCA, adaptive thresholding.

SUMÁRIO

Agradecimentos	xv
Lista de figuras	xvii
Lista de tabelas	xix
Lista de símbolos e abreviaturas	xxi
Lista de publicações	xxiii
1 Introdução	25
2 Processamento de imagens	27
2.1 transformações matemáticas e segmentação	28
2.1.1 Limiarização	30
2.1.2 Segmentação.....	32
2.1 Reconhecimento de padrões	32
3 Biometria: Fundamentação Teórica	34
3.1.1 Sistemas Biométricos	35
3.1.2 Aplicações	37
3.2 Multibiometria	38
3.3 Modalidades biométricas	39
3.3.1 Impressão Digital	39
3.3.2 Reconhecimento Facial	40
3.3.3 Reconhecimento de Voz.....	41
3.3.4 Privacidade e Segurança da Biometria.....	41
3.3.5 Reconhecimento da Orelha	42
3.3.6 Reconhecimento de Íris.....	43
3.3.7 Veias da palma da mão.....	43
3.3.8 Reconhecimento das Linhas Palmares	44
3.4 Reconhecimento de Linhas Palmares	45
3.4.1 Perspectiva biológica.....	45
3.4.2 Aspectos biométricos	46
3.4.3 Utilização do PCA no reconhecimento biométrico	50

3.5 Análise de componentes principais	51
4 Desenvolvimento	57
4.1 Métodos e ferramentas	57
4.2 Aquisição e processamento das imagens palmares.....	57
5 Resultados e discussÃo	60
6 Conclusões	65
7 Trabalhos futuros.....	66

Dedico esta tese ao meu Deus, meus pais e irmãos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ter me permitido chegar até aqui. Em segundo lugar, gostaria de agradecer a minha mãe, Ilca Regalado Silva de Freitas, por todos os ensinamentos e força que sempre me deu. Também agradeço ao meu pai, José Washington de Freitas, que ao lado de Deus sempre esteve olhando por mim. Em seguida, gostaria de agradecer aos meus irmãos que mesmo longe, sempre estiveram no meu coração. Gostaria de agradecer também ao professor e orientador Yuzo Iano, que além de um grande mestre, também foi um grande conselheiro e sempre me ajudou a enxergar o meu caminho de uma forma clara. Agradeço também aos meus amigos do Laboratório de Comunicações Visuais, Roger Larico, Rogério Higa, Ricardo Leite, Cibele Makluf e Júlio Leon, que sempre estiveram presentes e me apoiando durante o desenvolvimento dessa pesquisa. Finalmente, agradeço aos órgãos de pesquisa a seguir por todo o apoio financeiro e técnico fornecido durante o projeto: Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e ao Fundo de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão da Unicamp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Taxa média de investimentos na indústria de sistemas biométricos [2].	25
Figura 2.1 Exemplos de imagens processadas que utilizam limiarização local.	31
Figura 3.1 Principais características biométricas [1].	34
Figura 3.2 Exemplo de impressões digitais extraído de [29].	40
Figura 3.3 Exemplo de reconhecimento facial [33].	40
Figura 3.4 Amostra de um sinal de voz extraído de [40].	41
Figura 3.5 Exemplo de reconhecimento da orelha [43].	42
Figura 3.6 Exemplo de reconhecimento de íris extraído de [46].	43
Figura 3.7 Exemplo de veias da palma da mão extraído de [48].	44
Figura 3.8 Exemplos de linhas palmares [51].	44
Figura 3.9 Etapas de um sistema biométrico.	47
Figura 3.10 Imagens de palma da mão em (a) baixa resolução e (b) alta resolução [50].	48
Figura 3.11 Representação de espaço de imagens	52
Figura 3.12 Análise da distância euclidiana entre os pontos	54
Figura 3.13 Mapa de projeção das classes.	55
Figura 3.14 Mapa de projeção das classes em 3D.	55
Figura 4.1 Imagens excluídas do estudo por apresentarem problemas na iluminação (a, b, c, d), foco (e) e captura das linhas palmares (f).	58
Figura 4.2 Exemplos de imagens utilizadas.	58
Figura 5.1 Mapa de médias.	60
Figura 5.2 Mapa de projeções com classes e suas médias.	61
Figura 7.1 Amostra de imagens palmares.	75
Figura 7.2 Amostra de imagens palmares processadas com limiarização local adaptativa	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 5-1 Resultado comparativo local.....	62
Tabela 5-2 Comparação entre diferentes trabalhos.....	63

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ATM	<i>Automatic Transaction Machine</i>
DBA	Detecção de bordas adaptativa
dpi	<i>Dots per inch</i> (Pontos por polegada)
FAR	<i>False Acceptance Rate</i>
FRR	<i>False Recognition Rate</i>
GDA	<i>Generalized discriminant analysis</i> (Análise dos discriminantes generalizados)
ICA	<i>Independent Component Analysis</i> (Análise dos componentes independentes)
LBP	<i>Local Binary Pattern</i>
LDA	<i>Linear discriminant analysis</i> (Análise dos discriminantes lineares)
PCA	<i>Principal Analysis Component</i> (Análise de componentes principais)
TSE	Tribunal Superior Eleitoral
RGB	<i>Red-Green-Blue</i> (Vermelho-Verde-Azul)
ROI	<i>Region of Interest</i> (Região de Interesse)
DCT	<i>Discrete Cosine Transform</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
LLA	<i>Limiarização Local Adaptativa</i>
N_L	Dimensão da largura
N_C	Dimensão do comprimento
Y	Conjunto de entrada de imagens
Π	Média do conjunto de entrada
Θ	Conjunto normalizado
V	Matriz com imagens normalizadas
C	Matriz de covariância
T	Transposta
a_i	Autovetores da matriz normalizada
w_k	Projeção no espaço de imagens

LISTA DE PUBLICAÇÕES

FREITAS, C. C. S.; IANO, Y. *A Study of Palmprint Recognition Using PCA and Local Adaptive Thresholding. Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology*, 2014.

FREITAS, C. C. S. ; FIGUEIREDO, D. A. ; IANO, Y. . *Inclusion of Extracurricular Activities and Student Competitions in the Curriculum Structure for Engineering Education: Experience Based on the Brazilian Reality*. In: 16th International Conference on Interactive Collaborative Learning and 42nd International Conference on Engineering Pedagogy, 2013, Kazan. Anais - 16th International Conference on Interactive Collaborative Learning and 42nd International Conference on Engineering Pedagogy, 2013.

FREITAS, C. C. S.; LARICO, R. F. ; IANO, Y. . Um Estudo da Performance do PCA no Reconhecimento Facial Baseado em Alterações nas Características Espaciais da Imagem. In: Congresso de Matemática Aplicada e Computacional – Centro Oeste, 2013, Cuiabá. Anais do CMAC, 2013.

FREITAS, C. C. S. ; LARICO, R. F. ; IANO, Y. . Proposta de um sistema de identificação multibiométrico utilizando reconhecimento de faces e padrões gestuais. In: Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Nordeste, 2012, Natal. Anais do CMAC, 2012.

FREITAS, C. C. S. ; LARICO, R. F. ; HIGA, R. S. ; IANO, Y. . Automação residencial: cenário atual e perspectivas futuras. São Paulo: Revista Ciência e Tecnologia, 2012

FREITAS, C. C. S. ; LARICO, R. F. ; IANO, Y. . Um Estudo do Desempenho do Método de Classificação de Imagens via PCA quando Submetida a Ajustes de Iluminação. In: VIII Workshop de Visão Computacional, 2012, Goiânia. Anais do WVC, 2012.

1 INTRODUÇÃO

A segurança se tornou um tema de muita discussão em diversos estudos, e isso tem estimulado o desenvolvimento de pesquisas em diversas áreas da segurança de pessoas e objetos. Ao mesmo tempo, tecnologias estão sendo utilizadas como forma de buscar um aumento dessa taxa de segurança e a biometria se tornou um dos principais objetos de estudos entre pesquisadores dessa área.

Os sistemas biométricos são uma tecnologia na qual se utiliza características físicas ou comportamentais para verificar a identidade de uma pessoa [1]. Apesar de não ser impossível, as características biométricas são mais difíceis de serem reproduzidas ou copiadas que um cartão com código de barras ou uma senha numérica.

Está cada vez mais claro como a tecnologia biométrica tem se tornado mais presente e tema de interesse de grupos de pesquisa ao redor do mundo e isso é refletido pela grande quantidade de trabalhos existentes na área e muitos investimentos comerciais. A Figura 1.1 mostra um gráfico que ilustra a tendência de crescimento da taxa média de investimentos no mundo nessa área ao longo dos anos [2].

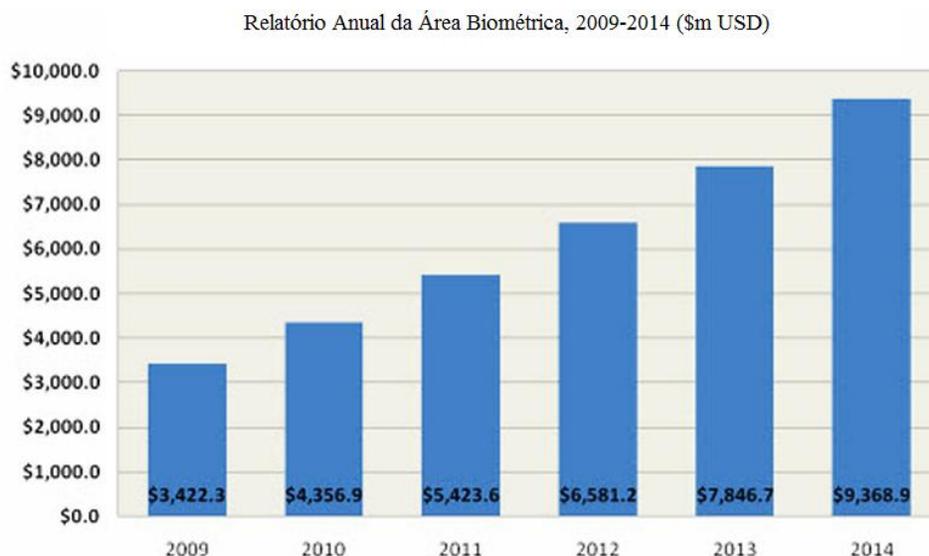


Figura 1.1 Taxa média de investimentos na indústria de sistemas biométricos [2].

Esse crescimento tem motivado o aumento da confiabilidade desses sistemas e, consequentemente, buscar aplicações comerciais e industriais. Além disso, com um olhar mais atento, é possível verificar como os sistemas de biometria estão sendo cada vez mais utilizados em aplicações comuns, oferecendo mais praticidade e segurança.

Neste trabalho, serão abordados detalhes e fatores que envolvem essa tecnologia. Inicialmente, traz-se uma visão geral acerca dos sistemas biométricos, mostrando a base teórica por trás desses sistemas e porque são considerados mais seguros que os métodos convencionais, como senhas e cartões. Em seguida, o estudo será direcionado para a análise das linhas palmares, o tema de pesquisa desta tese.

Nesta pesquisa foi utilizado o método de análise de componentes principais no reconhecimento das linhas palmares, utilizando a limiarização local adaptativa para extrair as informações biométricas. Esse é um estudo para verificar o desempenho desse método utilizando tal técnica de processamento e, posteriormente, o resultado será analisado com outros trabalhos que utilizam diferentes técnicas de processamento, porém, para a mesma modalidade biométrica.

Esta dissertação está organizada da seguinte forma:

- Capítulo 2: Teoria acerca de processamento de imagens, algoritmos comumente utilizados, métodos de reconhecimento de padrões e sua relação com os sistemas biométricos.
- Capítulo 3: Visão geral sobre a biometria e quais modalidades estão incluídas dentro dessa tecnologia, destacando as principais. Também será apresentada uma visão geral sobre a aplicação desses sistemas e como a análise de linhas palmares está inserida dentro dessa tecnologia.
- Capítulo 4: Apresenta uma descrição do método proposto, destacando as ferramentas e algoritmos computacionais utilizados. Também será detalhado nesta parte como serão realizados os testes de validação do método proposto nesse estudo.
- Capítulo 5: Neste capítulo serão apresentadas os resultados discutidos e uma discussão sobre esses resultados.
- Capítulo 6: Apresentam-se as conclusões.
- Capítulo 7: Encontra-se a sugestão de trabalhos futuros para possíveis melhorias utilizando o método proposto.
- Na parte final da dissertação, apresenta-se os anexos, assim como, as figuras adicionais.

2 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

O processamento de imagem é uma área de estudo que possui muitas aplicações na vida das pessoas e seus avanços são facilmente perceptíveis na vida cotidiana por meio de diversos dispositivos que utilizam essa tecnologia. Por exemplo, na utilização de *webcam*, *streaming* de vídeo pela internet, dispositivos de segurança que utilizam uma câmera, qualidade e reprodução de fotos em dispositivos móveis, entre outras aplicações.

Esses sistemas são constituídos por diferentes etapas, que consistem desde a captura, até o processamento e a representação da imagem. A primeira etapa em um sistema de processamento de imagem é a utilização de um dispositivo de percepção, responsável por capturar as imagens. Para esse dispositivo denomina-se de sensor e é comumente utilizado em uma câmera.

Tais imagens podem ser facilmente obtidas através da *webcam*, câmeras de monitoramento e aparelhos celulares. O valor de um sensor influencia diretamente na qualidade das suas imagens, contudo, câmeras com boa resolução já podem ser encontradas com valores acessíveis ao público em geral, a aplicação determina o tipo de câmera ideal a ser utilizada.

Os princípios que envolvem o processamento de imagem possuem inspiração no órgão sensorial visual do ser humano. Contudo, ainda existe um longo caminho para conseguir se aproximar da complexidade da visão no sistema biológico humano, e até mesmo, de animais com estruturas ainda mais complexas como a mosca.

Em sistemas computacionais, normalmente se utilizam imagens monocromáticas, ou seja, com imagens contendo *pixels* em tons de cinza. Essa característica possibilita menos complexidade no processamento de imagens. No entanto, existem aplicações que requerem imagens coloridas, com variações de cores em níveis de RGB. Mas para esses casos específicos, é necessário considerar outros fatores como capacidade computacional e resolução da câmera, assim como, tipo de aplicação e quais dados das imagens são necessários.

Na biometria, é muito comum a utilização de imagens monocromáticas para quase todos os tipos de modalidade. Por se tratar de uma aplicação que exige um rápido processamento, imagens monocromáticas normalmente apresentam melhor tempo de processamento em comparação com as imagens coloridas. Para a modalidade proposta neste estudo, foram utilizadas imagens monocromáticas, por isso, dar-se-á ênfase neste tipo de imagem ao longo deste estudo. Maiores detalhes em relação aos sistemas e processamento digitais de imagens podem ser encontrados em [3].

Uma imagem monocromática equivale a uma função de intensidade luminosa bidimensional, demonstrada pela equação $f(x, y)$, onde o valor f nas coordenadas x e y dá a intensidade do brilho (ou

nível de cinza) da imagem naquele ponto. A digitalização da imagem, por sua vez, consiste basicamente em capturar um sinal analógico, obtido pelo sensor e transformá-lo em uma imagem digital.

Essa imagem digital corresponde a uma matriz cujas linhas e colunas identificam um respectivo ponto na imagem, que se dá pela equação $f(x, y)$. A digitalização das coordenadas x e y é denominada amostragem da imagem e a digitalização da amplitude é chamada de quantização em níveis de cinza. Após a digitalização, uma matriz digital é gerada, onde cada elemento é uma quantidade discreta. Essa matriz é denominada imagem digital.

Essa representação digital possibilitará ao computador realizar uma série de processamentos na imagem. Desse modo, é possível utilizar qualquer algoritmo ou técnica sobre a imagem. Na próxima seção, serão apresentados alguns exemplos de transformações matemáticas e diferentes tipos de processamento básico que uma imagem pode ser submetida.

2.1 TRANSFORMAÇÕES MATEMÁTICAS E SEGMENTAÇÃO

Após a digitalização da imagem, é possível realizar inúmeras aplicações com essa imagem utilizando definições e operações matemáticas capazes de extrair as características principais, assim como, obter informações sobre o conteúdo da imagem.

A representação através de histogramas é umas das tarefas mais comuns em se tratando de imagens monocromáticas. Um histograma é capaz de revelar as distribuições em níveis de cinza de uma imagem digital. O histograma de intensidade indica para cada nível de cinza da imagem a quantidade de pontos mapeados para tal nível, contendo uma informação global sobre os objetos da imagem. Através desse histograma, pode-se obter uma maneira simples de manipular o contraste da imagem.

Deve-se considerar também que a imagem é um tipo de sinal, logo, podem-se utilizar também técnicas de análise e processamento de sinais para diversos fins, tais como, compressão, codificação, filtragem, realce e suavização. A DCT é uma dessas ferramentas, e sua utilização é bastante comum para fins de compressão. A sua representação no plano 2D (duas dimensões) é dada pela equação 2.1, onde a imagem é dada por $N \times M$, $f(i, j)$ é a intensidade do pixel na coluna j e linha i , $D(u, v)$ é o coeficiente DCT.

$$D(u, v) = \left(\frac{2}{N}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2}{M}\right)^{\frac{1}{2}} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \Lambda(i) \cdot \Lambda(j) \cdot \cos \left[\frac{\pi \cdot u}{2 \cdot N} (2i + 1) \right] \cos \left[\frac{\pi \cdot v}{2 \cdot M} (2j + 1) \right] \cdot f(i, j) \quad 2.1$$

Outro exemplo é a transformada de Fourier. Qualquer imagem pode ser representada por uma transformada de Fourier bidimensional, a qual pode ser considerada como uma imagem com uma parte real e uma parte complexa. A transformada bidimensional FFT é um mapeamento de valores de pixel de imagem no espaço de frequência da imagem espacial. Executando a transformada bidimensional FFT em uma imagem, cria-se um mapa bidimensional de todas as frequências de espaço dentro de uma imagem. Sua expressão é dada na equação 2.2.

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)} \quad 2.2$$

A utilização desses algoritmos e todos os outros que manipulam os pixels e frequências da imagem trazem diversas vantagens como a possibilidade de mostrar informações que não podem ser identificadas em um primeiro contato, ou então, são capazes de gerar formatos alternativos de uma imagem, podendo gerar imagens com menores dimensões e tamanho, conservando as informações e conteúdo da mesma.

