

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Amanda Canestraro

SISTEMA BIOMÉTRICO BASEADO NA ANÁLISE DA GEOMETRIA DA
MÃO

CURITIBA

2013

Amanda Canestraro

SISTEMA BIOMÉTRICO BASEADO NA ANÁLISE DA GEOMETRIA DA MÃO

Trabalho de Conclusão de Curso de
Engenharia Elétrica, Departamento de
Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Giselle Lopes
Ferrari Ronque

CURITIBA
2013

Amanda Canestraro

SISTEMA BIOMÉTRICO BASEADO NA ANÁLISE DA GEOMETRIA DA MÃO

TRABALHO APRESENTADO AO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA, DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, COMO REQUISITO À OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE GRADUAÇÃO.

COMISSÃO EXAMINADORA

PROFA. DRA. GISELLE LOPES FERRARI RONQUE

PROF. DR. JOÃO DA SILVA DIAS

PROF. DR. ALESSANDRO ZIMMER

CURITIBA, MARÇO DE 2013.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha orientadora Giselle Ferrari pela oportunidade e também pela ajuda e incentivo durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor João da Silva Dias que me auxiliou a realizar a classificação dos dados e tornou possível a realização dos testes do sistema utilizando redes bayesianas.

A todos os voluntários que aceitaram o convite de participar do trabalho fornecendo imagens de suas mãos tornando possível a coleta de dados para desenvolvimento e testes do sistema.

A meus pais, minha irmã e meu namorado por sempre me incentivarem a concluir este projeto, pela motivação, paciência, preocupação e também pela contribuição com as imagens para o início do desenvolvimento do sistema.

A todos aqueles, familiares e amigos, que de alguma forma contribuíram com o sucesso desse projeto e também estiveram presentes de alguma forma durante todos esses anos da graduação.

RESUMO

A identificação pessoal através da identificação biométrica automatizada é um método cada vez mais importante na sociedade atual. As características biométricas são características inerentes que são únicas e intransferíveis. A biometria realiza a identificação do indivíduo pelo que ele é, e não pelo o que ele possui ou sabe. O sistema de reconhecimento biométrico através da geometria da mão foi um dos primeiros métodos de biometria a ser implementado e é utilizado para controle de acesso em empresas, bancos e aeroportos. Este projeto propõe um sistema biométrico de verificação de identidade baseado nas características da geometria da mão, através do desenvolvimento de um *software* em *C Sharp* no *Visual Studio 2010* para aquisição das imagens por uma *webcam Microsoft LifeCam VX-2000* e processamento das mesmas para extração de primitivas. Os dados extraídos são cadastrados no banco de dados associados a uma identidade. O que diferencia o sistema de outros existentes é que não utiliza pinos para fixar a posição da mão e dos dedos, possibilitando liberdade de movimento ao usuário. Para desenvolver e testar o sistema foram capturadas imagens de 33 voluntários em uma sessão com 5 amostras da mão direita. Para testar o sistema foram utilizadas redes *bayesianas*. A taxa de acertos do sistema, ou seja, a probabilidade do sistema acertar a verificação entre todos os usuários cadastrados no sistema, é de 81,54%, sendo baixa para sistemas biométricos. Para melhorar o desempenho do sistema é necessário melhorar a metodologia de aquisição e o número de aquisições.

Palavras-chave: biometria, sistema biométrico, geometria da mão, identificação pessoal.

ABSTRACT

Personal identification through automated biometric identification is a method more and more important in the current society. Biometric characteristics are inherent characteristics that are unique and non-transferable. Biometric makes the identification of a person by what it is and not by what it has or it knows. The biometric recognition system by hand geometry was one of the first methods of biometrics being implemented and it is used for access control in companies, banks and airports. This project presents a biometric authentication system based on hand geometric features of the human hand. The hand image captured from a Microsoft LifeCam VX-2000 webcam was processed and geometry features were extracted. The extracted data are registered in the database associated to an identity. The proposed system distinguishes itself from other similar systems mainly because it doesn't use pegs or pins to fix the positions of the hand and fingers, allowing freedom of movement for the user. In our hand image database, 33 images from volunteers were collected in one session with five samples for right hand. Bayesian networks were used to test the system. The system hit ratio is 81,54% being low for biometric systems. To improve the system performance is essential improve the acquisition methodology and the number of acquisitions.

Key-words: biometrics, biometric system, hand geometry, personal authentication.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MÃOS FALSAS UTILIZADAS PARA FRAUDAR SISTEMA BASEADO EM GEOMETRIA DA MÃO	14
FIGURA 2 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO FUNCIONAMENTO BÁSICO DO SISTEMA.....	16
FIGURA 3 - ETAPAS PRINCIPAIS DE UM SISTEMA BIOMÉTRICO	21
FIGURA 4 - TAXAS DE ERRO: FAR, FRR E EER.....	23
FIGURA 5 - CARACTERÍSTICA DE OPERAÇÃO DO RECEPTOR – ROC.....	24
FIGURA 6 - AQUISIÇÃO DA IMAGEM UTILIZANDO PINOS	25
FIGURA 7 - SUPORTE VISTA FRONTAL E VISTA LATERAL.....	28
FIGURA 8 - FLUXOGRAMA DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS.....	30
FIGURA 9 - IMAGEM COLORIDA E IMAGEM EM TONS DE CINZA.....	31
FIGURA 10 - HISTOGRAMA DA IMAGEM EM ESCALA DE CINZA GERADO PELO SOFTWARE.....	32
FIGURA 11 - IMAGEM BINARIZADA	34
FIGURA 12 - SUAVIZAÇÃO DA IMAGEM.....	35
FIGURA 13 - <i>PIXEL</i> VIZINHOS A SEREM ANALISADOS.....	36
FIGURA 14 - RESULTADO DA APLICAÇÃO DA ETIQUETAGEM DE COMPONENTES	36
FIGURA 15 - DETECÇÃO DE BORDAS ATRAVÉS DO MÉTODO <i>CANNY</i>	38
FIGURA 16 - POSSIBILIDADES DE AFINAMENTO DE <i>PIXELS</i>	39
FIGURA 17 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO DE AFINAMENTO.....	39
FIGURA 18 - APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS A UMA CURVA QUALQUER	41
FIGURA 19 - REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA DOS VETORES NO PLANO CARTESIANO.....	41
FIGURA 20 – TRATAMENTO COM RELAÇÃO AO QUADRANTE.....	43
FIGURA 21 – RESULTADO DO MÉTODO DOS+ APLICADO NO SENTIDO ANTI-HORÁRIO. A) PONTOS ENCONTRADOS DESTACADOS NA IMAGEM. B) GRÁFICO RESULTANTE DA APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	44
FIGURA 22 - RESULTADO DO MÉTODO DOS+ APLICADO NOS DOIS SENTIDOS DA CURVATURA. A) PONTOS ENCONTRADOS DESTACADOS NA IMAGEM. B) GRÁFICO RESULTANTE DA APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	45
FIGURA 23 - PONTOS DE ALTA CURVATURA	46
FIGURA 24 - MEDIDAS EXTRAÍDAS DA GEOMETRIA DA MÃO	47
FIGURA 25 - PONTAS DO DEDO E PONTOS DE VALE.....	48
FIGURA 26 - DEFINIÇÃO DAS BASES DOS DEDOS	49
FIGURA 27 - COMPRIMENTO E LARGURA DOS DEDOS.....	49
FIGURA 28 – CÁLCULO DA LARGURA DA PALMA DA MÃO.....	50
FIGURA 29 - COMPRIMENTO DA MÃO E COMPRIMENTO DA PALMA DA MÃO	51
FIGURA 30 – CARACTERÍSTICAS EXTRAÍDAS DA MÃO.....	52
FIGURA 31 - REDE <i>BAYESIANA</i> DO SISTEMA	55
FIGURA 32 - TELA INICIAL DO <i>SOFTWARE</i>	58
FIGURA 33 - TELA DE CADASTRO.....	59

FIGURA 34 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO BANCO DE DADOS.....	60
FIGURA 35 - TELA DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS	61
FIGURA 36 - CURVA ROC.....	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS	20
TABELA 2 - TABELA DE SENSIBILIDADE DAS VARIÁVEIS DO SISTEMA	56
TABELA 3 - ESQUEMÁTICO DOS RESULTADOS DOS TESTES (TABELA 2X2).....	62
TABELA 4 - RESULTADOS DOS TESTES DO SISTEMA PROPOSTO.....	63
TABELA 5 - COMPARAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS EXTRAÍDAS E O TIPO DE CLASSIFICADOR UTILIZADO NOS SISTEMAS UTILIZADOS PARA COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....	65

LISTA DE SIGLAS

C# - *C Sharp* – Linguagem de Programação orientada a objeto

DOS – Difference of Slopes

EER – Equal Error Rate

FAR - False Accept Rate

FRR – False Reject Rate

RB – Rede Bayesiana

ROC – Receiver Operating Characteristic

SQL - Structured Query Language

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.2	MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	15
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos.....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	BIOMETRIA.....	18
2.2	SISTEMAS BIOMÉTRICOS.....	20
2.2.1	Classificação	22
2.2.2	Desempenho	22
2.3	GEOMETRIA DA MÃO	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	ESPECIFICAÇÃO DO SOFTWARE.....	27
3.2	EQUIPAMENTO	27
3.3	DESENVOLVIMENTO DO <i>SOFTWARE</i>	29
3.3.1	Aquisição das Imagens.....	29
3.3.2	Processamento de Imagens	30
3.3.2.1	Conversão para escala de cinza	30
3.3.2.2	Histograma	32
3.3.2.3	Binarização (<i>Thresholding</i>)	32
3.3.2.4	Suavização (<i>Smooth</i>)	34
3.3.2.5	Etiquetagem de Componentes (<i>Labelling</i>)	35
3.3.2.6	Detecção de Bordas	37
3.3.2.7	Afinamento (<i>Thinning</i>)	38
3.3.2.8	Extração do Grau de Curvatura	40
3.4	EXTRAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS	47
3.5	BANCO DE DADOS.....	52
3.6	CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS	53
3.7	REDES <i>BAYESIANAS</i>	54
3.8	FUNCIONAMENTO DO <i>SOFTWARE</i>	57

3.8.1 Tela Inicial.....	57
3.8.2 Cadastrar Usuário	58
3.8.3 Processamento da Imagem	60
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	62
5 CONCLUSÃO	67
5.1 TRABALHOS FUTUROS	68
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

O fato de associar uma identidade a um indivíduo é chamado de identificação pessoal. A identificação pessoal é de extrema importância em diversas situações enfrentadas diariamente, desde acessos a contas bancárias até o acesso ao local de trabalho. É natural para um indivíduo realizar a identificação de outro através de suas características. Desde o início da civilização, utiliza-se a face como meio de reconhecimento para diferenciar pessoas conhecidas das desconhecidas. Porém, atualmente vive-se em uma sociedade eletronicamente interconectada onde a população tem aumentado consideravelmente o que vem dificultando a identificação pessoal.

Com a tecnologia crescendo cada vez mais no campo dos sistemas de segurança, a identificação biométrica automatizada tem sido amplamente utilizada como meio de identificação pessoal. A biometria é algo recente e realiza a identificação do indivíduo pelo que ele é, e não pelo o que ele possui ou sabe.

Possuem-se senhas para realizar diversos acessos, porém há uma grande quantidade de senhas a serem lembradas, além de muitas vezes a mesma senha ser utilizada para diversos fins o que diminui a segurança da mesma.

Esse problema pode ser solucionado através da utilização de características humanas inerentes que são únicas e intransferíveis: as características biométricas. Entre elas pode-se destacar face, íris, retina, impressão digital, palma da mão, geometria da mão, veias da mão, voz e assinatura (MATOS, 2011).

Além do mais, o uso de características biométricas para identificação dificulta a ocorrência de fraudes e é capaz de deter crimes, visto que a biometria é uma das formas mais seguras e confiáveis de identificação de um indivíduo.

Tecnologias biométricas estão se tornando uma solução de identificação pessoal com alta segurança. Conforme o nível de fraudes aumenta, a necessidade de tecnologias para identificação pessoal com alta tecnologia se torna evidente.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Para que um sistema biométrico seja eficiente ele deve combinar precisão, e velocidade, e ao mesmo tempo ser inofensivo para os usuários, aceito pela população e suficientemente robusto contra métodos fraudulentos e ataques (PRABHAKAR et al., 2003).

Um sistema de identificação pessoal precisa levar em consideração a possibilidade de fraude do mesmo, pois mesmo sendo baseado em características biométricas, o sistema está sujeito a tentativas de fraude e ataques. O sistema precisa ser confiável e realizar o reconhecimento correto dos indivíduos.

Fraudar um sistema biométrico não é algo tão simples como clonar um cartão de crédito ou descobrir uma senha. É necessário certo trabalho por parte de quem está tentando fraudar o sistema. Fraudar um sistema biométrico através de impressão digital é muito mais fácil devido ao fato que se deixa as digitais em tudo que se toca.

Através da visualização da Figura 1 é possível verificar que a identificação por geometria da mão já foi fraudada através de um molde de gesso e de um cartão com o formato de uma mão falsa (CHEN et al., 2005). A identificação por impressão artificial já foi fraudada através de um dedo artificial onde as digitais foram capturadas através de silicone ou goma (MATSUMOTO et al., 2002).

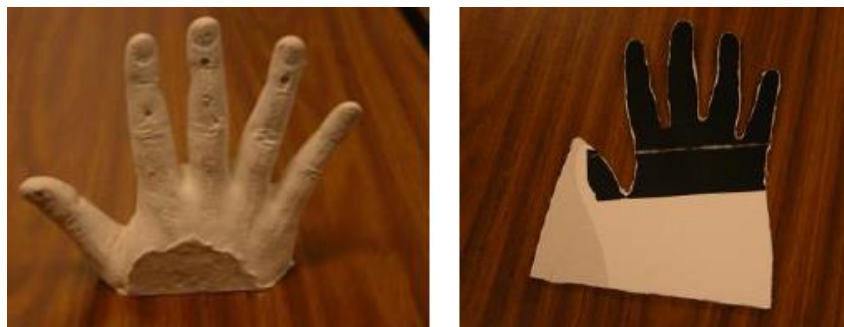


FIGURA 1 - MÃOS FALSAS UTILIZADAS PARA FRAUDAR SISTEMA BASEADO EM GEOMETRIA DA MÃO
FONTE: CHENG (2005)

Outra barreira enfrentada pelos sistemas biométricos é a aceitação da população. Muitos métodos são considerados invasivos, como por exemplo, o escaneamento da íris que utiliza raios infravermelhos, e outros são considerados até

mesmo anti-higiênicos (YANO, 2011). Portanto, a construção de um equipamento de captura da característica biométrica o menos invasiva possível torna o mesmo aceitável pelos usuários e está é uma das intenções deste projeto.

Os sistemas baseados no reconhecimento da mão podem apresentar baixo custo devido ao equipamento utilizado na aquisição, que pode ser um *scanner* ou uma câmera (MATOS, 2011). Este projeto utiliza uma *webcam* simples da *Microsoft* encontrada comercialmente com facilidade por um preço acessível.

1.2 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Com a saturação das senhas devido ao crescimento da população e também com a necessidade de segurança nas tecnologias de identificação pessoal devido às inúmeras tentativas de fraude e ataques, a identificação biométrica automatizada se tornou uma solução.

A identificação biométrica através da geometria da mão apresenta diversas vantagens sobre outras formas de biometria. As características presentes nas mãos são mais numerosas do que as encontradas nas impressões digitais e o equipamento para captura é mais barato do que o utilizado para reconhecimento da íris. Essas características podem ser identificadas mesmo em imagens com baixa resolução (LE-QING; SAN-YUAN, 2010) e acredita-se que a geometria da mão possui um padrão estável durante o tempo de vida adulta (NACIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL, 2006). Desta forma, mostrando-se um método eficiente para banco de dados não muito numerosos (BOREKI, 2003), como para acessos em empresas e prédios. Também é adequada para integração com outras biometrias, principalmente impressão digital e impressão palmar e não é relacionada a registros policiais e criminais (COSTA et al., 2006) sendo um sistema bem aceito pelos usuários (LE-QING; SAN-YUAN, 2010).

Este projeto será desenvolvido em uma área promissora, que está em constante desenvolvimento para transpor as barreiras encontradas atualmente e com certeza será uma das tecnologias que será utilizada em um futuro breve.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo do projeto é propor e implementar um sistema biométrico de verificação de identidade baseado nas características da geometria da mão, através do desenvolvimento de um *software* para aquisição e processamento de imagens e adaptação de equipamentos existentes para captura das mesmas.

O sistema irá capturar a imagem, realizar o processamento da mesma para extração das características, consultar o banco de dados e utilizando redes bayesianas apresentará o resultado. O diagrama de blocos do sistema pode ser visualizado na Figura 2.

