Campus de São Carlos

**METODOLOGIA PARA A EXTRAÇÃO DE
CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DA MÃO
HUMANA VISANDO A APLICAÇÃO NA
IDENTIFICAÇÃO PESSOAL**

Águida Aparecida Gava

Orientador: Prof. Dr. Adilson Gonzaga

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Engenharia São Carlos

Departamento de Engenharia Elétrica

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 22 / 06 / 05

Ass.: *lesu*

METODOLOGIA PARA A EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS
BIOMÉTRICAS DA MÃO HUMANA VISANDO APLICAÇÃO NA
IDENTIFICAÇÃO PESSOAL

ÁGUIDA APARECIDA GAVA

Dissertação

Defesa apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São
Paulo, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Adilson Gonzaga.

São Carlos

2004

DEDALUS - Acervo - EESC

31100052240

Class.	TFC-FFSC ✓
Cott.	2475
Tombo	T164/05
Sysno	145 6158

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

G279m Gava, Águia Aparecida
Metodologia para a extração de características
biométricas da mão humana visando aplicação na
identificação pessoal / Águia Aparecida Gava. São
Carlos, 2004

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2004.
Área: Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Dr. Adilson Gonzaga.

1. Biometria. 2. Mãos. 3. Extração de características. 4. Identificação pessoal. 5. Palmprint. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Bacharel **ÁGUIDA APARECIDA GAVA**

Dissertação defendida e julgada em 17-12-2004 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Associado **ADILSON GONZAGA (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA

Profa. Dra. **MARIA STELA VELUDO DE PAIVA**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA

Profa. Associada **AGMA JUCI MACHADO TRAINA**
(Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação/USP)

APROVADA

Prof. Associado **HOMERO SCHIABEL**
Vice-Coordenador em exercício do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Elétrica

Profa. Titular **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

"O maior mal é a ignorância da Verdade".

Platão

*"Só a Verdade poderá libertar a humanidade das garras da ignorância e assim prepará-la
para o cumprimento do seu dever na Terra"*

J. N.

Dedicatória

Aos meus Pais Devanir e Célia porque nossos pensamentos para sempre estarão unidos em um só sentimento.

Aos meus filhos Fabricio e Célia Sarah, por terem compreendido as minhas ausências, me dado forças e longos abraços a cada retorno, amo vocês do fundo do meu coração.

Ao meu companheiro José Augusto pelo auxílio, carinho, amor e respeito.

Aos meus avós Mário Gava e Ramília, à tia Vina, para que compartilhem comigo dessa alegria.

Aos meus irmãos, Júnior e Ariane, para que não abandonem o barco e continuem remando.

E em especial à minha sogra Marlene que me incentivou e tornou possível o que parecia um sonho distante.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, que guia os meus passos e ilumina minha estrada, mesmo sendo eu sua mais pequenina filha.

Aos meus pais, pelo apoio invisível aos olhos de muitos, mas presente em meu coração, à minha sogra Marlene pelo carinho.

Aos Professores Maria Heleny e Tadeu Fabbri Araújo, Professora Silvia Jorge, que foram os responsáveis pelo início de minha jornada acadêmica, meus anjos de guarda e incentivadores.

Aos colegas que tanto me auxiliaram, tornando clara as idéias e por vezes, tornado possível a continuação da marcha: Professora Márcia Agüena, José Carlos Pizolatto, Alessandro Cruz, Professor Venezuelo, Professor Aledir.

Aos Amigos e vizinhos que participaram da experiência com carinho e por diversas vezes, em especial às amigas Maria Aparecida Costa Stefanello e Miriam Stefanello.

Ao meu orientador Professor Dr. Adilson Gonzaga e ao querido Professor Mário Saturno.

E a todos os novos amigos conquistados durante esses dois anos de convivência, de trocas, alegrias, companheirismo. Que esse tempo fique sempre na nossa memória.

Conteúdo

Lista de Ilustrações.....	iii
Lista de Tabelas.....	v
Lista de Siglas	vi
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
1. Introdução	
1.1 Necessidade da Identificação Pessoal.....	2
1.2 A mão Humana como Identificador.....	3
1.3 Objetivo do trabalho.....	4
4. Organização da Dissertação.....	5
2. Biometria	
2.1 Introdução.....	6
2.2 História da Biometria:	7
2.3. Biometria, Por que usar?	11
2.4. Verificação de autenticidade	13
2.5. Avaliação de desempenho de métodos.....	14
2.6. Medidas Biométricas.....	15
2.6.1 Impressão Digital	16
2.6.2 Reconhecimento da Íris	19
2.6.3 Reconhecimento da Retina	20
2.6.4 Reconhecimento de Faces	21
2. 6.4.1 Algoritmos de Reconhecimento de Faces	22
2.6.4.2 Principais etapas para o processo de reconhecimento de Faces.....	22
2.6.4.3 Detecção de Faces.....	23

2.6.4.4 Classificação dos métodos de detecção de faces.....	24
2. 6.4.5 Método baseados em Características Top-Down.....	25
3. Biometria da mão	
3.1 Introdução.....	26
3.2 Metodologias.....	27
3.2.1. Palmprint.....	27
3.2.2. Dorso da Mão.....	32
3.3 Sistemas Comerciais de Reconhecimento de mãos.....	44
3.3.1.HandPunch 2000.....	44
3.3.2 IR Recognition Systems - HandReaders.....	45
4. Desenvolvimento do Trabalho	
4.1 Considerações iniciais.....	47
4.2 Padrões e classes de padrões.....	48
4.2.1 Classificador de distância mínima.....	49
4.2.2 Distância Euclidiana.....	50
4.2.3 Média, variância e desvio padrão.....	51
4.3 Metodologia.....	52
4.3.1 Aquisição da imagem.....	54
4.3.2 Pré - processamento.....	55
4.3.3 Segmentação do Contorno.....	57
4.3.4 Algoritmo de determinação das distâncias.....	58
4.4 Resultados e discussões.....	61
4.4. Representação Gráfica.....	67
5. Conclusão.....	70
6. Trabalhos Futuros.....	73
7. Referências Bibliográficas.....	74
8. Apêndice.....	78

Lista de Ilustrações

Figura [2.1] - Falsa aceitação x Falsa rejeição.....	16
Figura[2.2] – Impressão Digital	17
Figura[2.3] – As cinco classes proposta por Edward Henry.....	19
Figura[2.4] – Minúcias.....	19
Figura[2.5]-Kit de instalação do <i>PC Iris</i>	21
Figura [2.6] – Retina.....	21
Figura [2.7]- Analisador de retina.....	22
Figura [3.1]- Linhas Características – “ <i>Palmprint</i> ”	30
Figura [3.2] - Extração das características lineares da palma da mão.....	31
Figura[3.3] –Resultado de “ <i>Matching</i> ” das imagens da Figura[2.2].....	32
Figura[3.4] - Resultados experimentais : FAR e FRR(SHU,1998).....	33
Figura [3.5] – Diagrama do Sistema Biométrico de Reconhecimento(Reillo,2000).....	34
Figura [3.6] – “ <i>Designer</i> ” do Protótipo.....	35
Figura [3.7] – Pré-processamento da mão:.....	36
Figura[3.8]- Localização dos pontos de medida para extração de características.....	37
Figura [3.9] - Características extraídas pelo algoritmo de Bulatov.....	39
Figura [3.10] - Montagem do Sistema óptico de captura.....	41
Figura [3.11] – Grade de distorção na mão testada – resolução - 512 x 512.....	41
Figura [3.12] - Mapa da “ <i>Quadtree</i> ” utilizado por Lay.....	42
Figura [3.13] - Imagem da mão binarizada.....	43
Figura [3.14] - Sistema HandPunch 2000.....	44
Figura [3.15] -Posição dos pinos- modelo Handpunch 2000.....	45
Figura [3.16] -Aparelho de Captura Handpunch 2000.....	45
Figura [4.1] A menor distância –melhor casamento.....	51
Figura [4.2] – Os dez pontos de máximo e mínimo.....	55
Figura [4.3] - Encaixe da Mão do usuário no scanner.....	56

Figura [4.4] Imagem adquirida por varredura.....	56
Figura [4.5]- Função imopen.....	57
Figura [4.6]- Filtro morfológico.....	57
Figura [4.7]- Imagem resultante do processamento.....	57
Figura [4.8]- Pontos de máximo.....	58
Figura [4.9]- Função Proxpix	59
Figura [4.10]-Pontos de máximo e mínimo desejados.....	60
Figura [4.11]- Pontos de máximo e mínimo encontrados	61
Figura [4.13] -Comparação entre <i>Distância Euclidiana das diversas mãos utilizadas...</i>	67
Figura [4.14] - Desvio Padrão $a - a'$	69
Figura [4.15] - Desvio Padrão	69
Figura [4.16] - Comparação de Desvio Padrão.....	70
Figura [5.1] - Imagem de mão com unha comprida no dedo mínimo.....	72

Lista de Tabelas

Tabela [4.1] - Vetor protótipo médio.....	63
Tabela[4.2] - <i>Distância Euclidiana</i> entre o vetor média e cada vetor obtido de cada usuário.....	64
Tabela[4.3] – Comparação entre as distâncias mínimas encontradas nas mãos de um mesmo usuário e entre mãos de usuários diferentes.....	65
Tabela[4.4] - Distância Euclidiana entre usuários diferentes.....	66
Tabela[4.5] Desvio Padrão.....	68
Tabela[4.6]Falsos positivos e Falsos negativos encontrados.....	69

Lista de Siglas

BMP → <i>Bitmap</i> : Formato de compressão de imagem
CCD – (câmera) → <i>Charge-Coupled Device</i> : Dispositivo de carga acoplada
DNA→ Ácido desoxirribonucléico
DPI → <i>Dots per inch</i> : pontos por polegada
EER→ <i>Equal Error Rate</i> – Taxas de erros
FAR → <i>False Acceptance Rate</i> : Falsos Positivo
FRR → <i>False Rejection Rate</i> : Taxa de Falso Negativo
GMM → <i>Gaussian Mixture Modelling</i> : Modelo de Mistura Gaussiana
HD → Distância <i>Hamming</i>
JPEG→ <i>Joint Photographic Experts Group</i> : Formato de compressão de imagem

Resumo

Gava, A. A.(2004) *Metodologia para a extração de características biométricas da mão humana visando aplicação na identificação pessoal*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia Elétrica de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um algoritmo capaz de extrair medidas dos dedos e da palma das mãos. Essas imagens serão adquiridas através de um banco de imagens digitalizadas em um scanner de mesa, facilmente encontrado, e processadas para se obter uma curva do contorno da mão, permitindo assim que se extraia informações Biométricas das mesmas. As imagens armazenadas no banco serão então associadas a um determinado usuário, visando em um estágio futuro, aplicações na identificação pessoal.

Palavras-chaves: Biometria, mãos, palmprint, dedos, identificação pessoal.

Abstract

Gava, A. A.(2004) *Metodology to extract biometrics features of the human hand aiming personal identification applications*. M.Sc.Dissertation -Escola de Engenharia Elétrica de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

The object of this work is to develop an algorithm to extract fingers and hands palm measures. Those images will be acquired from a database of images digitalized by a scanner, easily founded, and processed to get the hand contour, allowing biometrics informations to be extracted. The images stored in the database will be associated with an user, aiming personal identification in a future stage.

Key words: Biometrics, hands, palmprint, fingers, personal identification

Capítulo 1

Introdução

1.1 Necessidade da Identificação Pessoal

A associação de uma identidade a um indivíduo é chamada de Identificação Pessoal. O problema de determinar a identidade de uma pessoa pode ser categorizado em dois tipos de problemas com diferentes complexidades inerentes:

- i) Autenticação ou verificação e
- ii) Identificação.