Esses algoritmos podem ou não consumir muitos recursos computacionais e isso está diretamente relacionado com fatores como o tipo de imagem que será processada, podendo ser estática ou dinâmica, ou seja, vídeos. Nesse contexto, define-se algoritmo como um simples conjunto de regras prescritas ou procedimentos que são usados para resolver um problema específico.

Outro ponto a se considerar é que o processamento em tempo real traz desafios além daqueles encontrados em imagens estáticas, e isso exige que sejam feitas simplificações no método, o que pode envolver redução do número de operações, redução da quantidade de dados a serem processados e a simplificação do algoritmo.

Na biometria, em muitas situações a captura de uma informação biométrica exige um contexto dinâmico, por exemplo, reconhecimento facial em aeroportos ou lugares públicos e reconhecimento de voz ou ruídos. Para esses casos específicos, exige-se a utilização de recursos computacionais mais robustos, capazes de fazer tal verificação em tempo real.

Em outras modalidades, como reconhecimento de linhas palmares ou impressões digitais, basta que o usuário forneça suas informações biométricas sobre um sensor específico. A partir disso, um algoritmo irá extrair a imagem fornecida e realizar um determinado processamento para análise de padrões.

No geral, a utilização desses algoritmos requerem a aplicação de um pré-processamento, capaz de remover dados redundantes e informações inúteis para uma determinada aplicação. O pré-processamento

pode envolver a utilização de filtros e técnicas específicas. As mais utilizadas são a suavização, limiarização e segmentação.

A suavização é comumente utilizada para reduzir ruídos da imagem ou qualquer outra informação em nível de pixels que seja desnecessário para um processamento. Existem filtros divididos em lineares, compostos por filtros uniformes, triangulares e filtro gaussiano.

Neste estudo, utiliza-se o filtro gaussiano nas imagens palmares a fim de remover possíveis ruídos gerados durante a obtenção da imagem.

O filtro gaussiano é basicamente uma operação de convolução. Basicamente, é atribuído para cada pixel o valor médio de seus vizinhos. Essa operação é descrita na equação 2.3, através da distribuição com média zero e o desvio padrão em uma dimensão.

$$g(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\frac{-d^2}{2\sigma^2}} \quad \text{onde } d = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} \quad 2.3$$

2.1.1 LIMIALIZAÇÃO

Na limiarização analisa-se a similaridade dos níveis de cinza da imagem extraindo os objetos de interesse por meio da seleção de um limiar T que separa os agrupamentos de níveis de cinza. A limiarização separa a imagem em duas partes, diferenciando a região que representa o objeto de interesse da região que representa o fundo da imagem.

A limiarização de uma imagem é baseada na definição de parâmetros pré-estabelecidos capazes de distinguir com a maior taxa possível a imagem de interesse do plano de fundo. No entanto, essa é uma tarefa difícil e a má configuração desses parâmetros afeta diretamente o desempenho do sistema. Isso acontece principalmente devido a fatores como iluminação e ruídos na imagem.

A escolha correta do valor de limiar é importante para que o resultado final seja o mais adequado possível. A utilização de um limiar para toda a imagem é denominada de limiarização global.

A outra opção é a utilização de um limiar local. Essa última forma é mais adequada quando se possui variações nos níveis de cinza quando considera-se uma iluminação não uniforme, ruídos ou outros fatores. Neste estudo, utiliza-se a limiarização local para a extração das linhas principais, e comparada aos outros métodos utilizados, este apresentou o melhor desempenho.

Esse tipo de segmentação é utilizado quando apenas um valor de limiar não é apropriado para uma imagem. Esse método utiliza fundamentação estatística, onde são utilizadas a média dos valores de intensidade dos pixels da imagem.

Esse tipo de técnica é aplicada sobre cada pixel e, basicamente, trabalha com níveis de valores que definirão se um pixel faz parte ou não de um limiar específico. Assim, dada uma janela qualquer de dimensões $D \times D$, a limiarização adaptativa é calculada através da equação 2.6, sendo v a vizinhança local ao *pixel* da imagem.

$$Limiar = \frac{\min_v(p) + \max_v(p)}{2} \quad 2.4$$

Essa operação é aplicada dentro da ROI gerada pelo sistema. No entanto, quando as bordas da ROI não podem ser determinadas pela janela D por saírem da área de interesse, tais pixels são calculados pela média global.

Na Figura 2.1 são apresentados alguns exemplos de imagens processadas que utilizam esse método.

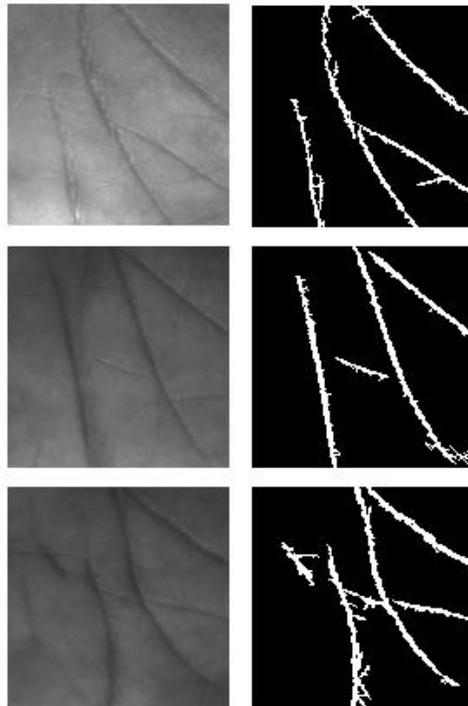


Figura 2.1 Exemplos de imagens processadas que utilizam limiarização local.

2.1.2 SEGMENTAÇÃO

A segmentação basicamente é um processo capaz de identificar e separar duas regiões distintas dentro de uma imagem digital. Inicialmente, é necessário conhecer a definição de que uma borda é o limite entre duas regiões com propriedades relativamente distintas de níveis de cinza.

A segmentação é uma operação cujo principal objetivo é reduzir o número de informações na imagem indicando o tamanho, a forma e a textura de um objeto na imagem. Tratando-se de imagens monocromáticas, os algoritmos são baseados em propriedades de descontinuidade e similaridade para valores de níveis de cinza.

Na literatura, existem diversos métodos de segmentação, porém, não existe um único método que seja capaz de segmentar todos os tipos de imagens. Eles podem ser classificados como interativos ou automáticos e, além disso, pode-se classificá-los de acordo com a estratégia de segmentação: métodos orientados a borda ou orientados a região.

Esse processo de detecção de objetos dentro de uma imagem é um dos passos iniciais em um sistema de reconhecimento de objetos e padrões. O reconhecimento de objetos consiste basicamente de três passos: segmentar a cena em objetos distintos, definir a posição e a orientação de cada objeto ao observador e determinar a sua forma. No próximo tópico, será mostrado brevemente um estudo sobre o reconhecimento de padrões e as questões que envolvem este método de interpretação.

2.1 RECONHECIMENTO DE PADRÕES

O ser humano lida com a análise de padrões em todos os momentos da sua vida. Isso inclui reconhecer homens e mulheres, objetos, odores, animais, entre muitas outras coisas. Além disso, a nossa capacidade de classificação também é muito utilizada em diversas situações do cotidiano, tais como, reconhecer pessoas, imagens, ruas, construções, entre outras coisas.

Essa capacidade de reconhecimento e classificação constantemente vem sendo alvo de estudo com o objetivo de reproduzir tal capacidade em sistemas computacionais. A principal motivação desses estudos é a imensa gama de aplicações existentes que podem utilizar tal tecnologia. Algumas dessas aplicações são descritas a seguir:

- Análise de posicionamento de peças em linhas de produção;
- Inspeção de peças e produtos;
- Contagem;

- Detecção de objetos;
- Reconhecimento de uma cena;
- Análise de sistemas financeiros;
- Sistemas biométricos.

No entanto, devem-se levar em consideração alguns fatores e características do sistema que tem impacto direto no desempenho de um algoritmo de reconhecimento de padrões. Tais fatores são: iluminação, escala, rotação, plano de fundo, oclusões e ponto de visão.

Esses fatores possuem influência direta nos resultados obtidos pelos algoritmos de pré-processamento. Por exemplo, uma imagem de qualidade, porém, com iluminação irregular, pode gerar ruídos e informações desnecessárias no algoritmo de processamento, resultando assim em um erro de análise. Outro exemplo são as oclusões, que podem limitar informações importantes sobre a imagem. Na biometria, esses fatores são fundamentais para a garantia de bons resultados. A má configuração de qualquer uma dessas características pode gerar erros na análise de uma imagem, ou até mesmo, a identificação incorreta de um sujeito.

3 BIOMETRIA: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Considerada como uma das principais tecnologias do milênio [1], o reconhecimento biométrico, ou simplesmente “biometria”, refere-se a área que estuda o reconhecimento de pessoas ao analisar uma ou mais características físicas ou comportamentais.

O termo biometria tem origem grega, onde “*bios*” e “*metria*” significam “medida da vida” [4]. Em sistemas de segurança computacional, a biometria se refere a técnicas de autenticação que sejam capazes de medir características físicas e que podem ser checadas automaticamente.

Uma boa informação biométrica deve ser mensurável, distintiva e invariante ao longo do tempo. Os sensores de captura não devem ser intrusivos e devem ser facilmente aceitos, assim como, o sistema precisa ser de fácil utilização, de baixo custo, preciso e rápido [5].

Uma grande vantagem de sistemas biométricos está relacionada com a presença de características que o usuário não pode perder ou esquecer. Isso é uma vantagem tanto para o usuário como para o sistema, porque não existe mais a necessidade de gerenciar senhas, cartões ou *tokens* de autenticação que podem ser perdidos, roubados ou utilizados temporariamente [6]. Na Figura 3.1 são ilustradas algumas modalidades biométricas que podem ser utilizadas para reconhecer um indivíduo.

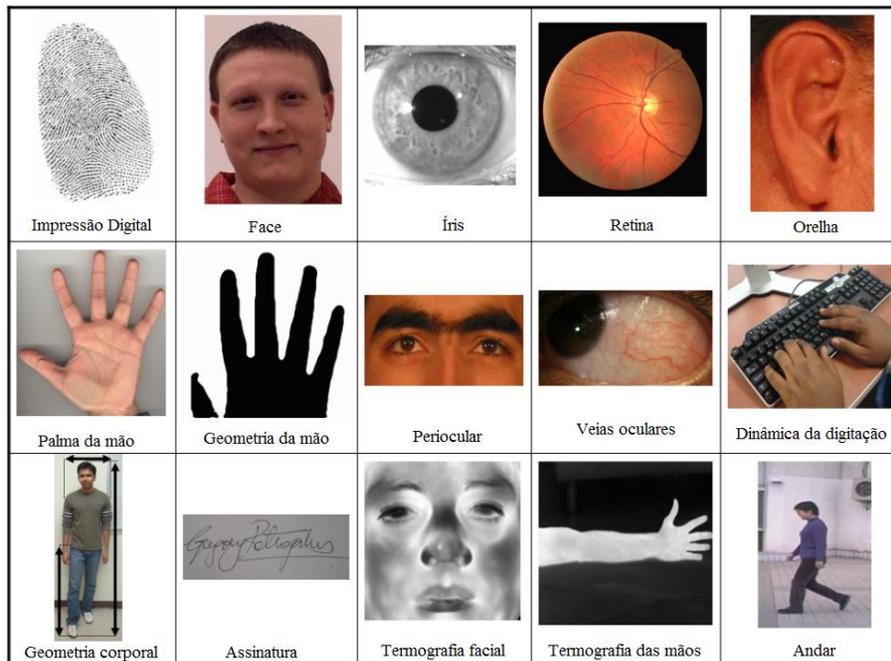


Figura 3.1 Principais características biométricas [1].

Existem diversas modalidades dentro da biometria, onde cada informação capaz de discriminar um indivíduo pode ser considerada uma modalidade. Um sistema biométrico ideal deve respeitar as seguintes propriedades [7]:

- **Universalidade:** todos os indivíduos devem possuir e ser caracterizados por esta informação.
- **Singularidade:** esta informação deve ser única para cada indivíduo.
- **Permanência:** ela deve permanecer com um indivíduo durante toda a sua vida.
- **Coletabilidade:** esta informação deve ser coletável de maneira fácil.
- **Aceitabilidade:** deve ser de fácil aceitação das pessoas que fornecerão a informação.

Ao considerar isso, é importante entender as possibilidades de cada modalidade ao escolher uma aplicação específica e a população alvo de um estudo e desenvolvimento de um sistema biométrico.

A escolha de um sistema biométrico consiste em avaliar vários fatores que serão necessários na aplicação desejada. Isso envolve o tempo necessário, custo de implementação e instalação, manutenção, escalabilidade, tráfego de pessoas, entre outras. Para descobrir qual modalidade é mais indicada, é necessário entender como é constituído um sistema biométrico. No próximo tópico, detalhes de sistemas biométricos são apresentados.

3.1.1 Sistemas Biométricos

O processo de identificação biométrica consiste basicamente de duas etapas: a aquisição e reconhecimento. Durante a fase de aquisição, os dados biométricos são adquiridos de um indivíduo e armazenados em um banco de dados relacionado com essa pessoa.

Tipicamente, a aquisição de dados biométricos é um processo para extrair características distintas, de acordo com a modalidade biométrica escolhida. Em alguns casos, apenas as características importantes são armazenadas e o restante é descartado.

Durante a fase de reconhecimento, os dados biométricos são adquiridos novamente e comparados com a base de dados do sistema para identificar o usuário. Sendo assim, o sistema biométrico é basicamente um sistema de reconhecimento de padrões que consiste de quatro passos básicos, que são: a) sensor, b) extração de características, c) armazenamento na base de dados e d) comparador. Esses passos serão apresentados a seguir:

a) Sensor:

Um sensor biométrico incorpora uma interface física capaz de medir e capturar uma determinada informação biométrica de um usuário. O projeto de um bom sistema de captura biométrica é um fator crítico para o sucesso da implementação de um sistema biométrico. Este sensor deve ser intuitivo, ergonômico e fácil de ser utilizado, permitindo a rápida aquisição da informação e preservando a qualidade da informação biométrica.

Dependendo da modalidade biométrica, a escolha do sensor é um fator essencial para o sucesso do sistema. Por exemplo, em um sistema que é baseado em imagens, fatores como a resolução da imagem, taxa de captura e a sensibilidade da câmera são fatores importantes para determinar a qualidade da imagem, e conseqüentemente, aumentar as chances de sucesso do algoritmo de reconhecimento.

b) Extração de características:

Os dados biométricos obtidos por um sensor devem estar sujeitos a um pré-processamento antes das características principais serem extraídas. Os três métodos comumente utilizados são a verificação da qualidade da imagem, segmentação e normalização.

A qualidade das imagens é um passo que assegura a correta utilização das imagens nas próximas etapas de processamento. A segmentação é a etapa onde os dados importantes de uma imagem são separados de informações que podem ser ruídos, redundantes e desnecessárias. Finalmente, a imagem segmentada é submetida a um processo de melhoria, com o objetivo de remover mais informações desnecessárias e possíveis ruídos. As melhorias na imagem podem ser o ajuste de iluminação, equalização de histogramas e suavização da imagem.

Com isso, ficam entendidas as etapas básicas do sistema de extração de características. Basicamente, esse processo se constitui da geração de dados compactos, mas com uma expressiva representação da informação biométrica de um indivíduo, armazenado tal informação como um modelo dentro do banco de dados. Espera-se que esse modelo contenha as informações essenciais para identificar um determinado indivíduo.

Após a extração das características, as informações são armazenadas em um banco de dados. Na etapa de reconhecimento, o modelo é extraído novamente da base de dados e comparado com as novas características capturadas pelo sensor.

c) Armazenamento de dados:

A etapa de armazenamento age como um repositório de informações biométricas. Durante o processo de aquisição, as características são armazenadas nessa base de dados e direcionadas para a identifica-

de de um indivíduo e informações (tais como, nome completo, endereço, número de documentos, etc.) que caracterizam essa pessoa.

Uma decisão chave num sistema biométrico está relacionada em manter uma base de dados centralizada ou não. Armazenar todos os modelos biométricos em uma única base de dados pode ser benéfico a partir de uma perspectiva de segurança, porque os dados podem ser isolados e protegidos fisicamente, tendo um restrito de controle sobre os mesmos.

Por outro lado, reunir e centralizar todas as informações em um lugar pode implicar num compromisso maior com a segurança, pois existe a possibilidade de indivíduos maliciosos tentarem acessar o sistema de forma ilegal e comprometer a privacidade e segurança das informações armazenadas dentro da base de dados.

d) Comparador:

Essa etapa consiste em comparar as características da imagem obtida pelo sensor com os *templates* dentro da base de dados, com o objetivo de verificar a identidade de um indivíduo. A taxa de comparação é uma medida de similaridade entre o *template* e a nova imagem obtida.

Para mensurar esse valor, normalmente se calcula a taxa de similaridade entre os dois pontos. A menor distância indica a maior similaridade, o que mostra que este valor foi escolhido pelo sistema. O algoritmo de detecção pode variar de acordo com o tipo de modalidade escolhida, e essa escolha deve ser feita ao analisar caso a caso. Para o problema proposto nesse estudo, optamos por utilizar o PCA. Maiores informações sobre essa técnica podem ser encontradas adiante.

3.1.2 Aplicações

Os recentes resultados relacionados com a confiabilidade de sistemas biométricos têm estimulado o desenvolvimento de inúmeras aplicações desses sistemas em várias áreas. Esse aumento no número de aplicações é resultado do crescimento da utilização de sistemas computacionais na vida das pessoas e, principalmente, no barateamento dos sensores e dispositivos que realizam a captura e processamento das imagens biométricas.

As aplicações podem ser categorizadas em diferentes grupos, tais como aplicações comerciais, governamentais, bancárias e na área forense. A seguir, são apresentados breves detalhes de cada uma dessas áreas de aplicação:

2.1.3.1. Aplicações Comerciais e Bancárias: O nível de confiabilidade dos sistemas biométricos permitiu que diversas aplicações comerciais e financeiras fossem realizadas ao utilizar esses métodos como forma de autenticação em caixas automáticos ou transações eletrônicas. Os tipos de modalidades utilizados são vastos, desde impressões digitais e até a geometria e veias da palma da mão [8][9].

2.1.3.2. Aplicações Residenciais: Atualmente, é possível encontrar diversos produtos que utilizam informações biométricas para fins de segurança em sistemas residenciais. É comum encontrar essa tecnologia para aplicações que envolvem controle de acesso, acionamento de dispositivos, verificação de identidades, entre outros [10][11][12][13].