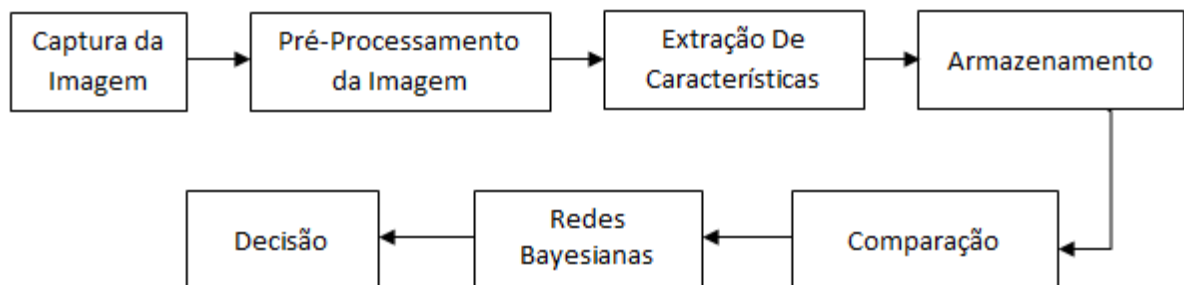


FIGURA 2 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO FUNCIONAMENTO BÁSICO DO SISTEMA
FONTE: O autor (2012)

1.3.2 Objetivos Específicos

- Construir um equipamento capaz de obter uma imagem que possua o contorno da mão nítido;
- Definir as características relevantes presentes na geometria da mão que representam o padrão para comparação e são capazes de discriminar uma pessoa de outras;
- Desenvolver o algoritmo para pré-processamento, análise das imagens, extração do vetor de características e cadastramento;

- d) Montar a base de dados para desenvolvimento e teste do sistema;
- e) Autenticar ou rejeitar o indivíduo através das características extraídas da imagem fornecida com base nas características cadastradas no banco de dados, através da utilização de redes *bayesianas*;
- f) Determinar o desempenho do sistema biométrico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 BIOMETRIA

O termo biometria é derivado das palavras gregas *bio* (vida) e *metria* (medida), ou seja, medida da vida, e é o estudo estatístico das características físicas ou comportamentais dos seres vivos e pode ser utilizada em uma grande variedade de aplicações. (SILVA et al., 2007).

Os termos “biométrico” e “biometria” tem sido usado desde o início do século 20 para se referir ao campo de desenvolvimento de métodos estatísticos e matemáticos aplicáveis para análise de dados de problemas nas ciências biológicas. Recentemente, o termo “biométrico” tem também sido usado para se referir ao campo emergente de tecnologia devotado para a identificação de indivíduos usando traços biológicos, os quais baseados no escaneamento da retina ou da íris, impressões digitais ou reconhecimento da face (THE INTERNATIONAL BIOMETRIC SOCIETY, 2012).

Segundo o Consórcio Biométrico (BIOMETRIC CONSORTIUM), “biometria são métodos automatizados de reconhecimento de uma pessoa baseados em uma característica fisiológica ou comportamental”.

Portanto, as características usadas para a biometria podem ser classificadas em dois tipos:

- Fisiológicas – relacionadas a aspectos físicos do corpo da pessoa, como a face, a impressão digital e a textura da íris;
- Comportamentais – relacionadas ao modo de agir, desenvolvidas ao longo da vida, como a assinatura manuscrita e a dinâmica da digitação.

O problema de resolver a identidade de uma pessoa pode ser classificado em dois tipos distintos de problemas com diferentes complexidades: verificação e reconhecimento.

A verificação ou autenticação se refere ao problema de confirmação ou negação de uma identidade reivindicada, isto é, saber se o indivíduo realmente é

quem ele diz que é. Já o reconhecimento ou identificação se refere ao problema de estabelecimento de uma identidade, ou seja, saber qual a identidade de determinado indivíduo.

Existem três métodos distintos de autenticação (BOREKI, 2003):

- O que o indivíduo possui;
- O que o indivíduo sabe;
- O que o indivíduo é.

O que o indivíduo possui trata-se de algum objeto que a pessoa possui como cartões de acessos e *token*, que pode possuir problemas de segurança através de empréstimo ou roubo.

O que o indivíduo sabe são senhas e palavras-chaves, que representam um problema de segurança pelo fato de a mesma senha ser utilizada para diversos fins, e também podem ser passadas para conhecidos e podem ser esquecidas.

O que o indivíduo é corresponde ao tema deste trabalho, trata-se de uma característica inerente à pessoa, que é intrasferível e única, uma característica biométrica, que é muito difícil de ser fraudada.

Para saber a eficiência de uma característica biométrica para realizar a identificação pessoal, são requisitos básicos (JAIN; PANKANTI; BOLLE, 1999):

- Universalidade: a característica deve estar presente em todas as pessoas;
- Singularidade: duas pessoas não podem possuir as mesmas características;
- Permanência: as características devem ser invariantes com o tempo;
- Mensurabilidade: a característica pode ser medida quantitativamente.

Na prática, há outros requisitos que um sistema biométrico precisa atender:

- Desempenho: precisão da identificação, os recursos requeridos para realizar uma identificação com precisão aceitável e o trabalho ou fatores ambientais que afetam a precisão da identificação.
- Aceitabilidade: indica a aceitação das pessoas com relação ao método de captura das características, em relação à privacidade e higiene.
- Evasão: o quão fácil é enganar o sistema através de técnicas fraudulentas.

Os principais tipos de biometria existentes que estão sendo utilizados para identificação pessoal são: impressão digital, reconhecimento de face, geometria da mão, reconhecimento de voz, íris, retina, assinatura e veias da mão (MATOS, 2011).

Cada biometria tem seus pontos fortes e fracos e, portanto, a escolha de qual biometria utilizar deve ser feita com base na aplicação.

Com base nos conceitos apresentados acima, a Tabela 1 apresenta a comparação entre os diferentes tipos de biometria:

TABELA 1 - COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS

Biometria	Universalidade	Singularidade	Permanência	Mensurabilidade	Desempenho	Aceitação	Evasão
Impressão Digital	Média	Alta	Alta	Média	Alta	Média	Média
Face	Alta	Baixa	Média	Alta	Baixa	Alta	Alta
Geometria mão	Média	Média	Média	Alta	Médio	Médio	Médio
Voz	Média	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Alta	Baixa
Iris	Alta	Alta	Alta	Média	Alta	Baixa	Alta
Retina	Alta	Alta	Média	Baixa	Alta	Baixa	Alta
Assinatura	Baixa	Baixa	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa
Veias	Média	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Alta	Baixa

FONTE: MATOS (2011)

2.2 SISTEMAS BIOMÉTRICOS

Um sistema biométrico pode ser dividido em algumas etapas principais, as quais serão utilizadas no desenvolvimento deste projeto. Essas etapas são (YANO, 2011):

1. Aquisição das amostras: adquirir as imagens das quais serão retiradas as características que irão compor o banco de dados.
2. Pré-processamento: é realizado o tratamento das informações adquiridas caso haja necessidade, através de ajuste de resolução, alinhamento da imagem, foco, brilho, entre outros.

3. Extração de características: as informações relevantes da amostra adquirida são extraídas, formando um vetor de características que irá representar o indivíduo. A extração é realizada através da implementação de um algoritmo para análise de imagens.
4. Armazenamento: os vetores extraídos são armazenados em um banco de dados associados a uma identidade.
5. Comparação: o vetor obtido é comparado com os vetores armazenados no banco de dados e uma pontuação será atribuída através de um algoritmo que realiza o reconhecimento de padrões. A pontuação irá indicar a proximidade das amostras.
6. Decisão: a amostra será aceita ou rejeitada de acordo com um critério de classificação para a pontuação obtida.

A Figura 3 apresenta as etapas de um sistema biométrico, apresentando a parte de cadastro e a parte de identificação.

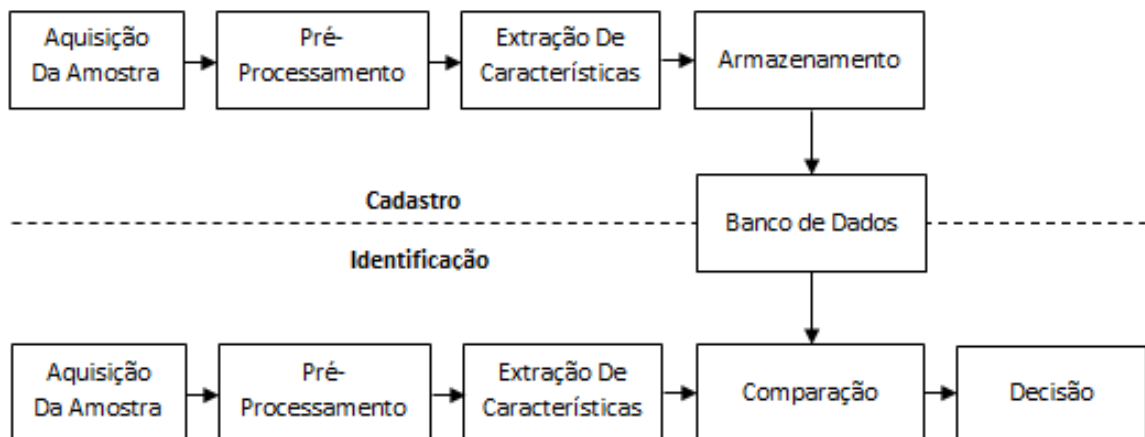


FIGURA 3 - ETAPAS PRINCIPAIS DE UM SISTEMA BIOMÉTRICO
FONTE: O autor (2012)

Um sistema biométrico depende ainda de um bom classificador para que seja realizada a autenticação corretamente e precisa ter seu desempenho determinado para que seja possível saber sua eficiência. A seguir serão detalhados esses dois itens importantes de um sistema biométrico.

2.2.1 Classificação

Para que o sistema biométrico seja capaz de realizar a verificação dos indivíduos é necessário realizar a classificação do candidato. A classificação é feita através de um classificador que verifica se o candidato pertence ou não a uma classe através do reconhecimento de padrões.

As características escolhidas para formar o padrão que será utilizado para comparação dos usuários devem ser representativas da característica biométrica utilizada, que devem ser capazes de diferenciar um indivíduo de outro. No reconhecimento de padrões, isto significa que os valores extraídos devem apresentar alta variabilidade interclasse, ou seja, grande variação entre dados de diferentes indivíduos, e baixa variabilidade intraclasse, isto é, pouca variação entre diferentes amostras de uma mesma pessoa (YANO, 2011).

O classificador do sistema irá atribuir uma pontuação para o vetor de características que está sendo testado em relação ao vetor de características de referência. Conforme a pontuação decide-se se o indivíduo é aceito ou rejeitado.

2.2.2 Desempenho

Há duas taxas de erros que determinam o desempenho de um sistema biométrico: a Taxa de Falsa Aceitação e a Taxa de Falsa Rejeição.

A Taxa de Falsa Aceitação (*False Accept Rate* – FAR) representa a probabilidade do sistema declarar incorretamente o reconhecimento de um indivíduo com relação ao total de tentativas feitas. Ou seja, é quando o sistema reconhece alguém que não está cadastrado no banco de dados.

A Taxa de Falsa Rejeição (*False Reject Rate* – FRR) representa a probabilidade do sistema declarar incorretamente a rejeição de um indivíduo com relação ao total de tentativas feitas. Ou seja, é quando o sistema rejeita alguém que está cadastrado no banco de dados.

A Figura 4 apresenta o gráfico das taxas de erro. O ponto do gráfico em que as curvas de FAR e FRR se cruzam, apresentando o mesmo valor, é chamado de Taxa de Erros Iguais (*Equal Error Rate – EER*).

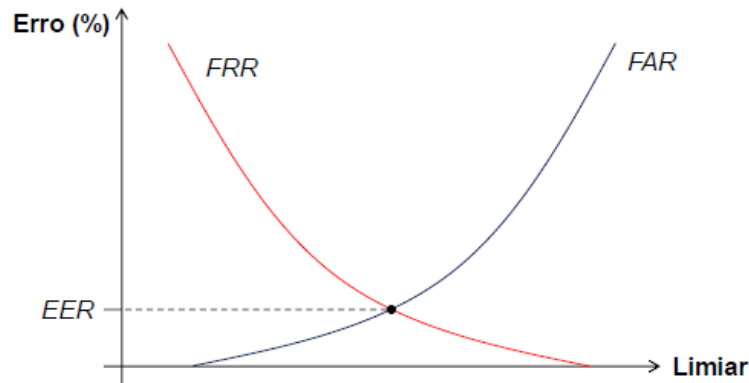


FIGURA 4 - TAXAS DE ERRO: FAR, FRR E EER
FONTE: YANO (2011)

Conforme pode ser observado na Figura 4, a FAR tende a aumentar à medida que aumenta-se o limiar de decisão enquanto a FRR tende a diminuir.

Quanto maior for o valor da FAR maior é a conveniência do sistema, ou seja, não ocorrerão erros de usuários cadastrados que serão negados. Porém, há brechas de segurança com a admissão de usuários não cadastrados. Quanto maior for a FRR, maior é a segurança do sistema, porém haverão usuários cadastrados que terão sua identificação rejeitada.

A FAR é um problema muito mais sério do que a FRR. É desejado que o sistema mantenha a FAR no limite mínimo possível. Isso pode ser conseguido através da determinação de um limite de decisão alto que só permita o reconhecimento de combinações muito próximas e as outras são rejeitadas. (ASHISH, 2007).

A Característica de Operação do Receptor (*Receiver Operating Characteristic – ROC*) é um gráfico que representa a relação entre a FAR e a FRR e é outro meio importante para avaliação de um sistema biométrico. (YANO, 2011). Ela também pode ser usada para comparação entre diferentes sistemas biométricos.

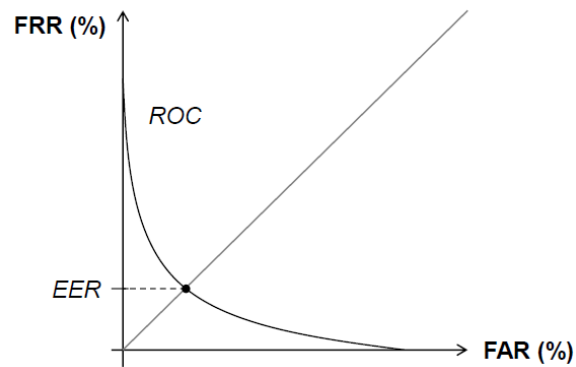


FIGURA 5 - CARACTERÍSTICA DE OPERAÇÃO DO RECEPTOR – ROC
 FONTE: YANO (2011)

Em uma curva ROC quando a FAR é mínima, a FRR é máxima e quando a FAR é máxima a FRR é mínima, conforme pode ser visualizado na Figura 5. Neste gráfico a ERR é a intersecção da curva com a bissetriz entre os eixos. O desempenho do sistema será melhor quanto mais próxima da origem do gráfico for a EER (YANO, 2011).

2.3 GEOMETRIA DA MÃO

O reconhecimento através da geometria da mão é utilizado desde o final dos anos 80. Os sistemas são largamente implementados pelo seu fácil uso, aceitação do público e integração de capacidades (NACIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL, 2006).

O sistema de reconhecimento biométrico através da geometria da mão foi um dos primeiros métodos de biometria a ser implementado entre todas as formas de biometria. Em 1985, David Sidlauskas desenvolveu e patenteou o conceito de geometria da mão. Muitas companhias implementaram o sistema de geometria da mão para diferentes propósitos. Em 1996 o sistema foi utilizado nos Jogos Olímpicos para permitir acesso a Vila Olímpica somente a pessoas autorizadas. *Walt Disney World* tem usado por muitos anos um sistema com tecnologia similar para reconhecimento da geometria do dedo para acelerar e facilitar a entrada no parque e para identificar convidados e prevenir a fraude de bilhetes (NACIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL, 2006). Atualmente pode-se encontrar a utilização da

geometria da mão para controlar o acesso a áreas nucleares e em aeroportos (RIBEIRO, 2007), empresas, bancos e residências (IBIOMÉTRICA, 2010).

Existem diversas vantagens para utilização da biometria através da geometria da mão, acredita-se que as características presentes na geometria da mão possuem um padrão estável durante o tempo de vida adulta (NACIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL, 2006), não requer um banco de dados muito grande nem complexo visto que são poucos dados a serem armazenados, não é intrusiva, sendo amigável e fácil de ser utilizada (BOREKI, 2003) e é um sistema bem aceito pelos usuários (LE-QING; SAN-YUAN, 2010). Além de ser uma tecnologia mais acessível financeiramente, apresentando um baixo custo devido ao equipamento utilizado na aquisição, que pode ser um *scanner* ou uma câmera (MATOS, 2011).

As desvantagens do sistema é que a utilização de anéis, bem como cortes e ferimentos, podem atrapalhar a análise e o reconhecimento, além de não ser recomendado para sistemas com grande quantidade de usuários por possuir pouca distinção em grupos (BOREKI, 2003).

Alguns métodos para aquisição das imagens da mão (SANCHEZ-REILO; SANCHEZ-AVILA; GONZALE-MARCOS, 2000; JAIN; ROSS; PANKATI, 1999) utilizam pinos para fixação da mão em uma posição pré-definida, facilitando o posterior processamento da mesma, como pode ser observado na Figura 6. Porém, segundo SHI e WONG (2002), a utilização de pinos pode introduzir problemas devido ao fato de que os pinos irão deformar o formato da mão.



FIGURA 6 - AQUISIÇÃO DA IMAGEM UTILIZANDO PINOS
FONTE: JAIN; ROSS; PANKATI (1999)

Recentemente tem sido utilizado outro método, onde não há a necessidade de pinos e o usuário possui liberdade de movimento (MATOS, 2011; BOREKI, 2003;

SHI e WONG, 2002; KUMAR et al., 2006). As imagens podem ser capturadas por *scanners* ou câmeras. Este é o método de aquisição de imagens utilizado neste trabalho.

Diversas medidas podem ser extraídas da geometria da mão, entre elas pode-se citar a largura e o comprimento dos dedos, a área da mão, a largura e a altura da palma da mão e o comprimento da mão. Essas medidas podem ser extraídas em imagens bidimensionais, que é o caso deste trabalho, ou ainda em imagens tridimensionais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ESPECIFICAÇÃO DO SOFTWARE

Para o desenvolvimento do *software* escolheu-se a utilização da plataforma de desenvolvimento *Microsoft Visual Studio 2010* e a linguagem de programação *C Sharp* (C#), que é uma linguagem de alto nível, orientada a objetos.