Autenticação refere-se ao problema de confirmar ou negar uma determinada identidade solicitada (“Sou eu quem digo quem sou?”) e Identificação refere-se ao problema de estabelecer uma identidade a um sujeito (“Quem sou eu?”). Uma identificação pessoal confiável é crítica na maioria das transações.

O controle de acesso a locais físicos e a sistemas de computadores está se tornando cada vez mais importante para prevenir abusos. O roubo de identidade tem assumido proporções alarmantes em nossa sociedade. Assim, há um interesse crescente no desenvolvimento de sistemas de identificação pessoal confiáveis e abrangente em aplicações civil, comercial e financeira.

Tipicamente, uma pessoa poderia se identificar baseada em:

- i) “Alguma coisa que ela possua” como por exemplo, possuir uma chave ou um cartão de identificação.
- ii) “Alguma coisa que ela conheça” como, por exemplo, uma senha.
- iii) “Alguma coisa que a pessoa é” como, por exemplo, uma característica física ou comportamental. Dentre as características físicas pode-se citar a impressão digital, o reconhecimento da face, medidas da mão,

reconhecimento da íris, etc. As características comportamentais mais utilizadas são a voz e a assinatura pessoal.

O método de identificação de uma pessoa baseado em suas características físicas ou comportamentais distintas é chamado de Biometria. Como as características biológicas não podem ser esquecidas como as senhas, não podem ser compartilhadas ou roubadas como as chaves ou os cartões de identificação, elas são geralmente consideradas como sendo abordagens mais confiáveis para solucionar o problema de identificação pessoal.

A Biometria tem sido largamente pesquisada nas últimas décadas em vários centros de pesquisas internacionais (MIT, Caltech, e outros), e a maioria dos produtos comerciais tem suas origens baseadas nessas pesquisas.

O reconhecimento de impressões digitais é uma das biométricas mais maduras, pois tem sido utilizada na área criminal desde o início do século XX.

Nos últimos vinte anos, numerosos algoritmos têm sido propostos para o reconhecimento facial. Apesar de grandes desenvolvimentos relativamente a variações de iluminação e posição, tais algoritmos são bastante sensíveis ao processo de extração de características.

O reconhecimento dos padrões da íris tem sido apontado como a biométrica mais confiável, mas além de ser uma tecnologia patenteada e proprietária, carece também de aceitação, dado que as pessoas sentem-se desconfortáveis com equipamentos que possam sugerir danos ao seu olho. O mesmo ocorre com a técnica de varredura da retina para a determinação de padrões biométricos.

A medida da geometria da mão é uma característica biométrica empregada há anos e consiste em medir proporções de dedos e mão através da imagem obtida com uma câmera.

Termogramas faciais e da palma da mão tem também sido pesquisados como medidas para identificação de pessoas. Recentemente alguns estudos dos dermatóglifos, que são as diversas dobras e riscos da palma da mão humana, tem sido apresentados como métodos para identificação.

1.2. A Mão Humana como Identificador Pessoal

Não existe uma medida biométrica ideal. Cada métrica tem sua força e sua limitação, e é mais indicada para determinada aplicação. A aplicabilidade de uma determinada técnica biométrica depende de vários fatores sendo que a aceitação do usuário parece ser um dos mais significativos.

Para a maioria das aplicações de controle de acesso como, por exemplo, imigração, controle de embarque ou acesso a planos de saúde, há certa discriminação vinda de usuários aos métodos biométricos de identificação, como os métodos de impressão digital e análise da íris, devido ao receio de que eles não preservem a privacidade do indivíduo. Nessas situações é desejável que o identificador biométrico seja suficientemente seletivo para verificação, mas não necessariamente para identificação. Como a informação sobre a geometria da mão não é muito seletiva, isto é, este processo é mais recomendável para se fazer reconhecimento biométrico através de características previamente armazenadas, torna-se uma das métricas escolhidas neste tipo de aplicações.

A autenticação baseada na geometria da mão é bastante efetiva por várias outras razões. As medidas de geometria da mão são facilmente conseguidas devido à destreza das mãos e devido aos métodos relativamente simples de captura da imagem que não requerem aparatos ópticos complexos. Para impressões digitais, por exemplo, é importante que a pele não esteja úmida ou suja e no reconhecimento de íris ou retina, é necessária uma iluminação especial. Além disso, a geometria da mão é facilmente integrável com outras medidas biométricas em um sistema multi-modal, como por exemplo, identificação por geometria da mão e impressão digital, ou geometria da mão e face.

Apesar dos equipamentos propostos para identificação pessoal através da geometria da mão, serem de óptica simples (em geral, uma plataforma com uma câmera e espelhos) sem a necessidade de iluminação especial, uma questão que se apresenta é se a metodologia for aplicada de maneira mais ampla, seria necessário

mais um equipamento junto ao Microcomputador pessoal daqueles que tiverem que ser identificados para operações que envolvam segurança, como acessos via Internet.

Considerando que existem equipamentos voltados para a aquisição de imagens, em larga escala, como, por exemplo, os *scanners* de mesa, seriam de grande valia se algoritmos de extração de características e de reconhecimento das medidas biométricas das mãos pudessem utilizar esse tipo de imagem, visando a identificação pessoal.

1.3. Objetivos do Trabalho

Os objetivos deste trabalho são:

1. Processar imagens digitalizadas através de *scanners* de mesa, facilmente encontrados em qualquer escritório ou mesmo junto a Microcomputadores pessoais, para se obter uma curva do contorno da mão, permitindo assim que se possam extrair informações Biométricas das mesmas.
2. Desenvolver um algoritmo capaz de extrair medidas dos dedos e da palma (dorso) e associá-las a um determinado usuário, visando em um estágio futuro aplicações na identificação pessoal.

Com isso, pretende-se propor uma metodologia simplificada que independa de interfaces especializadas para a digitalização da imagem da mão, conforme são as existentes em equipamentos comerciais atuais.

Um usuário de um sistema computacional qualquer poderá ser identificado desde que possua um *scanner* de mesa comum, e participar, por exemplo, de cursos de educação a distância, realizar *login* em áreas restritas, ou se identificar em qualquer outra atividade que exija identificação pessoal através da Internet.

1.4. Organização da Dissertação

Esta monografia está subdividida em quatro capítulos.

No capítulo dois é apresentado o tema geral no qual se insere a proposta do trabalho. Nesse capítulo discute-se a Biometria e a necessidade de identificação pessoal, considerando as diversas técnicas de medidas biométricas.

Do geral ao específico, o capítulo três enfoca a biometria da mão, analisando as principais metodologias empregadas atualmente para se identificar um indivíduo através dessa característica.

No capítulo quatro é apresentada a proposta desenvolvida para o trabalho de mestrado visando um método simplificado e analisando-se os resultados sobre imagens adquiridas através de um “*scanner*” de mesa.

Capítulo 2

Biometria

1. Introdução

A história da biometria começa junto com o homem, pois a diferenciação de uma pessoa é feita através do conjunto de características físicas intrínsecas a determinado indivíduo, que pode ser sua voz, cheiro, características faciais ou aspectos comportamentais.

Mas afinal o que é Biometria? **Biometria** é o ramo da ciência que estuda a mensuração dos seres vivos. É a parte da estatística que investiga atributos biológicos quantitativos pertinentes a uma população de seres vivos, (FERREIRA, 2001) referindo-se assim, a todos os métodos que utilizam medidas biológicas de identificação.

Parte do recente interesse em sistemas de computadores para o reconhecimento de padrões biométricos deve-se às suas inúmeras aplicações práticas, relevantes tanto do ponto de vista tecnológico quanto do social, abrangendo áreas como a biologia, psicologia, neuropsicologia, visão computacional, entre outros.

Do ponto de vista social, na questão da segurança a biometria é hoje a chave para identificar pessoas e reconhecê-las, por exemplo, controlando acesso a prédios, rastreando crianças desaparecidas, identificando criminosos e servindo como chave segura para imóveis, já que contém características pessoais únicas e intransferíveis.

Entretanto, o alto custo dos equipamentos de identificação biométrica é o principal fator que vem inibindo o crescimento dessa tecnologia. O surgimento de novas empresas desenvolvedoras e adeptas desses sistemas vêm corrigindo esse problema.

A biometria pode ser dividida em duas classificações:

- Baseada nas características fisiológicas: impressões digitais, geometria de mão, retina e características faciais, etc.
- Baseada nas características de procedimento: reconhecimento de voz, assinatura, etc. Neste caso os resultados são considerados menos conclusivos porque as técnicas baseadas em características comportamentais, estão sujeitas a limitações como, por exemplo, a enfermidade e a imitação.

Mas será que a biometria é realmente segura? Quais serão as possibilidades reais de fraudes? Uma vez que “senhas biométricas” acompanham o indivíduo a todos os lugares e não são secretas, pois, mãos, dedos, olhos, voz não são utilizados às escondidas. Qual o perigo real de se deixar as digitais espalhadas em objetos e, conseqüentemente, sofrer violações no sistema. Como é possível evitar que um DNA seja resgatado a partir de um fio de cabelo perdido naturalmente? Alguns sistemas biométricos, como padrões de íris e retina, mostram-se mais seguros, mas a um alto custo, outros, no entanto como padrões de impressões digitais, utilizam-se técnicas e equipamentos de baixo custo computacional, o que tem tornado essas técnicas mais promissoras.

Qual seria a melhor opção em equipamento, caro e sofisticado, com alto índice de segurança, dificultando fraudes, ou equipamentos de baixo custo e com taxas relativas de segurança?

Técnicas e métodos diferenciam-se em tempo de processamento, custo computacional, equipamentos e investimentos. Por exemplo, que característica seria mais adequada na utilização em reconhecimento de padrões biométrico em um aeroporto com grande fluxo de pessoas (rapidez, preço, confiabilidade, custo computacional, etc)? E finalmente, qual o nível de segurança necessário para o desenvolvimento de cada padrão biométrico para tão diferentes situações?

2. História da Biometria

O uso da biometria não é uma novidade. Há milhares de anos atrás, no vale do Nilo, os egípcios já se preocupavam com a identificação dos indivíduos e já usavam a biometria. A identificação de pessoas era feita através de características pessoais, físicas ou comportamentais, como por exemplo: “Tadeu, filho de Josué, estatura baixa, pele clara, cabelos loiros, com uma cicatriz na bochecha esquerda”.

Através dos anos, o uso da biometria pode ser observado através de relatos históricos:

Pré-História

O Homem primitivo tinha o costume de marcar os objetos de seu uso, principalmente a caverna onde se alojava. Estes eram marcados com o desenho de uma das mãos, geralmente da esquerda, o que nos leva a deduzir que ele próprio a gravava, utilizando a mão direita para manusear os instrumentos, que eram deveras rudimentares. A técnica era o decalque sobre a argila, reproduzindo assim as cristas e sulcos papilares da palma da mão e das extremidades digitais, que eram previamente cobertas com matérias corantes. (TAVARES, 1991).

Período empírico

Em alguns países do Oriente (Japão, China e Índia) tinha-se como costume utilizar os dedos impregnados de tinta, em documentos oficiais que os homens eram obrigados a dar às mulheres na ocasião do divórcio. Neste caso as impressões digitais faziam as vezes de assinatura dos analfabetos. Ditas impressões não passavam de borrões inclassificáveis; portanto sem nenhum valor para se estabelecer a identidade. (TAVARES, 1991).