2.1.3.3. Aplicações Governamentais: O governo de diversos países tem apostado na tecnologia biométrica para aplicações que envolvem verificação de identidades na entrada ou saída de seus territórios, assim como para utilização em eleições, como é o caso do Brasil. Além disso, existem projetos maiores que buscam implantar a biometria como um sistema nacional de identificação da sua população. Nos Estados Unidos da América (EUA), essa tecnologia tem sido utilizada no controle de imigrantes [14].

2.1.3.5. Aplicação Forense: Essa é uma das áreas de maior interesse para que a biometria seja utilizada [15][16]. Vários filmes retratam maneiras futurísticas onde o reconhecimento de características pessoais são utilizadas para identificar suspeitos de crimes. A impressão palmar e impressão digital já são utilizadas como forma de identificar criminosos, porém, tal identificação é feita de forma manual. Atualmente, existem projetos ao redor do mundo para automatizar o processo, além de coletar outras informações como o reconhecimento facial, identificação da íris e da voz.

3.2 MULTIBIOMETRIA

Apesar do bom desempenho de métodos monobiométricos, todos estão sujeitos a falhas que podem ocorrer tanto por parte do sistema como através de fraudes. Ao longo das últimas décadas, pesquisadores têm buscado soluções para contornar esses problemas, e uma das propostas é combinar a análise de diferentes características biométricas em um mesmo sistema, o que dá origem a multibiometria. Nesse estudo, aborda-se brevemente este tema.

Esses sistemas também dificultam a ação de impostores, o que aumenta a complexidade em falsificar dois ou mais sistema biométrico. Além disso, esses sistemas são tolerantes a falhas que possam ocorrer.

rer quando existe uma fonte biométrica não confiável devido ao mau funcionamento de um dos sensores ou do software, ou então, da manipulação do usuário.

Na literatura é possível encontrar uma grande variedade de combinações de características mono-biométricas, tais como combinação de faces 2D e 3D [17], face e voz [18], face e palma da mão [19], face e características faciais [20] e face e impressão digital. [13]. Abate *et al.* [21] propõem uma arquitetura mais robusta e combinam três diferentes características biométricas: a face, impressão digital e orelha.

Subbarayudu e Prasad [22] desenvolveram um método que combina a íris com a palma da mão. Em sua proposta, eles combinam as informações de cada característica biométrica. Em outro trabalho, Kao *et al.* [23] propõem um sistema multibiométrico que combina face e padrões gestuais que utiliza o classificador PCA.

Também é possível encontrar outras propostas multibiométricas na literatura científica, tais como combinação de faces 2D e 3D [17], face e voz [18], face e palma da mão [19], face e características faciais [20] e face e impressão digital. [20]. Abate *et al.* [21] propõem uma arquitetura mais robusta, onde eles combinam três diferentes características biométricas: a face, impressão digital e orelha.

3.3 MODALIDADES BIOMÉTRICAS

3.3.1 Impressão Digital

A impressão digital, assim como a impressão palmar, é uma característica biométrica de alta confiabilidade. A Figura 3.2 apresenta um exemplo de impressões digitais utilizadas em sistemas biométricos. Esse método tem sido utilizado amplamente para autenticação de indivíduos desde muito tempo, principalmente, por causa do alto desempenho, custo, tamanho do sensor e facilidade de uso [24]. Estudos recentes têm explorado novos métodos na identificação de impressão digital, por exemplo, ao utilizar também as veias dos dedos. [25]

Não é difícil encontrar uma aplicação onde este método é utilizado. Por exemplo, no Brasil, recentemente foi adotada a utilização da impressão digital para a votação. Tal método será utilizado por aproximadamente 141,1 milhões de pessoas e a modalidade já foi regulamentada na Resolução-TSE nº 23,335/2011 [26].

Nos EUA, a impressão digital é utilizada em terminais bancários, onde Yang [27] detalha como o sistema foi implantado. Outras aplicações envolvem sistemas de controle de acesso em automóveis [28] e aplicações em dispositivos móveis. [29]



Figura 3.2 Exemplo de impressões digitais extraído de [30].

3.3.2 Reconhecimento Facial

O reconhecimento facial é uma das modalidades mais antigas utilizadas pelos seres humanos para identificar pessoas ao seu redor, e isso foi explorado no campo computacional, ao se desenvolver sistemas que realizam essa atividade. A Figura 3.3 ilustra um exemplo de uma face extraída para reconhecimento.

O método de reconhecimento facial basicamente extrai as características chaves da face humana e submete para um algoritmo de reconhecimento de padrões. A partir disso, a face pode ser classificada [31]. Outros autores já buscam extrair informações além das características mais óbvias como olhos, boca e nariz. Por exemplo, Harguess e Aggarwal [32] estudam o impacto da simetria facial em sistemas de reconhecimento de face.

Sistemas de reconhecimento de face também apresentam um bom desempenho. Devido a facilidade de utilização e baixo custo, muitas aplicações exploram essa modalidade como para a interação com dispositivos [33], campo forense [34] e robótica [35].

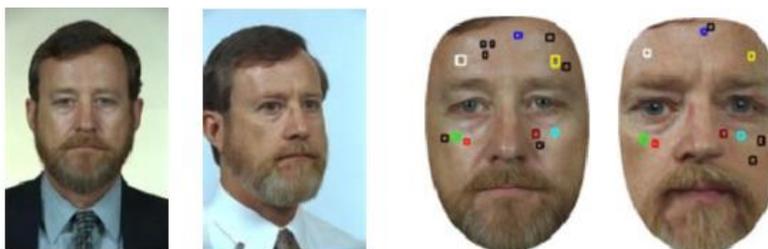


Figura 3.3 Exemplo de reconhecimento facial [34].

3.3.3 Reconhecimento de Voz

O reconhecimento de voz é uma modalidade que utiliza basicamente um microfone como sensor. Essa modalidade é a forma mais conveniente de comunicação entre pessoas e, idealmente, seria a mesma coisa para interação homem-máquina [36]. Isso tem estimulado muitos pesquisadores a encontrarem melhorias que possam tornar esses sistemas cada vez mais robustos e presentes na vida das pessoas. A Figura 3.4 ilustra uma amostra de um sinal de voz utilizado para reconhecimento em sistemas biométricos.

A maioria das aplicações requer que o usuário carregue um microfone, no entanto, seria muito mais conveniente se o sistema pudesse capturar e reconhecer a voz a distância. Essa é a proposta de [37]. E assim como ele, outras aplicações são exploradas ao utilizar sistemas de reconhecimento de voz, tais como, reconhecimento de dialetos [38] e interação entre o usuário e um robô [39] ou qualquer dispositivo computacional [40].

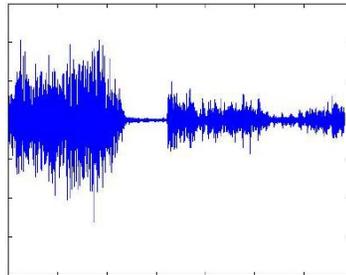


Figura 3.4 Amostra de um sinal de voz extraído de [41].

3.3.4 Privacidade e Segurança da Biometria

Basicamente, existem quatro importantes aspectos a serem considerados em um sistema de segurança de informação [42]:

- **Integridade:** proteção dos dados contra alteração ou destruição de informações por pessoas sem autorização.
- **Confidencialidade de dados:** prevenir o acesso a informações confidenciais ou revelação dessas informações.
- **Disponibilidade:** garantia e proteção ao acesso dessas informações.
- **Autenticação:** somente autorizar o acesso às informações de pessoas autenticadas.

No entanto, é importante reconhecer que esse não é um método 100% seguro e é suscetível a falhas. Além disso, existem diversas outras etapas que devem ser consideradas num sistema biométrico

completo, tais como, criptografia, assinatura digital, segurança da base de dados, e etc. Isso garante a maior confidencialidade, integridade e confiabilidade possível desse tipo de sistema.

Outro ponto importante, é que sistemas biométricos precisam ser considerados como um subsistema independente dentro de um sistema de segurança completo, ou seja, se o sistema biométrico é comprometido, então todo o sistema também será. Por essa razão, vários esforços estão sendo colocados de forma a preencher possíveis lacunas que podem existir na segurança de sistemas biométricos.

3.3.5 Reconhecimento da Orelha

Ao buscar o avanço das técnicas de reconhecimento biométrico, pesquisadores têm explorado o uso de características auxiliares tais como, sinais, tatuagens, peso e formato do corpo em conjunto com as características primárias, como face, boca e nariz. Uma dessas características auxiliares seria a orelha [43]. Na Figura 3.5, é possível visualizar em detalhes a extração das informações biométricas da orelha de um indivíduo.

Apesar do desempenho em ambientes controlados ser bom, ainda existe um desafio para utilização em fins comerciais, onde as condições de iluminação e posição devem ser consideradas [44].

Mesmo assim, na literatura é possível encontrar vários trabalhos que exploram essas deficiências e desenvolvem novas técnicas, assim como, é possível encontrar uma grande variedade de bases de dados para fins de estudo. Pflug e Busch [45] fazem um estudo detalhado dessa modalidade biométrica, e listam as principais bases de dados existentes e principais trabalhos na área.

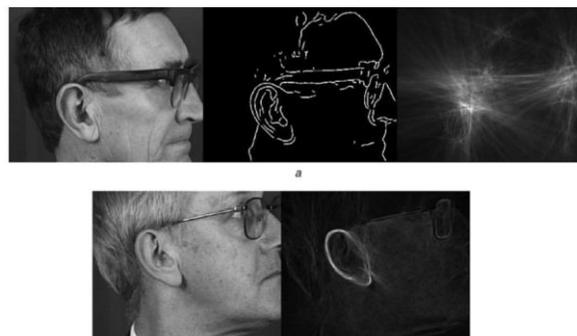


Figura 3.5 Exemplo de reconhecimento da orelha [45].

3.3.6 Reconhecimento de Íris

O reconhecimento de íris é considerado um dos métodos mais seguros de biometria, devido a alta entropia existente na aquisição das suas informações [46]. Apesar disso, ela ainda enfrenta resistência devido a forma na qual as imagens da íris são adquiridas, consideradas intrusivas por muitas pessoas.

Ainda assim, vários autores têm colocado esforços com o objetivo de gerar métodos novos e fáceis de realizarem esse reconhecimento, por exemplo, eles utilizam a região periocular que permite a captura da íris a distância [47]. Outros exploram as técnicas existentes para a captura, identificação e reconhecimento da íris [48], [49]. Na Figura 3.6, é apresentada uma imagem extraída da íris de um indivíduo, que será utilizado em um sistema de reconhecimento de íris.

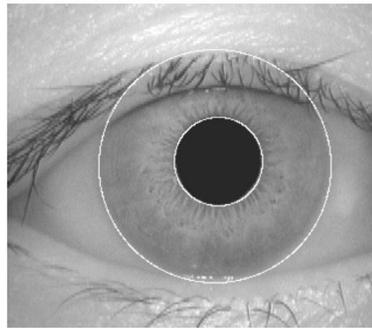


Figura 3.6 Exemplo de reconhecimento de íris extraído de [48].

3.3.7 Veias da palma da mão

O reconhecimento das palmas das mãos e linhas palmares tem sido tópico de pesquisas há muito tempo, no entanto, o reconhecimento das veias da mão é uma área relativamente nova. Essa tecnologia consiste basicamente de um dispositivo que captura imagens das veias através da tecnologia infravermelha dentro de uma específica taxa de frequência de onda [50]. No entanto, para utilizar esse tipo de sistema é importante considerar variáveis importantes do ambiente como temperatura e umidade.

Apesar de recente, muitas empresas já exploram a utilização dessa modalidade. No artigo de Zeng e Jin [51], eles descrevem algumas das aplicações do reconhecimento das veias da mão. Alguns exemplos são na segurança e autenticação de usuários em um dispositivo computacional, e também, em sistemas de transações bancárias, como os caixas eletrônicos.

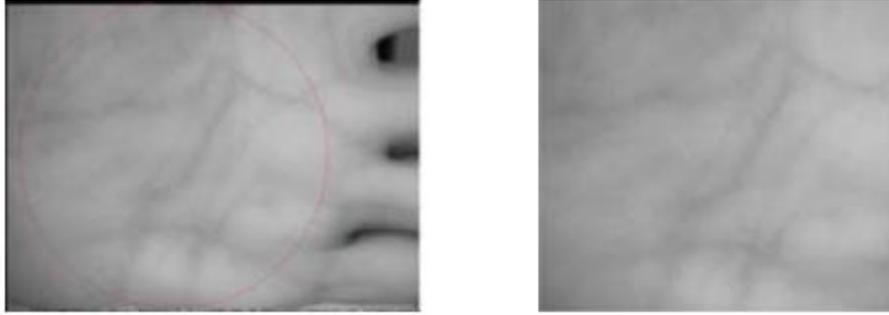


Figura 3.7 Exemplo de veias da palma da mão extraído de [50].

3.3.8 Reconhecimento das Linhas Palmares

Esse método será estudado nessa dissertação. Basicamente, o reconhecimento das linhas palmares analisa as linhas presentes na palma das mãos das pessoas. Pesquisas nessa área utilizam tanto imagens de alta como de baixa resolução. Imagens de alta resolução são usadas principalmente para a detecção de criminosos. Imagens de baixa resolução são utilizadas comumente em aplicações comerciais, como controle de acesso [52].

Nas imagens de alta resolução, é possível extrair inúmeras características e pontos singulares, enquanto que em imagens de baixa resolução, extraem-se principalmente as linhas principais, textura e rugosidades. A Figura 3.8 apresenta um conjunto de imagens contendo linhas palmares identificadas em diferentes palmas de mão. Nas imagens apresentadas, são ilustradas imagens com diferentes resoluções de captura e diferentes níveis de iluminação.

Detalhes dessa modalidade, assim como as técnicas utilizadas para captura, extração, detecção e reconhecimento das linhas palmares serão abordadas com maiores detalhes no próximo tópico.

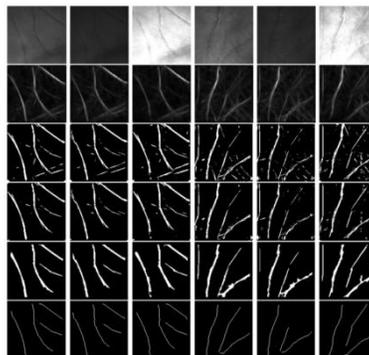


Figura 3.8 Exemplos de linhas palmares [53].

3.4 RECONHECIMENTO DAS LINHAS PALMARES

O reconhecimento das linhas palmares é uma das modalidades biométricas utilizadas para diversos fins, tais como, uso comercial ou para identificar criminosos. Em sistemas biométricos que utilizam essa modalidade, o sistema irá verificar a identidade de um usuário ao selecionar as características da palma da mão de um indivíduo. Alguns exemplos de aplicações são explorados por autores na literatura ao utilizar, por exemplo, em plataformas móveis [54] ou adaptar para sistemas embarcados. [55]

De acordo com [56], esses sistemas podem utilizar a textura, linhas ou características com base estatística para identificar uma pessoa. Esse projeto utilizará como objeto de análise as linhas principais da palma da mão.

A seguir, será feito um estudo em detalhes dessa modalidade, onde será mostrada uma abordagem biológica e uma perspectiva biométrica acerca dessa característica.

3.4.1 Perspectiva biológica

A utilização dessa modalidade também possui justificativa biológica. A seguir, são apresentadas informações de aspecto biológico sobre a palma da mão. Informações mais detalhadas podem ser encontradas em [57].

A superfície palmar é coberta por uma pele diferente da que recobre o resto do corpo. É uma pele corrugada, com cristas e vales muito próximos uns aos outros, na qual não existem glândulas sebáceas, nem pelos, mas há uma grande quantidade de poros sudoríparos. São os dermatóglifos, termo que descreve literalmente a superfície esculpida da pele nas regiões volares.

Essa característica aumenta a resistência friccional dessa região. Essa resistência é ainda mais eficiente devido aos padrões formados pelos dermatóglifos, devido aos desenhos multidirecionais formados pelas cristas papilares.

Muitos estudos foram realizados com o objetivo de entender o padrão dos dermatóglifos e na compreensão de sua formação e embriogênese. Consideram-se os estudos de Mulvihill e Smith como uma das discussões mais completas acerca do assunto [58], que detalha o histórico do estudo sobre a formação dos dermatóglifos e apresenta uma versão atualizada de como eles são formados.

Os dermatóglifos dos dedos, palma das mãos e planta dos pés formam-se entre a 10^a e a 19^a semana de gestação, sendo que seu surgimento inicia-se na ponta dos dedos e palma das mãos, e um pouco

mais tarde, na sola dos pés. A partir da 20ª semana de vida intrauterina, o feto tem as cristas papilares completamente formadas e elas se tornam visíveis na superfície da epiderme.

Os padrões dos dermatóglifos não se repetem em diferentes indivíduos e nem em regiões volares distintas de um mesmo indivíduo. Isso se deve à maneira com que as regiões são formadas no embrião, que embora em sua forma geral seja fortemente determinada geneticamente, seus detalhes surgem aleatoriamente influenciada pelas tensões à que a pele é submetida durante o crescimento das mãos e pés.

A forma que os dermatóglifos assumem é tão variável, que não se repete em diferentes regiões das mãos, dedos ou pés do mesmo indivíduo, ou em indivíduos distintos (postulado da variabilidade). Essas variações ocorrem dentro de limites que permitem uma classificação sistemática. Sua forma e minúcias são imutáveis e permanentes, do nascimento até a morte, e são essas características (variabilidade, classificabilidade, imutabilidade e perenidade), os postulados da datiloscopia, que estimularam o uso das impressões dos dermatóglifos para fins de identificação.

Dentre os métodos de impressão digital, palmar e plantar, esse trabalho dará ênfase nas impressões palmares. Essas impressões possuem muito mais minúcias do que as impressões digitais pelo simples fato de serem maiores. Além disso, as cristas papilares nesta região são, em média, 18% maiores do que nos dedos.

3.4.2 Aspectos biométricos

De acordo com Kong *et al.* [52], um típico sistema de reconhecimento de linhas palmares consiste de cinco partes: scanner para palma da mão, pré-processamento, extração de características, comparador e base de dados. Esse esquema é ilustrado na figura 3.9.