No processamento das imagens empregou-se a biblioteca *EMGU CV* que é uma plataforma para processamento de imagens inteiramente escrita em C#, porém pode ser utilizada em outras linguagens. Ela faz parte da biblioteca de processamento de imagens *OpenCV*. A integração da biblioteca com o *Visual Studio* facilita o algoritmo de análise de imagens visto que a mesma possui várias funções necessárias no presente projeto.

O banco de dados utilizado possui duas tabelas: uma com os dados dos usuários e outra com os dados extraídos das imagens dos usuários. As duas tabelas estão relacionadas pelo *id* do usuário. O banco de dados foi desenvolvido no *SQLite*, que é uma biblioteca em linguagem C que implementa um banco de dados SQL embutido, é *software* livre, não necessita de instalação e possui fácil integração com o *Visual Studio*.

3.2 EQUIPAMENTO

Como já foi citado anteriormente, existem duas maneiras para a captura das imagens da mão, através de uma câmera ou de um *scanner*. Foi necessária a realização de testes para determinar qual o melhor equipamento a ser utilizado.

A imagem capturada precisa apresentar um contorno da mão nítido o suficiente para que o mesmo seja extraído corretamente durante o processamento da imagem e ao mesmo tempo a resolução da imagem não pode ser muito alta, pois resultará em um tempo de processamento alto.

Tendo isso em mente, primeiramente realizou-se um teste com um *scanner* de uma impressora multifuncional da *Hewlett-Packard*. Porém, as imagens adquiridas não tinham nitidez e foco no contorno da mão tornando os resultados insatisfatórios. Como a aquisição de um *scanner* com imagens de boa resolução seria financeiramente inviável, iniciaram-se os testes com as câmeras.

Optou-se por realizar testes com *webcams* por serem financeiramente viáveis e encontradas facilmente no mercado. A *webcam* escolhida para o desenvolvimento do projeto foi a *Microsoft LifeCam VX-2000*, que possui foco automático, resolução de captura de vídeo de 640 x 480 *pixels* e captura a imagem no padrão de cores RGB (*Red, Green, Blue*). Essa câmera apresentou imagens satisfatórias do contorno da mão, visto que as imagens adquiridas com esta câmera apresentaram boa definição do contorno da mão.

Com a câmera definida para a captura das imagens, iniciou-se a montagem do equipamento onde a câmera estará fixa e o usuário poderá posicionar a mão. Realizou-se a montagem de um suporte através de materiais já existentes. Fixou-se uma base de madeira em uma haste de alumínio onde a câmera foi presa. Em seguida a base de madeira foi coberta com papel preto fosco para não haver nenhuma reflexão de luz onde o usuário apoiará a mão e também para facilitar a separação da mão do fundo da imagem na hora do processamento. O suporte pode ser visualizado na Figura 7.



FIGURA 7 - SUPORTE VISTA FRONTAL E VISTA LATERAL
FONTE: O autor (2012)

Também foram realizados alguns testes para estudo da influência da iluminação nas imagens obtidas. Estes testes incluíram a inserção da câmera em uma caixa escura com iluminação sobre a base e testes de incidência de luz constante sobre a mão, com diferentes tipos de lâmpadas, com a câmera fora da caixa. Porém, em todos os testes a incidência direta da luz sobre o equipamento causava problemas de saturação da imagem e se fosse posicionada indiretamente causava a ocorrência de sombras. Portanto, nenhum dos testes apresentou bons resultados. Percebeu-se que não é necessária uma iluminação direta incidindo sobre a mão e a base, apenas a luz presente no ambiente é suficiente. Entretanto, evitar sombras sobre a imagem que está sendo capturada auxiliam no processamento.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O desenvolvimento do *software* envolve a parte de aquisição, cadastro e processamento de imagem. Nesta fase são apresentados os métodos escolhidos, a razão para escolha dos mesmos e a maneira como são implementados. Lembrando que a escolha dos métodos visa sempre o melhor desempenho possível do sistema.

3.3.1 Aquisição das Imagens

Para realizar a aquisição das imagens, utilizou-se um código disponível na *Internet* do programa *C# Webcam Capture* desenvolvido por Philip Pierce (PIERCE, 2003) que foi adicionado ao projeto do sistema biométrico no *Visual Studio* e adaptado conforme a necessidade. Esse programa captura a imagem de uma *webcam* conectada ao computador, mostrando a imagem a uma certa taxa de tempo, definida pelo usuário.

As imagens são adquiridas em uma resolução de 640 x 480 *pixels*.

3.3.2 Processamento de Imagens

O processamento digital de imagens consiste em um conjunto de técnicas para capturar, representar e transformar imagens com o auxílio do computador. A utilização dessas técnicas possibilita a extração e identificação de informações das imagens e melhora a qualidade visual de certos aspectos estruturais, melhorando o resultado final (PEDRINI; SCHWARTZ, 2008).

A imagem capturada precisa passar por um processamento para ser preparada para que seja possível extrair seu contorno e conseqüentemente as medidas necessárias.

A Figura 8 apresenta o fluxograma dos métodos utilizados para processamento das imagens até ser possível realizar a extração do contorno e a extração da curvatura das quais serão retirados os dados. A seguir estes métodos serão detalhados.

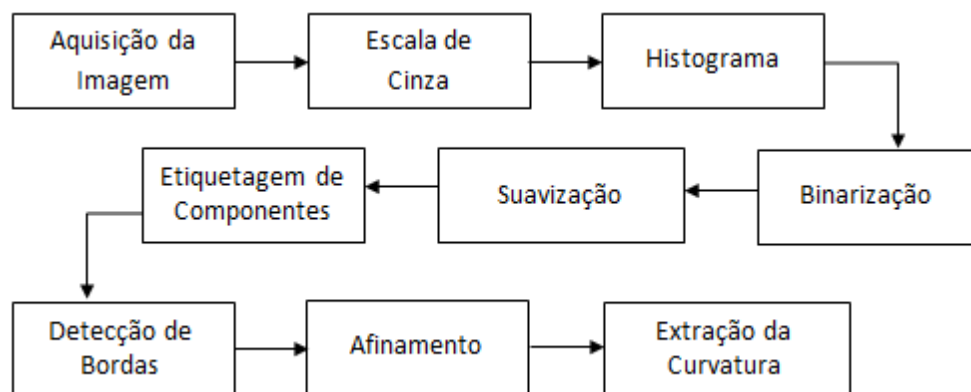


FIGURA 8 - FLUXOGRAMA DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS
FONTE: O autor (2013)

3.3.2.1 Conversão para escala de cinza

Como o sistema extrairá apenas os valores da geometria da mão, as cores da imagem são informações que não serão necessárias para o processamento da mesma. Portanto, a imagem é convertida para escala de cinza, descartando as cores.

Existem diversos padrões de representação de cores, neste trabalho, a imagem adquirida utiliza o padrão RGB (*Red, Green, Blue*) que reproduz várias cores através de três cores básicas: vermelha (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*). Cada *pixel* da imagem possui três *bytes*, um para cada uma das cores básicas e pode ser representado por três funções $R(x,y)$, $G(x,y)$ e $B(x,y)$, o valor em cada *byte* representa a quantidade de cor que aparecerá neste *pixel*. Todos os *bytes* podem possuir valores de 0 a 255. Se todas as cores forem 0 (zero) representam a cor preta e se todas forem 255 representam a cor branca. Para obter vermelho, por exemplo, basta colocar 255 na componente R do *pixel* e 0 (zero) nas componentes G e B.

No caso da escala de cinza, o *pixel* possui as três componentes (R, G e B) sempre com o mesmo valor, tendo como resultado um tom de cinza. Os valores da escala também variam de 0 a 255, sendo 0 (zero) correspondente a cor preta e 255 a cor branca. Para converter a imagem colorida em escala de cinza, é feita uma média simples entre os valores de RGB do *pixel* e esta média é atribuída como o novo valor do mesmo.

Para realizar a conversão da imagem adquirida para escala de cinza utilizou-se a função *Convert* da biblioteca EMGU, que converte a imagem de uma escala de cor para outra. Na Figura 9 é possível visualizar a conversão da imagem colorida para tons de cinza.

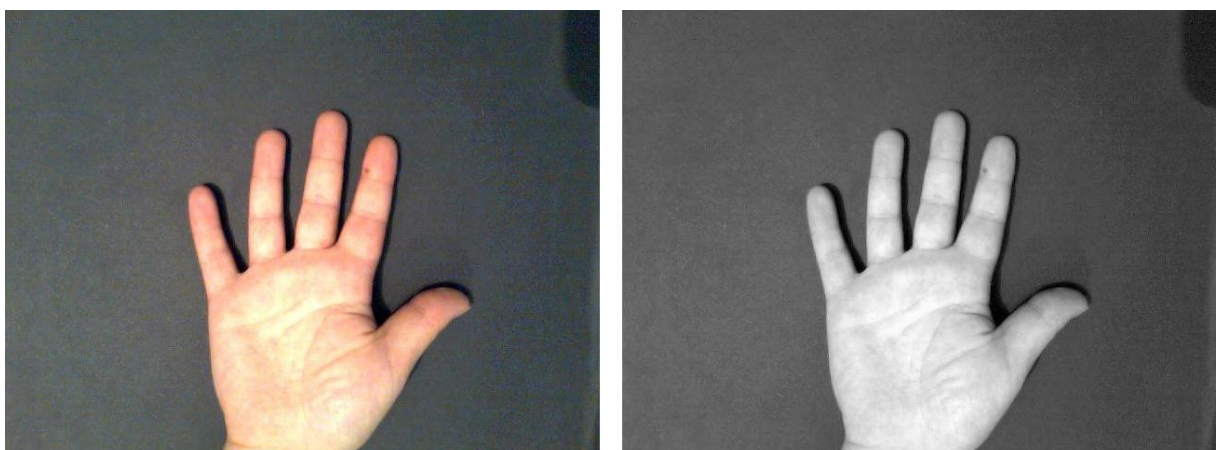


FIGURA 9 - IMAGEM COLORIDA E IMAGEM EM TONS DE CINZA
FONTE: O autor (2013)

3.3.2.2 Histograma

O histograma de uma imagem representa a distribuição dos níveis de cinza da imagem e geralmente é representado por um gráfico de barras que apresenta o número de *pixels* na imagem para cada nível de cinza. Através da visualização do histograma de uma imagem é possível visualizar sua qualidade quanto ao nível de contraste e quanto ao seu brilho médio.

O histograma obtido da imagem em tons de cinza, apresentada na Figura 9, pode ser visualizado na Figura 10.

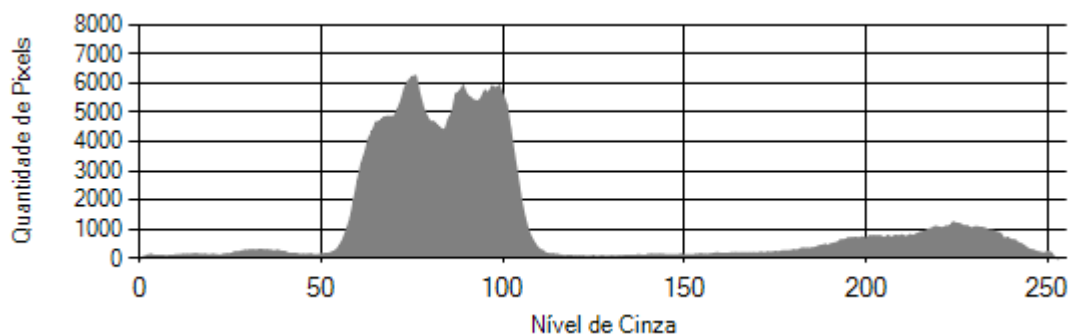


FIGURA 10 - HISTOGRAMA DA IMAGEM EM ESCALA DE CINZA GERADO PELO SOFTWARE
FONTE: O autor (2013)

O histograma será necessário para o processo de binarização que será detalhado na sessão a seguir.

3.3.2.3 Binarização (*Thresholding*)

A binarização consiste em separar as regiões de uma imagem quando esta apresenta duas classes: o fundo e o objeto; convertendo uma imagem em escalas de cinza para apenas dois níveis de cor: preto e branco. O método consiste na bipartição do histograma, convertendo os *pixels* cujo tom de cinza é maior ou igual a um determinado valor de limiar (*threshold*) em brancos (255) e os demais *pixels* em pretos (0).

A operação de limiarização pode ser descrita matematicamente como uma técnica de processamento de imagens na qual uma imagem de entrada $f(x,y)$ de N níveis de cinza produz na saída uma imagem $g(x,y)$, chamada de imagem binarizada, que apresenta dois níveis de cinza, conforme apresentado na equação 1.

$$\begin{aligned} g(x,y) &= 1, \text{ se } f(x,y) \geq T \\ &= 0 \text{ se } f(x,y) < T \end{aligned} \quad (1)$$

onde, $g(x,y)$ é a imagem limiarizada da saída e $f(x,y)$ a imagem de entrada.

A seleção correta do valor de limiar é crucial para que a binarização produza bons resultados. Entretanto, a determinação do valor de limiar não é simples de ser realizada, pois este valor varia para cada imagem conforme os tons da cor da mão da pessoa e também conforme as condições de iluminação na hora da obtenção da imagem.

Primeiramente testou-se a utilização do método de limiarização de Otsu (BIRDAL, 2009), um método que realiza a seleção automática do valor de limiar baseado na forma do histograma. Este método é rápido por operar com base no histograma e é fácil de ser implementado, possuindo poucas linhas de código. Porém ele assume que a iluminação é uniforme e que o histograma é tipicamente bimodal, isto é, o histograma apresenta duas concentrações de *pixels*, uma delas em torno de valores escuros e outra na região clara do histograma.

Como o histograma das imagens obtidas não é tipicamente bimodal, aplicando o método de Otsu houve perda no contorno das imagens com o valor de limiar encontrado. Portanto, escolheu-se a utilização de outro método para encontrar o valor de limiar.

Inicialmente, calculou-se a intensidade média da imagem que corresponde à média dos valores dos *pixels*. Observou-se que este valor não é o procurado, pois está localizado no meio da descida de um pico do histograma. Por isso, o algoritmo segue para o próximo valor no histograma até encontrar um valor que seja 30% menor que o anterior e este valor corresponde ao valor de limiar. O valor de 30% foi encontrado através de testes nas imagens. Os testes foram realizados sobre algumas imagens adquiridas com a iluminação presente no ambiente. Testou-se

alguns valores até encontrar o valor que separava corretamente o histograma de todas as imagens.

Com o valor de limiar definido, aplica-se o método *ThresholdBinary* da biblioteca EMGU, onde são passados o valor de limiar calculado como citado anteriormente e o valor do máximo nível de cinza presente na imagem. O método percorre toda a imagem, convertendo os *pixels* para branco ou preto conforme o valor de limiar, e retorna como resultado uma imagem binarizada.

O resultado da aplicação do método completo de binarização descrito acima em uma imagem em tons de cinza pode ser visualizado na Figura 11.



FIGURA 11 - IMAGEM BINARIZADA
FONTE: O autor (2013)

3.3.2.4 Suavização (*Smooth*)

Como é possível visualizar na Figura 11, após realizar a binarização da imagem, ainda resta algumas “sujeiras” que são os *pixels* que não foram reconhecidos como fundo no processo de binarização. Para retirar esses *pixels* que restaram e também para retirar ruídos para melhorar o contorno da mão, utiliza-se a suavização.

A suavização de uma imagem consiste na aplicação de um filtro passa-baixa para retirada dos ruídos. O filtro de média possui uma janela de determinado tamanho que irá percorrer toda a imagem e o elemento central dessa janela

receberá a média de todos os elementos da janela. Quanto maior for a janela, maior será a influência dos *pixels* vizinhos sobre este *pixel* e maior será o efeito de borrão na imagem.

Para realizar a suavização na imagem é utilizado o método *SmoothMedian* da biblioteca EMGU, que encontra o valor médio na vizinhança com uma janela quadrada de valor a ser determinado. No sistema é utilizada uma janela de tamanho 11 e o resultado pode ser visualizado na Figura 12.



FIGURA 12 - SUAVIZAÇÃO DA IMAGEM
FONTE: O autor (2013)

3.3.2.5 Etiquetagem de Componentes (*Labelling*)

Como é possível visualizar na Figura 12, a suavização não retirou toda a “sujeira” dos *pixels* do fundo da imagem. Para resolver esse problema foi utilizado o método de etiquetagem de componentes também conhecido como *labelling*.

A etiquetagem de componentes é um procedimento que consiste em determinar uma única etiqueta para cada objeto em uma imagem. Um objeto em uma imagem é um grupo de componentes conectados. Após etiquetar todos os objetos da imagem, é realizada a verificação do maior objeto e sabe-se que ele corresponde à mão. O objeto que corresponde à mão continua na cor branca e todos os outros devem fazer parte do fundo e são convertidos para a cor preta.

A etiquetagem é realizada seguindo os seguintes passos (PADILHA, 1998):

- a) percorrer a imagem;
- b) para cada *pixel* branco encontrado, analisar os vizinhos já visitados conforme apresentado na Figura 13.

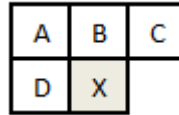


FIGURA 13 - *PIXEL* VIZINHOS A SEREM ANALISADOS
FONTE: O autor (2013)

- c) se todos os *pixels* vizinhos possuem valor 0, atribuir uma nova etiqueta a X;
- d) caso contrário, ler as etiquetas de A, B, C e D e atribuir a primeira etiqueta que for diferente de 0 a X;
- e) se entre A, B, C e D houver mais do que uma etiqueta diferente de 0, acrescentar a equivalência em uma lista de equivalências;
- f) quando terminar de percorrer a imagem, processar a lista de equivalências, definindo uma etiqueta única para cada grupo de etiquetas equivalentes;
- g) em seguida, percorrer a imagem novamente atribuindo as novas etiquetas.