Ano de 782

Foram retiradas de cidades soterradas na areia, no Turquestão, placas de cerâmica lavradas com as seguintes palavras: "Ambas as partes concordam com estes termos que são justos e claros e afixam as impressões dos seus dedos, que são marcas inconfundíveis". (BOMBONATTI, 1997).

Ano de 1664

Marcelo Malpighi, médico italiano e professor de anatomia na Universidade de Bologna, fez estudos sobre as papilas da pele, encontradas na palma da mão e extremidades digitais. No mesmo ano publicou um trabalho intitulado "Epístola sobre o órgão externo do tato". Em 1701, Frederico Ruysch, anatomista holandês continuou os estudos de Malpighi. (TAVARES, 1991).

Ano de 1751

Cristiano Jacob Hintze publicou a obra *Examem Anatomicum Papilorum Cuti Stactui Inserventium*, onde torna públicos seus estudos sobre as papilas localizadas na palma das mãos e planta dos pés. (TAVARES, 1991).

Ano de 1823

João Evangelista Purkinje, apresentou à Universidade de Breslau, na Alemanha, uma tese na qual analisou os caracteres externos da pele, estudou o sistema déltico e agrupou os desenhos digitais em nove tipos. (BOMBONATTI, 1997).

Ano de 1856

José Engel publicou o "Tratado do Desenvolvimento da Mão Humana", no qual fez estudos sobre os desenhos digitais. Engel afirmou que os desenhos digitais

existem desde o sexto mês de vida fetal e reduziu para quatro os nove tipos descritos por Purkinje(BOMBONATTI, 1997). No mesmo ano, Rodolfo Alberto Killiker, publicou seu trabalho “Elementos de Histologia Humana”, onde afirmou que os arabescos dígito-papilares existem desde o quarto mês de vida fetal e perduram até a putrefação cadavérica.(TAVARES, 1991).

Ano de 1858

Henry Faulds, inglês, médico de um hospital em Tóquio, contribuiu para o estudo da datiloscopia, examinando impressões digitais em peças de cerâmica pré-histórica japonesa. Faulds previu a possibilidade de se descobrir um criminoso pela identificação das linhas papilares e preconizou uma técnica para a tomada de impressões digitais, utilizando-se de uma placa de estanho e tinta de imprensa. (BOMBONATTI, 1997).

Ano de 1882

Bertillon desenvolveu técnicas de análise e medida de dados relativos a indivíduos para confirmação de suspeitas em investigação criminal. Ele sugeriu o registro de 11 medidas intrínsecas de cada indivíduo as quais muito dificilmente, se alguma vez, se reproduziriam em indivíduos diferentes. Esta técnica ficou conhecida como “*Bertillonage*” e foi adaptada pelo governo francês com grande sucesso. Rapidamente empregada em outros países igualmente com sucesso, esta técnica de sistematização só foi superada em termos de resultados eficazes, pela análise das impressões digitais. (BOMBONATTI, 1997).

Ano de 1888

Francis Galton, cientista inglês graduado em medicina pela Universidade de Cambridge, sobrinho de Charles Darwin, publicou seu sistema dactiloscópico adotando trinta e oito tipos de impressões digitais, divididos em três grupos: Arcos, Presilhas e Verticilos. Esse sistema foi publicado com o nome de Galtonismo,

reconhecendo-se ser o primeiro sistema usado para identificar pessoas com método científico. (TAVARES, 1991).

Ano de 1900

Edward Richard Henry, publicou na Inglaterra, seu livro "*Classification and Uses of Finger Prints*" expondo seu novo sistema de identificação dactiloscópico, adotando quatro tipos fundamentais: ARCOS, PRESILHAS, VERTICILLOS E COMPOSTOS. (BOMBONATTI, 1997).

Ano de 1901

Nesse ano, o sistema dactiloscópico de Henry foi adotado oficialmente na Inglaterra, pela Scotland Yard. (BOMBONATTI, 1997).

O que pregavam os antigos egípcios é utilizado até os dias atuais, porém de forma mais precisa, de forma científica. Pode-se identificar um indivíduo através de várias partes de seu corpo, ou mesmo por uma única célula, pela sua voz, com índices de segurança bastantes aceitáveis e, a isso, denomina-se Biometria.

3. Biometria – Por que usar?

Existem hoje, diversos sistemas de segurança e todos utilizam algum tipo de autenticação para restringir o acesso ou a violação. Essa autenticação pode ser feita utilizando-se algo que o usuário conheça, como senhas, dados pessoais, nome; ou então, pode-se utilizar algo que esteja intrínseco ao usuário, que não poderia ser transferido de um indivíduo a outro, que são as características biométricas, extraídas a partir de parâmetros biológicos.

Alguns exemplos de técnicas biométricas são:

1. Reconhecimento da íris. Os padrões de textura da íris são únicos para cada pessoa, o que permite usá-los para identificação individual. Nesse caso, uma câmera especial obtém uma imagem precisa dos olhos da pessoa a ser reconhecida e essa imagem é processada e classificada através de técnicas de visão computacional.
2. Reconhecimento de impressões digitais. Esse tipo de identificação, bastante conhecido, é usado na elaboração de documentos pessoais e ainda em investigações criminais. No caso do reconhecimento por computador, o processo é semelhante ao usado com faces e com íris: uma imagem da impressão digital deve ser obtida e processada através de algoritmos de visão computacional.
3. Reconhecimento de mãos, dedos e palmas. Nesse processo os dados são coletados através de câmeras e a análise é feita considerando-se a geometria das mãos e dedos, largura, altura e linhas.
4. Reconhecimento de voz. A captação da voz de uma pessoa por um microfone ligado a um computador permite seu armazenamento na forma de uma sequência de números, (digitalização de sinal). Esse sinal pode ser processado e classificado através de algoritmos de reconhecimento de padrões.
5. Reconhecimento de faces. Antes do reconhecimento, um sistema de identificação pessoal precisa detectar a presença de faces em uma imagem. Porém, a detecção de faces de uma única imagem é uma tarefa desafiadora por causa da variação na escala, posição, orientação (rotação para cima, à direita), e pose (frontal ou perfil). Expressões faciais, oclusão e condições de iluminação também mudam a aparência global das faces.

Outras técnicas que têm sido estudadas são o reconhecimento de DNA, o reconhecimento de pessoas através de sequência de vídeo e mesmo o odor exalado pelo corpo de cada pessoa. Cada técnica de biometria possui vantagens e desvantagens em relação ao grau de certeza ou probabilidade de erro, facilidade de aplicação, custos, rapidez de resposta e outros parâmetros. Os pesquisadores buscam ainda integrar diferentes técnicas, como tentar reconhecer uma pessoa a partir de uma imagem e de sua voz. Situações práticas que exigem altíssimo grau de certeza, como a movimentação de uma conta corrente em um banco eletrônico, podem requerer o

uso de uma ou mais dessas técnicas, junto com mecanismos de segurança mais tradicionais, como senhas e cartões magnéticos.

Quanto maior o número de características armazenadas por um sistema biométrico, maior será sua precisão e conseqüentemente mais seguro. Um padrão de retina, por exemplo, pode ser armazenado em 35 bytes e uma face pode ser armazenada em apenas 84 bytes; a impressão digital e o padrão da íris, tipicamente, ocupam de 256 a 512 bytes. Em computadores comuns já é possível processar 100 mil íris por segundo e com o sistema facial de 84 bytes, é possível processar até um milhão de rostos por segundo. Além disso, os dados extraídos, transportados ou armazenados não possibilitam a volta à imagem inicial. (REDIN, 2002).

4. Verificação de autenticidade

Um aspecto que afeta a autenticação por biometria é a recuperação do modelo pelo algoritmo de comparação. O modelo pode ser usado na identificação, reconhecimento ou na autenticação do usuário. Muitos dispositivos são utilizados para verificação (autenticação), outros, para a identificação (reconhecimento).

A identificação biométrica é um processo um-para-muitos, quando uma amostra é submetida ao sistema, que a compara com todos os modelos da base de dados, a fim de verificar se esta coincide com qualquer um destes modelos e, em caso positivo, determina a identidade do usuário, a quem aquele modelo pertence. (ROETHENBAUGH, 1998).

A verificação biométrica é um processo um-para-um, quando o sistema verifica a identidade de um usuário comparando a amostra com um modelo específico. Através de uma identificação fornecida, o sistema localiza o modelo desejado e o compara com a amostra apresentada. Se houver coincidência entre a amostra e o modelo armazenado, o sistema confirma que o usuário realmente possui a identidade afirmada (FIORESE, 2000). O algoritmo de comparação usará apenas o modelo armazenado ao nome. Verificações biométricas são, tipicamente, mais rápidas do que a identificação porque elas não precisam comparar a amostra com todo o banco de dados de modelos.

5. Avaliação de desempenho dos métodos biométricos

Muitas métricas têm sido adotadas para avaliar os algoritmos de identificação. Os principais problemas são, avaliar o desempenho dos métodos de detecção propostos, como o tempo de aprendizagem, o tempo de execução, o número de amostras requeridas no treinamento, e a relação entre taxas de detecção e alarmes falsos: Falsos Positivos ou **FAR** (*False Acceptance Rate*), e Falsos Negativos ou **FRR** (*False Rejection Rate*).

A FAR representa a percentagem de usuários não-autorizados que são incorretamente identificados como usuários válidos. A FRR representa a percentagem de usuários autorizados que são incorretamente rejeitados. O nível de precisão configurado no algoritmo de comparação tem efeito direto nessas taxas. O modo como são determinadas é fundamental para a operação de qualquer sistema biométrico, e assim deve ser considerado um fator primário na avaliação de sistemas biométricos (FIORESE, 2000).

Os dispositivos biométricos físicos tendem a ter uma melhor taxa de falsa aceitação por causa da estabilidade da característica medida e porque as características comportamentais são mais fáceis de serem duplicadas por outros usuários. A configuração do valor limite para tolerância a esses erros é crítica no desempenho do sistema. A falsa rejeição causa frustração e a falsa aceitação causa fraude.

Muitos sistemas podem ser configurados para fornecer detecção sensível (baixa FAR e alta FRR) ou detecção fraca (baixa FRR e alta FAR). A medida crítica é conhecida como taxa de cruzamento (*crossover rate*). Ela é o ponto de encontro entre a FAR e a FRR. Muitos sistemas biométricos comerciais têm taxas de cruzamento abaixo de 0,2%, e alguns abaixo de 0,1%. A taxa de cruzamento aumenta com a frequência do uso, com os usuários acostumando-se com o sistema e o sistema tornando-se mais afinado com o nível de variação esperado. A figura [2.1] mostra as taxas de falsa aceitação e falsa rejeição.

Figura [2.1] - Falsa aceitação x Falsa rejeição

6. Medidas Biométricas

Quanto maior for o número de características armazenadas pelo sistema biométrico, maior será o percentual de acerto. A precisão exigida, isto é, o número de informações do indivíduo a serem comparadas às informações deste mesmo indivíduo já armazenadas, implica, diretamente, na segurança do mesmo. Como exemplo, em uma descrição verbal de um homem: estatura média, cabelos escuros, olhos verdes, tez avermelhada, nariz afilado, 25 anos, tem-se um número suficiente de características biométricas para diferenciá-lo de outro indivíduo de mesma altura, mesma cor de pele, mas de olhos escuros. Não seria possível diferenciá-lo, do segundo homem, se na informação contivesse apenas sua altura e cor de pele.

6.1 Impressão Digital

A Identificação por Impressões Digitais é a forma mais difundida do uso de características biométricas. A automatização do processo é utilizada desde a década de 80 no Japão e nos Estados Unidos, para controle de imigração, controle de acesso, porte de armas, transações eletrônicas, controle e gerenciamento de ponto, entre outros.