Basicamente, o scanner captura a imagem da palma da mão. O pré-processamento ajusta e normaliza a imagem para que o algoritmo de extração de características possa ser utilizado. O algoritmo comparador irá comparar duas imagens e o banco de dados irá armazenar os *templates*.



Figura 3.9 Etapas de um sistema biométrico.

A seguir, apresentamos em detalhes cada etapa:

a) Scanner

A imagem da palma da mão pode assumir níveis de resolução baixa e alta. [52] apresenta em seu trabalho que imagens de baixa resolução são principalmente utilizadas para fins comerciais, e imagens de alta resolução, para aplicações na área forense. De maneira geral, imagens de alta resolução possuem 400dpi ou mais, enquanto que imagens de baixa resolução possuem 150 dpi ou menos. A Figura 3.10 ilustra exemplos de imagens de baixa e alta resolução.

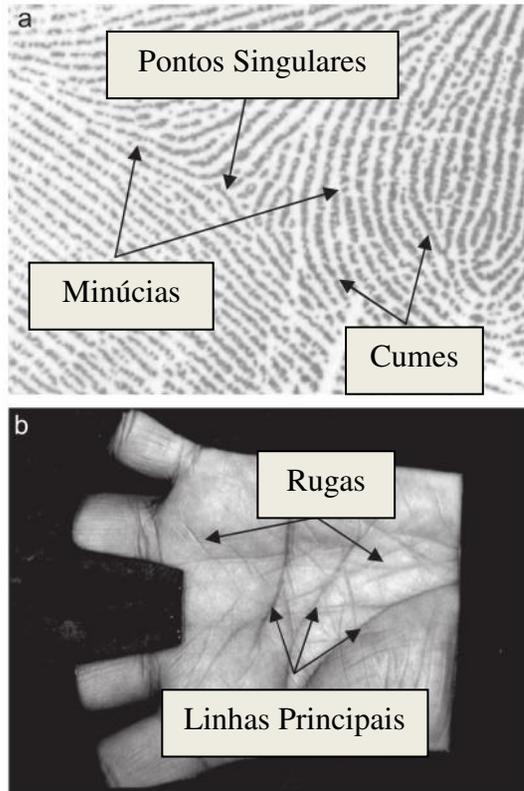


Figura 3.10 Imagens de palma da mão em (a) baixa resolução e (b) alta resolução [52].

Alguns autores utilizam também a aquisição de imagens palmares em 3D ao propor também a fusão com as imagens em 2D [59], ou então, utilizam imagens espectrais de alta resolução [60] e analisam múltiplas características de imagens de alta resolução [61]. Para essas situações, é importante considerar a utilização de sensores adequados para tal método de coleta, o que muitas vezes pode aumentar consideravelmente o valor do sensor de imagem.

b) Pré-processamento

Após a obtenção da imagem da palma da mão, um importante passo de pré-processamento é a extração da ROI, que se trata da obtenção da região de interesse da palma da mão para a obtenção das características de interesse. No caso, as linhas principais da palma da mão. Na literatura, é possível encontrar diferentes métodos para a extração dessa região [53][62] [63]

Fatores como o custo computacional e o nível de características da região normalmente determinam o algoritmo mais adequado para a extração da ROI. Contudo, geralmente os métodos existentes que utilizam tanto a distância, espaçamento dos dedos, ou então, informações estatísticas são suficientes para qualquer aplicação.

O pré-processamento de uma imagem leva em conta diversos fatores que podem influenciar o desempenho do algoritmo de identificação. Esses fatores incluem a iluminação, brilho e posição das mãos. Para contornar isso, algumas técnicas de processamento de imagem podem ser utilizadas, tais como, filtros de imagem para suavização de ruídos, normalização de iluminação e algoritmos para detecção de borda.

c) Extração de características

Essa etapa consiste na extração das características e informações da palma da mão, que serão armazenadas na base de dados e posteriormente utilizadas pelo algoritmo de comparação. É importante definir exatamente quais informações palmares serão utilizadas, porque isso impacta o pré-processamento e algoritmo para reconhecimento.

Essas características podem ser o formato da palma da mão, distância entre os dedos, impressões e linhas principais palmares, ou então, a combinação destas. No trabalho de [56], eles também utilizam a detecção e reconhecimento das linhas principais da palma da mão.

A importância de extrair as características corretas está diretamente relacionada com o desempenho do sistema. Em especial, porque a correta utilização do algoritmo que realiza essa extração remove dados redundantes, ruídos ou qualquer outra informação desnecessária que possa prejudicar a avaliação da informação biométrica que realmente interessa ao sistema.

d) Base de dados

A base de dados nada mais é do que o espaço onde os modelos e informações da sua modalidade biométrica ficarão armazenados. É importante que as imagens utilizadas possuam a maior qualidade e resolução possível, e além disso, seu tamanho deve ser reduzido ao máximo. Isso evita que seja ocupado muito espaço na memória e, conseqüentemente, interfira no desempenho do comparador que irá utilizar tais imagens na busca pela identidade do usuário.

Para que sejam geradas imagens com boa qualidade, é importante considerar o sensor que será utilizado para a captura e o algoritmo utilizado para o processamento e extração de características. Neste trabalho, utilizaremos a base de dados da Hong Kong PolyU [64].

e) Comparador

O algoritmo de comparação não deve ser escolhido de maneira aleatória. É necessário considerar quais características são analisadas, tempo de processamento necessário, viabilidade para implementação e custo computacional. Existe uma grande variedade de abordagens e algoritmos diferentes para cada tipo de modalidade.

Diversos autores na literatura utilizam diferentes métodos para processar e comparar imagens, tais como, LBP [65], transformada de Fourier [66], Filtros de Gabor [67], filtro de Sobel para detecção de linhas [68] e Filtro Wavelet [69].

Outros trabalhos consideram também modificar as imagens de entrada e adaptar as características analisadas. [70] propõem a fusão de imagens multiespectrais da palma da mão para melhorar a taxa de reconhecimento. Com outra abordagem, Wang e Sun [71] utilizam as informações direcionais e características das linhas palmares e [72] explora a classificação da palma da mão ao utilizar características globais em imagens 3D. Uma tentativa de aumentar ainda mais a eficiência de outros sistemas biométricos é através da fusão com o reconhecimento da palma da mão.

Existem inúmeros projetos na literatura que utilizam essa abordagem que podem combinar o reconhecimento das linhas palmares com a voz [73], impressão digital e geometria da mão [74] [75] [76], veias palmares [77]. Algumas vezes, o tamanho da base de dados pode ser um fator para causar lentidão na identificação. O trabalho de [78] considera esse possível problema e propõe um algoritmo para aumentar a identificação de palmas de mão para situações onde a base de dados é muito grande.

3.4.3 Utilização do PCA no reconhecimento biométrico

Como visto nestes trabalhos, existe uma grande preocupação na forma de manipular as informações biométricas em todas as etapas do processo. Dentre as formas utilizadas, a proposta desse estudo está na implementação de um algoritmo para extração adaptativa das linhas principais da palma da mão. Para identificação e reconhecimento de um indivíduo, utiliza-se o PCA, um método muito utilizado na literatura e em pesquisas biométricas. Considera-se que um trabalho pioneiro na utilização de PCA na biometria foi proposto por [79], onde eles utilizam esse método no reconhecimento de faces. Desde então, essa proposta tem sido adaptada e alvo de pesquisas por muitos autores.

O método PCA escolhido para reconhecimento das linhas palmares tem sido utilizado por muitos autores na literatura para fins de pesquisa. Tamrakar e Khanna [80] são alguns dos autores que utilizam PCA para verificação das linhas palmares. Basicamente, eles utilizam a distância euclidiana como forma de mensurar a semelhança entre duas palmas de mão. Em outro trabalho, [81] realiza mudanças nos eixos do PCA para verificar o comportamento desse método.

Outros autores utilizam PCA combinado com outros métodos a fim de buscar melhorar os resultados dessa técnica. Mohamadian [82] propõe a combinação de PCA com ICA, e em outro trabalho, os autores [83] realizam um estudo comparativo da verificação das linhas palmares onde utilizam PCA, LDA e GDA.

Ekinci e Aykut [84] utilizam o PCA e Gabor Wevelet; e Laadjel *et al.* [85] propõem a combinação de PCA com a transformada de Fourier. Outros autores utilizam imagens das linhas palmares multi-espectrais com PCA, como apresentado nos trabalhos de [86], [87]. Como se pode verificar, o PCA possui uma larga aplicação na biometria e o seu potencial já foi comprovado por muitos trabalhos através de bons resultados. A seguir, será apresentada uma demonstração matemática deste método e como ele executa a identificação e reconhecimento de indivíduos. O mesmo algoritmo foi utilizado neste estudo.

3.5 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

O método PCA, também conhecido como Transformada Discreta de Karhunen-Loeve (KLT), basicamente analisa dados ao considerar sua redução, eliminação de sobreposições e, finalmente, ao escolher as formas mais representativas de dados.

Uma das principais características do PCA [88] é a sua capacidade de redução de dimensionalidade dos dados. Esse método é recomendado quando existe um grande número de variáveis numéricas e deseja-se encontrar apenas as componentes principais desses dados.

O principal objetivo desse método é executar uma transformação linear com o objetivo de reordenar as informações mais significativas de um conjunto de dados com suas características mais significativas. Para fins de representação desse método, considera-se uma imagem x que pode ser definida como uma combinação linear de vários vetores w_i definidos na base W .

$$x = \sum_{i=1}^N y_i \cdot w_i \quad 3.1$$

$$W = [w_1^T, w_2^T, \dots, w_N^T] \quad 3.2$$

Onde y_i representa os coeficientes de transformação. E deve-se buscar um valor preciso de \hat{x} de x enquanto são usados os menores coeficientes possíveis.

$$\hat{x} = \sum_{i=1}^n y_i \cdot w_i \quad \text{onde } n \ll M \quad 3.3$$

Na equação 3.3, M define o número de amostras de um objeto que deve ser reconhecidos, onde os quais estão disponíveis na fase de treinamento. Nessa técnica, a redução da dimensionalidade é possível

porque as amostras parecem similares, e logo, existem muitas redundâncias. Assim, o x_m deve ser localizado próximo a sua outra representação no espaço de imagens. Em outras palavras, isso pode ser representado dentro de um espaço de imagens semelhantes ao gráfico da figura 3.11.

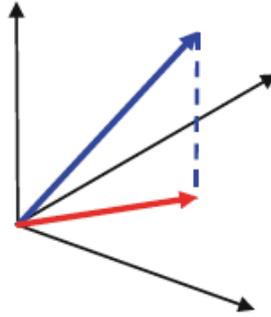


Figura 3.11 Representação de espaço de imagens

Com uma escolha adequada dos parâmetros de projeção, o erro E_n^2 dessa estimativa será minimizado. Isso pode ser definido através do cálculo da distância euclidiana entre \hat{x} e x .

$$E_n^2 = E\{\|\hat{x} - x\|^2\} = \sum_{m=1}^M w_i^T \cdot E\{x \cdot x^T\} w_i \quad 3.4$$

Nessa equação 3.4, $E\{\cdot\}$ representa o valor esperado. A matriz $E\{x \cdot x^T\}$ contém os valores esperados de um cruzamento entre duas imagens. Isso pode ser estimado através de uma amostra das imagens treinadas. Gerando os espaços de imagens, tem-se um conjunto de N imagens, onde a dimensão é de (N_L, N_C) .

Tendo exposta essa teoria básica acerca desse método, tem-se a seguir uma apresentação do método PCA para a identificação de padrões, e mais especificamente, apresentando o algoritmo do método utilizado neste estudo.

Inicialmente, considera-se cada imagem utilizada pode ser representada dentro do espaço de características como um ponto, apresentado na Figura 3.11. Iremos considerar também $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_M]$ como o conjunto de imagens apresentado e M a quantidade de imagens desse conjunto.

O próximo passo é obter a representação média da imagem dentro do seu respectivo conjunto no espaço de características. A média pode ser calculada pela média aritmética dos vetores no conjunto de treinamento. A seguinte função é utilizada:

$$\Pi = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Y_i \quad 3.5$$

Cada elemento do conjunto irá variar em relação a média obtida, através da seguinte equação:

$$\Theta_i = Y_i - \Pi_i \text{ onde } i = 1, 2, \dots, M \quad 3.6$$

Após todas as variações, obteremos uma nova matriz $V = [\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_M]$. Em seguida, realizamos o cálculo da matriz de covariância:

$$C = VV^T \quad 3.7$$

O próximo passo é encontrar os autovetores da matriz que representa o conjunto de treinamento, que será representado por a_i . Este valor será apresentado como combinação linear dos autovetores com as imagens do conjunto e podem ser consideradas como um conjunto de variações que identificam uma imagem, dado por:

$$a_i = \sum_{j=1}^M v_{ji} \Theta_j \quad 3.8$$

Ao selecionar o conjunto de autoimagens, tem-se preferência nas imagens que possuem maior variância. Em seguida, ao se determinar esse conjunto, as imagens do conjunto de treinamento são projetadas em um espaço de características utilizando a seguinte expressão:

$$w_k = a_k^T (Y_i - \Pi) \text{ onde } k = 1, 2, \dots, M' \quad 3.9$$

Sendo M o número de autovetores associados aos autovalores mais significativos.

Tendo os valores projetados, é preciso verificar o grau de similaridade de cada vetor em relação a nova imagem. Sendo assim, a nova imagem é subtraída da imagem média e projetada no espaço de características, e os pesos da equação 3.8 buscam tal similaridade. Essa similaridade é determinada pela distância euclidiana, conforme descrito na equação 3.4.

De forma gráfica, essa medida pode ser entendida através da imagem apresentada a seguir. Na figura 3.12, tem-se vários pontos dentro de uma projeção, e busca-se encontrar o grupo de maior similaridade com o ponto t através da menor distância e, facilmente, verifica-se que o ponto b possui a menor distância euclidiana, e logo, possui maior similaridade. A Figura 3.12 ilustra essa relação de distância euclidiana entre os pontos.

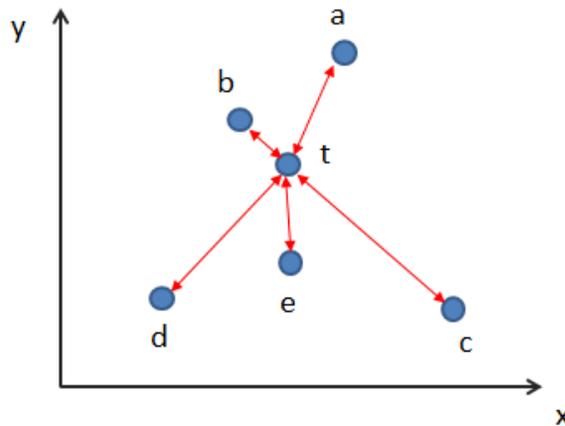


Figura 3.12 Análise da distância euclidiana entre os pontos

De uma forma geral, pode-se resumir esse procedimento através dos seguintes passos básicos:

1. Obtenção dos dados ou amostras M de vetores de dimensão n .
2. Calcular a média desses dados.
3. Subtrair a média dos itens dos dados.
4. Calcular a matriz de covariância usando todas as subtrações.
5. Calcular os autovalores e autovetores da matriz de covariância.
6. Arranjar a matriz de transformação, onde as linhas são formadas a partir dos autovetores da matriz de covariância arranjados de modo que a primeira linha, o elemento $(0,0)$, seja o autovetor correspondente ao maior autovalor, e assim, sucessivamente até que a última linha corresponda ao menor autovalor.

O autovetor com o maior autovalor associado irá ser considerado a componente principal. Em seguida, essa técnica gera um mapa de projeções que representam as classes do sistema. Para este estudo, o PCA gerou um mapa que contém todas as 120 classes, como ilustrado na Figura 3.13. Cada ponto dentro deste mapa de projeção representa uma imagem palmar processada utilizando a limiarização adaptativa, que é descrita no tópico 2.1.1 desta dissertação.

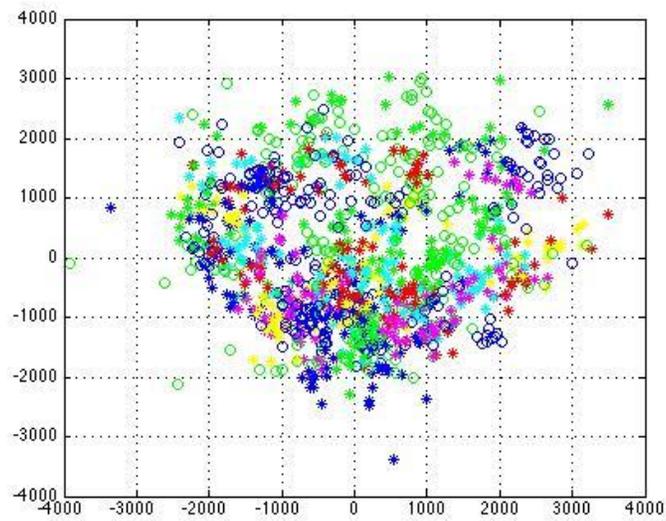


Figura 3.13 Mapa de projeção das classes.

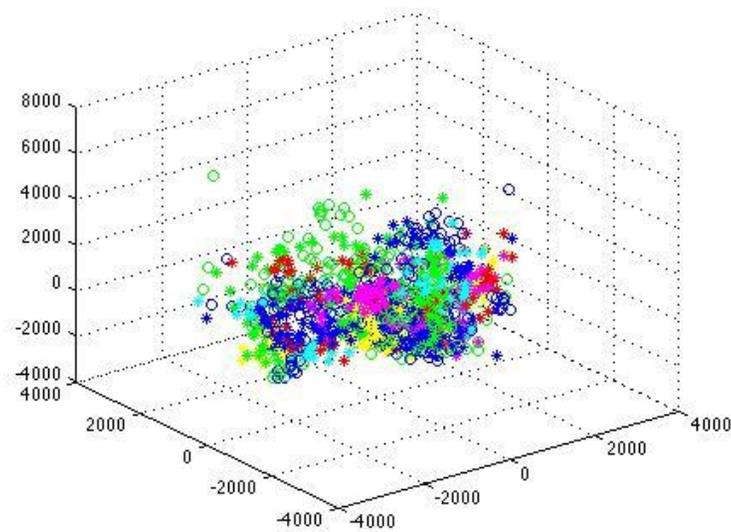


Figura 3.14 Mapa de projeção das classes em 3D.