Com as novas etiquetas atribuídas, é possível saber a quantidade de *pixels* em cada objeto e verificar qual deles é maior, correspondendo à mão, e converter todos os outros para *pixels* pretos, correspondendo ao fundo.

Na Figura 14 é possível observar o resultado da aplicação do método e verificar que os únicos *pixels* brancos da imagem correspondem à mão.



FIGURA 14 - RESULTADO DA APLICAÇÃO DA ETIQUETAGEM DE COMPONENTES
FONTE: O autor (2013)

3.3.2.6 Detecção de Bordas

A borda é o limite ou a fronteira entre duas regiões com propriedades relativamente distintas de níveis de cinza. A detecção de bordas é uma das partes mais importantes do sistema, pois é através do contorno da mão que serão extraídos todos os dados relevantes para reconhecimento dos padrões.

Se aplicado diretamente à imagem em escala de cinza, o algoritmo de detecção de borda resultaria em uma imagem difícil de ser analisada, com informações que não seriam úteis. Seriam incluídas as informações das juntas dos dedos e da palma da mão, que não interessam para a extração das características da geometria da mão.

Para resolver este problema, é aplicado o algoritmo de detecção de borda depois que a imagem foi binarizada e tratada. Assim, apresentando apenas o fundo e a mão bem distintos, resultando apenas no contorno da mão.

Existem diversos métodos de detecção de bordas e dentre todos escolheu-se por utilizar o Método *Canny*, o qual está presente na biblioteca EMGU e apresentou resultados satisfatórios, visto que conseguiu detectar a borda da imagem corretamente. Este método utiliza dois limiares diferentes, T_1 e T_2 , sendo T_2 maior que T_1 . Os pontos da borda que possuem valor maior que T_2 são mantidos como pontos da borda e qualquer outro ponto conectado a esses pontos da borda é considerado da borda se o valor do *pixel* for maior que T_1 . Isso evita que as bordas fiquem fragmentadas em múltiplos segmentos.

Utilizou-se os mesmos valores de limiar para todas as imagens, sendo $T_1 = 0$ (zero) e $T_2 = 255$, devido ao fato de que a imagem já foi binarizada e possui apenas *pixels* de duas cores: branco e preto.

Para implementar o método utilizando a EMGU, basta passar os dois limiares como parâmetros para a função e a mesma irá retornar o contorno da imagem, o resultado da aplicação do método pode ser visualizado na Figura 15.

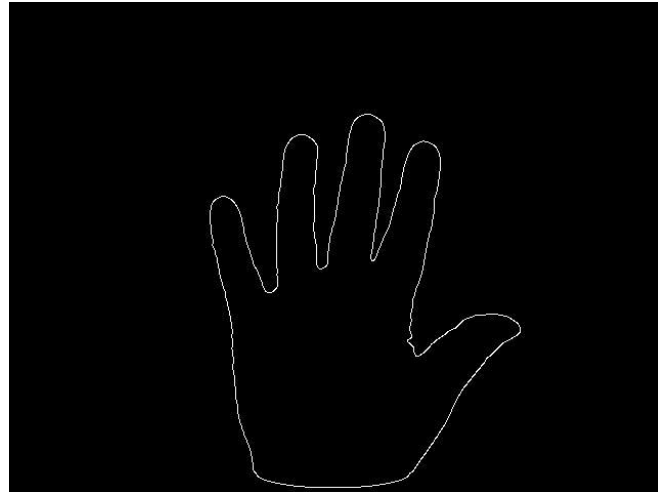


FIGURA 15 - DETECÇÃO DE BORDAS ATRAVÉS DO MÉTODO CANNY
FONTE: O autor (2013)

3.3.2.7 Afinamento (*Thinning*)

Com base no contorno da imagem serão extraídos os dados relevantes da geometria da mão e para tanto é necessário que o algoritmo percorra o contorno da imagem como se o mesmo fosse uma linha. Portanto, o contorno deve ser uma linha de apenas um *pixel* de largura em todos os pontos, para que a mesma possa ser percorrida.

Para que o algoritmo seja capaz de percorrer o contorno, cada *pixel* só pode ter dois *pixels* vizinhos em todas as suas direções. O método *Canny* extrai o contorno de maneira satisfatória, porém alguns *pixels* possuem mais do que dois vizinhos após a aplicação desse método.

Assim, é necessário tratar a imagem para que as informações do contorno possam ser retiradas. A técnica utilizada para realizar o tratamento da imagem é o afinamento (*thinning*) ou esqueletização.

O afinamento é uma técnica de redução da quantidade de *pixels* em uma imagem que consiste em remover todos os *pixels* redundantes produzindo uma nova imagem simplificada com o mínimo possível de *pixels*. A imagem é percorrida por uma máscara, de tamanho a ser definido, com a finalidade de analisar os valores dos *pixels* da vizinhança (FÉRRER, 2007).

Existem diversos métodos para realizar o afinamento de imagens, porém pode-se utilizar um algoritmo específico para este caso. Analisando as imagens, pode-se perceber que existe um padrão na maneira como os *pixels* estão relacionados com seus vizinhos. Como o contorno é direto e fechado, ou seja, o contorno inicia e termina no mesmo ponto, e também pelo fato de ter sido originado a partir de uma imagem binarizada, é possível deduzir que haverá um conjunto limitado de vizinhos que precisam ser tratados (BOREKI, 2003).

Os pontos que fogem a regra, ou seja, pontos do contorno que possuem mais do que dois vizinhos, podem ser representados por uma matriz 2x2, onde três *pixels* são brancos e apenas um é preto. As quatro possibilidades encontradas são apresentadas na Figura 16. Para resolver o problema, basta converter para preto o *pixel* branco da diagonal oposta ao *pixel* preto encontrado.

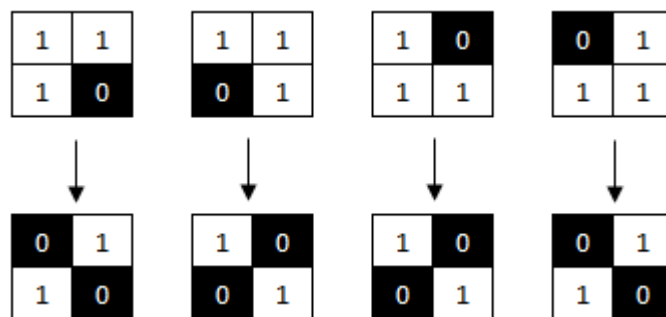


FIGURA 16 - POSSIBILIDADES DE AFINAMENTO DE *PIXELS*
FONTE: O autor (2013)

A Figura 17 apresenta o fluxograma do algoritmo para realizar o afinamento da imagem.

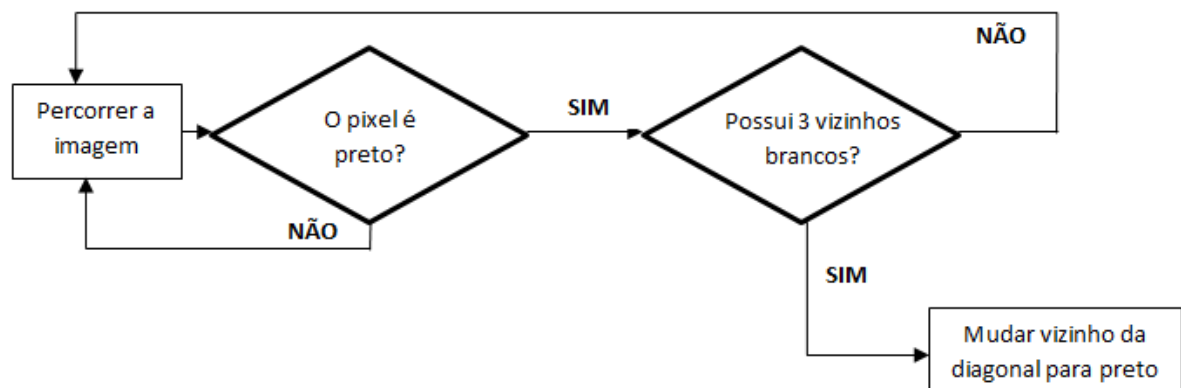


FIGURA 17 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO DE AFINAMENTO
FONTE: O autor (2013)

3.3.2.8 Extração do Grau de Curvatura

Para que seja possível extrair as características das imagens é necessário localizar os dedos na imagem. Para tanto utilizou-se uma técnica para identificar os pontos que representam uma curvatura dentro da imagem.

Existem diversos métodos para identificação do grau de curvatura em uma imagem, que podem ser visualizados em (PEDROSA e BARCELOS, 2009) e (JUNIOR, 2005). Neste trabalho, dentre os métodos existentes, optou-se por utilizar o método DOS (*Difference of Slopes*), que foi introduzido por O’Gorman em 1998, devido ao método ser simples e de fácil implementação em comparação com outros (ZIMMER, 2008).

O método DOS foi desenvolvido para estimar a curvatura de contornos fechados, ou seja, contornos que começam e terminam no mesmo ponto. Esse método consiste em percorrer o contorno da imagem com dois vetores de mesmo tamanho, calculando o menor ângulo formado entre os vetores. Os dois vetores que irão percorrer a imagem, $V1$ e $V2$, possuem o mesmo tamanho W e estão separados por uma distância de M pixels. O vetor $V1'$ representa a propagação do vetor $V1$ e dessa forma existe um ângulo θ , entre os vetores $V1'$ e $V2$. A extração do grau de curvatura consiste em encontrar todos os ângulos θ entre os vetores, para todos os pixels da imagem (BOREKI, 2003). A Figura 18 apresenta a aplicação do método DOS a uma curva.

O método DOS+ é um caso particular do método DOS, e o sinal “+” indica que o tamanho do espaço entre os vetores (M) é positivo, ao contrário do método DOS em que este tamanho é zero ou negativo (O’GORMAN, 1988). Portanto, o método utilizado neste trabalho corresponde ao método DOS+.

Os passos para execução do método DOS+ são:

1. posicionar o vetor $V1$ no primeiro pixel do contorno;
2. posicionar o vetor $V2$ em seguida do vetor $V1$, a M pixels de distância;
3. calcular o ângulo θ entre $V1'$ e $V2$;
4. deslocar $V1$ para o próximo pixel e deslocar $V2$ seguindo os passos anteriores.

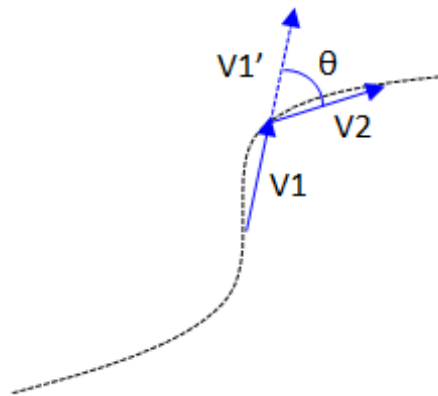


FIGURA 18 - APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS A UMA CURVA QUALQUER
FONTE: O autor (2013)

Todos os ângulos θ encontrados representam a curva do contorno do objeto.

Representando os vetores geometricamente no plano cartesiano e considerando que o início dos vetores está na origem dos eixos, é possível calcular os valores de α , β e θ através da aplicação de regras de trigonometria. A representação dos vetores pode ser visualizada na Figura 19.

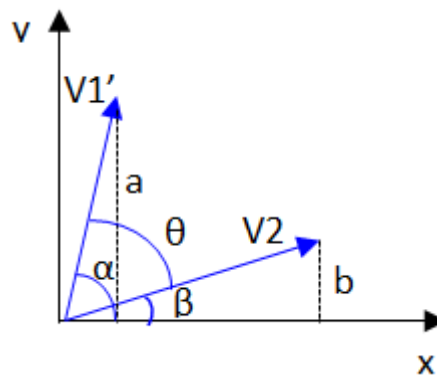


FIGURA 19 - REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA DOS VETORES NO PLANO CARTESIANO
FONTE: O autor (2013)

Observando a Figura 19 é possível perceber que α é o ângulo entre o vetor $V1'$ e o eixo x , β é o ângulo entre o vetor $V2$ e o eixo x e θ é o ângulo formado entre os vetores $V1'$ e $V2$.

Para encontrar o valor de α utiliza-se o triângulo formado entre o eixo x e a ponta do vetor $V1'$, como o triângulo é retângulo é possível utilizar a relação que o ângulo entre a hipotenusa do triângulo forma com os catetos, como pode ser visualizado na equação 2.

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\text{Cateto Oposto}}{\text{Cateto Adjacente}}\right) \quad (2)$$

onde, α é o ângulo formando entre o eixo x e o vetor V1', cateto oposto é a altura do vetor V1' e cateto adjacente é a largura do vetor V1'.

Utilizando a mesma relação para o vetor V2 é possível encontrar o valor de β . Com o valor de α e β é possível obter o valor de θ conforme mostram as equações 3, 4 e 5.

$$\theta = |\alpha| - |\beta|, \quad \text{se } \alpha > \beta \quad (3)$$

$$\theta = |\beta| - |\alpha|, \quad \text{se } \alpha < \beta \quad (4)$$

$$\theta = 0, \quad \text{se } \alpha = \beta \quad (5)$$

onde, α é o ângulo formando entre o eixo x e o vetor V1', β é o ângulo formando entre o eixo x e o vetor V2 e θ é o ângulo formando entre os vetores V1' e V2.

Este cálculo deve ser realizado para todo o contorno da mão resultando assim em um gráfico que será analisado para retirada das informações importantes.

O método DOS possui algumas peculiaridades, como por exemplo, em relação à mudança de quadrante referente ao arco-tangente, que pode causar variações abruptas no gráfico da curvatura prejudicando a análise do gráfico (BOREKI, 2003). Para solucionar este problema é feito um tratamento com relação ao quadrante em que os vetores se encontram, realizando a análise da direção e sentido de cada um dos vetores. Conforme o quadrante em que os vetores se encontram, o cálculo do ângulo θ é feito conforme pode ser observado na Figura 20.

O tamanho W dos vetores e o tamanho do espaço entre eles são calculados heurísticamente, pois deve ser adaptado a cada situação em que o método é aplicado. Os valores ideais para reconhecer os pontos de alta curvatura do contorno da mão foram definidos através da análise das imagens utilizadas para compor o banco de dados com vários usuários cadastrados. Após análise das imagens, verificou-se que o tamanho do vetor $W = 20$ e a distância entre os vetores $M = 1$ apresentam resultados satisfatórios, pois conseguem reconhecer todos os pontos de curvatura presentes na mão.

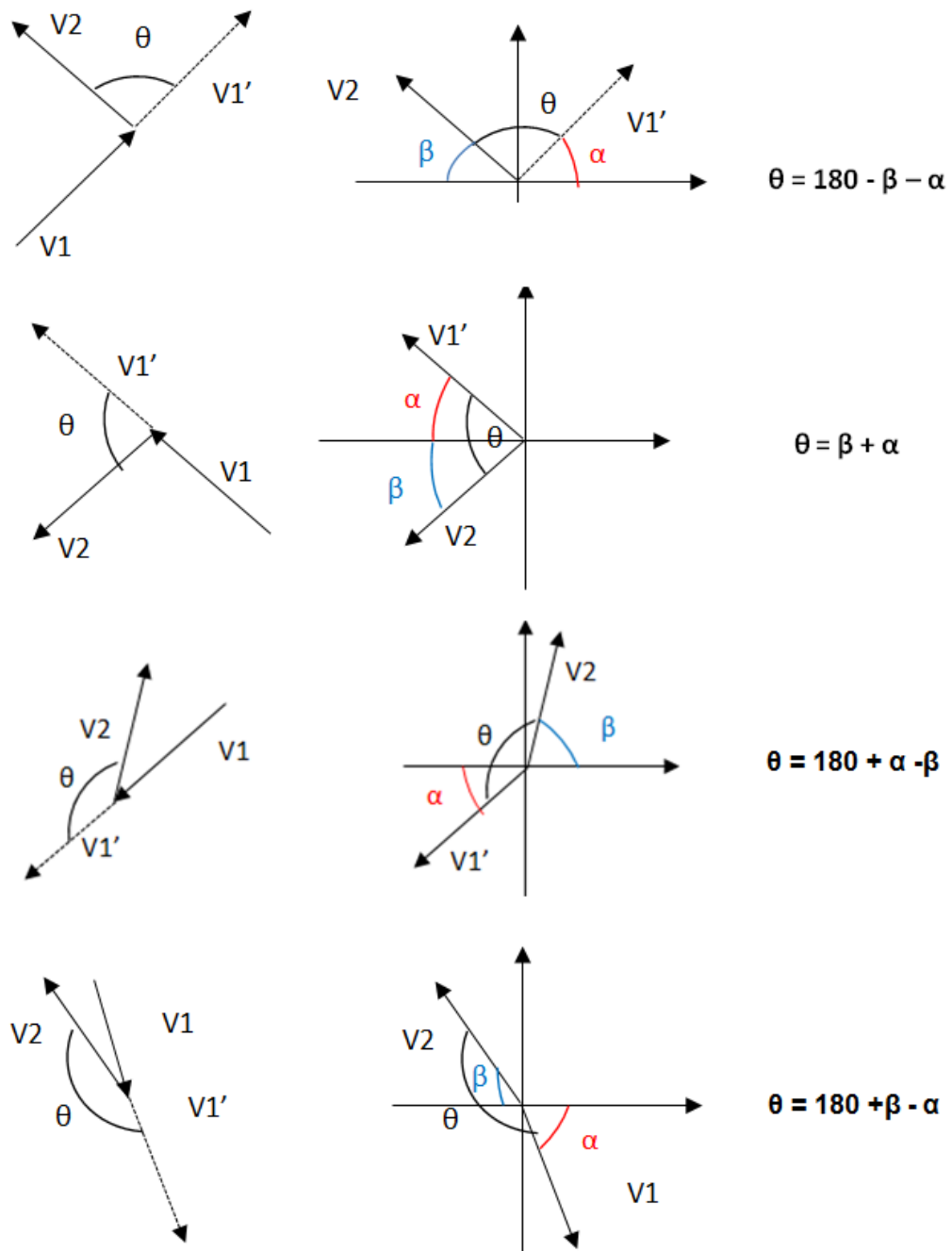


FIGURA 20 – TRATAMENTO COM RELAÇÃO AO QUADRANTE
FONTE: O autor (2013)

Como o método é indicado para contornos fechados, realizou-se o fechamento do pulso com uma curva suave para que não seja reconhecida como um ponto de alto grau de curvatura. Para tanto, na hora de capturar a imagem, existe uma linha vermelha na tela indicando para o usuário onde posicionar o pulso. Durante o processamento da imagem, o *software* realiza o corte do pulso na imagem, baseado na linha de posicionamento, e desenha uma elipse para fechar o

contorno da mão. Os raios da elipse são calculados automaticamente com base no local onde o pulso é cortado pela linha vermelha, variando para cada imagem.