A maioria dos sistemas de comparação da impressão digital são baseados na combinação das minúcias(*minutiae*). As minúcias são essencialmente terminações e bifurcações das linhas do cume que constituem um padrão da impressão digital, como pode ser visto na Figura [2.2].

Figura[2.2] – Impressão Digital

A detecção automática das minúcias é um processo extremamente crítico, em especial nas impressões digitais de baixa qualidade onde o ruído e a deficiência do contraste podem originar *pixels* similares às minúcias ou esconder minúcias reais.

Diversas aproximações para extração automática das minúcias foram propostas. Embora com diferenças, a maioria desses métodos transforma a imagem da impressão digital em imagens binárias através de algoritmos. As imagens obtidas são submetidas a um processamento que permita reduzir a espessura das linhas a um *pixel*.

A Datiloscopia, termo constituído de dois radicais gregos (DAKTYLOS = dedos; SKOPÊIN = examinar), é um método de identificação empregado há mais de um século, baseado no reconhecimento das impressões digitais. É considerada a tecnologia biométrica mais prática, segura e econômica que existe. Seus princípios fundamentais são:

→PERENIDADE (Universalidade): cada pessoa é classificada por um conjunto de características que permanecem por toda vida.

→IMUTABILIDADE (Unicidade): Propriedade dos desenhos digitais onde cada pessoa tem suas características próprias.

→CLASSIFICABILIDADE: as figuras digitais podem ser classificadas para arquivamento e pesquisas. Estas características podem ser medidas quantitativamente.

→ VARIABILIDADE: Propriedade dos desenhos digitais em variar de dedo para dedo e de pessoa para pessoa.

As impressões digitais podem ser divididas em diversas classes de acordo com sua topologia geométrica. Edward Henry (SIM, 2001) propôs a divisão em cinco classes, definindo um sistema de classificação designado por *Henry System*. Tais desenhos digitais apresentam características próprias, uma delas pertinente ao delta e outra às linhas do sistema nuclear (núcleo), permitindo abordar a classificação de acordo com o número e localização destes pontos chamados singulares. A Figura [2.3] ilustra essa divisão em classes.

Figura[2.3]-- As cinco classes proposta por Edward Henry

Francis Galton (SIM, 2001) foi o primeiro a fazer um estudo dos aspectos (minúcias) das impressões digitais. Baseado nessas minúcias, chamadas de pontos característicos, é possível fazer a identificação pessoal. As minúcias são acidentes encontrados nas cristas papilares e tem a finalidade de estabelecer a unicidade das impressões digitais, conforme mostrado na Figura[2.4].

Figura [2.4] - Minúcias

As minúcias são classificadas em duas categorias: aspectos básicos e aspectos compostos. Os aspectos básicos são cristas finais (*ridge ending*) e cristas bifurcadas (*bifurcations*). Quanto aos aspectos compostos, formados a partir dos básicos, tem-se ilhas (*islands*), cristas curtas (*short ridge*), espore (*spurs*), cruzamentos (*crossover*).

Duas impressões digitais só serão consideradas idênticas quando apresentarem doze ou mais pontos característicos, com a mesma configuração e que tenham exatamente a mesma localização. Na maioria dos países, estes critérios são requeridos legalmente para identificação positiva em um caso criminal.

6.2 Reconhecimento da íris

A Íris é o anel colorido que circunda a pupila do olho. O padrão da íris do olho humano guarda imagens muito complexas, único em cada pessoa, e que pode ser usado para identificar um indivíduo. É mais preciso que o reconhecimento de faces e impressão digital, só perdendo em precisão para o reconhecimento através da retina. A íris é imutável e pouco suscetível a alterações como sujeira ou machucados que deixam cicatrizes. Lentes e óculos não muito escuros podem ser usados sem comprometer o desempenho do reconhecimento.

A captura da imagem é feita por uma câmara em preto e branco. O usuário olha para a câmara a uma distância de aproximadamente trinta centímetros por poucos segundos. O sistema acomoda usuários de lentes de contato sem dificuldades, embora o sensor deva ser montado ou ajustado de modo a ser satisfatório para usuários de diferentes alturas, incluindo aqueles em cadeiras de roda.

Um sistema de reconhecimento de íris automatizado compara o novo padrão de íris capturado com o padrão de íris armazenado em uma base de dados para decidir se eles foram originados do mesmo olho. Essas imagens são processadas encontrando a íris dentro da imagem e depois extraíndo suas características, alinhando o padrão com o armazenado na base de dados e combinando o conjunto de características para determinar se este foi originado do mesmo olho. O modelo da íris ocupa aproximadamente 512 bytes. (DAHAB, 2002).

Sistemas automatizados de identificação e verificação baseados na tecnologia de reconhecimento de íris requerem menos interação do usuário do que outros sistemas biométricos. O reconhecimento de íris é uma nova tecnologia, onde a baixa FAR é a principal vantagem. A empresa *IrisScan, Inc* (www.iriscan.com), possui a patente sobre a tecnologia de reconhecimento de íris. A Figura [2.5] mostra um kit de reconhecimento de íris que pode ser usado com um PC.

Figura [2.5]-Kit de instalação do *PC Iris*

6.3 Reconhecimento da Retina

A retina é caracterizada pela parte do fundo do olho, uma camada interna composta por vasos sanguíneos que desenham um padrão único e pessoal. É o mais preciso dentre todos os métodos biométricos. A Figura[2.6] apresenta um exemplo desse padrão.

Algumas pesquisas têm provado que o padrão de veias da retina é a característica com maior garantia de unicidade que uma pessoa pode ter. (AND,1999)

Figura [2.6] - Retina

Os analisadores de retina medem esse padrão de vasos sanguíneos usando um laser de baixa intensidade e uma câmara. Nessa técnica, o olho é colocado perto de uma câmara para obter uma imagem focalizada.

A análise de retina é considerada um dos métodos biométricos mais seguros, a taxa de falsa aceitação(FAR) é nula e as fraudes até hoje são desconhecidas. Olhos falsos, lentes de contato e transplantes não podem quebrar a segurança do sistema (HSU,2002). Entretanto, a captura dessa imagem, é difícil e incômoda, pois é necessário que o usuário olhe fixamente para um ponto luminoso de infravermelho

até que a câmera focalize os padrões e os capture. Além disso, recentes pesquisas médicas mostraram, que as características da retina não são tão estáveis como se pensava anteriormente: elas são afetadas por doenças, incluindo doenças das quais o paciente pode não estar ciente. Muitas pessoas ficam temerosas em colocar seu olho próximo a uma fonte de luz e aos problemas que isto possa causar. Como resultado, esta técnica impulsionou o caminho da utilização da análise da íris, que é menos invasiva.

Figura [2.7]- Analisador de retina

As principais características dos analisadores de retina são (AND,1999): tempo de verificação de 1,5 segundos, taxa de falsa rejeição de 12,4% (uma tentativa) e 0,4% (três tentativas), a taxa de falsa aceitação de 0%, tamanho do modelo de 40 *bytes*. Um analisador de retina pode ser visto na Figura [2.7].

6.4 Reconhecimento de Faces

A rápida expansão de pesquisas em processamento de faces está baseada na premissa de que informações sobre a identidade de usuários, estado e intenção podem ser extraídos de imagens, e que computadores podem reagir então adequadamente, por exemplo, observando a expressão facial de uma pessoa.

Reconhecimento ou identificação de face compara uma imagem de entrada (amostra) de encontro a uma base de dados (galeria) e relata se existir uma imagem semelhante.

O propósito da autenticação de face é verificar a cadeia de identidade de um indivíduo na imagem de entrada enquanto métodos que localizam faces calculam a localização e possivelmente a orientação de uma face na imagem em uma sequência de tempo real.

Em qualquer sistema de processamento de imagens a detecção do local na imagem onde as faces estão presentes é prioridade para resolver os problemas do reconhecimento de faces.

6.4.1 Algoritmos de Reconhecimento de Faces

Os principais algoritmos para o reconhecimento de faces humanas operam considerando duas abordagens básicas:

- Estática: (uma fotografia normal) a face é reconhecida a partir de apenas uma imagem;
- Dinâmica: uma fita de vídeo inclui uma evolução no tempo, com todos os elementos em movimento. A face é reconhecida a partir de uma sequência de vídeo digital.

6.4.2 Principais etapas para o processamento de imagens com Faces

- Pré-processamento: algoritmo para eliminação de ruídos.
- Segmentação e detecção: detectar e separar a região da face em uma imagem, localizar regiões importantes na face: nariz, olho, boca.
- Rastreamento: apenas na abordagem dinâmica. Rastrear a face, acompanhar o rosto ao longo dos quadros (em uma sequência). Se a face já foi localizada, essa informação pode ser usada para localizá-la no quadro seguinte. No rastreamento da face e de seus pontos mais importantes, o computador acompanha os movimentos da pessoa em uma sequência de imagens.

6.4.3 Detecção de Faces

Para fazer sistemas completamente automatizados que analisem as informações contidas em imagens faciais, são requeridos algoritmos de detecção de faces robustos e eficientes. Dado uma única imagem, a meta da detecção de face é identificar todas as regiões da imagem que contenham uma face independentemente de sua posição tridimensional, orientação e condições de luz.

Os desafios associados com a detecção de faces podem ser atribuídos aos seguintes fatores (YANG, 2002):

- Pose. As imagens de uma face variam devido à posição relativa da câmera (frontal, 45 graus, perfil, para cima, para baixo), e algumas características faciais como um olho ou o nariz pode se tornar parcialmente ou completamente oclusos.
- Presença ou ausência de componentes estruturais. Características faciais como barbas, bigodes, e óculos podem estar ou não presentes e há uma grande variedade entre estes componentes, inclusive forma, cor, e tamanho.
- Expressão facial. As aparências da face são diretamente afetadas pela expressão facial de uma pessoa.
- Oclusão. Faces podem estar parcialmente escondidas por outros objetos. Em uma imagem com um grupo de pessoas, algumas faces podem esconder outras faces parcialmente.
- Orientação da imagem. As imagens de face variam diretamente por rotações diferentes sobre a linha central ótica da câmera.
- Condições da imagem latente. Quando a imagem é formada, fatores como iluminação (espectros, distribuição e intensidade da fonte de luz) e características da câmera (sensor, resposta, lentes) afetam a aparência da face.

Uma face é considerada corretamente detectada se a região da imagem cobrir mais do que uma determinada porcentagem de uma face na imagem. A taxa de detecção é definida como a relação entre o número de faces detectadas corretamente e o número de faces determinado por um humano(YANG,2002).

Em geral, detectores podem cometer dois tipos de erros: falsos negativos, em que faces que resultam em baixas taxas de detecção são perdidas e falsos positivos, nos quais uma região de imagem é declarada como sendo face, mas não é.

A detecção de faces pode ser vista como uma questão de reconhecimento de duas classes em que uma região de imagem é classificada como sendo “face” ou “não-face”. Para que se faça o reconhecimento, ou não é utilizado grande conjunto de treinamento de imagens e, assim, algumas das técnicas de detecção podem ser aplicáveis para muitas classes de problemas de reconhecimento.

6.4.4 Classificação dos métodos de detecção de face

Yang(YANG,2002) classificou os métodos de detecção de face numa única imagem em quatro categorias:

1. Métodos baseados em conhecimento: baseados em regras que codificam o conhecimento humano que constitui uma face típica. Esses métodos capturam as relações entre as características da face e são projetados principalmente para localização de faces em imagens com cenas multivariadas.
2. Características de aproximações invariantes: algoritmos para encontrar características estruturais que existem até mesmo quando a pose, ponto de vista, ou condições de iluminação variam.
3. “*Template matching*” - casamento de blocos: As correlações entre uma imagem de entrada e os padrões armazenados são computadas para a detecção.
4. Métodos baseados em aparência: Em contraste com o modelo de casamento de blocos, os modelos (ou *templates*) são ensinados a partir de um conjunto de imagens de treinamento as quais devem capturar a variabilidade representativa da aparência facial.