Para entender os gráficos acima, tem-se o espaço da projeção como o mapa de características referente aos vetores de cada palma da mão submetida para treinamento. Esses vetores estão representados por pontos de diferentes cores e formato. Para este gráfico, foram treinadas 960 imagens no total, totalizando 960 pontos.

Esses pontos estão organizados em diferentes regiões, e essa organização é dada de acordo com as características de um grupo específico de palmas da mão.

Os detalhes de como o PCA é capaz de encontrar padrões dentro desse espaço são descritos no tópico 3.5 deste estudo, e mais informações sobre como foi implementado podem ser encontradas no tópico 4.

Assim como neste estudo, o PCA é explorado por outros autores dentro da biometria, que utilizam esta técnica em diversas outras modalidades como reconhecimento de impressão digital [30], [89], faces [90]–[92], veias da palma da mão [93], orelhas [94], iris [95], [96], voz [97]–[99] e a impressão palmar. Esta última é explorada nesta tese.

Verifica-se que o PCA possui uma base sólida para ser utilizado para fins de reconhecimento de padrão, e feita a introdução dos conceitos biométricos existentes por trás do método proposto, o próximo tópico irá apresentar detalhes do método desenvolvido, onde abordamos as ferramentas utilizadas, imagens e algoritmos de processamento, e por fim, os resultados obtidos com as devidas conclusões.

4 DESENVOLVIMENTO

Este projeto se propõe em desenvolver um sistema de reconhecimento das linhas principais palmares onde utilizamos o PCA. Esse estudo será importante para avaliar o impacto da utilização da limiarização local no reconhecimento de linhas palmares.

Posteriormente, realizaremos uma análise dos resultados obtidos e comparamos este método com outros trabalhos da literatura, avaliando a taxa de precisão. A seguir, será apresentada uma descrição dos métodos e ferramentas utilizadas para o desenvolvimento deste projeto.

4.1 MÉTODOS E FERRAMENTAS

Este estudo foi realizado no Laboratório de Comunicações Visuais (LCV), localizado na FEEC (Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação) da Universidade Estadual de Campinas. Para o desenvolvimento do código e programação, foi utilizado o Matlab, na versão 2009 para a plataforma Windows. Para o processamento computacional, foi utilizado um desktop com as seguintes configurações: 4 GB RAM e processador Intel Core 2 Duo 3GHz.

As imagens palmares utilizadas nesse estudo foram obtidas da base de dados do Centro de Pesquisas em Biometria da Hong Kong *Polytechnic University*.

O algoritmo PCA no Matlab foi adaptado de um código também disponível para download [100]. O método de pesquisa proposto nesta pesquisa processa e extrai as linhas principais palmares onde se utiliza a limiarização local adaptativa.

4.2 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS PALMARES

A base de dados original de imagens palmares consiste de 120 indivíduos, com 20 imagens palmares por indivíduo, onde se têm 10 imagens para mão esquerda e 10 imagens para mão direita. Para esse estudo, realiza-se uma filtragem das imagens originais, descartando imagens que possuíam muito ruído na captura, deficientes no brilho e contraste, e baixa qualidade.

Essas falhas apresentaram dificuldades para o algoritmo de limiarização extrair as linhas palmares. Logo, consideramos uma situação onde as imagens capturadas possuíam qualidade de captura em boas condições. Alguns exemplos de imagens excluídas do estudo são apresentados na Figura 4.1.

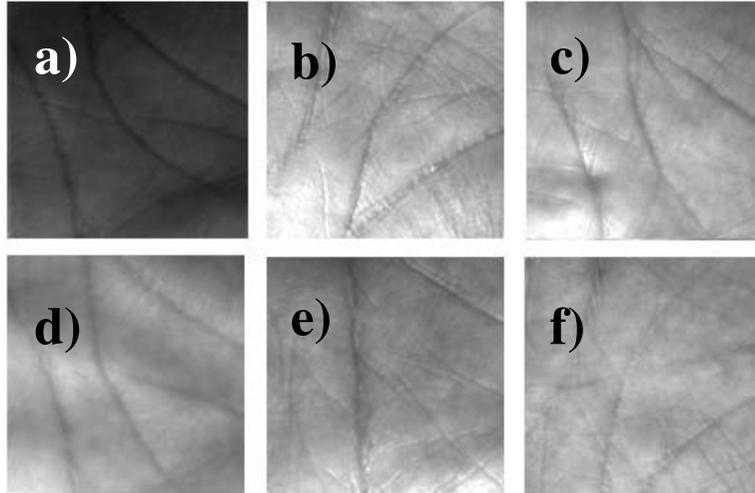


Figura 4.1 Imagens excluídas do estudo por apresentarem problemas na iluminação (a, b, c, d), foco (e) e captura das linhas palmares (f).

Esse estudo possui um caráter de validação da proposta apresentada, e preservando a validade estatística dos testes, selecionamos 120 indivíduos e 10 imagens da palma da mão direita. As imagens utilizadas neste estudo estão no formato bitmap, com resolução e 128x128 *pixels*. Na figura 4.2, é possível visualizar algumas amostras das palmas de mão utilizadas no estudo.

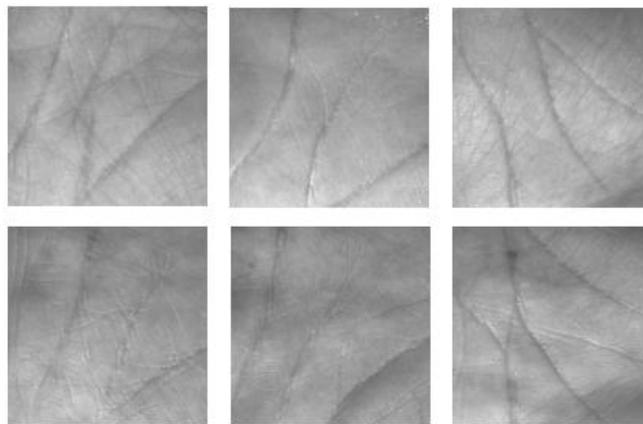


Figura 4.2 Exemplos de imagens utilizadas.

A escolha das imagens acima foi baseada nas boas condições de iluminação, foco e qualidade da captura. Após a seleção das imagens para testes, utilizamos a limiarização local adaptativa para extrair as linhas principais palmares.

Basicamente, a imagem é submetida ao algoritmo de limiarização. Esse método é descrito neste estudo, no tópico 2.1.1. Esse é um processo simples e rápido, gerando imagens com as linhas palmares principais identificadas e preparadas para serem submetidas ao algoritmo de classificação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar o desempenho do sistema proposto, inicialmente submetemos as imagens para o algoritmo PCA. Esse processo é relativamente simples e seus passos são explicados adiante.

Inicialmente, após obter as imagens geradas pelo algoritmo de limiarização, elas são submetidas ao PCA. Detalhes do método e como ele manipula as imagens para gerar seu mapa de características são descritos no capítulo 3.5. O mapa gerado contém todos os vetores das imagens submetidas, sendo que cada ponto desse mapa representa uma imagem palmar. Esse é um processo característico do PCA. A representação gerada nesse estudo pode ser encontrada na Figura 3.13. Esse gráfico apresenta a forma como os conjuntos palmares estão organizados, de acordo com suas características e componentes principais, identificados pelo PCA.

Em seguida, é necessário encontrar a componente da imagem média de cada conjunto referente as 120 pessoas. Essa imagem média apresenta uma fusão das características gerais de cada conjunto, gerando assim uma representação mais geral através desse ponto médio.

Na figura 5.1, verifica-se um gráfico contendo todos os pontos médios dos conjuntos referentes a cada indivíduo. Devido a limitações de cores em relação a quantidade de pontos que são representados no gráfico, alguns pontos apresentam cores semelhantes. Contudo, o que define a característica de cada ponto é sua posição dentro do espaço de característica, e isso ainda pode ser verificado no gráfico, não influenciando a sua interpretação. As dimensões do mapa de projeção são formadas de acordo com o conjunto normalizado gerado pelo PCA.

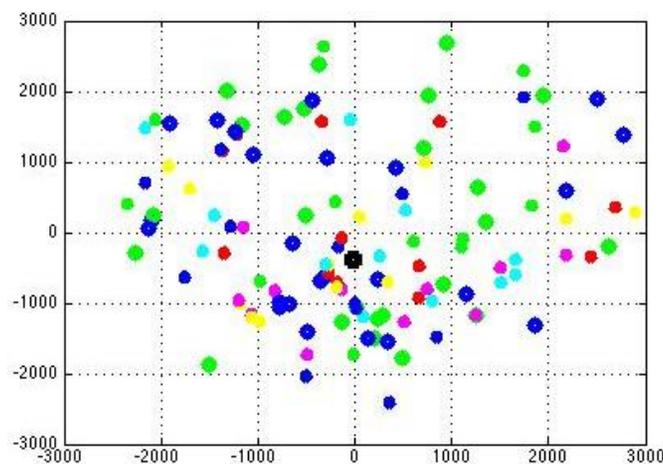


Figura 5.1 Mapa de médias.

Na figura 5.2, é possível visualizar uma combinação do mapa de característica contendo todas as imagens e conjuntos, relacionados com seu respectivo vetor médio. Considera-se que cada ponto neste mapa de médias representa a média de um conjunto de classes de cada grupo de imagens. Basicamente, a interpretação do gráfico a seguir se dá da seguinte forma, nesse mapa estão presentes os vetores característicos de cada imagem, assim como, o ponto médio de cada conjunto de palma da mão que representa uma pessoa. Lembrando que para cada pessoa, existem oito imagens submetidas para treinamento, e consequentemente, oito pontos dentro do mapa.

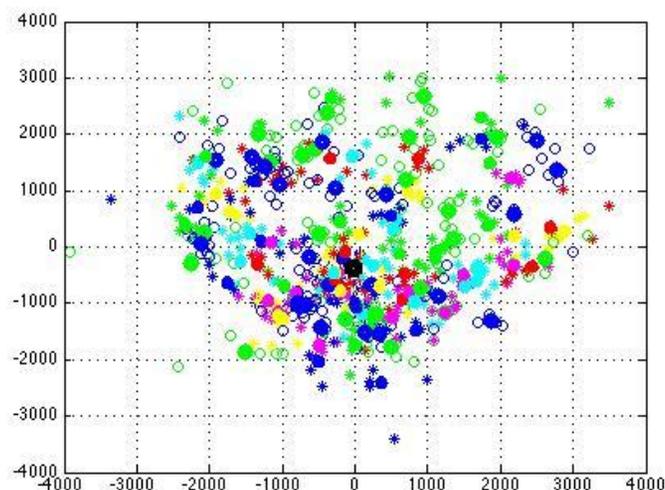


Figura 5.2 Mapa de projeções com classes e suas médias.

Após a obtenção dos mapas de projeções das classes e suas médias, o PCA utiliza a medida euclidiana para classificar novas imagens para obter a classe mais semelhante, onde se utiliza como critério a menor distância euclidiana entre dois pontos. Nesse caso, os dois pontos são o vetor referente a imagem submetida para classificação e o vetor da imagem média. O vetor médio que apresentar menor distância euclidiana em relação ao vetor de interesse submetido para classificação será o vetor escolhido pelo PCA.

Para fins de validação do método, foram realizados vários testes que consistem em submeter diferentes quantidades de imagem para treinamento e testes, com o objetivo de verificar a influência dessa quantidade no desempenho do método. Para isso, considera-se que cada conjunto possui dez imagens. Como dito anteriormente, nesse exemplo utilizamos oito imagens para treinamento, e as duas restantes para testes.

Em seguida, também realizados diferentes tipos de testes utilizando a mesma base de dados, com os mesmos tipos de imagens e condições. Essa verificação foi realizada para analisar o comportamento do método proposto em relação a quantidade de imagens treinadas e testes.

Para a obtenção de tais resultados, o algoritmo utilizado gera uma tabela numérica contendo o resultado da identificação de cada indivíduo. Essa tabela consiste basicamente de duas colunas, sendo a primeira coluna consistindo das imagens originais e que deveriam ser reconhecidas, e a segunda coluna, o resultado obtido. Com esses valores, é possível gerar uma matriz de confusão, onde é possível obter a precisão do algoritmo. A tabela 2 apresenta o resultado comparativo obtido.

Tabela 5-1 Resultado comparativo local

	Treino: 4	Treino: 6	Treino: 8
	Teste: 6	Teste: 4	Teste: 2
Normal	73,5%	79,0%	83,0%
LLA	91,5%	96,0%	98,5%

Essa simulação interna foi realizada apenas para validar o método, com o objetivo de verificar seu comportamento e o impacto que a utilização da limiarização adaptativa possui em relação à utilização de imagens sem processamento.

Depois disso, analisamos outros trabalhos na literatura para verificar o desempenho do método proposto nesse estudo em relação a outras técnicas que foram utilizadas por outros autores. Como variável de comparação, utilizamos a taxa de precisão obtida com o método proposto através da matriz de confusão.

No primeiro trabalho comparado [60], os autores utilizando a combinação da impressão palmar com a geometria da palma da mão. A base de dados utilizada é composta por 300 imagens obtidas de 50 pessoas. Seis imagens foram capturadas de cada indivíduo, sendo que três foram utilizadas para treinamento e as 3 restantes foram utilizadas em testes. Os autores obtiveram uma taxa de falsa aceitação de 0,71%, falsa rejeição de 2,67% e uma taxa final de reconhecimento de 97,37%.

No segundo trabalho [86], os autores também utilizam um sistema multibiométrico, combinando o reconhecimento palmar com um sistema de reconhecimento de voz. Os autores utilizam uma base de dados com 120 indivíduos também, e obtiveram uma acurácia de 98,6% com FAR de 1,67% e FRR DE 0,84%.

No terceiro trabalho comparado [87], os autores utilizam um sistema de reconhecimento palmar combinado com o sistema de íris, utilizando como método a transformada de Wavelet *Packet* e a limiarização adaptativa. Os autores atingiram uma performance de 93%.

No trabalho seguinte [88], os autores utilizam a transformada de Wavelet e filtros de Gabor. A quantidade total de imagens utilizadas foi de 900 e foi obtida uma taxa de acurácia de 96,70% com EER próximo de 4%.

E finalmente, no último trabalho comparado [89], os autores propõem um sistema que utiliza um método de *quantized phase feature representation* com uma base de 175 indivíduos. Basicamente, os autores utilizam uma abordagem processando os coeficientes representativos das imagens, atingindo uma precisão de 97,2%.

Tabela 5-2 Comparação entre diferentes trabalhos

	Imagens	Método	Precisão
Método proposto	960	PCA & adaptive thresholding	98,5%
Adhinagara et al.	300	Palmprint & Palm Geometry	97,7%
Mahesh & Swamy	960	Palmprint & Speech Signal	98,2%
Hariprasath et al. [101]	1280	Wavelet Packet Transform	93%
Goh et al. [102]	900	Wavelet & Gabor Filter	96,70%
Kumar et al. K [103]	3500	Quantized Phase Featured	97,2%

Como se pode verificar na tabela acima, os autores utilizam diferentes técnicas e métodos para implementar sistemas de reconhecimento biométrico que utilizam esta modalidade. Infelizmente, não existe um método que seja eficiente para todo tipo de situação, no entanto, verifica-se que os diferentes tipos de sistemas começam a apresentar resultados com bom nível de desempenho. E a escolha de qual método utilizar depende de fatores como recursos computacional, tempo necessário pra processar imagem e complexidade exigida.

O método proposto neste estudo apresenta uma abordagem relativamente simples, em comparação a outros trabalhos que utilizam multibiometria, ou seja, combinação de diferentes modalidades. Contudo, os resultados mostram que o desempenho possui um bom nível de desempenho, e ele poderia ser utilizado como objeto de estudo para pesquisas futuras, a fim de buscar melhorias que possam tornar sua implementação na prática ainda mais viável.

Além disso, esse trabalho apresentou um estudo com o objetivo de compreender aspectos existentes por trás dos sistemas biométricos, em especial, relacionados com a captura e reconhecimento das linhas palmares. As partes descritas e discutidas são:

- Processamento de imagens: foi apresentada uma visão geral acerca dos conceitos de processamento de imagem que estão relacionados com o método proposto neste estudo. Fo-

ram exploradas também diferentes tipos de técnicas de pré-processamento e pós-processamento de imagens, que são aplicados em imagens biométricos de acordo com a modalidade escolhida.

- Sistemas biométricos: Foi explorado de forma geral os conceitos e aplicações das principais modalidades existentes. Apresentando os tipos de imagens utilizadas e quais os melhores contextos para aplicarem uma determinada modalidade biométrica.
- Reconhecimento das linhas palmares: Por se tratar do objeto de estudo dessa tese, foi dada uma ênfase maior nesse método. Neste estudo, apresentamos a teoria existente, tanto em nível biológico quanto através de uma perspectiva biométrica e prática. Também foi mostrado como essa técnica está incluída atualmente no meio dos sistemas biométricos. Esse embasamento teórico foi necessário para fornecer uma visão clara e motivação para a utilização dos métodos descritos e implementados nesse estudo.
- Método de limiarização local adaptativa: Nesse tópico, discutimos o método utilizado para extrair as linhas principais de interesse. Vale ressaltar que apesar de ser um método simples, seus resultados se mostraram promissores.
- PCA aplicado no reconhecimento das linhas palmares: Finalmente, ao fim da apresentação do método aplicado nesse estudo, abordamos em detalhes como o PCA realiza o reconhecimento de padrões e como aplicamos essa técnica. O PCA possui uma teoria simples, porém, muito eficiente e utilizada em muitos trabalhos na literatura como apresentado aqui. Além disso, a área de biometria tem sido uma área fértil para a aplicação desse método, e os resultados desse estudo mostraram que o PCA pode ser utilizado como uma ferramenta de reconhecimento de linhas palmares.

6 CONCLUSÕES

A principal contribuição deste estudo foi oferecer uma visão geral acerca das tecnologias biométricas, e também, apresentar os principais aspectos relacionados com o reconhecimento das linhas palmares, assim como, propõe-se a utilização da limiarização na extração de característica, o que é capaz de atingir um impacto significativo no desempenho de um sistema biométrico proposto.

Utiliza-se um total de 1200 imagens palmares, onde se extraem as linhas palmares ao aplicar a limiarização local adaptativa. Realiza-se diferentes testes e o método utilizado neste estudo apresentou uma taxa de precisão de 98,5%. Em seguida, realiza-se uma avaliação comparativa com diferentes trabalhos que utilizam o reconhecimento das linhas palmares através de diferentes métodos, e a proposta desse estudo apresentou um desempenho superior que leva em consideração a taxa de precisão.