Aplicando o método no sentido anti-horário da curvatura, obteve-se o gráfico que pode ser visualizado na Figura 21. Os picos do gráfico representam pontos de alto grau de curvatura, como a ponta dos dedos e os vales entre dois dedos enquanto o comprimento do dedo tem valores próximos de zero. Com a aplicação do método no sentido anti-horário, obteve-se apenas metade dos pontos de alto grau de curvatura necessários. Provavelmente, isto se deve ao fato de como a mudança de quadrante foi tratada e de como o algoritmo foi implementado.

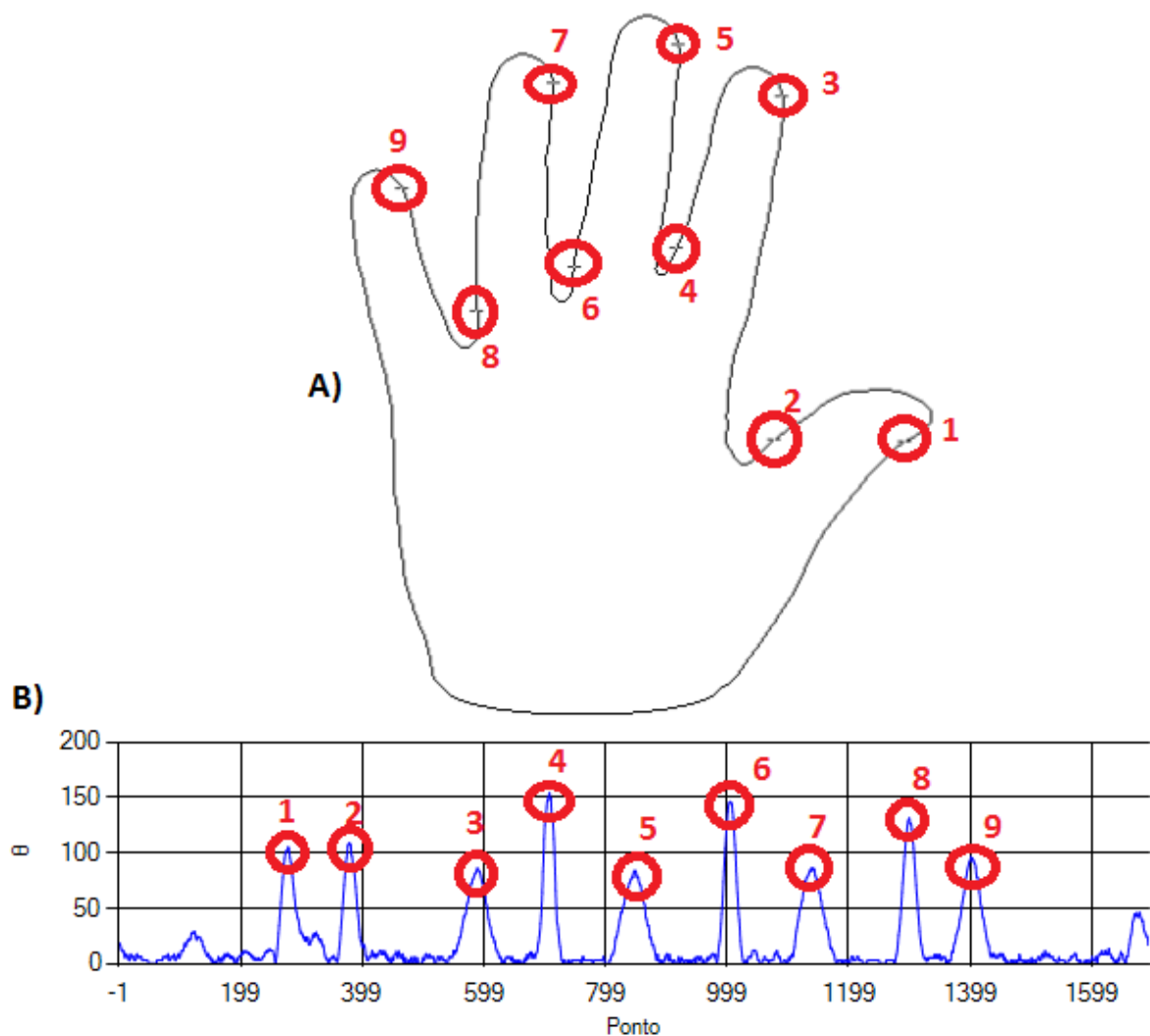


FIGURA 21 – RESULTADO DO MÉTODO DOS+ APLICADO NO SENTIDO ANTI-HORÁRIO. A) PONTOS ENCONTRADOS DESTACADOS NA IMAGEM. B) GRÁFICO RESULTANTE DA APLICAÇÃO DO MÉTODO.
FONTE: O autor (2013)

Para resolver o problema das medidas que estão faltando, aplicou-se também o método no sentido horário da curvatura. Realizando a junção dos dois gráficos, da

aplicação do método no sentido anti-horário e da aplicação do método no sentido horário, obteve-se todos os pontos de curvatura necessários como mostra a Figura 22 **FIGURA 22** que apresenta o gráfico do método DOS+ e os pontos de maior curvatura colocados em detalhe na imagem da mão.

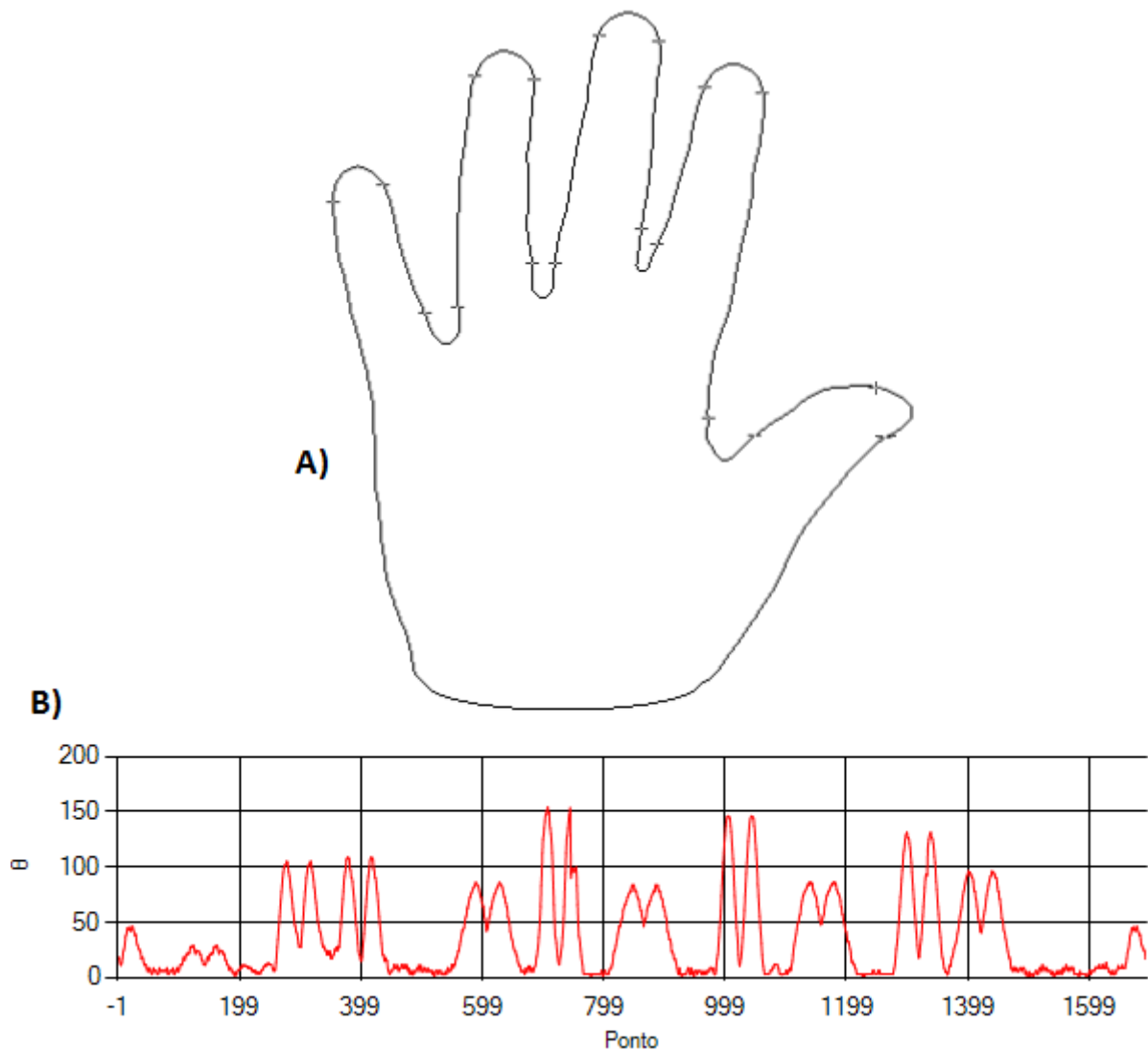


FIGURA 22 - RESULTADO DO MÉTODO DOS+ APLICADO NOS DOIS SENTIDOS DA CURVATURA. A) PONTOS ENCONTRADOS DESTACADOS NA IMAGEM. B) GRÁFICO RESULTANTE DA APLICAÇÃO DO MÉTODO.

FONTE: O autor (2013)

Cada ponto no gráfico representa um *pixel* no contorno da imagem da mão e, portanto, o eixo 'x' representa o comprimento do contorno fechado da mão e é possível saber quais pontos no gráfico representam determinados pontos na imagem.

O método gera uma estimativa ruidosa da curvatura devido à natureza discreta dos dados tratados (ruído de quantização), por isso o resultado do método

DOS não pode ser trabalhado diretamente (ZIMMER, 2008). Para resolver este problema percorreu-se o gráfico encontrando todos os picos, e os picos próximos, que estavam a uma distância menor que 50 *pixels* um do outro, foram desconsiderados. Pegou-se o valor intermediário da região de picos próximos como o valor do pico.

É possível perceber que os picos no gráfico não representam exatamente o ponto de maior curvatura, por causa de outra característica do método DOS, pois o grau de curvatura não é calculado exatamente no ponto de maior curvatura, e sim levemente deslocado devido à maneira como o cálculo é realizado com os vetores e também da distância utilizada entre os mesmos (BOREKI, 2003). Entretanto, esta característica do método não representará um problema neste projeto, pois o método será aplicado da mesma maneira em todas as imagens adquiridas e, consequentemente, esta variação estará presente nessas imagens quando forem processadas e será aproximadamente a mesma não interferindo no momento de realizar a comparação das imagens.

Observando a Figura 22, é possível perceber a questão citada anteriormente. Através do gráfico é possível retirar os valores dos pontos próximos a regiões de alto grau de curvatura, mas não é possível obter os pontos das pontas dos dedos e dos vales entre os dedos. Porém percebe-se que esses pontos estão entre os valores dos picos do gráfico. Por isso, sabendo-se que o gráfico inicia na ponta polegar e termina na ponta do dedo mínimo, para obter esses pontos, calculou-se a média entre os dois picos, encontrando-se assim o valor do ponto desejado. O resultado pode ser verificado na Figura 23.

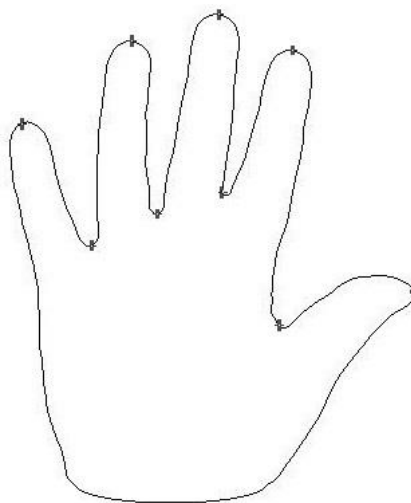


FIGURA 23 - PONTOS DE ALTA CURVATURA
FONTE: O autor (2013)

3.4 EXTRAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS

Existem diversas medidas que podem ser extraídas da geometria da mão e as medidas extraídas variam conforme o sistema biométrico analisado. Neste projeto utiliza-se 24 medidas de cada usuário, procurando assim ter uma individualidade considerável e ao mesmo tempo possuindo um grau de segurança aceitável.

As 24 medidas são mostradas na Figura 24:

- comprimento de cada um dos cinco dedos;
- três larguras de cada um dos dedos, totalizando 15 larguras;
- comprimento da mão;
- largura da palma da mão;
- comprimento da palma mão;
- área da mão.

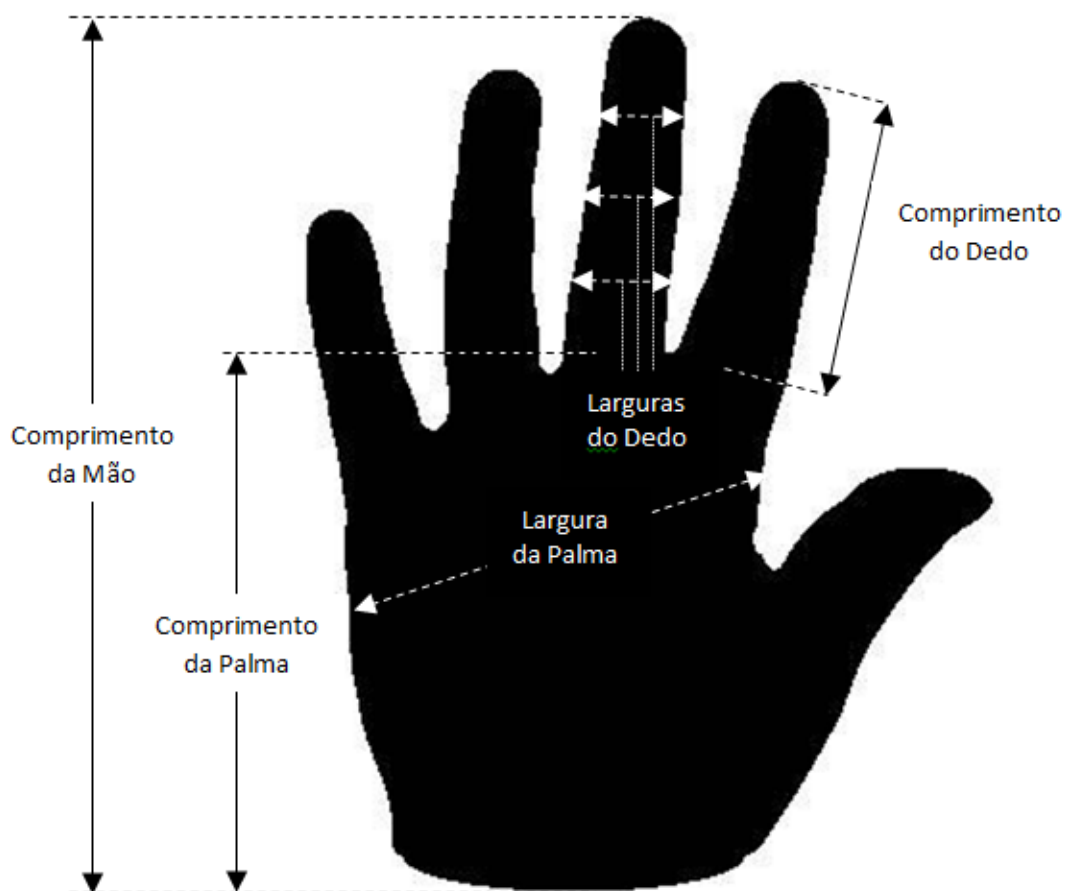


FIGURA 24 - MEDIDAS EXTRAÍDAS DA GEOMETRIA DA MÃO
FONTE: O autor (2013)

Através da aplicação do método DOS+ e de todo o procedimento citado anteriormente sobre o contorno da imagem, obteve-se nove pontos de alta curvatura. Esses pontos representam as pontas dos dedos e os pontos de vale entre dois dedos como é mostrado na Figura 25 e, a partir destes pontos, será possível extrair as medidas necessárias. As medidas extraídas foram baseadas nos trabalhos publicados (COVAVISARUCH et al., 2005) e (KUMAR et al., 2006), que utilizaram algumas das medidas utilizadas neste trabalho.