6.4.5 Métodos baseados em Características “Top-Down”.

Nessa aproximação, métodos de detecção de faces são desenvolvidos baseados nas regras derivadas do conhecimento do pesquisador de faces humanas. Por exemplo, uma face aparece freqüentemente na imagem com dois olhos que são simétricos, um nariz, e uma boca. As relações entre características podem ser representadas pelas suas distâncias relativas e posições. Então, conhecida a posição dos olhos e boca eles podem orientar na posição da elipse, que se pode chegar através da transformada de Hough (HSU, 2002). Um processo de verificação normalmente é aplicado para reduzir detecções falsas.

Um problema com essa aproximação é a dificuldade em traduzir o conhecimento humano em regras bem-definidas. Se as regras são detalhadas (i.e., rígidas), elas podem falhar para detectar faces que não cumprem todas as regras. Se as regras são muito gerais, elas podem dar muitos falsos positivos.

Capítulo 3

Biometria da Mão

1. Introdução.

A tecnologia de reconhecimento de mãos, dentro da biometria, está bastante difundida, e é um método bastante fidedigno, sendo um dos mais utilizados, devido ao baixo custo operacional. Através de uma câmera de baixa resolução é possível chegar a resultados satisfatórios. Outro fator importante é a comodidade, o usuário não precisa ficar em posição incômoda, como acontece, por exemplo, na captura de imagem da retina (FIORESE, 2000). Para a captura de imagem que será registrada no sistema de identificação através das mãos, o usuário deve colocar a mão na base de captura da imagem de três a cinco vezes, em procedimento que não levará mais que alguns segundos. Essas imagens serão processadas e o resultado armazenado, sendo o reconhecimento feito comparando-se os dados armazenados no banco de dados com o processamento da imagem capturada para reconhecimento. Entre a captura da imagem e o reconhecimento do usuário são gastos aproximadamente de cinco a seis segundos (HAND, 2000).

Mas se ainda compararmos a técnica de reconhecimento de mãos à impressão digital, que passa por processo semelhante, desde a captura até o processamento da imagem, veremos que ainda assim a biometria para mãos se sobressai, isto porque há uma quantidade maior de informações e estabilidade nas linhas da mão do que em pontos de minúcias nas digitais do dedo. Entretanto o processo biométrico de reconhecimento de mãos não se baseia apenas em reconhecimento de linhas. Existem inúmeras formas de se chegar a padrões

diferentes de reconhecimento utilizando para isso a mesma câmera CCD, equipamento de custo médio e de baixa resolução, inovando apenas na forma como os dados serão processados e analisados a partir dessa captura. Algumas pesquisas apontam para padrões baseados em linhas, outras se baseiam na parte superior das mãos, outras ainda em medidas das proporções¹.

2. Metodologias para o Reconhecimento de Mãos Humanas.

A Biometria da mão tem sido utilizada basicamente através da análise da imagem da palma da mão (*palmprint*) ou do dorso da mão considerando-se tanto a imagem bi-dimensional como modelos volumétricos.

2.1 “*Palmprint*”

Verificação da palma da mão, ou “*palmprint*” é um método que vem sendo usado como um identificador humano positivo por mais de 100 anos, e ainda é considerado como um dos meios mais confiáveis para distinguir um indivíduo de outro, devido a sua estabilidade, e por ser único para cada indivíduo. A impressão da palma da mão é composta das linhas principais da mão, rugas e cumes. As características que determinam se duas palmas são da mesma pessoa são características de geometria (por exemplo, largura, comprimento e área de uma palma), características de linha (por exemplo, linhas principais, rugas grossas e rugas mais sutis) e características de ponto (por exemplo, minúcias e delta). (SHU,1998)

Alguns métodos têm sido experimentados e utilizados com sucesso para reconhecimento de impressão da palma das mãos. Resultados positivos são obtidos da combinação de métodos diferentes (REILLO,2000).

Alguns exemplos dos métodos mais utilizados para verificação da impressão da palma da mão são:

¹(SHU,1998);(LAY,2000);(REILLO,2000)

Método de detecção de bordas por Pirâmide: baseado em uma estrutura de pirâmide, onde cada camada divide a imagem em sub-imagens, este filtro só extrai as bordas principais.(LAY, 2000).

Filtros não-lineares: alterar a imagem, sem diminuir sua resolução. Servem para minimizar/realçar ruídos e suavizar/realçar bordas. Na categoria de filtragem não-linear, estão disponíveis os filtros: operadores para detecção de bordas (como exemplo podem ser citados os operadores de *Roberts* e *Sobel*) e filtros morfológicos (um exemplo é o filtro da mediana). (CYCLOPS, 1999).

“Matching”: encontrar numa das imagens elementos que possuam características semelhantes a elementos (*pixels* ou grupos de *pixels*) da outra imagem, através do cômputo de valores de correlação (GONÇALVES, 2004); verifica se dois segmentos de retas de uma imagem são os mesmos em uma *palmprint*.

Diferença entre as medidas dos ângulos formados pelas linhas obtidas através do processamento da *palmprint* (diferença entre dois segmentos de reta).

Distância Euclidiana, Distância Hamming, Método GMM.

Desses métodos, três são determinados como os mais representativos (REILLO,1999):

Distância Euclidiana: A Verificação é feita calculando-se a distância euclidiana entre o “*template*” do usuário e a amostra dada, fazendo-se uma comparação com o valor de “*threshold*”. O “*template*” é obtido como a média de valores das primeiras cinco fotografias tomadas do usuário no processo de registro.

Distância Hamming: O número de características fora da média, um fator de desvio padrão, é contado e comparado com um “*threshold*”.

O “*template*” é obtido como a média do desvio padrão das cinco primeiras fotografias tomadas do usuário no processo de registro.

GMM - Gaussian Mixture Modelling: A amostra do usuário é colocada no GMM e a probabilidade é obtida. O GMM de cada usuário é composto do conjunto de médias, variações e pesos afinados com a amostra do registro (cinco). Esta técnica é muito usada para reconhecimento da fala. O sucesso do esquema de verificação é obtido pelas taxas: FAR- taxa de falso acerto e FRR – taxa de falsa rejeição. Esses dois valores são complementares, no sentido de que se a redução em

FAR é necessária, então um decremento em FRR é obtido. Resultados obtidos são representados na Tabela[3.1].

	FAR	FRR	Template size
Euclidean	23%	19%	13 bytes
Hamming	16%	9%	26 bytes
GMM	6,6%	9%	153 bytes

Tabela [3.1] – Taxas de FAR e FRR (REILLO,1999)

Wei Shu (SHU,1998) adotou um sistema para verificação de características biométricas baseado nas características intrínsecas na palma das mãos, como linhas principais e rugas grossas. Em seu trabalho, um par de pontos, a e b , são definidos pelas linhas principais (linha da vida e linha do coração) que cruzam a palma da mão(Figura [2.1]). Devido à estabilidade das linhas principais, dois pontos (a e b) e o ponto central entre eles (o) permanecem inalterados durante a vida. Algumas propriedades significativas podem ser definidas:

(1) estes pontos possuem uma localização invariante na impressão da palma;

(2) um sistema de coordenadas bidimensional pode ser unicamente estabelecido, no qual a origem é o ponto médio (o) e o eixo principal passa por esses pontos. Como resultado, o par de pontos(a e b) e o ponto médio (o) atuarão como pontos de dado importante no sistema de verificação de “*Palmprint*”.

A Figura[3.1] mostra a definição das linhas principais e dos pontos em uma “*palmprint*”. As **linhas** principais são: (1) linha do coração, (2) linha da cabeça e (3) linha da vida. Os **pontos** são: ponto inicial (**a**), ponto final (**b**), e ponto central (**o**).

Figura [3.1] - Linhas Características – “*Palmprint*”

Comparando-se o método de “*Palmprint*” com o método de verificação da impressão digital, que é feito por comparação, combinando a posição de pontos por “*Matching*”, a verificação “*Palmprint*” usa uma linha característica de pontos e têm algumas características efetivas:

- (1) Está baseado em imagem com baixa resolução espacial de forma que o tamanho da imagem de uma “*palmprint*” pode ser reduzido, até ficar comparável a uma imagem de impressão digital;
- (2) Podem ser determinadas características significantes na presença de ruído devido à extração de características com baixa resolução espacial;
- (3) A verificação é feita através de processo de “*Matching*” na linha, podendo obter verificação com precisão ideal porque uma linha tem mais informação que um ponto e a combinação de linhas tem várias vantagens sob a combinação de pontos;
- (4) o conjunto de pontos que formam uma linha possuem maior estabilidade que os pontos de impressão digital. A Figura[3.2] mostra duas imagens onde foram extraídas as linhas características da palma da mão, e na imagem da Figura[3.3] vê-se o resultado de “*Matching*” entre as duas imagens.

Figura [3.2] - Extração das características lineares da palma da mão (SHU,1998)

Figura[3.3] –Resultado de “Matching” das imagens da Figura[3.2] (SHU,1998)

A extração das características é sempre um passo importante, mas difícil na verificação da imagem e no reconhecimento da “*palmprint*”. Muitos métodos de detecção de característica de linhas foram propostos, e a maioria deles não consegue gerar um mapa de linhas preciso da imagem da palma das mãos. O autor utilizou-se de um algoritmo de detecção de bordas pelo método da pirâmide, baseado em *stack filters*. Esse algoritmo tem bons resultados para esse tipo de linha, extraindo somente as principais linhas da imagem da *palmprint*. O algoritmo consiste dos seguintes passos:

- 1) Determina segmentos verticais de linha usando cinco padrões de aproximação vertical (ROSENFELD,1982) e, então processa-se esses segmentos de linhas. Com

esse processamento retiram-se os segmentos menores e em direções diferentes da vertical.

2) Faz-se a busca por linhas em outras três direções.

3) Combinam-se os resultados das quatro diferentes direções, e então processa-se mais uma vez. A meta do processamento é eliminar os segmentos sobrepostos.

As linhas características incluem curvas e vários segmentos de linha. De fato, há muitos modos para representar uma linha. Um modo, que sempre é possível, é armazenar o ponto final de todo segmento em linha reta (KEEGAN,1977).

No trabalho de Shu(SHU,1998), foram utilizados imagens da palma da mão em escala de cinza de 400 x 400, numa resolução de 100 dpi, com 256 níveis de cinza. O método foi testado em vinte pares de palmas da mão direita. Encontrou-se um valor de “*threshold*” ideal em $T = 0.2$, como pode ser visto na Figura[3.4]:

Figura[3.4] - Resultados experimentais : FAR- Taxa de falsos positivos e FRR- Taxa de Falsos Negativos(SHU,1998)

2.2 Dorso da mão

Sanchez e Reillo (REILLO,2000) descreveram um método composto de cinco passos: captura da imagem, pré-processamento, segmentação, medidas de características, classificação e verificação. A captura da imagem é feita por uma câmera CCD colorida, posicionada no alto de uma plataforma, com seis pinos fixos para guiar o local onde a mão deve estar. Esses pinos são equipados com sensores

que, quando ativados, disparam a câmera fotográfica. A imagem capturada é de 640 *pixels* por 480 *pixels* no formato JPEG. A imagem captura uma visão do dorso e também uma visão lateral da mão, devido à colocação de um espelho no lado direito da plataforma para medir a altura.