A importância desse estudo está em oferecer uma simples e ao mesmo tempo eficiente para o objetivo proposto. Como sugestão de trabalhos futuros, sugere-se o aumento da base de dados, assim como, a utilização de outras técnicas de reconhecimento combinadas com a limiarização adaptativa. Também é possível a fusão do reconhecimento das palmas das mãos com outras modalidades, de forma a gerar sistemas multimodais mais eficientes.

7 TRABALHOS FUTUROS

Esse estudo traz uma proposta simples e eficiente para o campo do reconhecimento biométrico, em especial, em se tratando da modalidade escolhida. No entanto, ainda existem muitas melhorias que podem ser exploradas a partir desse primeiro estudo.

A quantidade de imagens utilizada é uma das abordagens que futuros trabalhos podem trazer melhorias. Como foi observado ao longo da pesquisa, o algoritmo de limiarização local adaptativa não possui bom desempenho para certas condições como deficiência na iluminação da imagem ou falta de foco, e isso exigiu que certas imagens fossem descartadas do estudo.

Porém, é possível utilizar e combinar outras técnicas de pré-processamento da imagem com o objetivo de corrigir tais falhas e melhorar o desempenho do algoritmo de limiarização. Essas melhorias podem trazer um grande acréscimo na quantidade de imagens que podem ser utilizadas. Além disso, as consequências práticas ao se resolver tais problemas relacionados com as condições de captura da imagem e sua qualidade, tem um impacto positivo direto na adoção desses sistemas na vida das pessoas.

Sugere-se também a combinação de outras modalidades biométricas, a fim de ganhar um acréscimo de performance considerando que sistemas multibiométricos, ou seja, que combinam um ou mais métodos de reconhecimento biométrico, tem apresentado resultados satisfatórios. Essas outras modalidades incluem a retina, impressão digital, reconhecimento facial ou voz.

Finalmente, quanto ao aperfeiçoamento do algoritmo utilizado, é necessário um estudo da aplicação e do tempo requerido para uma determinada aplicação, para verificar se o PCA é a opção mais recomendada. Isso porque se considera que na literatura existem outros algoritmos de reconhecimento e classificação com desempenho similar mas com características diferentes em relação a forma de analisar os padrões, como poder exemplo, redes neurais, lógica Fuzzy ou algoritmos estatísticos.

REFERÊNCIAS

- [1] N. K. Jain, Anil K, Ross, A. Arun, *Introduction to Biometrics*. Springer, 2011.
- [2] IBG, “Biometrics Market and Industry Report,” 2011. .
- [3] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing (3rd Edition)*. Prentice Hall, 2007.
- [4] A. Chowdhury, “Revolution in authentication process by using biometrics,” *2011 Int. Conf. Recent Trends Inf. Syst.*, pp. 36–41, Dec. 2011.
- [5] S. Prabhakar, A. Ivanisov, and A. Jain, “Biometric recognition: Sensor characteristics and image quality,” *IEEE Instrum. Meas. Mag.*, vol. 14, no. 3, pp. 10–16, Jun. 2011.
- [6] V. Matyas and Z. Riha, “Security of biometric authentication systems,” in *2010 International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management Applications (CISIM)*, 2010, pp. 19–28.
- [7] A. K. Jain, A. Ross, and S. Prabhakar, “An Introduction to Biometric Recognition,” *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 14, no. 1, pp. 4–20, Jan. 2004.
- [8] A. Ogihara, H. Matsumura, and A. Shiozaki, “Biometric Verification Using Keystroke Motion and Key Press Timing for ATM User Authentication,” in *2006 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications*, 2006, pp. 223–226.
- [9] O. A. Esan, S. M. Ngwira, and I. O. Osunmakinde, “Bimodal biometrics for financial infrastructure security,” in *2013 Information Security for South Africa*, 2013, pp. 1–8.
- [10] I. Salvador, J. Cano, J. L. Guardiola, M. Albero, D. Carrion, and J.-C. Perez-Cortes, “Computer Vision Applications: Home, Office and Industry,” in *2011 22nd International Workshop on Database and Expert Systems Applications*, 2011, pp. 364–368.
- [11] S. Ruj, A. Nayak, and S. Naik, “Securing home networks using Physically Unclonable Functions,” in *2012 Fourth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, 2012, pp. 288–293.
- [12] R. L. de Carvalho and P. F. F. Rosa, “Identification system for smart homes using footstep sounds,” in *2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2010, pp. 1639–1644.
- [13] I. S. Ansari and A. S. Qutbuddin, “Biometrics for home networks security,” in *2009 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED)*, 2009, pp. 136–138.
- [14] D. of H. S.-U. S. of America, “Homeland Security,” 2014. [Online]. Available: <http://www.dhs.gov/how-do-i/learn-about-biometric-identification-us-visit>. [Accessed: 01-Apr-2014].

- [15] N. A. Spaun, "Forensic Biometrics from Images and Video at the Federal Bureau of Investigation," in *2007 First IEEE International Conference on Biometrics: Theory, Applications, and Systems*, 2007, pp. 1–3.
- [16] D. Meuwly and R. Veldhuis, "Forensic biometrics: From two communities to one discipline," in *International Conference of the Biometrics Special Interest Group*, 2012.
- [17] G. P. Kusuma, C.-S. Chua, and H.-L. Toh, "Recombination of 2D and 3D Images for Multimodal 2D + 3D Face Recognition," *2010 Fourth Pacific-Rim Symp. Image Video Technol.*, pp. 76–81, Nov. 2010.
- [18] M. Nagesh Kumar and M. N. Shanmukha Swamy, "An efficient multimodal biometric face recognition using speech signal," *2010 Int. Conf. Signal Image Process.*, pp. 201–206, Dec. 2010.
- [19] C. Lu, J. Wang, and M. Qi, "Multimodal Biometric Identification Approach Based on Face and Palmprint," *2009 Second Int. Symp. Electron. Commer. Secur.*, pp. 44–47, 2009.
- [20] N. S. Lakshmiprabha, J. Bhattacharya, and S. Majumder, "Face recognition using multimodal biometric features," *2011 Int. Conf. Image Inf. Process.*, no. Iciip, pp. 1–6, Nov. 2011.
- [21] A. F. Abate, M. Nappi, D. Riccio, and M. De Marsico, "Face, Ear and Fingerprint: Designing Multibiometric Architectures," in *14th International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP 2007)*, 2007, no. Iciap, pp. 437–442.
- [22] V. C. Subbarayudu and M. V. N. K. Prasad, "Multimodal Biometric System," *2008 First Int. Conf. Emerg. Trends Eng. Technol.*, pp. 635–640, 2008.
- [23] Y.-W. Kao, H.-Z. Gu, and S.-M. Yuan, "Integration of Face and Hand Gesture Recognition," *2008 Third Int. Conf. Conver. Hybrid Inf. Technol.*, pp. 330–335, Nov. 2008.
- [24] B. S. Priya and R. Rajesh, "A note on fingerprint recognition systems," *2011 3rd Int. Conf. Electron. Comput. Technol.*, pp. 95–98, Apr. 2011.
- [25] A. Kumar and Y. Zhou, "Human identification using finger images.," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 21, no. 4, pp. 2228–44, Apr. 2012.
- [26] TRE, "Tribunal Superior Eleitoral," 2014. [Online]. Available: <http://www.tse.jus.br/eleicoes/biometria-e-urna-eletronica>.
- [27] Y. Yang, "ATM terminal design is based on fingerprint recognition," in *2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology*, 2010, pp. V1–92–V1–95.
- [28] Z. Zhu and F. Chen, "Fingerprint recognition-based access controlling system for automobiles," *2011 4th Int. Congr. Image Signal Process.*, pp. 1899–1902, Oct. 2011.
- [29] I. Bisio, F. Lavagetto, M. Marchese, and A. Sciarrone, "GPS/HPS-and Wi-Fi Fingerprint-Based Location Recognition for Check-In Applications Over Smartphones in Cloud-Based LBSs," *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 15, no. 4, pp. 858–869, Jun. 2013.

- [30] W. Yongxu, A. Xinyu, and D. Yuanfeng, "A Fingerprint Recognition Algorithm Based on Principal Component Analysis," in *TENCON 2006 - 2006 IEEE Region 10 Conference*, 2006, vol. 00, pp. 1–4.
- [31] X. Zhang, D. Ren, L. Yan, Z. Jing, and J. Zhang, "A survey of approaches to feature extraction in face recognition," *Proc. 2012 2nd Int. Conf. Comput. Sci. Netw. Technol.*, pp. 1534–1539, Dec. 2012.
- [32] J. Harguess and J. K. Aggarwal, "Is there a connection between face symmetry and face recognition?," in *CVPR 2011 WORKSHOPS*, 2011, pp. 66–73.
- [33] H. K. Ekenel, J. Stallkamp, H. Gao, M. Fischer, and R. Stiefelhagen, "Face Recognition for Smart Interactions," *Multimed. Expo, 2007 IEEE Int. Conf.*, pp. 1007–1010, Jul. 2007.
- [34] A. K. Jain, B. Klare, and U. Park, "Face recognition: Some challenges in forensics," in *Face and Gesture 2011*, 2011, pp. 726–733.
- [35] L. Meng and D. Wei, "Development of a Novel Portable Robotic Human Face Recognition System," *2010 Int. Conf. Intell. Comput. Technol. Autom.*, pp. 94–97, May 2010.
- [36] Y. Qian and J. Liu, "Phone modeling and combining discriminative training for mandarinenglish bilingual speech recognition," in *2010 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2010, pp. 4918–4921.
- [37] T. Yoshioka, A. Sehr, M. Delcroix, K. Kinoshita, R. Maas, T. Nakatani, and W. Kellermann, "Making Machines Understand Us in Reverberant Rooms: Robustness Against Reverberation for Automatic Speech Recognition," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 29, no. 6, pp. 114–126, Nov. 2012.
- [38] Q. Fan and D. Wang, "A statistical speech recognition of Ningbo dialect monosyllables," *2010 IEEE Int. Conf. Intell. Syst. Knowl. Eng.*, pp. 266–269, Nov. 2010.
- [39] R. Gomez, T. Kawahara, K. Nakamura, and K. Nakadai, "Multi-party human-robot interaction with distant-talking speech recognition," *Proc. seventh Annu. ACM/IEEE Int. Conf. Human-Robot Interact. - HRI '12*, p. 439, 2012.
- [40] Y. Jian and J. Jin, "An interactive interface between human and computer based on pattern and speech recognition," in *2012 International Conference on Systems and Informatics (ICSAI2012)*, 2012, no. Icsai, pp. 505–509.
- [41] H. K. Tezer and M. Yagimli, "Navigation autopilot with real time voice command recognition system," in *2013 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2013, pp. 1–4.
- [42] A. K. Jain and A. Ross, "Multibiometric systems," *Commun. ACM*, vol. 47, no. 1, p. 34, Jan. 2004.
- [43] A. Ross and A. Abaza, "Human Ear Recognition," *Computer (Long. Beach. Calif.)*, vol. 44, no. 11, pp. 79–81, Nov. 2011.

- [44] F. Kurniawan, M. Shafry, and M. Rahim, "A review on 2D ear recognition," *2012 IEEE 8th Int. Colloq. Signal Process. its Appl.*, pp. 204–209, Mar. 2012.
- [45] a. Pflug and C. Busch, "Ear biometrics: a survey of detection, feature extraction and recognition methods," *IET Biometrics*, vol. 1, no. 2, p. 114, 2012.
- [46] M. Jhamb and V. K. Khera, "Iris based human recognition system," *2010 IEEE Int. Conf. Comput. Intell. Comput. Res.*, pp. 1–9, Dec. 2010.
- [47] A. M. George and C. Anand Deva Durai, "A survey on prominent iris recognition systems," *2013 Int. Conf. Inf. Commun. Embed. Syst.*, pp. 191–195, Feb. 2013.
- [48] U. M. Chaskar and M. S. Sutaone, "A novel approach for iris recognition," in *2010 2nd International Conference on Computer Technology and Development*, 2010, no. Iccai, pp. 495–500.
- [49] I. Tomeo-Reyes, J. Liu-Jimenez, I. Rubio-Polo, J. Redondo-Justo, and R. Sanchez-Reillo, "Input images in iris recognition systems: A case study," *2011 IEEE Int. Syst. Conf.*, pp. 501–505, Apr. 2011.
- [50] H. Zhang and D. Hu, "A Palm Vein Recognition System," *2010 Int. Conf. Intell. Comput. Technol. Autom.*, pp. 285–288, May 2010.
- [51] X. Zeng and W. Jin, "Research of Hand Vein Patterns Recognition for Biometric Identification," *2012 Int. Conf. Biomed. Eng. Biotechnol.*, pp. 884–887, May 2012.
- [52] A. Kong, D. Zhang, and M. Kamel, "A survey of palmprint recognition," *Pattern Recognit.*, vol. 42, no. 7, pp. 1408–1418, Jul. 2009.
- [53] W. Li, B. Zhang, L. Zhang, and J. Yan, "Principal Line-Based Alignment Refinement for Palmprint Recognition," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part C (Applications Rev.)*, vol. 42, no. 6, pp. 1491–1499, Nov. 2012.
- [54] M. Franzgrote, C. Borg, B. J. Tobias Ries, S. Bussemaker, and M. Fieleser, "Palmprint Verification on Mobile Phones Using Accelerated Competitive Code," in *2011 International Conference on Hand-Based Biometrics*, 2011, pp. 1–6.
- [55] Y. Cui and B. Li, "A Palm-Print Recognition System Based on OMAP3530," in *2010 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering*, 2010, pp. 1–4.
- [56] M. O. Rotinwa-Akinbile, a. M. Aibinu, and M. J. E. Salami, "Palmprint Recognition Using Principal Lines Characterization," *2011 First Int. Conf. Informatics Comput. Intell.*, pp. 278–282, Dec. 2011.
- [57] H. Cummins and C. Midlo, *Fingerprints, Palms and Soles*. New York, New York, USA: Dover Publications Inc., 1943.
- [58] J. J. MULVIHILL and D. W. SMITH, "The genesis of dermatoglyphics," *J. Pediatr.*, vol. v. 75, no. 4, pp. p. 579–589, 1969.

- [59] D. Zhang, "Palmprint Recognition Using 3-D Information," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part C (Applications Rev.)*, vol. 39, no. 5, pp. 505–519, Sep. 2009.
- [60] R. Veldhuis, D. Ramos, L. Spreeuwiers, J. Fierrez, and H. Xu, "On the use of spectral minutiae in high-resolution palmprint recognition," in *2013 International Workshop on Biometrics and Forensics (IWBF)*, 2013, no. 2, pp. 1–4.
- [61] J. Dai and J. Zhou, "Multifeature-based high-resolution palmprint recognition.," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 33, no. 5, pp. 945–57, May 2011.
- [62] D. Zhang, "An Online System of Multispectral Palmprint Verification," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 59, no. 2, pp. 480–490, Feb. 2010.
- [63] J. Wang, D. Li, M. Li, and Y. Lin, "Research on the extraction to the Region of Interest area in palmprint," *2012 24th Chinese Control Decis. Conf.*, pp. 3714–3718, May 2012.
- [64] "Polyu palmprint Database.," 2013. [Online]. Available: <http://www4.comp.polyu.edu.hk/~biometrics/>.
- [65] V. Laxmi, "Palmprint Matching Using LBP," *2012 Int. Conf. Comput. Sci.*, pp. 110–115, Sep. 2012.
- [66] S. Yang, "A Real Time Personal Identification Based on Fourier Transform of Palmprint Recognition," *2011 Second Int. Conf. Innov. Bio-inspired Comput. Appl.*, pp. 336–339, Dec. 2011.
- [67] A. Meraoumia, S. Chitroub, and A. Bouridane, "Improving palmprint identification by combining multiple classifiers and using gabor filter," *2012 19th IEEE Int. Conf. Electron. Circuits, Syst. (ICECS 2012)*, pp. 141–144, Dec. 2012.
- [68] S. Yang, "Auto Palmprint Segmentation and Sobel Based Detection for Personal Identification," *2011 Second Int. Conf. Innov. Bio-inspired Comput. Appl.*, pp. 332–335, Dec. 2011.
- [69] D. Tamrakar and P. Khanna, "Analysis of Palmprint Verification Using Wavelet Filter and Competitive Code," *2010 Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Networks*, pp. 20–25, Nov. 2010.
- [70] S. Valarmathy, M. A. Kumar, and M. Sudha, "Improvement in palmprint recognition rate using fusion of multispectral palmprint images," in *2012 International Conference on Computing, Communication and Applications*, 2012, pp. 1–5.
- [71] Y. Wang, "Palmprint recognition using Palm-line direction field texture feature," in *2012 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2012, pp. 1130–1134.
- [72] B. Zhang, W. Li, P. Qing, and D. Zhang, "Palm-Print Classification by Global Features," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Syst.*, vol. 43, no. 2, pp. 370–378, Mar. 2013.
- [73] P. K. Mahesh and M. N. Shanmukha Swamy, "A biometric identification system based on the fusion of palmprint and speech signal," *2010 Int. Conf. Signal Image Process.*, pp. 186–190, Dec. 2010.