FIGURA 25 - PONTAS DO DEDO E PONTOS DE VALE
FONTE: O autor (2013)

As linhas de base do dedo médio e do dedo anelar são obtidas através da conexão dos pontos de vale que estão localizados em ambos os lados de cada dedo. Entretanto, o polegar, o indicador e o dedo mínimo possuem apenas um ponto de vale adjacente. Para encontrar esses pontos de vale que estão faltando, assume-se que o ponto está localizado no lado oposto do dedo, a mesma distância da ponta do dedo que o ponto de vale existente. Por exemplo, como pode ser visto na Figura 26, o dedo mínimo possui um ponto de vale do lado direito que está a uma distância D_3 da ponta do dedo e o ponto de vale do lado esquerdo do dedo mínimo estará à mesma distância D_3 da ponta do dedo.

A localização de todos os pontos de vale e das pontas dos dedos é mostrada na Figura 26, bem como a ligação entre as bases dos dedos que é apresentada em linha pontilhada.

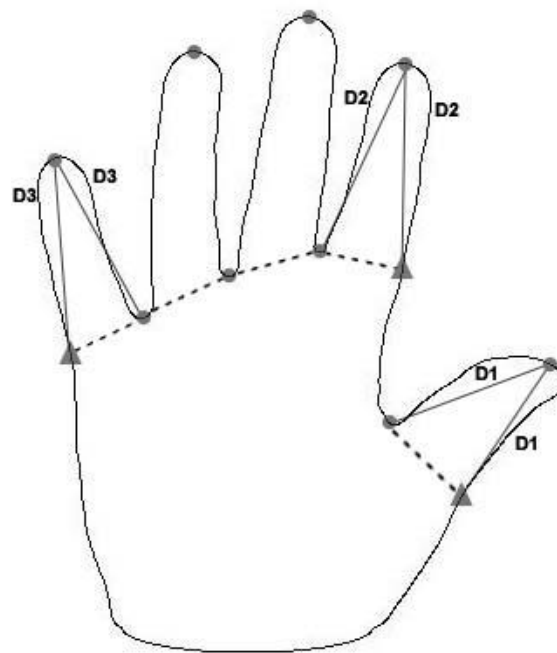


FIGURA 26 - DEFINIÇÃO DAS BASES DOS DEDOS
FONTE: O autor (2013)

O comprimento dos dedos é obtido através da medida da distância da ponta do dedo até o ponto médio da linha da base do dedo. O comprimento dos dedos é mostrado na Figura 27.

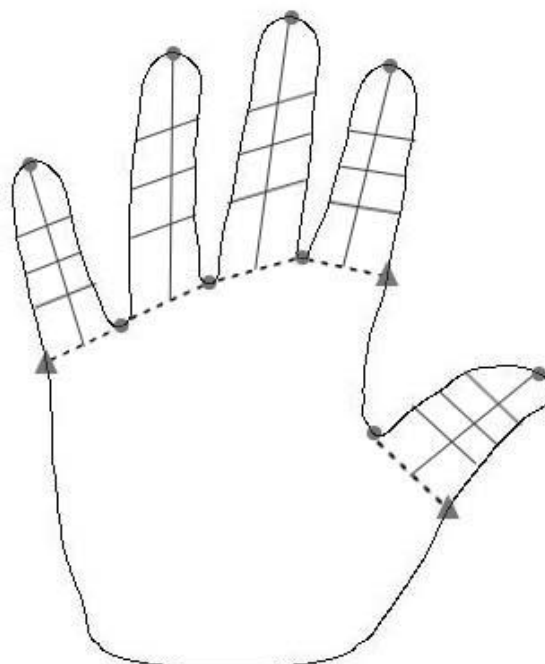


FIGURA 27 - COMPRIMENTO E LARGURA DOS DEDOS
FONTE: O autor (2013)

A largura dos dedos é medida em três lugares: a primeira no meio do comprimento do dedo, a segunda a um terço, e a terceira a dois terços do comprimento do dedo. Todas as larguras dos dedos são mostradas na Figura 27.

A largura da palma da mão é à distância do ponto b1 até o ponto b2 mostrado na Figura 28. O ponto b1 é a metade da distância entre a1 (o qual representa o ponto de vale do lado direito do indicador) e a2 (o qual representa o ponto de vale do lado esquerdo do polegar). O ponto b2 está à mesma distância de a3 (o qual representa o ponto de vale do lado esquerdo do dedo mínimo) que b1 está de a1.

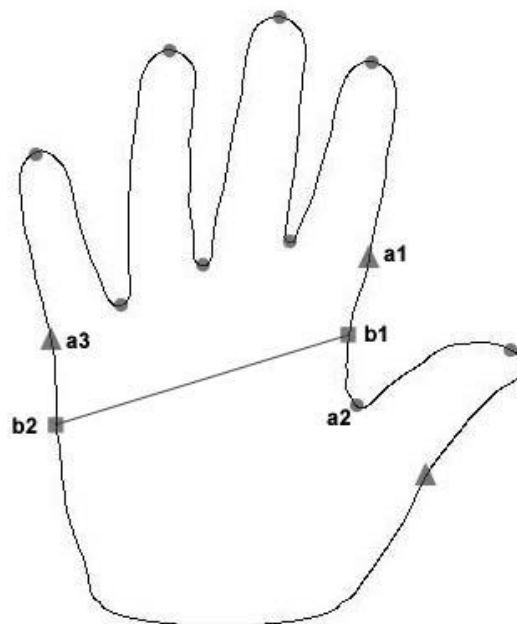


FIGURA 28 – CÁLCULO DA LARGURA DA PALMA DA MÃO
FONTE: O autor (2013)

O comprimento da mão é a medida da distância entre o ponto 1 (o qual representa a ponta do dedo médio) e o ponto 3 (o qual representa o meio da linha do final da palma da mão), conforme pode ser visto na Figura 29.

O comprimento da palma da mão é a medida da distância entre o ponto 2 (o qual representa o meio da linha da base do dedo médio) ao ponto 3 e também está representado na Figura 29.

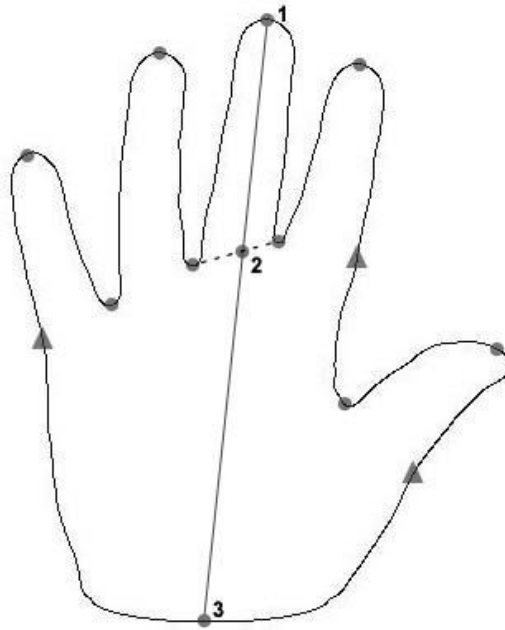


FIGURA 29 - COMPRIMENTO DA MÃO E COMPRIMENTO DA PALMA DA MÃO
FONTE: O autor (2013)

A área da palma da mão representa a quantidade de *pixels* que compõem a mão na imagem. A área é calculada quando é realizada a etapa de etiquetagem de componentes durante o processamento da imagem.

As medidas das distâncias são feitas através do cálculo da distância Euclidiana como definido na equação 6. Todas as distâncias são medidas em *pixels*.

$$D = \sqrt{(x - x_r)^2 + (y - y_r)^2} \quad (6)$$

onde, (x, y) é o ponto inicial e (x_r, y_r) o ponto final da onde deseja-se calcular a distância.

Todas as medidas extraídas pelo *software* podem ser visualizadas na Figura 30.

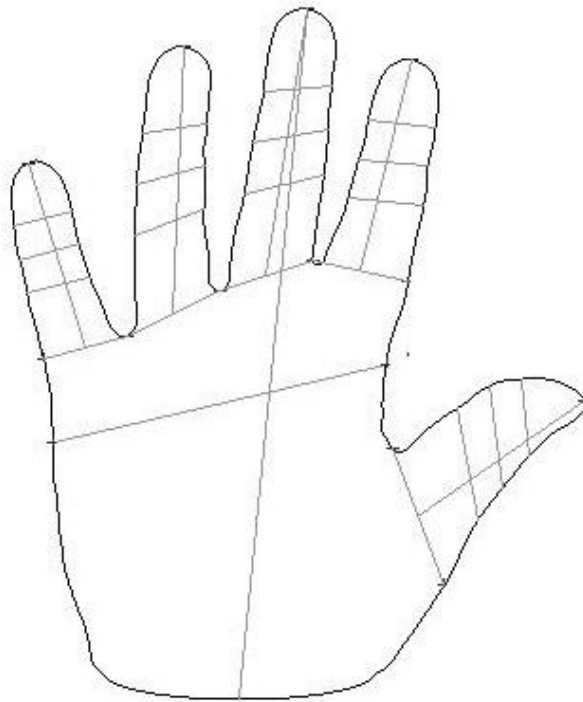


FIGURA 30 – CARACTERÍSTICAS EXTRAÍDAS DA MÃO
FONTE: O autor (2013)

3.5 BANCO DE DADOS

Para construção do banco de dados, foram utilizados 33 voluntários, sendo 45,45% do sexo feminino e 54,55% do sexo masculino, sem imposição de idade, para fornecerem imagens das mãos. O recrutamento foi feito de forma aleatória, não havendo critérios de inclusão e exclusão visto que o sistema deve ser capaz de reconhecer qualquer pessoa.

As imagens foram adquiridas em uma faixa de idade de 14 a 68 anos. Foram adquiridas 5 imagens de cada voluntário em um mesmo dia, sujeito as mesmas condições de iluminação. O banco de dados possui no total 164 registros, visto que um dos usuários teve uma imagem com problemas na aquisição e o sistema não conseguiu processar.

Durante a captura das imagens para desenvolvimento e teste do sistema, aproximadamente 50 imagens foram descartadas por apresentarem problemas de posicionamento e/ou iluminação impossibilitando o sistema de processá-las.

No banco de dados são salvas apenas as características extraídas da imagem e não a imagem em si.

3.6 CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS

Para testar o sistema e ser possível descobrir o desempenho do mesmo, utilizou-se o algoritmo K-means para realizar a classificação dos dados e a rede *bayesiana* para teste do sistema. Utilizou-se dois *softwares* externos devido à complexidade de estudar e implementar um classificador no tempo disponível.

Foram utilizados para os testes do sistema os dados extraídos de 164 imagens de 33 usuários, sendo 4 imagens de um usuário e 5 imagens dos outros 32 usuários. Os dados extraídos de cada imagem são as 24 características que foram citadas anteriormente.

Para descrever cada coluna e discretizar os dados utilizou-se o algoritmo K-Means utilizando o programa *BayesiaLab*.

O K-Means é um algoritmo de mineração de dados não supervisionado que fornece uma classificação de informações de acordo com os próprios dados. Esta classificação é baseada em análise e comparações entre os valores numéricos dados. O algoritmo vai indicar uma classe e vai dizer quais linhas da tabela fornecida pertencem a esta classe. O número de classes k deve ser passada para o algoritmo pelo usuário (PICHILIANI, 2006).

Para gerar as classes e classificar as ocorrências, o algoritmo faz uma comparação entre cada valor de cada linha por meio da distância. Para calcular o quão distante uma ocorrência está da outra, geralmente utiliza-se a distância euclidiana. A quantidade de atributos da tabela vai determinar a maneira de calcular esta distância. Após o cálculo das distâncias o algoritmo calcula centróides para cada uma das classes. Conforme o algoritmo vai iterando, o valor de cada centróide é refinado pela média dos valores de cada atributo de cada ocorrência que pertence a este centróide. Com isso, o algoritmo gera k centróides e coloca as ocorrências da tabela de acordo com sua distância dos centróides. (PICHILIANI, 2006).

Para fazer a classificação dos dados foi utilizado um $k = 4$. Portanto, os dados foram classificados em 4 classes: A, B, C e D.

3.7 REDES BAYESIANAS

Com os dados classificados, o próximo passo é a criação da rede *bayesiana* (RB). Para criar e testar a rede foi utilizado o *software Netica*.

Segundo DIAS (2013), a rede *bayesiana*, também conhecida como rede de crença ou Diagramas de Influência Probabilístico, consiste em um grafo direcionado acíclico, no qual os nós representam variáveis aleatórias e os arcos representam a dependência probabilística existente entre as variáveis conectadas. A força destas relações é quantificada por probabilidades condicionais.

As RB são recomendadas para implementação de técnicas de inferência que simulem o raciocínio evidencial, pois exploram a dependência condicional através da tabela de probabilidades condicionais. A RB permite uma representação concisa de uma distribuição conjunta de probabilidades em um grupo de variáveis estatísticas.

Uma RB é composta por duas partes: qualitativa e quantitativa (DIAS, 2013):

- Parte qualitativa: modelo gráfico, onde os nós representam as variáveis, e as relações entre elas são os arcos direcionados. Portanto, um arco que liga as variáveis na forma $A \rightarrow B$, indica que a variável A é a causa e a variável B é a consequência, e ambas apresentam uma relação de dependência.
- Parte quantitativa: conjunto de probabilidades condicionais associadas aos arcos existentes no modelo gráfico e probabilidades estimadas das hipóteses diagnosticadas. Portanto, neste sistema, a parte quantitativa mede a probabilidade que o usuário satisfaz um determinado critério e será obtida através dos dados do banco de dados selecionados para treinamento da rede.

Os dados extraídos das imagens cadastradas foram divididos da seguinte maneira: entre os dados das 5 imagens de cada usuário, 3 foram utilizados para o

treinamento e criação da rede *bayesiana*, e 2 foram utilizados para testes do sistema através da rede.

Para criar a rede através do treinamento, primeiramente importou-se para o *Netica* o nome das colunas e o número e nome das classes utilizando os dados de treinamento. Em seguida, realizou-se as ligações causais, que consiste na ligação da coluna usuário com todas as outras, indicando que a coluna usuário é a causa enquanto as características são as consequências. E por fim, realizou-se o treinamento da rede através da compilação dos dados. Com o treinamento, a rede é capaz de saber quem são os usuários através de suas características. A rede *bayesiana* para teste deste sistema pode ser visualizada na Figura 31.

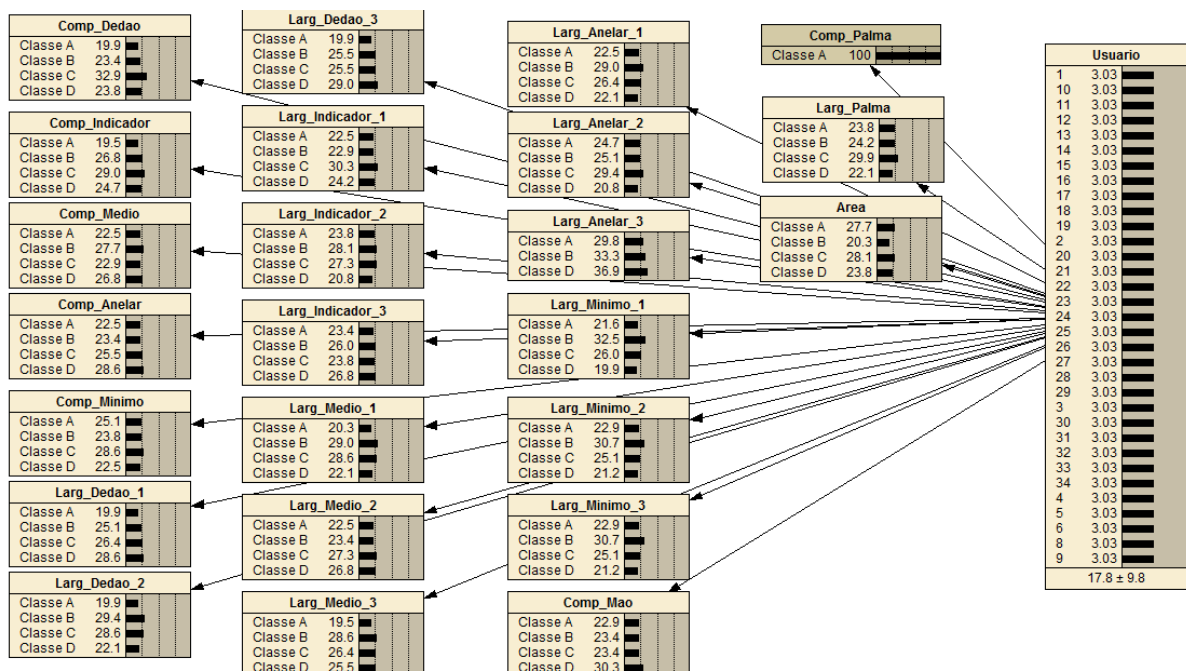


FIGURA 31 - REDE BAYESIANA DO SISTEMA
FONTE: O autor (2013)

No *Netica* é possível obter a sensibilidade do sistema, ou seja, é possível saber o quanto cada variável de entrada (característica) altera a decisão na saída do sistema (usuário). A sensibilidade das variáveis deste sistema é apresentada na Tabela 2, classificadas por ordem de importância.

TABELA 2 - TABELA DE SENSIBILIDADE DAS VARIÁVEIS DO SISTEMA

Nó	Redução de Variância	Percentual
Larg_Indicador_2	5,801	6,06
Larg_Medio_2	3,245	3,39
Larg_Indicador_3	2,788	2,91
Comp_Mao	2,476	2,59
Larg_Minimo_2	2,376	2,48
Larg_Minimo_1	2,267	2,37
Larg_Anelar_3	2,18	2,28
Comp_Medio	2,138	2,23
Comp_Indicador	1,995	2,08
Area	1,958	2,05
Comp_Anelar	1,946	2,03
Larg_Palma	1,808	1,89
Larg_Indicador_1	1,789	1,87
Larg_Dedao_1	1,603	1,67
Larg_Minimo_3	1,595	1,67
Comp_Minimo	1,554	1,62
Larg_Anelar_1	1,273	1,33
Larg_Medio_1	1,222	1,28
Larg_Medio_3	1,026	1,07
Comp_Dedao	0,9099	0,95
Larg_Anelar_2	0,7384	0,771
Larg_Dedao_2	0,7005	0,732
Larg_Dedao_3	0,4683	0,489
Comp_Palma	0	0

FONTE: O autor (2013)

Na Tabela 2 é possível verificar que a segunda largura do indicador é a medida com maior importância, enquanto o comprimento da palma da mão não possui nenhuma importância, pois todos os usuários possuem o comprimento da palma da mão na mesma classe. Apesar disso, não descartou-se nenhuma variável, pois para um resultado conclusivo sobre a influência dessas variáveis de menor importância no resultado da verificação demandaria maior tempo disponível.