Utilizando-se da técnica de reconhecimento de padrões GMM, “*Gaussian Mixture Modelling*” ou Modelo de Mistura Gaussiana, a qual utiliza aproximações entre métodos estatísticos e redes neurais, baseando-se na modelagem de padrões com um determinado número da distribuição Gaussiana, dando a probabilidade da amostra pertencer à classe ou não. É utilizado com sucesso no processo de identificação da voz. Considerado como uma técnica de segurança médio-baixa, este método é empregado para melhorar os resultados obtidos com outra técnica de verificação de aplicações biométricas, podendo então apresentar maior segurança, com taxas de falsos positivos e taxas de falsos negativos abaixo de 5%.

As características para incorporar o algoritmo de GMM são extraídas de uma imagem da cor da mão (a vista superior e lateral dela). Esta imagem é então processada e sua borda detectada antes que uma análise morfológica seja executada, obtendo um vetor característico de 12 *bytes*. Uma das vantagens da utilização de GMM é o baixo custo do equipamento e baixo custo computacional. Para a captura da imagem utilizada em GMM apenas uma câmera CCD é necessária. O baixo custo computacional deve-se à utilização de um algoritmo para a extração das características baseadas no processamento morfológico da imagem (REILLO,2000) e no pequeno tamanho do vetor característico. O esquema do sistema de reconhecimento biométrico usando GMM é mostrado na Figura[3.5], onde dois processos de identificação (registro e verificação) podem ser vistos.

Figura [3.5] – Diagrama do Sistema Biométrico de Reconhecimento(REILLO,2000)

Durante o registro, um conjunto de amostras do usuário é armazenado e processado até que as características de cada amostra tenham sido extraídas. Então, o GMM para aquele usuário é treinado, e os parâmetros são armazenados. Quando o usuário quiser ganhar o acesso, uma nova amostra do indivíduo é coletada e novas características serão extraídas. O vetor característico é então usado como a entrada previamente armazenada do GMM, e a saída obtida é analisada em um bloco de decisão, que decide baseado em um “*threshold*” se a amostra pertence ao indivíduo registrado no sistema ou não.

Para se obter um vetor característico da mão do usuário, primeiro uma imagem é gerada, através de captura pela câmera CCD. Esta imagem é então pré-processada e, por último, as características são extraídas e adaptadas para as necessidades específicas do bloco de extração de característica.

Posicionada a mão em frente à objetiva da câmera obtém-se duas imagens da mão, uma frontal e outra lateral, isso porque um espelho é localizado em um lado da plataforma para que se possa obter uma visão lateral da mão, gerando uma medida. A plataforma é pintada em azul para aumentar o contraste com a pele humana.

Diferentes visões do protótipo e o resultado da captura podem ser vistos na Figura[3.6].

Figura [3.6] – “*Design*” do Protótipo: **a**: visão geral; **b**: detalhes da plataforma; **c**: imagem da mão obtida pela captura (REILLO,2000).

Depois que a imagem é capturada, ela é processada para se obter o perfil do dorso e da visão lateral da mão. Os componentes de cor da imagem são operados para que se tenha uma imagem de alto contraste com o fundo suprimido. Então uma função de *Sobel* é aplicada para detectar as bordas principais da imagem. Uma ilustração do resultado parcial obtido no bloco de pré-processamento é mostrada na Figura [3.7].

Figura [3.7] – **Pré-processamento da mão:** a) imagem capturada b) imagem de alto contraste c) detecção da borda (REILLO,2000).

Da borda detectada, as medidas geométricas são executadas gerando um conjunto de vinte e cinco características, incluindo largura dos quatro dedos (o polegar é excluído); largura da palma; altura da palma, dedo médio e dedo mínimo; distância entre os pontos entre os dedos; ângulos entre os pontos entre os dedos. Para evitar as mudanças devido à perda ou ganho de peso, todas as medidas, exceto os ângulos são normalizados pela primeira medida do dedo médio. O vetor característico resultante, com vinte e cinco componentes, é colocado no algoritmo GMM.

Depois do pré-processamento, a imagem resultante é um contorno do dorso e a visão lateral da mão com os cumes em determinada posição. As características são obtidas através das principais distâncias e ângulos, que podem ser divididos em quatro categorias diferentes:

- **Largura:** cada um dos quatro dedos são medidos em diferentes alturas e a largura da palma e as distâncias entre os três pontos (p_1, p_2, p_3), em coordenadas vertical e horizontal, conforme mostra a Figura[3.8a].
- **Altura:** Dedo médio, dedo mínimo e a palma (h_3, h_2, h_1)
- **Divergências:** Distância entre um ponto mediano do dedo e o ponto mediano da linha direta entre o ponto entre os dedos e a última altura onde a largura digital está medida, conforme a Figura [3.8b].

- **Ângulos:** Entre os pontos no intervalo entre dedos e o ponto horizontal. Para minimizar a variação de medida de distância, como o peso que o usuário ganhou ou perdeu, as coordenadas verticais são determinadas pelos pontos entre dedos e os topos, reduzindo erros no algoritmo de medida.

Um grande conjunto de características é extraído, mas apenas um subconjunto tem significado importante: são independentes e únicos para determinar usuários. A identificação utiliza técnicas estatísticas.

Figura[3.8]- (a) Localização dos pontos de medida para extração de características;
(b) característica de divergência - desvio (REILLO,2000).

Estudos para biometria da mão têm sido desenvolvidos em vários trabalhos de Reillo utilizando-se diferentes métricas². Para verificar sua metodologia, foi utilizado um banco de dados de imagens, contendo dez fotografias de vinte usuários. Os resultados obtidos mostram a taxa de reconhecimento (comparando-se cada exemplo com todo “*template*” no banco de dados), e a autenticação (comparando-se cada exemplo com o “*template*” do usuário) com taxas de erro iguais(EER), i. e., o ponto onde a taxa de falsos acertos (FAR)e a taxa de rejeição(FRR) são iguais.

²(REILLO,1999);(REILLO *et al*,1999)

Os resultados são dados pelo sistema de verificação GMM e por Distância *Hamming* (HD).

A tabela[3.2] mostra o resultado como uma função do número de vetores característicos usados durante o treinamento do modelo.

Número de Vetores de Treinamento	3	4	5
Reconhecimento (GMM)	88%	93%	96%
Autenticação: EER (GMM)	9.2%	7.0%	4.9%
Reconhecimento (HD)	75%	82%	87%
Autenticação: EER (HD)	14.8%	10.4%	8.3%

Tabela [3.2] - Resultados obtidos (REILLO,2000)

Estes resultados mostram que com somente cinco amostras, há um sucesso de 96% que é arquivado e um EER abaixo de 4,9%. Então com quatro vetores de treinamento, os resultados são bons o bastante para reconhecimento e autenticação. Em todo caso, os resultados são melhores do que a metodologia baseada na *Distância Hamming*. Embora estes resultados tenham sido satisfatórios, o autor considera que trabalhos adicionais deverão ser feitos para aumentar a taxa de sucesso.

Bulatov (BULATOV et al, 2002) utilizou-se de um “*scanner*” para obter a imagem, no qual o usuário poderia colocar a mão em qualquer ponto do “*scanner*”, desde que a mão fosse colocada no sentido vertical. Somente era dada ao usuário orientação para que mantivesse seus dedos separados. Foram examinadas em torno de dez varreduras da mão direita de setenta pessoas.

Trinta características diferentes foram extraídas de cada imagem. Os autores omitiram o algoritmo de extração dessas características. Bulatov usou um verificador e classificador simples para implementar a verificação de geometria da mão. Para cada pessoa foi escolhido um número pequeno de imagens da mão, três a cinco, como conjunto de treinamento. As trinta características são armazenadas em um vetor de característica, empregando-se uma métrica de similaridade. A distância ao

longo de cada eixo de característica é normalizada usando máxima variabilidade de acordo com o conjunto de treinamento.

Para verificação foi utilizado um “*threshold*” experimental para decidir se o vetor característico consultado está próximo o bastante do conjunto de treinamento dado. A classificação é feita de acordo com a proximidade do vetor consultado com o conjunto de características. A identificação é implementada classificando-se o ponto de consulta, assumindo-se este como sendo legítimo, seguido pela verificação. A Figura[3.9] mostra as características extraídas pelo algoritmo de Bulatov.

Figura [3.9] - Características extraídas pelo algoritmo de Bulatov

As medidas obtidas de acordo com a Figura[3.9] são:

1. Comprimento do Polegar;
2. Comprimento do Dedo Indicador;
3. Comprimento do Dedo do Meio;
4. Comprimento do Dedo Anelar;
5. Comprimento do Dedo Mínimo;
6. Largura do Polegar;

7. Largura do Dedo Indicador;
8. Largura do Dedo do Meio;
9. Largura do Dedo Anelar;
10. Largura do Dedo Mínimo;
11. Raio do Círculo do Polegar;
12. Raio do Círculo Inferior do Dedo Indicador;
13. Raio do Círculo Superior do Dedo Indicador ;
14. Raio do Círculo Inferior do Dedo do Meio;
15. Raio do Círculo Superior do Dedo do Meio;
16. Raio do Círculo Inferior do Dedo Anelar;
17. Raio do Círculo Superior do Dedo Anelar;
18. Raio do Círculo Inferior do Dedo Mínimo;
19. Raio do Círculo Superior do Dedo Mínimo;
20. Perímetro do Polegar;
21. Perímetro do Dedo Indicador;
22. Perímetro do Dedo do Meio;
23. Perímetro do Dedo Anelar;
24. Perímetro do Dedo Mínimo;
25. Área do Polegar;
26. Área do Dedo Indicador;
27. Área do Dedo do Meio;
28. Área do Dedo Anelar;
29. Área do Dedo Mínimo;
30. Raio do Círculo da Palma da Mão.

O classificador é baseado em idéias de programação matemática, “*core sets*” (BADO, 2002), agrupamento de vetores (BEN-HUR, 2001) e classificação de padrões.

O método computacional de aproximação mínima “*enclosing balls*” usado neste classificador pode ser usado para suportar agrupamento de vetores. A descrição do algoritmo foi omitida.

Lay (LAY,2000) desenvolveu um trabalho preocupando-se com as características da parte superior das mãos. Neste sistema para a captura da imagem utilizou-se de uma grade paralela projetada por uma lâmpada fluorescente através da grade sobre o lado da parte superior de uma mão com uma inclinação de 45° (Figura [3.10]). A sombra da grade é deformada pela curvatura da mão. A distorção da imagem na grade será capturada por uma câmera CCD e processada (Figura [3.11]). Para simplificação da manipulação a imagem da mão passa por um nível de “*threshlod*” apropriado, sendo convertida em uma imagem binária. A imagem é codificada através de “*quadtree*” para gerar as características, que são vetores unidimensionais binários. O software calcula a variação de coeficiente do padrão das amostras.

Figura [3.10]– montagem do Sistema óptico de captura (LAY,2000).

Figura [3.11] – Grade de distorção na mão testada – resolução - 512 x 512

Uma “*Quadtree*” é uma estrutura de dados que pode ser acessada inicialmente no nó raiz. Cada nó é uma folha ou um filho, cada nó da árvore tem até quatro filhos, cada raiz do nó representa a árvore inteira e os filhos representam os quatro quadrantes da imagem inteira. A raiz do nó representa a imagem de entrada; os filhos representam os quatro quadrantes de entrada da imagem; seus filhos representam os dezesseis sub-quadrantes e os filhos destes representam os sessenta e quatro sub-quadrantes e assim por diante.