- [74] F. Yang and B. Ma, "Two Models Multimodal Biometric Fusion Based on Fingerprint, Palm-Print and Hand-Geometry," in *2007 1st International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 2007, pp. 498–501.
- [75] Y. Adhinagara, B. W. Tjokorda Agung, and D. Retno Novi, "Implementation of multimodal biometrics recognition system combined palm print and palm geometry features," in *Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, 2011, no. July, pp. 1–5.
- [76] M. Ferrer, C. Travieso, and J. Alonso, "Multimodal Biometric System based on Hand Geometry and Palm Print Texture," *Proc. 40th Annu. 2006 Int. Carnahan Conf. Secur. Technol.*, pp. 92–97, Oct. 2006.
- [77] G. K. O. Michael, T. Connie, and A. T. B. Jin, "Design and implementation of a contactless palm print and palm vein sensor," in *2010 11th International Conference on Control Automation Robotics & Vision*, 2010, no. December, pp. 1268–1273.
- [78] F. Yue, B. Li, M. Yu, and J. Wang, "Hashing Based Fast Palmprint Identification for Large-Scale Databases," *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.*, vol. 8, no. 5, pp. 769–778, May 2013.
- [79] M. A. Turk and A. P. Pentland, "Face recognition using eigenfaces," in *Proceedings. 1991 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1991, pp. 586–591.
- [80] D. Tamrakar and P. Khanna, "Palmprint verification using competitive index with PCA," *2011 Int. Conf. Signal Process. Commun. Comput. Netw. Technol.*, no. Icscen, pp. 768–771, Jul. 2011.
- [81] Y. Zhang, "Palmprint identification using weighted PCA feature," *2008 9th Int. Conf. Signal Process.*, pp. 2112–2115, Oct. 2008.
- [82] H. Mohamadian, "Biometric Identification via PCA and ICA Based Pattern Recognition," in *2007 IEEE International Conference on Control and Automation*, 2007, vol. 00, pp. 1600–1604.
- [83] D. Xu, "Comparison of PCA, LDA and GDA for palmprint verification," in *2010 International Conference on Information, Networking and Automation (ICINA)*, 2010, pp. V1–148–V1–152.
- [84] M. Ekinici and M. Aykut, "Palmprint recognition using kernel PCA of Gabor features," *2008 23rd Int. Symp. Comput. Inf. Sci.*, pp. 1–6, Oct. 2008.
- [85] M. Laadjel, A. Bouridane, and F. Kurugollu, "Eigenspectra Palmprint Recognition," *4th IEEE Int. Symp. Electron. Des. Test Appl. (delta 2008)*, pp. 382–385, Jan. 2008.
- [86] Y. Xu and Q. Zhu, "PCA-Based Multispectral Band Compression and Multispectral Palmprint Recognition," *2011 Int. Conf. Hand-Based Biometrics*, pp. 1–4, Nov. 2011.
- [87] X. Xu and Z. Guo, "Multispectral Palmprint Recognition Using Quaternion Principal Component Analysis," in *2010 International Workshop on Emerging Techniques and Challenges for Hand-Based Biometrics*, 2010, no. 470, pp. 1–5.
- [88] I. T. Jolliffe, *Principal Component Analysis*. New York,: Springer-Verlag, 1986.

- [89] M. A. Khan, A. Khan, T. Mahmood, M. Abbas, and N. Muhammad, "Fingerprint image enhancement using Principal Component Analysis (PCA) filters," *2010 Int. Conf. Inf. Emerg. Technol.*, pp. 1–6, Jun. 2010.
- [90] R. Mallipeddi and M. Lee, "Ensemble based face recognition using discriminant PCA Features," *2012 IEEE Congr. Evol. Comput.*, pp. 1–7, Jun. 2012.
- [91] D. A. Meedeniya and D. A. A. C. Ratnaweera, "Enhanced face recognition through variation of Principle Component Analysis (PCA)," in *2007 International Conference on Industrial and Information Systems*, 2007, no. August, pp. 347–352.
- [92] B. Poon and M. A. Amin, "PCA based face recognition and testing criteria," in *2009 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2009, no. July, pp. 2945–2949.
- [93] T. S. Beng and B. A. Rosdi, "Finger-vein identification using pattern map and principal component analysis," *2011 IEEE Int. Conf. Signal Image Process. Appl.*, pp. 530–534, Nov. 2011.
- [94] M. S. Nosrati, K. Faez, and F. Faradji, "Using 2D wavelet and principal component analysis for personal identification based On 2D ear structure," *2007 Int. Conf. Intell. Adv. Syst.*, pp. 616–620, Nov. 2007.
- [95] J. Cui, Y. Wang, J. Huang, T. Tan, and Z. Sun, "An iris image synthesis method based on PCA and super-resolution," *Proc. 17th Int. Conf. Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004.*, pp. 471–474 Vol.4, 2004.
- [96] X. Gu, "The comparison of iris recognition using principal component analysis, independent component analysis and Gabor wavelets," *2010 3rd Int. Conf. Comput. Sci. Inf. Technol.*, pp. 61–64, Jul. 2010.
- [97] Z. Ansari and F. Almasganj, "Implementing PCA-based speaker adaptation methods in a Persian ASR system," in *2010 5th International Symposium on Telecommunications*, 2010, pp. 769–774.
- [98] J.-Y. Lee and J. Hung, "Exploiting principal component analysis in modulation spectrum enhancement for robust speech recognition," *2011 Eighth Int. Conf. Fuzzy Syst. Knowl. Discov.*, no. 1, pp. 1947–1951, Jul. 2011.
- [99] S. Wang, X. Ling, F. Zhang, and J. Tong, "Speech Emotion Recognition Based on Principal Component Analysis and Back Propagation Neural Network," *2010 Int. Conf. Meas. Technol. Mechatronics Autom.*, pp. 437–440, Mar. 2010.
- [100] A. Gil and L. Paya, "PCA Implementation," 2006. [Online]. Available: <http://isa.umh.es/asignaturas/cs/cs/>.
- [101] S. Hariprasath and T. N. Prabakar, "Multimodal biometric recognition using iris feature extraction and palmprint features," in *International Conference on Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM)*, 2012.
- [102] T. C. Michael KO Goh, "A Fast Palm Print Verification System," in *International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation (CGIV'06)*, 2006, pp. 168–172.

- [103] A. Kumar, M. Hanmandlu, V. K. Madasu, and S. Vasikarla, "A palm print authentication system using quantized phase feature representation," in *2011 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR)*, 2011, pp. 1–8.

ANEXOS

Anexo A – Amostra da RIO das imagens palmares

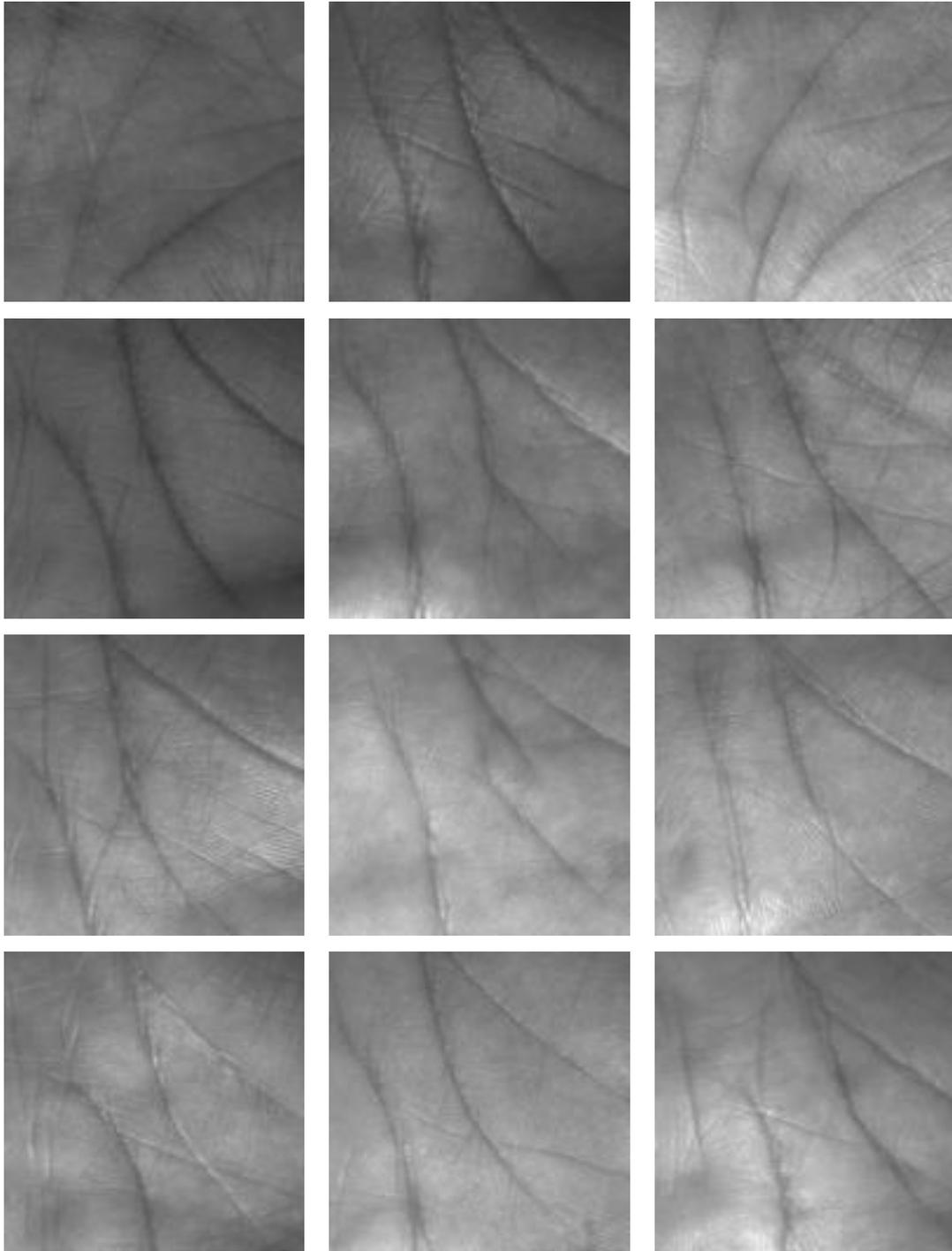


Figura 7.1 Amostra de imagens palmares

Anexo B – Amostra de imagens palmares processadas

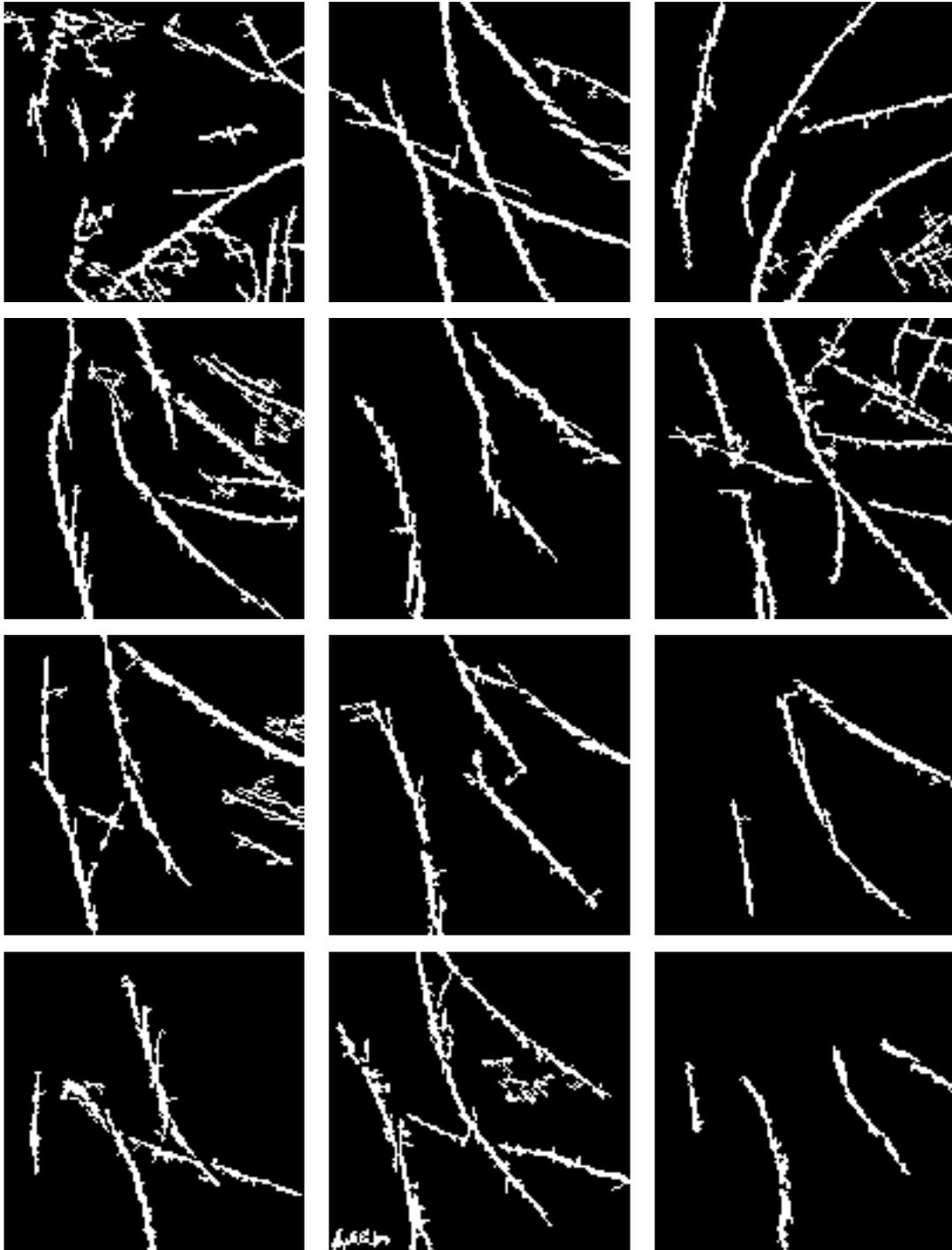


Figura 7.2 Amostra de imagens palmares processadas com limiarização local adaptativa

Anexo C: Amostra de código fonte para classificação

```
function
class=classifier(p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8,p9,p10,p11,p12,p13,p14,p15,p1
6,p17,p18,p19,p20,p21,p22,p23,p24,p25,p26,p27,p28,p29,p30,p31,p32,p33,
p34,p35,p36,p37,p38,p39,p40,p41,p42,p43,p44,p45,p46,p47,p48,p49,p50,p5
1,p52,p53,p54,p55,p56,p57,p58,p59,p60,p61,p62,p63,p64,p65,p66,p67,p68,
p69,p70,p71,p72,p73,p74,p75,p76,p77,p78,p79,p80,p81,p82,p83,p84,p85,p8
6,p87,p88,p89,p90,p91,p92,p93,p94,p95,p96,p97,p98,p99,p100,p101,p102,p
103,p104,p105,p106,p107,p108,p109,p110,p111,p112,p113,p114,p115,p116,p
117,p118,p119,p120,new_point,N_train,display)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%classifier --> calcula a distancia euclidiana
close all
N=10; %número de faces de um individuo

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:N
    comando=sprintf('average_%d=mean(p%d(:,1:N_train),2);',i,i);
    eval(comando)
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:N
    comando=sprintf('d(%d)=norm(new_point-average_%d);',i,i);
    eval(comando);
end

[dist class]=min(d);
```

Anexo D: Amostra de código fonte para classificação

```
function
[p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8,p9,p10,p11,p12,p13,p14,p15,p16,p17,p18,p19,p2
0,p21,p22,p23,p24,p25,p26,p27,p28,p29,p30,p31,p32,p33,p34,p35,p36,p37,
p38,p39,p40,p41,p42,p43,p44,p45,p46,p47,p48,p49,p50,p51,p52,p53,p54,p5
5,p56,p57,p58,p59,p60,p61,p62,p63,p64,p65,p66,p67,p68,p69,p70,p71,p72,
p73,p74,p75,p76,p77,p78,p79,p80,p81,p82,p83,p84,p85,p86,p87,p88,p89,p9
0,p91,p92,p93,p94,p95,p96,p97,p98,p99,p100,p101,p102,p103,p104,p105,p1
06,p107,p108,p109,p110,p111,p112,p113,p114,p115,p116,p117,p118,p119,p1
20]=ORL_faces(Nv,display)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
N=120
```

```
if Nv > N
    error('Number of eigenvector must be lower that the number of
classes')
end
if display ==1
    if Nv<3
        error ('If you want to see the graphics, you must select Nv >=
3')
    end
end
```