O fato do comprimento da palma da mão não ter importância no sistema, se deve ao fato desta medida ser fortemente influenciada pelo local onde ocorre o corte da imagem no pulso. Entretanto, o comprimento da mão, que também é medido com relação ao ponto de corte do pulso, possui uma importância significativa no sistema,

pois o comprimento do dedo médio está compensando a influência do ponto de corte.

A utilização das variáveis com menor importância ocupa mais espaço no banco de dados e a eliminação das mesmas pode melhorar o desempenho do sistema através da melhora nos resultados, bem como diminuir o tempo de processamento da imagem. Para que seja possível extrair alguns parâmetros é necessário o estudo estatístico dos dados para saber qual característica está influenciando negativamente.

3.8 FUNCIONAMENTO DO SOFTWARE

Nesta seção, será descrito o funcionamento do *software* para realizar o cadastro de usuários e o processamento das imagens. Para implementação do mesmo foram utilizadas as técnicas descritas anteriormente.

3.8.1 Tela Inicial

Ao iniciar o *software* abrirá a tela inicial que pode ser visualizada na Figura 32. Nesta tela existem dois botões que representam as ações que podem ser realizadas: Cadastrar Usuário e Processar Imagem.

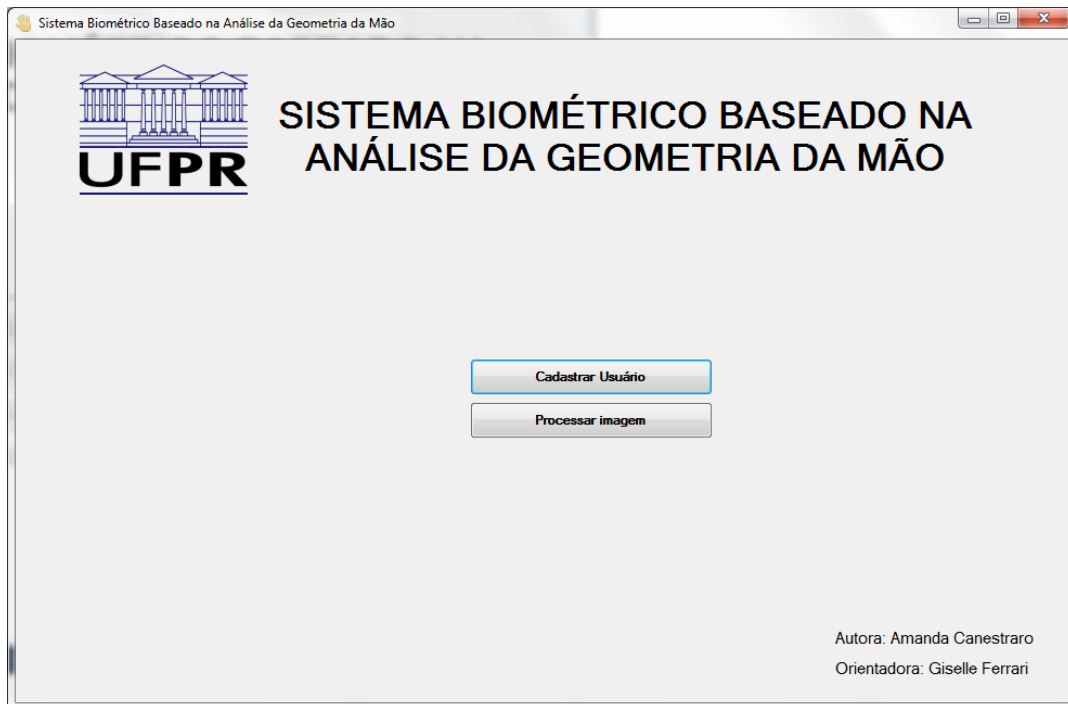


FIGURA 32 - TELA INICIAL DO SOFTWARE
FONTE: O autor (2013)

3.8.2 Cadastrar Usuário

Clicando no botão Cadastrar Usuário, o usuário tem acesso à tela de cadastro que irá realizar a aquisição da imagem, seguida pelo processamento da mesma para posterior cadastro das informações extraídas da imagem no banco de dados juntamente com um nome para associar os dados a uma identidade. A tela de cadastro pode ser visualizada na Figura 33.

O controle da câmera é realizado através dos botões Iniciar, Parar e Continuar. No campo Tempo de captura, é possível escolher com qual taxa de tempo (em milissegundos) a imagem será mostrada na tela. Ao apertar no botão Iniciar, se houver mais do que uma câmera conectada ao computador, será possível escolher de qual câmera deseja-se capturar a imagem. Com a imagem sendo adquirida, é possível parar e/ou continuar a aquisição através dos respectivos botões.

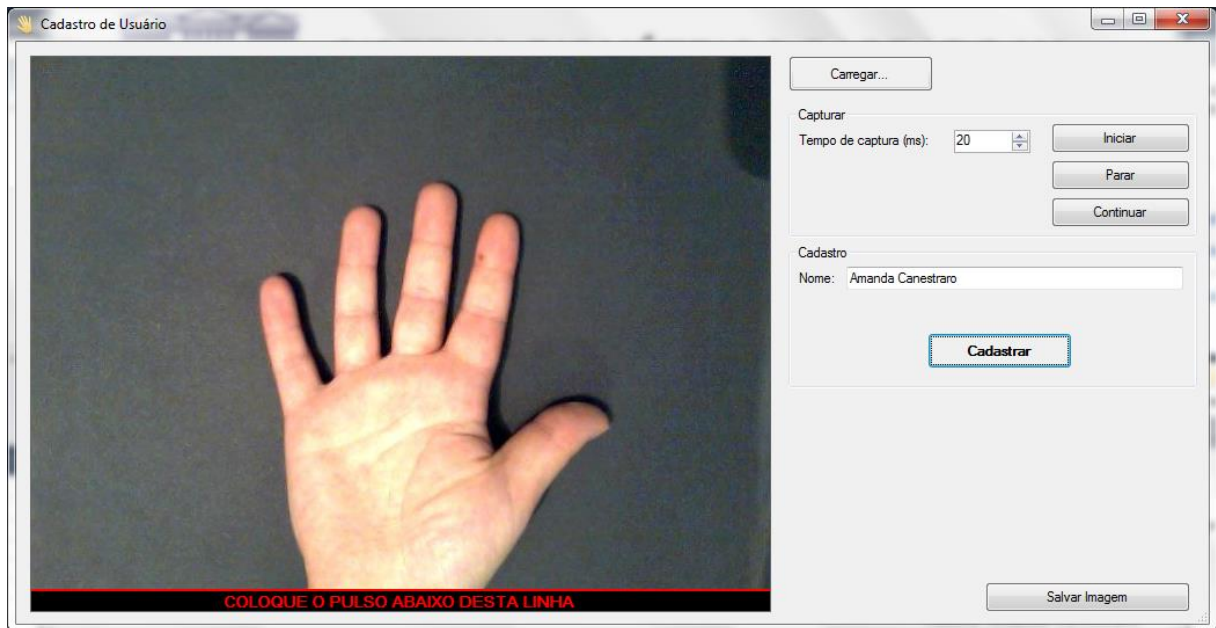


FIGURA 33 - TELA DE CADASTRO
FONTE: O autor (2013)

O sistema possui algumas restrições para seu correto funcionamento, e são elas: aquisição das imagens da mão direita, com a palma voltada para cima, sem a utilização de anéis, com todos os dedos separados um do outro, com o correto posicionamento do pulso e o usuário precisa possuir os cinco dedos. Essas restrições se devem ao fato de que o sistema não é capaz de identificar anéis e dedos juntos, o que ocasionaria erros de processamento, bem como o mau posicionamento da mão e a falta de um ou mais dedos.

A mão deve ser posicionada na tela com o pulso abaixo da linha vermelha, pois como foi explicado anteriormente, será necessário fazer o fechamento do pulso com uma curva suave para realização da extração da curvatura através do método DOS+.

Para realizar o cadastro, basta inserir o nome do usuário no campo Nome, e clicar no botão Cadastrar. A imagem adquirida será processada como descrito anteriormente e suas características serão extraídas e salvas no banco de dados. As características de cinco imagens de cada usuário serão cadastradas. Cada imagem do usuário é adquirida com um intervalo de 5 a 10 segundos, com o usuário variando a abertura dos dedos e o posicionamento da mão entre cada aquisição. O diagrama de blocos do funcionamento do cadastro de um usuário no banco de dados é apresentado na Figura 34.

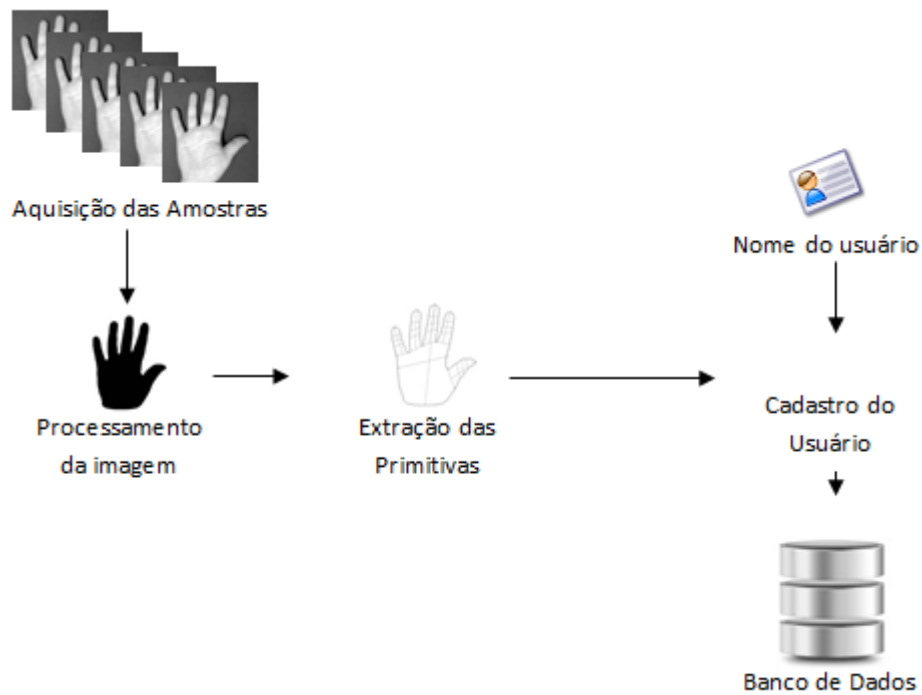


FIGURA 34 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO BANCO DE DADOS
 FONTE: O autor (2013)

3.8.3 Processamento da Imagem

Esta tela foi desenvolvida para que fosse possível realizar o teste dos algoritmos conforme os mesmos estavam sendo desenvolvidos. Portanto, é possível visualizar o funcionamento de cada método de processamento de imagem separadamente e analisar seus resultados.

A Figura 35 mostra a tela de processamento de imagem.

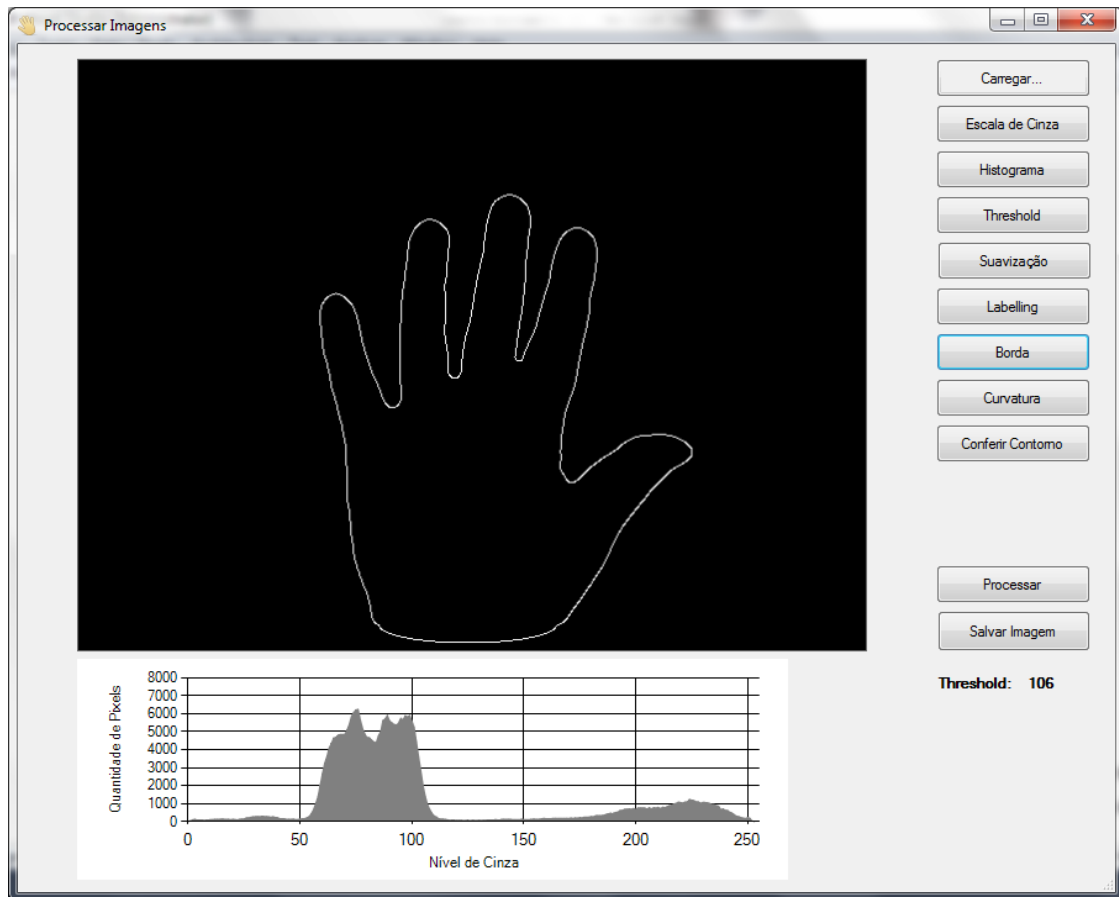


FIGURA 35 - TELA DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS
FONTE: O autor (2013)

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após o treinamento da RB o próximo passo é realizar os testes do sistema utilizando a rede. Para testar o sistema, os casos foram passados pela RB, um por um, sendo anotado o resultado da verificação e a porcentagem de certeza.

Para medir a precisão dos resultados dos testes é utilizada uma classificação segundo o grau de acerto dos mesmos. O objetivo do teste é servir como um critério para determinar se o resultado é correto ou incorreto. A classificação dos testes é feita com base na Tabela 3, denominada tabela 2x2, que é bastante utilizada na área da saúde. Com isso tem-se:

- a) Verdadeiro Positivo (VP): É quando o sistema reconhece corretamente um usuário cadastrado;
- b) Verdadeiro Negativo (VN): É quando o sistema rejeita corretamente um usuário não cadastrado;
- c) Falso Positivo (FP): É quando o sistema reconhece erroneamente um usuário não cadastrado;
- d) Falso Negativo (FN): É quando o sistema rejeita erroneamente um usuário cadastrado;

TABELA 3 - ESQUEMÁTICO DOS RESULTADOS DOS TESTES (TABELA 2X2)

		Padrão Ouro		
		ACERTOU?		
		SIM	NÃO	TOTAL
Resultado do Teste	SIM	VP	FP	VP + FN
	NÃO	FN	VN	FN + VN
	TOTAL	VP + FN	FP + VN	

FONTE: Modificado pelo autor (2013)

Com base na Tabela 3 é possível calcular algumas probabilidades do sistema.

Sensibilidade: é a probabilidade do resultado do teste ser correto quando o usuário está cadastrado no sistema. É calculada conforme apresentado na equação 7.

$$SENSIBILIDADE = \frac{VP}{VP + FN} \quad (7)$$

Especificidade: é a probabilidade do resultado do teste ser negativo para um usuário que não está cadastrado no sistema. É calculada conforme apresentado na equação 8.

$$ESPECIFICIDADE = \frac{VN}{VN + FP} \quad (8)$$

Probabilidade de Falso Positivo (PFP): Probabilidade de o usuário ser autenticado e não estar cadastrado no sistema. Esta probabilidade é calculada pela equação 9.

$$PFP = \frac{FP}{FP + VN} \quad (9)$$

Probabilidade de Falso Negativo (PFN): Probabilidade de o usuário ser reconhecido erroneamente quando está cadastrado no sistema. Esta probabilidade é calculada pela equação 10.

$$PFN = \frac{FN}{FN + VP} \quad (10)$$

Na Tabela 4 apresentada a seguir, é possível visualizar os valores obtidos no resultado dos testes realizados para o sistema proposto.

TABELA 4 - RESULTADOS DOS TESTES DO SISTEMA PROPOSTO

		Padrão Ouro		
		ACERTOU?		
		SIM	NÃO	TOTAL
Resultado do Teste	SIM	53	0	53
	NÃO	12	0	12
	TOTAL	65	0	65

FONTE: O autor (2013)

Dos 65 registros testados, o sistema acertou a autenticação de 53 usuários e errou a autenticação de 12 usuários. Portanto, o sistema possui uma taxa de acertos

de 81,54%. A curva ROC com base no resultado da verificação e na porcentagem de certeza da verificação pode ser visualizada na Figura 36.