Na “*Quadtree*” linear (VOROS,1997), cada nó folha pode ser nomeado com um número de localização único que correspondente à uma sucessão de quadrantes direcionais que localizam o nó folha ao longo de um caminho que começa na raiz da árvore, conforme mostra a Figura[3.12]. Se um nó preenchido de uma imagem binária dimensional ($2^N \times 2^N$) é codificado como $A=(A_0 A_1...A_{N-1})$ com dígitos quaternários 1, 2, 3, 4 para A_i , onde cada dígito na seqüência representa uma subdivisão do quadrante, então a quadtree linear é definida como a coleção das descrições de todos os nós preenchidos e é geralmente representado como uma lista cujos elementos aparecem em ordem crescente dos números de localização.

Figura [3.12] – mapa da “*Quadtree*” utilizado por Lay (LAY,2000).

O usuário insere sua mão no dispositivo e o sistema converte a imagem da mão em um tipo transparente. A imagem transparente é como um “*template*” para sobrepor-se, onde a comparação é feita com a imagem do banco de dados sendo ajustada para uma melhor condição de “*matching*”.

Usando um operador “OR”, a imagem teste é mesclada com a imagem do banco de dados. Todas as características são convertidas em pequenas curvas com áreas de não-preenchimento, o que gera arquivos muito pequenos. Este sistema identifica a imagem sem a necessidade de filtrar o ruído primeiro. A forma binária da imagem de origem, mostrada na Figura[3.13], pode remover a maioria dos *pixels* desnecessários gerando arquivos pequenos.

Figura [3.13] - Imagem da mão binarizada

O principal erro de reconhecimento deste sistema é causado pela troca minúscula de posição da mão na colocação na grade. Para melhorar a taxa de reconhecimento, a imagem da mão de um usuário deve ser colocada cinco vezes para que sejam armazenadas diferentes posições no banco de dados. Se cada imagem deve ser comparada a cinco amostras, o processo será mais longo. Para resolver este problema o autor sugere que sejam usadas imagens com áreas de 32 *pixels* por 32 *pixels*.

O sistema foi implementado com cem mãos em seu banco de dados, das quais 99.04% foram avaliadas. A taxa média de erro foi de aproximadamente 0.96% devido à falsa rejeição e falsa aceitação. Segundo o autor, se a decisão de “*threshold*” for mudada para obtenção de uma taxa de 0% de falsas aceitações, a taxa de falsa rejeição aumenta para 3.5%. Essa taxa de erro precisa ser reduzida, mas mesmo assim, este sistema pode ser aceitável para várias aplicações.

3. Sistemas Comerciais de Reconhecimento de Mãos

Sistemas Biométricos de reconhecimento das mãos estão bastante difundidos pelo mundo todo. A pesquisa é necessária, no entanto, para que se possa aumentar a eficiência dos algoritmos, melhorando-se as taxas de erros (FAR e FRR), reduzindo-se o tempo de processamento e otimizando-se a usabilidade do sistema através de otimização da interface homem-máquina. Universidades e empresas unem-se em busca de segurança e de novas tecnologias.

3.1. HandPunch 2000

Mais inteligente que terminais baseados em código de barras.

Figura [3.14] - Sistema HandPunch 2000

Não existe cartão ou código de barras. O HandPunch (HAND,2000) verifica as identidades dos empregados em menos de um segundo, baseado exclusivamente nos tamanhos e forma individuais de suas mãos. Toda vez que o empregado marca seu ponto, o terminal captura uma imagem tridimensional da mão (Figura[3.14]). O tamanho e formato da mão são usados para verificar sua identidade com precisão. Não são utilizadas impressões digitais ou impressões da palma da mão.

Luzes verde e vermelha orientam o empregado sobre o resultado da marcação do seu ponto.

Figura [3.15] -Posição dos pinos-
modelo Handpunch 2000

Figura [3.16] -Aparelho de Captura
Handpunch 2000

O HandPunch 2000 conecta-se a um Microcomputador PC de controle de ponto através de um cabo de comunicação serial padrão RS-232, já fornecido, com 15 metros de comprimento. Um modem interno de alta velocidade pode ser fornecido como opcional, para conexões remotas. As Figuras [3.15] e [3.16] mostram a posição dos pinos e o desenho do aparelho.

3.2 IR Recognition Systems - HandReaders

Com mais de 70.000 unidades de geometria de mão vendidas e com milhões de leituras mundiais de mãos feitas a cada dia, o *Recognition Systems*, fundado em 1986, é o pioneiro na tecnologia de reconhecimento de mãos usado em controle de acesso, tempo, frequência, e aplicações de identificação. A companhia é líder de vendas mundial deste dispositivo de verificação biométrica e assiste a uma clientela internacional de sua sede em Campbell, Califórnia. O “website” do sistema de

geometria das mãos pode ser visto em <http://www.handreader.com>. O sistema IR de reconhecimento “*HandReaders*” (I.R,2002) é instalado em todo o mundo para grande variedade de aplicações. Os Jogos Olímpicos de 1996 utilizaram “*HandReaders*” para proteger o acesso à vila olímpica. Mais de 65.000 pessoas foram registradas sobre um milhão de transações em 28 dias.

Desde 1991, no aeroporto internacional de San Francisco, o sistema “*HandReaders*” produziu mais de 100 milhões de verificações biométricas, com mais de 50.000 amostras. O sistema biométrico reduziu tempos de espera de horas para segundos em pontos de verificação da segurança. Um milhão de autenticações foram produzidos apenas nos primeiros dois anos da operação com o “*HandReaders*”.

No reino unido é usado em prisões para prisioneiros e visitantes, nas faculdades, tais como a universidade de Geórgia, nos locais de refeição, como proteção ao acesso de dormitórios e para proteger seus centros de computadores. Os hospitais utilizam-no para o controle de acesso e para exatidão da folha de pagamento. Muitos centros de cuidados infantis usam “*HandReaders*” para verificar a identidade dos pais e proteger as crianças que estão sob seus cuidados.

Capítulo 4

Desenvolvimento do Trabalho

4.1 Considerações iniciais

Muitos estudos têm sido feitos na área de Biometria, considerando o fator segurança presente em nossas vidas, desde uma simples senha bancária, até sistemas de computadores sofisticados. Considerando as questões de segurança governamental, área médica, busca de desaparecidos, autenticação de criminosos, etc, a Biometria parece ser a chave para todos os problemas; um fator decisivo, já que cada indivíduo traz consigo características únicas e imutáveis durante toda a vida. É um campo de estudo muito vasto. Nos últimos anos, leitores da geometria da mão enquadram-se na tecnologia biométrica dominante para aplicações de controle de acesso, controle de tempo e de comparecimento. Os leitores da geometria da mão identificam positivamente usuários pela forma e pelo tamanho de suas mãos.

Comparado ao sistema da íris e retina, o reconhecimento de mãos traz um custo muito menor e uma tranquilidade maior na captura de imagem para o usuário. E por último, comparado ao reconhecimento com impressões digitais, temos nas mãos uma maior quantidade de características, linhas e pontos, que podem facilitar o reconhecimento.

Desenvolvidos comercialmente com algum sucesso, os métodos de reconhecimento pelas características das mãos, têm sido estudados por inúmeros pesquisadores, obtendo-se taxas aceitáveis de FAR e FRR. LAY, em seu trabalho com grades distorcidas das sombras das mãos aparenta maior fragilidade, pois grades paralelas são muito sensíveis a pequenas mudanças de rotação de ângulos. Todavia, o uso de *quadtree* pode ser efetivamente aplicado em extração de características para reconhecimento de padrões na combinação de desempenhos satisfatórios.

O trabalho de Bulatov (BULATOV, 2002) traz pontos interessantes nas características obtidas a partir da imagem das mãos e facilita o processo de captura, uma vez que elimina os pinos utilizados no processo de captura de Reillo (REILLO, 2000), mas há muitos pontos obscuros em seu trabalho. Através da plataforma de pinos pode ser capturada uma imagem da palma da mão e também das laterais para medidas de proporções. O sistema de Shu (SHU, 1998) tende a ser o mais seguro de todos, pois trabalha com segmento de linhas e, além disso, o processo de leitura de linhas da palma das mãos tem sido usado por anos em outras áreas com bastante propriedade.

Amostras muito pequenas dos sistemas discutidos no capítulo 3, também não permitem que se faça uma aprovação total a nenhum deles. Trabalhos futuros devem ser realizados para aumentar a segurança média dos sistemas de reconhecimento biométrico das mãos. Muitas métricas ainda podem ser testadas trazendo taxas maiores de segurança.

Além disso, todos os sistemas e metodologias avaliadas dependem de equipamentos específicos para a captura de imagens da mão. Em nenhum caso se avaliou a possibilidade de se extrair características de imagens coletadas através de um equipamento genérico, como por exemplo, um *scanner* de mesa, equipamento este de custo reduzido e presente na maioria dos escritórios ou residências, junto ao microcomputador.

Por isso, esta proposta se justifica, pois baseado em imagens obtidas dessa forma, demonstrou-se ser capaz de classificar um indivíduo entre os possíveis usuários e extraíndo-se uma quantidade mínima de características essa metodologia mostrou-se eficiente na identificação dos indivíduos.

4.2 Padrões e classes de padrões

O reconhecimento de padrões por máquina envolve técnicas para a atribuição dos padrões às suas respectivas classes automaticamente e com a mínima intervenção humana possível.

Os três principais arranjos de padrões usados na prática são os vetores (para descrições quantitativas), cadeias e árvores (para descrições estruturais). Vetores de padrões, ou vetores de características, são representados por letras minúsculas em negrito, como $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}$, tomando a forma:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

onde cada componente, x_i , representa o i -ésimo descritor e n é o número de tais descritores.

4.2.1 Classificador de distância mínima

Cada classe de padrões pode ser representada por um vetor *protótipo* (ou médio) $\mathbf{m}_j$ dado por:

$$\mathbf{m}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{\mathbf{x} \in \omega_j} \mathbf{x}$$

Sendo $j = 1, 2, \dots, M$; $\mathbf{x}$ pertence à classe ω_j e N_j é o número de vetores de padrões da classe ω_j .

Uma maneira de definir a pertinência de um vetor $\mathbf{x}$ de padrões desconhecido é atribuí-lo à classe de seu protótipo mais próximo.

A distância Euclidiana pode ser usada para determinar esta proximidade, reduzindo o problema à computação das distâncias (GONZALES, 2000):

$$D_j(\mathbf{x}) = \|\mathbf{x} - \mathbf{m}_j\| \quad j=1, 2, \dots, M$$

em que $\|a\| = (a^t a)^{1/2}$ é a norma Euclidiana. Atribui-se, então x à classe ω_j se $D_i(x)$ for a menor distância. Ou seja, a menor distância implica no melhor casamento.

A similaridade é, então, dada pela proximidade dos objetos nesse espaço, conforme ilustra a figura[4.1](WIVES,2004):

Figura [4.1] - A menor distância implica no melhor casamento. A similaridade é dada pela proximidade dos objetos nesse espaço.(WIVES,2004)

4.2.2 Distância Euclidiana

A distância Euclidiana entre dois vetores (x e y) do espaço p dimensional pode então ser escrita a partir da métrica de *Minkowski* (DONI,2004) dada na equação 4.1 conforme mostra a equação 4.2 considerando-se $r = 2$.

$$d_{xy} = \left[\sum_{j=1}^p (x_i - y_i)^r \right]^{1/r} \quad 4.1$$

para $i = 1, 2, 3, \dots, p$

ou seja,

$$d_{xy} = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_p - y_p)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2} \quad 4.2$$

onde, d_{xy} é a distância entre os vetores x e y , e x_i é o valor do i -ésimo termo do vetor x .