%%%

```
x1=imread('ROI/1/im1.pgm');
x2=imread('ROI/2/im1.pgm');
x3=imread('ROI/3/im1.pgm');
x4=imread('ROI/4/im1.pgm');
x5=imread('ROI/5/im1.pgm');
x6=imread('ROI/6/im1.pgm');
x7=imread('ROI/7/im1.pgm');
x8=imread('ROI/8/im1.pgm');
x9=imread('ROI/9/im1.pgm');
x10=imread('ROI/10/im1.pgm');
x11=imread('ROI/11/im1.pgm');
x12=imread('ROI/12/im1.pgm');
x13=imread('ROI/13/im1.pgm');
x14=imread('ROI/14/im1.pgm');
x15=imread('ROI/15/im1.pgm');
x16=imread('ROI/16/im1.pgm');
x17=imread('ROI/17/im1.pgm');
x18=imread('ROI/18/im1.pgm');
x19=imread('ROI/19/im1.pgm');
x20=imread('ROI/20/im1.pgm');
x21=imread('ROI/21/im1.pgm');
x22=imread('ROI/22/im1.pgm');
x23=imread('ROI/23/im1.pgm');
x24=imread('ROI/24/im1.pgm');
x25=imread('ROI/25/im1.pgm');
x26=imread('ROI/26/im1.pgm');
x27=imread('ROI/27/im1.pgm');
x28=imread('ROI/28/im1.pgm');
x29=imread('ROI/29/im1.pgm');
x30=imread('ROI/30/im1.pgm');
x31=imread('ROI/31/im1.pgm');
x32=imread('ROI/32/im1.pgm');
x33=imread('ROI/33/im1.pgm');
x34=imread('ROI/34/im1.pgm');
x35=imread('ROI/35/im1.pgm');
x36=imread('ROI/36/im1.pgm');
x37=imread('ROI/37/im1.pgm');
x38=imread('ROI/38/im1.pgm');
x39=imread('ROI/39/im1.pgm');
```

```
x40=imread('ROI/40/im1.pgm');
x41=imread('ROI/41/im1.pgm');
x42=imread('ROI/42/im1.pgm');
x43=imread('ROI/43/im1.pgm');
x44=imread('ROI/44/im1.pgm');
x45=imread('ROI/45/im1.pgm');
x46=imread('ROI/46/im1.pgm');
x47=imread('ROI/47/im1.pgm');
x48=imread('ROI/48/im1.pgm');
x49=imread('ROI/49/im1.pgm');
x50=imread('ROI/50/im1.pgm');
x51=imread('ROI/51/im1.pgm');
x52=imread('ROI/52/im1.pgm');
x53=imread('ROI/53/im1.pgm');
x54=imread('ROI/54/im1.pgm');
x55=imread('ROI/55/im1.pgm');
x56=imread('ROI/56/im1.pgm');
x57=imread('ROI/57/im1.pgm');
x58=imread('ROI/58/im1.pgm');
x59=imread('ROI/59/im1.pgm');
x60=imread('ROI/60/im1.pgm');
x61=imread('ROI/61/im1.pgm');
x62=imread('ROI/62/im1.pgm');
x63=imread('ROI/63/im1.pgm');
x64=imread('ROI/64/im1.pgm');
x65=imread('ROI/65/im1.pgm');
x66=imread('ROI/66/im1.pgm');
x67=imread('ROI/67/im1.pgm');
x68=imread('ROI/68/im1.pgm');
x69=imread('ROI/69/im1.pgm');
x70=imread('ROI/70/im1.pgm');
x71=imread('ROI/71/im1.pgm');
x72=imread('ROI/72/im1.pgm');
x73=imread('ROI/73/im1.pgm');
x74=imread('ROI/74/im1.pgm');
x75=imread('ROI/75/im1.pgm');
x76=imread('ROI/76/im1.pgm');
x77=imread('ROI/77/im1.pgm');
x78=imread('ROI/78/im1.pgm');
x79=imread('ROI/79/im1.pgm');
x80=imread('ROI/80/im1.pgm');
x81=imread('ROI/81/im1.pgm');
x82=imread('ROI/82/im1.pgm');
x83=imread('ROI/83/im1.pgm');
x84=imread('ROI/84/im1.pgm');
x85=imread('ROI/85/im1.pgm');
x86=imread('ROI/86/im1.pgm');
x87=imread('ROI/87/im1.pgm');
x88=imread('ROI/88/im1.pgm');
x89=imread('ROI/89/im1.pgm');
x90=imread('ROI/90/im1.pgm');
x91=imread('ROI/91/im1.pgm');
```

```

x92=imread('ROI/92/im1.pgm');
x93=imread('ROI/93/im1.pgm');
x94=imread('ROI/94/im1.pgm');
x95=imread('ROI/95/im1.pgm');
x96=imread('ROI/96/im1.pgm');
x97=imread('ROI/97/im1.pgm');
x98=imread('ROI/98/im1.pgm');
x99=imread('ROI/99/im1.pgm');
x100=imread('ROI/100/im1.pgm');
x101=imread('ROI/101/im1.pgm');
x102=imread('ROI/102/im1.pgm');
x103=imread('ROI/103/im1.pgm');
x104=imread('ROI/104/im1.pgm');
x105=imread('ROI/105/im1.pgm');
x106=imread('ROI/106/im1.pgm');
x107=imread('ROI/107/im1.pgm');
x108=imread('ROI/108/im1.pgm');
x109=imread('ROI/109/im1.pgm');
x110=imread('ROI/110/im1.pgm');
x111=imread('ROI/111/im1.pgm');
x112=imread('ROI/112/im1.pgm');
x113=imread('ROI/113/im1.pgm');
x114=imread('ROI/114/im1.pgm');
x115=imread('ROI/115/im1.pgm');
x116=imread('ROI/116/im1.pgm');
x117=imread('ROI/117/im1.pgm');
x118=imread('ROI/118/im1.pgm');
x119=imread('ROI/119/im1.pgm');
x120=imread('ROI/120/im1.pgm');

```

```

for i=1:N
comando=sprintf('x%d=x%d(:);',i,i);
eval(comando);
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
X=[x1 x2 x3 x4 x5 x6 x7 x8 x9 x10 x11 x12 x13 x14 x15 x16 x17 x18 x19
x20 x21 x22 x23 x24 x25 x26 x27 x28 x29 x30 x31 x32 x33 x34 x35 x36
x37 x38 x39 x40 x41 x42 x43 x44 x45 x46 x47 x48 x49 x50 x51 x52 x53
x54 x55 x56 x57 x58 x59 x60 x61 x62 x63 x64 x65 x66 x67 x68 x69 x70
x71 x72 x73 x74 x75 x76 x77 x78 x79 x80 x81 x82 x83 x84 x85 x86 x87
x88 x89 x90 x91 x92 x93 x94 x95 x96 x97 x98 x99 x100 x101 x102 x103
x104 x105 x106 x107 x108 x109 x110 x111 x112 x113 x114 x115 x116 x117
x118 x119 x120];
X=double(X);

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% PCA
[V,D,Average] = pc_evectors(X,Nv);

```

```

for i = 1:N
    Xm(:,i) = X(:,i) - Average;
end;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
p=V'*Xm;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
for num_face=1:N

for i=1:10
    file_test=sprintf('ROI/%d/im%d.pgm', num_face, i);
    comando=sprintf('t%d=imread(file_test);', i);
    eval(comando);
    comando=sprintf('t%d=t%d(:);', i, i);
    eval(comando);
end

T=[t1 t2 t3 t4 t5 t6 t7 t8 t9 t10]; T=double(T);

for i = 1:10
    Tm(:,i) = T(:,i) - Average;
end;

proy=V'*Tm;

comando=sprintf('p%d=proy;', num_face);
eval(comando);
end

```

Anexo E: Amostra de código fonte para testar imagens (5 treinos e 5 testes)

```

Nv=3;
N_train=5;
N_test=5;

[p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8]=ORL_faces(Nv,0);

results=zeros(8,N_test);
for j=1:8
    for i=(10-N_test+1):10
comando=sprintf('results(%d,%d)=classifier(p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8,p%d
(:,%d),%d,0);',j,(i-N_train),j,i,N_train);
        eval(comando);
    end
end
results

```

Anexo E: Apresentação



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação

Um Estudo do Reconhecimento de Linhas Palmares Utilizando PCA e Limiarização Local Adaptativa

Defesa de Mestrado

Aluno: Cláudio Freitas
Orientador: Yuzo Iano



Publicações

FREITAS, C. C. S.; IANO, Y. *A Study of Palmprint Recognition Using PCA and Local Adaptive Thresholding*. *Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology*, 2014.

FREITAS, C. C. S.; LARICO, R. F.; IANO, Y. . Um Estudo da Performance do PCA no Reconhecimento Facial Baseado em Alterações nas Características Espaciais da Imagem. In: Congresso de Matemática Aplicada e Computacional – Centro Oeste, 2013, Cuiabá. Anais do CMAC, 2013.

FREITAS, C. C. S. ; LARICO, R. F. ; IANO, Y. . Proposta de um sistema de identificação multibiométrico utilizando reconhecimento de faces e padrões gestuais. In: Congresso de Matemática Aplicada e Computacional - Nordeste, 2012, Natal. Anais do CMAC, 2012.

FREITAS, C. C. S. ; LARICO, R. F. ; IANO, Y. . Um Estudo do Desempenho do Método de Classificação de Imagens via PCA quando Submetida a Ajustes de Iluminação. In: VIII Workshop de Visão Computacional, 2012, Goiânia. Anais do WVC, 2012.

Tópicos da Apresentação

- Visão Geral
- Motivação
- Introdução
- Fundamentação Teórica
- Biometria
- Reconhecimento de Linhas Palmares
- Limiarização local adaptativa
- Análise de Componentes Principais (PCA)
- Desenvolvimento
- Resultados
- Discussões e Conclusões
- Trabalhos futuros

Visão Geral

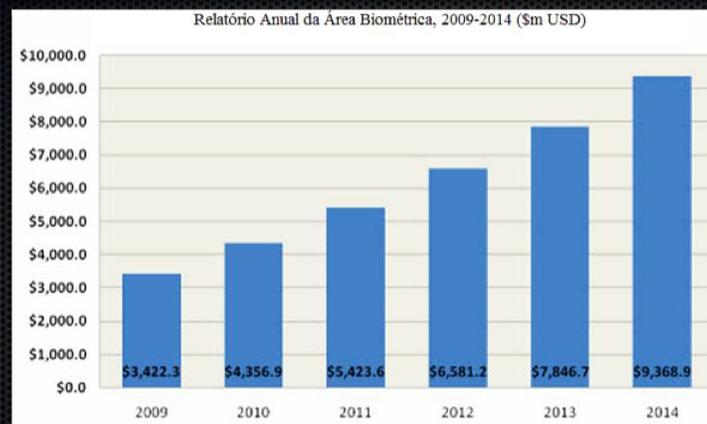
- Biometria
 - "bios" - Vida
 - "metria" - Medida

SEGURANÇA

Motivação para **biometria**

- Perder e/ou esquecer informações
- Barateamento dos sensores
- Facilidade para embarcar em dispositivos eletrônicos
- Fácil utilização
- Alto nível de segurança em relação aos métodos convencionais
- Mais difíceis de serem reproduzidas/copiadas

Introdução (\$\$\$\$\$)



Biometria

- Principal agente: Corpo humano (características físicas e comportamentais)



Biometria



Características importantes:

- Universalidade
- Singularidade
- Permanência
- Coletabilidade
- Aceitabilidade

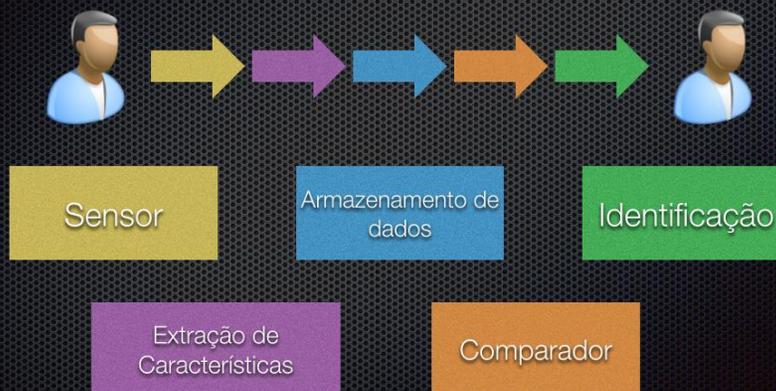
Aplicações de Biometria

- Comerciais e bancárias
- Aplicações residenciais
- Governamentais
- Forense



Biometria

Arquitetura de um sistema biométrico



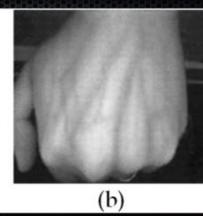
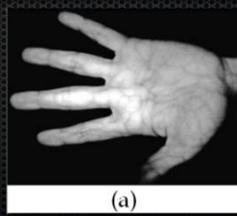
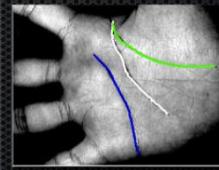
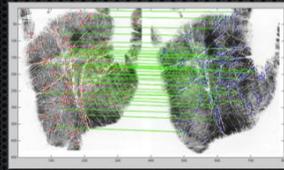
Aplicações

Processamento de Imagens



Fundamentação Teórica

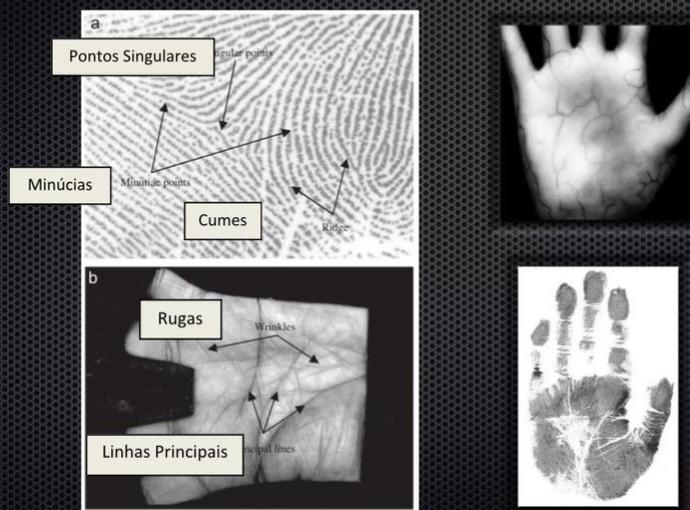
Reconhecimento de Linhas Palmares



Reconhecimento de Linhas Palmares *Aspectos Biológicos*

- Principais características da palma da mão:
 - *Pele diferente do restante do corpo;*
 - *Superfície formada pelos dermatóglifos*
 - *Formam-se entre a 10^a e a 19^a semana de gestação*

Reconhecimento de Linhas Palmares *Aspectos Biológicos*



Reconhecimento de Linhas Palmares *Vantagens/Desvantagens*

- VANTAGEM
 - Como a palma da mão é grande, existem muito mais informações que podem ser comparadas em relação a impressão digital.
- DESVANTAGEM
 - Os scanners da palma da mão são mais complexos e caros, já que eles necessitam capturar uma área muito maior que as impressões digitais.

Fundamentação Teórica

Transformações matemáticas e geométricas

- Histogramas
- Transformada de Fourier
- Transformada Discreta do Cosseno
- Limiarização
- Segmentação
- Etc...

Algoritmos utilizados

Deteccção de bordas: Canny, Solve e Robert

Segmentação: deteção por pontos, linhas e bordas

Limiarização global

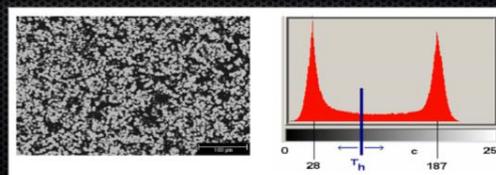
Limiarização Local Adaptativa

Limiarização Local Adaptativa

Apresentou um bom resultado para a proposta desse estudo.

Recomendada em situações onde um único limiar não é eficiente.

Encontra o melhor limiar que separa duas regiões com mais qualidade.



Limiarização Local Adaptativa



$$\text{Limiar} = (\min_v(p) + \max_v(p)) / 2$$



Onde V é a vizinhança local ao ponto P na imagem



Análise de Componentes Principais (PCA)

- Por quê? *Redução da dimensionalidade de dados.*
- Como? *Executa transformação linear com o objetivo de reordenar as informações mais significativas de um conjunto de dados com suas características mais significativas.*

Turk, M; Pentland, A, "Eigenfaces for Recognition," Cognitive Neuroscience, Journal of , vol.3, no.1, pp.71,86, Jan. 1991

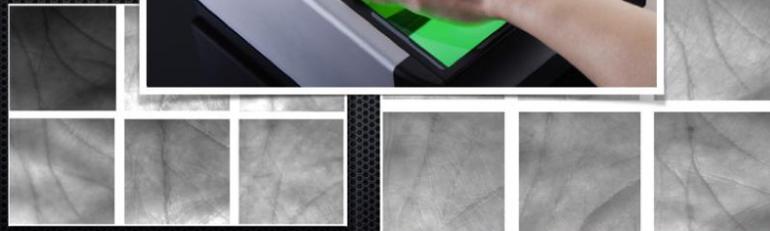
Análise de Componentes Principais (PCA)

$S = \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_M\}$	Conjunto de imagens
$\Psi = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M I_n$	Média
$\Phi_i = I_i - \Psi \quad i=1, \dots, M$	Subtrair a média
$A = [\Phi_1 \quad \Phi_2 \quad \dots \quad \Phi_M]$	Matriz normalizada
$C = AA^T$	Matriz de covariância
$AA^T A v_i = \lambda A v_i$	Obtenção dos autovalores e autovetores
$d = \min_k \ \Omega - \Omega_k\ $	Distância euclidiana

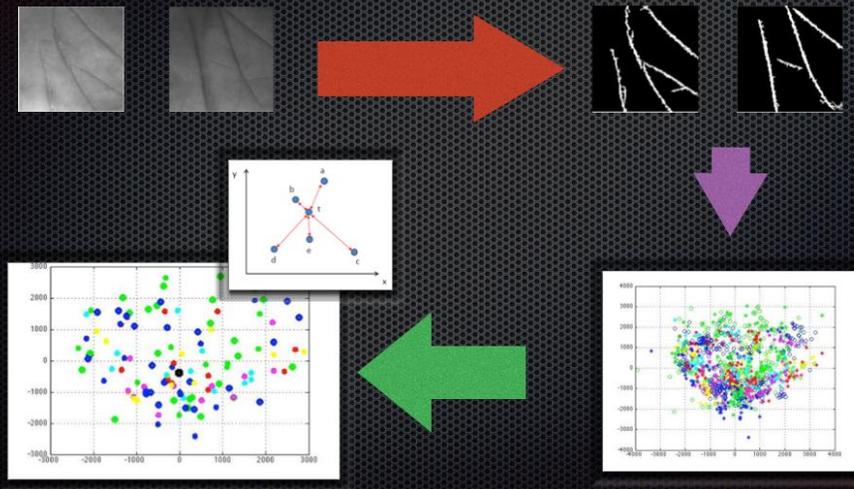
Desenvolvimento

- Base de dados utilizada:

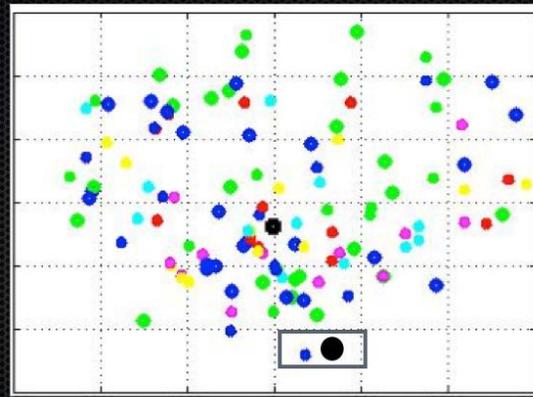
- Número de i
- Quantidade
- Total: 1200 i



Desenvolvimento



Desenvolvimento



Resultados

	Treino: 4 Teste: 6	Treino: 6 Teste: 4	Treino: 8 Teste: 2
Normal	73,5%	79,0%	83,0%
LAL	91,5%	96,0%	98,5%

Resultados

	Imagens	Método	Precisão
Método proposto	960	PCA & adaptive thresholding	98,5%
Adhinagara et al.	300	Palmprint & Palm Geometry	97,7%
Mahesh & Swamy	960	Palmprint & Speech Signal	98,2%
Hariprasath et al. [101]	1280	Wavelet Packet Transform	93%
Goh et al. [102]	900	Wavelet & Gabor Filter	96,70%
Kumar et al. K [103]	3500	Quantized Phase Featured	97,2%

Discussões e Conclusões

- Visão geral sobre tecnologia biométrica e suas modalidades
- Técnica eficiente e simples para extração das linhas palmares
- Resultados promissores
- Facilidade de implementação

Trabalhos Futuros

- Aumentar a base de dados
- Utilizar diferentes técnicas para compensar problemas de iluminação e foco
- Utilizar diferentes técnicas para classificação
- Combinação deste método com outras modalidades

OBRIGADO