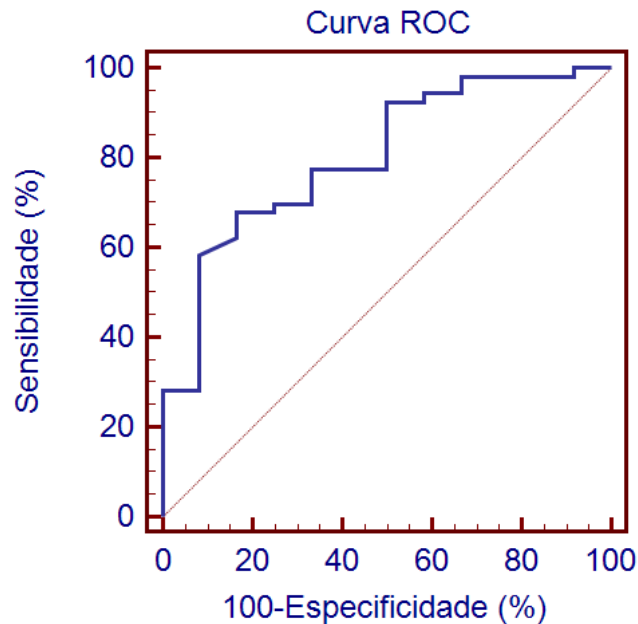


FIGURA 36 - CURVA ROC
FONTE: O autor (2013)

A curva ROC representa a relação entre a FAR e a FRR e o ideal é que a curva esteja o mais próximo possível dos eixos do gráfico. Pode-se observar na Figura 36 que o desempenho do sistema precisa ser melhorado, procurando aproximar mais a curva dos eixos.

Como a rede sempre terá um usuário com maior crença para as características de entrada, não utilizou-se dados de usuários não cadastrados no sistema, pois a rede da maneira que foi testada pelo *Netica* não teria como rejeitar o usuário e, portanto, os resultados sempre seriam falsos positivos.

A sensibilidade do sistema é de 81,54%. Não é possível determinar a especificidade devido o que foi explicado anteriormente. A probabilidade de falso negativo ou FRR do sistema é de 18,46%.

Uma FRR de 18,46% é alta, porém para ter uma dimensão melhor da taxa o ideal seria poder comparar com a FAR que não pode ser calculada devido à maneira como o sistema foi testado. Testes em um conjunto maior de amostras podem diminuir essa taxa.

Acredita-se que a maioria dos erros de verificação foi causada por problemas do usuário em conseguir encostar todos os dedos na base do equipamento com a

palma voltada para cima e pelas condições de iluminação no momento de aquisição das imagens. Verifica-se um desvio padrão alto entre os dados de um mesmo usuário quando houve erro de autenticação. O fato de não ter imposição de idade para aquisição das imagens pode ter influenciado nos erros do sistema, pois em pessoas com idade mais avançada certos problemas de saúde podem dificultar que o usuário consiga encostar todos os dedos de forma correta no equipamento.

No sistema de KUMAR (2006) a taxa de acertos foi de 91,66% para os testes realizados com 472 imagens, já no sistema de WONG e SHI (2002) a taxa de acertos foi de 88,89% para 125 imagens testadas e no sistema de BOREKI (2003) a taxa de acertos foi de 91% para um total de 320 imagens testadas. Todos os sistemas utilizaram técnicas sem a necessidade de pinos para posicionamento das mãos. As características extraídas nesses sistemas, bem como o classificador utilizado podem ser visualizados na Tabela 5.

TABELA 5 - COMPARAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS EXTRAÍDAS E O TIPO DE CLASSIFICADOR UTILIZADO NOS SISTEMAS UTILIZADOS PARA COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.

Autor	Características extraídas	Classificador
Kummar et al., 2003	<ul style="list-style-type: none"> • Comprimento dos 4 dedos (desconsidera o polegar); • 2 larguras dos 4 dedos, a 1/3 e a 2/3 do comprimento do dedo (desconsidera o polegar); • Largura da palma; • Comprimento da palma; • Área da mão; • Comprimento da mão. 	Correlação normalizada
Covarisaruch et al., 2005	<ul style="list-style-type: none"> • Comprimento dos 5 dedos; • 3 larguras de cada dedo, a 1/3, a 2/3 e a 1/2 do comprimento do dedo; • Comprimento da palma. 	Funções de distância
Wong e Shi, 2002	<ul style="list-style-type: none"> • Comprimento dos 5 dedos; • 2 larguras dos 4 dedos, a 1/2 e 1/8 do comprimento do dedo (desconsidera o polegar); • Área da ponta dos dedos indicador, médio e anelar. 	Modelo de Mistura de Gaussianas e Distância Euclidiana
Boreki, 2003	<ul style="list-style-type: none"> • Largura dos 4 dedos (desconsidera o polegar); • Comprimento dos 4 dedos (desconsidera o polegar). 	Euclidiano simples

Os sistemas com o qual este trabalho foi comparado apresentaram uma taxa de acerto maior, porém utilizaram uma quantidade maior de imagens para realizar os treinamentos e os testes, extraíram menos características e usaram classificadores estatísticos.

Como este projeto utilizou inteligência artificial para realizar a classificação e a verificação da rede enquanto os sistemas apresentados na Tabela 5 utilizaram classificadores estatísticos simples, o desempenho do sistema biométrico desenvolvido está próximo dos sistemas utilizados para comparação devido a maneira como a rede *bayesiana* trata os dados, diferentemente dos classificadores estatísticos.

Acredita-se que com um banco de dados maior, com mais usuários e mais imagens por usuários, seja possível determinar com mais precisão o desempenho do sistema. E a melhora na metodologia de aquisição juntamente com esse maior número de aquisições por usuário deve ser essencial para a melhora no desempenho, pois com mais imagens adquiridas por usuário será possível descartar as imagens com alto desvio padrão.

5 CONCLUSÃO

Este projeto demonstrou que é possível realizar a extração do grau de curvatura e extrair as características da geometria da mão sem a utilização de pinos para fixação e possibilitando ao usuário liberdade de movimento dos dedos e da mão.

O equipamento construído é capaz de adquirir uma imagem com o contorno nítido, entretanto pode ser melhorado, proporcionando maior conforto aos usuários na hora da aquisição e também possuindo uma iluminação que incida sobre a mão de forma igual para todos os usuários em qualquer local, visto que os erros de identificação devem ser resultado de problemas na aquisição. O fato de aproximadamente 23% das imagens adquiridas no total terem que ser descartadas por problemas na aquisição, mostra que o método precisa de melhorias na captura das imagens.

As características extraídas da geometria da mão são capazes de diferenciar um indivíduo de outro e foram adquiridas em um número significativo. Em um trabalho futuro é possível retirar as características com menor importância do sistema, para diminuir alguns processamentos na extração das medidas e também testar a influência das mesmas no desempenho do sistema.

O algoritmo desenvolvido no *Visual Studio 2010* é capaz de adquirir as imagens, realizar o processamento e a análise das mesmas, extrair o vetor de características e realizar o cadastramento delas no banco de dados com sucesso. Da mesma maneira o banco de dados para desenvolvimento e teste do sistema foi criado com sucesso.

Através da utilização das redes *bayesianas* e do software *Netica* foi possível realizar os testes de autenticação dos indivíduos com base nas características que foram extraídas das imagens da mão e salvas no banco de dados.

O desempenho do sistema pode ser melhorado, principalmente através da análise de um conjunto maior de amostras e melhoras no processo de aquisição das imagens, entretanto, não foi possível calcular todas as taxas que determinam o desempenho de um sistema biométrico, pois não foi possível simular usuários não cadastrados na rede utilizada no *Netica*. A taxa de acertos do sistema ainda é baixa

para ser utilizada como um sistema biométrico, principalmente se for realizar a identificação dos usuários em vez da verificação.

Não existe um sistema biométrico que seja capaz de resolver todos os problemas de acesso, principalmente com relação a fraudes. Como este sistema não utiliza detecção de vida ele está sujeito a fraudes através de mãos forjadas. Implementar um sistema multimodal é uma das soluções para melhorar a resistência do sistema contra fraudes.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Pensando em melhorias para o projeto, já existem algumas ideias para outra versão do mesmo, voltadas principalmente para a melhoria da segurança do sistema. Essas ideias para trabalhos futuros são:

- Pretende-se continuar o projeto como trabalho de mestrado propondo um sistema biométrico multimodal baseado na análise da geometria da mão e das linhas da palma da mão.
- Melhorar o método de aquisição das imagens, pois da maneira que o suporte foi construído ficou desconfortável para o usuário posicionar a mão com a palma voltada para cima. A melhor opção talvez fosse alterar o posicionamento da câmera.
- Melhorar a iluminação do equipamento para aquisição das imagens, visto que conforme o local onde a imagem é adquirida influencia na qualidade da mesma, principalmente em termos de sombras.
- Testes do sistema proposto com outras bases de dados a fim de confirmar o desempenho do sistema com outros métodos de aquisição.
- Aquisição de imagens de mais usuários e de mais imagens por usuário para que seja possível analisar o desempenho do sistema em um conjunto maior.
- Aquisição de imagens com imposição de idade para criação de um banco de dados mais restrito.
- Implementação do módulo de verificação no *software* de aquisição e processamento.

REFERÊNCIAS

- ASHISH, Saraf. **Design of a Hand Geometry Based Recognition System**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Indian Institute of Technology Kanpur. Jan. de 2007.
- BAYESIALAB. Version 5.1 trial.[S.I.]: Bayesia SAS. Disponível em: <<http://www.bayesia.com/en/products/bayesialab/download.php>>.
- BIOMETRIC CONSORTIUM. Disponível em: <<http://www.biometrics.org/introduction.php>>. Acesso em: 17 de dez. de 2012.
- BIRDAL, Tolga. **Famous Otsu Thresholding in C#**. Jul. de 2009. Disponível em: <<http://www.codeproject.com/Articles/38319/Famous-Otsu-Thresholding-in-C>>. Acesso em: 28 de out. de 2012.
- BOREKI, Guilherme. **Sistema de Controle de Acesso por IButton com Verificação Biométrica da Geometria da Mão**. Dissertação (Engenharia da Computação) - Centro Universitário Positivo, Curitiba, 2003.
- CHEN, Hong et al. **Fake Hands: Spoofing Hand Geometru Systems**. The Biometric Consortium Conference, Michigan, 2005.
- COSTA, Luciano R.; OBELHEIRO, Rafael R.; FRAGA, Joni S. **Introdução à Biometria**. In: Livro-texto dos Minicursos, VI Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais (SBSeg'2006), p.103-151. Santos, SP, 2006. Disponível em: <<http://www.das.ufsc.br/~rro/pubs/sbseg06-biometria.pdf>>. Acesso em: 26 de dez. de 2012.
- COVAVISARUCH, Nongluk et al. **Personal Verification and Identification Using Hand Geometry**. ECTI Transactions on Computer and Information Technology, Vol. 1, Nº. 2, nov. de 2005.
- DIAS, João S. **Raciocínio Médico e a Abordagem Bayesiana: um estudo de caso**. Trabalho (Concurso de professor titular) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2013.
- EMGU CV. Version 2.3. [S.I.] Disponível em: <http://www.emgu.com/wiki/index.php/Main_Page>. Acesso em: 14 de abr. de 2012.

IBIOMÉTRICA. **Biometria – Centro de Conhecimento**. 2010. Disponível em: <http://www.ibiometrica.com.br/biometria_sistemas.asp>. Acesso em: 14 de dez. de 2012.

JAIN, Anil K.; PANKANTI, Sharath; BOLLE, Ruud. **Biometrics: Personal Identification in Networked Society**. Massachusetts, Kluwer Academic Publishers, 1999. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=XPC9ucFbddsC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 14 de dez. de 2012.

JAIN, Anil K.; ROSS, Arun; PANKATI, Sharath. **A Prototype Hand Geometry-Based Verification System**. Proc. of 2nd Int'l Conference on Audio and Video-based Biometric Person Authentication, Washington D.C., p. 166-171, mar. de 1999.

JUNIOR, João Domingos G. S. **Estimadores de Curvatura Baseados em Aproximações por Curvas Paramétricas**. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/6223/6223_4.PDF>. Acesso em: 26 de nov. de 2012.

KUMAR, Ajay et al. **Personal authentication using hand images**. Pattern Recognition Letters, Vol.27, p. 1476-1486, 2006.

LE-QING, Zhu; SAN-YUAN, Zhang. **Multimodal biometric identification system based on finger geometry, knuckle print and palm print**. Pattern Recognition Letters, Vol. 31, p. 1641-1649, 2010.

MARQUES Filho, Ogê; VIEIRA Neto, Hugo. **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

MATOS, Helder J. S. **Reconhecimento Baseado na Geometria da Mão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

MATSUMOTO, Tsutomu et al. **Impact of Artificial ‘Gummy’ Fingers on Fingerprint Systems**. Yokohama National University, Japão, maio de 2002. Disponível em: <<http://cryptome.org/gummy.htm>>. Acesso em: 17 de dez. de 2012. MICROSOFT Visual Studio 2010 Ultimate. Version 4.0.30319. [S.I.]: Microsoft Corporation, 2010. CD-ROM.

NACIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL. **Hand Geometry**. 2006. Disponível em: <<http://biometrics.gov/Documents/HandGeometry.pdf>> Acesso em 14 de dez. de 2012.

NACIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL. **Biometric Frequently Asked Questions**. p. 5, 2006. Disponível em: <<http://www.biometrics.gov/Documents/FAQ.pdf>> Acesso em 14 de dez. de 2012.

NETICA. Version 4.16. [S.I.]: Norsys Software Corp, 2010. Disponível em: <<https://www.norsys.com/download.html>>.

O'GORMAN, Lawrence. **Curvilinear Feature Detection from Curvature Estimation**. Murray Hill, 1988.

PADILHA, A. J. **Processamento e Análise de Imagens**. Fev. de 1998. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~padilha/PAI/ficheiros/Cap5-ac.pdf>>. Acesso em: 1 de nov. de 2012.

PEDRINI, Hélio e SCHWARTZ, William R. **Análise de Imagens Digitais: Princípios, Algoritmos e Aplicações**. São Paulo: Thomson, 2008.

PEDROSA, Glauco V.; BARCELOS, Celia A. Z. **Detecção de pontos de saliência em imagens**. IX Encontro interno e XIII Seminário de iniciação científica, Universidade Federal de Uberlândia, 2009. Disponível em: <<https://ssl4799.websiteseuro.com/swge5/seg/cd2009/PDF/IC2009-0050.pdf>> Acesso em: 8 de nov. de 2012.

PICHILIANI, Mauro. **Data Mining na Prática: Algoritmo K-Means**. Set. de 2006. Disponível em: <<http://imasters.com.br/artigo/4709/sql-server/data-mining-na-pratica-algoritmo-k-means/>>. Acesso em: 24 de fev. de 2013.

PIERCE, Philip. **C# Webcam Capture**. 2003. Disponível em: <<http://www.planet-source-code.com/vb/scripts/ShowCode.asp?txtCodeId=1339&lngWId=10>>. Acesso em: 25 de set. de 2012.

PRABHAKAR, Salil; PANKANTI, Sharath; JAIN, Anil K.; **Biometric Recognition: Security and Privacy Concerns**. IEEE Security & Privacy, Mar. de 2003.

FÉRRER, Rômulo. **PROCESSO DE AFINAMENTO DA IMAGEM**. 2007. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/romuloferrer/projects-1/digital-image-processing/3-6-processo-de-afinamento-da-imagem>>. Acesso em: 26 de nov. de 2012.

RIBEIRO, Carlos E. C. **Biometria – Leitores de Impressão Manual**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/07_2/carlos_eduardo/BiometriaMao.html>. Acesso em: 14 de dez. de 2012.

SANCHEZ-REILO, Raul; SANCHEZ-AVILA, Carmen; GONZALE-MARCOS, Ana. **Biometric Identification through Hand Geometry Measurements**. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, nº10, p. 1168-1171, 2000.

SILVA, Clevertom et al. **A SEGURANÇA ATRAVES DA BIOMETRIA**. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2007. Disponível em: <[http://www.gestorseg.com/academico/trabalhos/1342_A_SEGURANCA_ATRAVES_DA_BIOMETRIA\(SEGET\).pdf](http://www.gestorseg.com/academico/trabalhos/1342_A_SEGURANCA_ATRAVES_DA_BIOMETRIA(SEGET).pdf)>. Acesso em: maio de 2012.

SQLITE. Version 3.7.15.2. Disponível em: <<http://www.sqlite.org/index.html>>. Acesso em: 3 de dez. de 2012.

TESTES DE AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE IMAGEM. Disponível em: <<http://www1.dem.ist.utl.pt/carclub/Clube/aquisicaoC.htm>>. Acesso em: 25 de set. de 2012.

THE INTERNATIONAL BIOMETRIC SOCIETY. Disponível em: <<http://www.biometricsociety.org/about/definition-of-biometrics/>> Acesso em: 14 de dez. de 2012.

WONG, Alexandra L. N.; SHI, Pengcheng. **Peg-Free Hand Geometry Recognition Using Hierarchical Geometry and Shape Matching**. Hong Kong University of Science and Technology, Kowloon, 2002.

YANO, Vitor A. N. **Sistema Biométrico Multimodal Baseado em Pupilometria Dinâmica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ZIMMER, Alessandro. **Sistema Biométrico Híbrido para Verificação de Assinaturas Manuscritas**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2008.