É importante notar que quanto mais próximos os objetos estão, mais próximo de zero é o valor de d_{xy} , logo, para que a semelhança entre os objetos não indique um valor nulo (escala reversa), é necessário diminuir o valor resultante de 1, da seguinte forma: $s = 1 - d$ (onde s é o grau de similaridade resultante).

4.2.3 Média, variância e desvio padrão

Entre dados quantitativos aproximadamente **simétricos**, é usual calcular a **média** aritmética como uma medida de locação. Se $x_1, x_2, \dots, x_n$ são os valores dos dados, logo pode-se escrever a média como:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad 4.3$$

A **variância** é definida como o desvio quadrático médio da média e é calculada de uma amostra de dados como:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i^2) - n\bar{x}^2}{(n - 1)} \quad 4.4$$

onde s é o desvio padrão, e n o número de usuários.

A raiz quadrada da variância representa o **desvio padrão**, medido nas mesmas unidades dos dados originais, i.e:

$$s = \sqrt{\text{variância}} = \sqrt{s^2} \quad 4.5$$

Uma informação útil é que para qualquer conjunto de dados, pelo menos 75% deles fica dentro de uma distância da média de duas vezes o desvio padrão da média, i.e. entre $\bar{x} - 2s$ e $\bar{x} + 2s$ (LANDIM, 1997)

4.3 Metodologia

Como a proposta deste trabalho é a de implementar um algoritmo simples para extração de características de imagens de mãos obtidas através de scanners de mesa, algumas considerações prévias foram realizadas para a formulação da hipótese:

- a) As imagens adquiridas com tal tecnologia não apresentam informações tridimensionais, logo, deverão ser processadas para extração de características de contorno 2D.
- b) As resoluções de scanners de mesa são de 600 dpi, não permitindo, portanto, a visualização de detalhes finos.
- c) A característica “flat” do equipamento de digitalização prejudica também a análise de linhas da palma, pois esta apresenta uma concavidade que desfaz-se na imagem em diversas partes.

Por isso, propôs-se extrair como características de classificação as medidas máximas e mínimas da distância dos dedos ao centro do pulso, na palma da mão esquerda, conforme mostra a figura [4.2a] e avaliar a eficiência dessas características usando-se um classificador para distância mínima. O algoritmo desenvolvido faz a varredura a partir do centro do pulso onde os valores da imagem são iguais a um (1), e encontrando o primeiro ponto diferente de (1) um (valor zero – caracterizando o fundo), começa a segmentação do contorno da mão checando cada ponto e seu valor naquele local da imagem. Encontrando valores diferentes, o algoritmo marca sempre o terceiro *pixel* anterior à mudança de valores. Tais pontos são representados pelos picos da ponta dos dedos (pontos máximos) e pelos pontos de mínimo entre os dedos (pontos mínimos), totalizando dez pontos que podem ser observados na figura [4.2b]:

Ponto um (p1): Primeiro ponto que caracteriza o início do aumento de valores a partir do centro do pulso. Esse ponto não é considerado como ponto de máximo ou mínimo, mas seu valor será armazenado e irá compor o vetor característico.

Ponto dois (p2): Ponteira do polegar: primeiro ponto de máximo.

Ponto três (p3): Vale entre os dedos polegar e indicador: primeiro ponto de mínimo.
 Ponto quatro(p4): Ponteira do indicador: segundo ponto de máximo;
 Ponto cinco (p5): Vale entre os dedos indicador e médio: segundo ponto de mínimo;
 Ponto seis (p6): Ponteira do dedo médio: terceiro ponto de máximo;
 Ponto sete (p7): Vale entre os dedos médio e anular: terceiro ponto de mínimo.
 Ponto oito (p8): Ponteira do dedo anular: quarto ponto de máximo;
 Ponto nove (p9): Vale entre os dedos anular e mínimo: quarto ponto de mínimo.
 Ponto dez (p10): Ponteira do dedo mínimo: quinto de máximo e último ponto demarcado.

Figura [4.2a] e [4.2b] – Os dez pontos de máximo (cumes) e mínimo (vales) encontrados pelo algoritmo através de varredura da imagem.

p1: Ponto um.

p2: Ponto dois→primeiro cume.

p3: Ponto 3→ primeiro vale.

p4: Ponto 4→ segundo cume.

p5: Ponto 5→ segundo vale.

p6: Ponto 6→ terceiro cume.

p7: Ponto 7→ terceiro vale.

p8: Ponto 8→ quarto cume.

p9: Ponto 9→ quarto vale.

p10 Ponto10→quinto cume e último ponto demarcado.

As técnicas de processamento de imagem utilizadas no trabalho foram desenvolvidas através do *software Matlab 6.5*(MATH, 2003). Aplicou-se algoritmos para retirada de ruídos da imagem, linhas e traços característicos da palma da mão

através de filtro morfológico, encontrou-se os pontos máximos e mínimos e, por último computou-se a distância do centro do pulso aos pontos encontrados medindo-se a Distância Euclidiana entre eles.

4.3.1 Aquisição da imagem

A aquisição das imagens foi realizada através de um *scanner* de mesa comum, tendo sobre ele uma caixa preta que funciona como blindagem contra a iluminação exterior. Inicialmente realizou-se a digitalização das mãos de várias pessoas, e posteriormente um pré-processamento do conjunto.

Durante a aquisição da imagem foi solicitado ao usuário que colocasse sua mão esquerda sobre o *scanner*, e que os dedos estivessem separados, de forma natural, sendo que a base da palma da mão deveria ficar apoiada na parte inferior do *scanner*, como mostra a figura[4.3]. Essa imagem foi considerada apenas com intuito ilustrativo, não fazendo parte das mãos digitalizadas e conseqüentemente não sendo a representação da imagem adquirida representada na figura[4.4].

<p>encaixe da mão no scanner</p>
<p>Figura [4.3] – Encaixe da mão do usuário no scanner</p>	<p>Figura [4.4] – Imagem adquirida.</p>

4.3.2 Pré-processamento

Após a digitalização, as imagens foram armazenadas com a extensão “.bmp” e, seguindo-se o modelo RGB de cores. Cada canal RGB de cor pode ser representado por 255 valores diferentes. Neste trabalho utilizou-se apenas a camada R desse modelo, dividindo-se os valores da imagem nesse canal por 255, obteve-se valores entre zero(0) e um(1). Este processo pode ser assim representado:

Padrão RGB $\rightarrow (R, G, B) = (255, 255, 255)$.

Imagem obtida $\rightarrow (R, -, -) = (255, -, -)$; 255 representa a quantidade máxima de tons possíveis encontrados no canal R.

Processamento $\rightarrow (-, -, 1) / 255 =$ valores entre 0 e 1.

No passo seguinte, para suavização morfológica utilizou-se um filtro morfológico buscando-se obter a atenuação tanto de artefatos claros como escuros ou ruídos, criando-se um *flat*, um elemento estruturado em forma de disco com um raio de 25 *pixels*. A localização de uns(1) no disco define a vizinhança para a operação morfológica. O centro(ou origem) da vizinhança define o elemento central. A figura [4.5] exemplifica a técnica usada, mas por uma questão de espaço, no exemplo o valor de raio é igual a três.

Imagem[4.5] Função “*imopen(b, strel('disk', 25))*” com Raio=3 (MATH, 1994)

O resultado obtido com a aplicação do filtro morfológico pode ser visto na figura[4.6]. Finalmente a imagem foi binarizada através de um limiar fixo(50%). O resultado do contorno da palma da mão pode ser visto na figura[4.7].

No próximo passo a imagem foi redimensionada em 900 por 900 *pixels* para que todas as imagens ficassem no mesmo padrão. Partindo-se da segunda linha da parte inferior da imagem, com a imagem da mão binarizada, o primeiro valor diferente de zero representa o início do pulso da mão esquerda, na seqüência o primeiro valor diferente de um representa o final do pulso, no ponto central entre os dois valores tem-se o centro do pulso, ponto base inicial para se medir todos os pontos de máximo e mínimo. A figura [4.8] mostra as marcas iniciais obtidas. A partir dessas marcas faz-se o cálculo das distâncias.

Figura[4.8]- Ponto inicial e primeiro ponto de máximo.

4.3.3 Segmentação do Contorno

Dado um pixel de contorno de uma região de zeros e o anterior a ele nesse contorno, a função `proxpix` calcula o próximo pixel de contorno. Tomando-se o pixel(*a*) da figura[4.9.a] como ponto de partida, o objetivo da função é encontrar o pixel (*b*) que segue (*a*) no sentido horário no contorno.

Para encontrar (*b*) é necessário partir do ponto no contorno que antecedeu (*a*), no caso (*c*) e procurar todo pixel adjacente de (*a*) até encontrar (*b*). É preciso que haja o ponto *c* de partida pois, por exemplo no caso mostrado na figura[4.9.b] há mais do que um ponto de contorno.

Figura [4.9.a]

Figura[4.9.b]

Figura [4.9.c]

Figura [4.9.d]

Como pode ser observado na figura [4.9.c] o objetivo é encontrar o próximo ponto no contorno após *pcentro* (*pc*), assim em *pcentro* estão as coordenadas do ponto central, *pinicio* (*pi*) do ponto anterior na matriz (*m*) a vizinhança isolada de *pcentro*. A partir de *pi*, seguindo o sentido horário, é procurado um novo *pixel* com valor zero.

Como pode ser visto na figura [4.9.d] quando encontrado o próximo valor zero, é retornado o valor de *pfinal* (*pf*).

4.3.4 Algoritmo de determinação das distâncias.

As características a serem extraídas para classificação da mão do usuário foram determinadas neste trabalho, como as distâncias entre os pontos de máximo e de mínimo e o centro do pulso. Essas distâncias são representadas pela figura[4.10]: as setas maiores representam as distâncias máximas e as setas menores representam as distâncias mínimas.

Pode-se ver que estas características são funções dos comprimentos dos dedos e do tamanho da palma da mão e sofrem variações insignificantes se a mão alterar a abertura dos dedos, dentro de um limite estabelecido.

É importante salientar que o sistema de aquisição não é guiado por pinos e que o usuário deve ser orientado a colocar a mão no scanner com o pulso apoiado no início da varredura e os dedos ligeiramente e naturalmente abertos. Os dedos não podem ficar fechados e nem totalmente esticados. Dentro dessa limitação o algoritmo deve se comportar satisfatoriamente.

Busca-se então, encontrar dez pontos distintos que formarão o vetor de características. O primeiro valor é a distância do primeiro ponto encontrado na segmentação do contorno (ponto p1 na figura[4.2b]) ao centro do pulso. Os outros nove valores são os pontos de maior distância (cumes) e as distâncias mínimas (vales) com o ponto de centro do pulso.

Para cada *pixel* do contorno segmentado, calculou-se a distância *Euclidiana* entre este e o *pixel* do centro do pulso. Os valores de máximo e de mínimo são então marcados considerando-se as distâncias calculadas para *pixels* vizinhos no contorno.

Para isso verificam-se seus vizinhos em sentido horário. Se o vizinho do *pixel* possuir valor diferente de 1, marca-se quando a distância do contorno está

aumentando (1) ou diminuindo(-1), como possível cume ou possível vale. A figura[4.11] mostra a plotagem das distâncias gerada pelo algoritmo utilizando Distância Euclidiana. O eixo vertical que, no exemplo possui valor máximo de 700 representa a distância do pulso à ponta dos dedos em *pixels*. O eixo horizontal representa o número de *pixels* encontrado no contorno da mão.

São encontrados, em média 75 picos em cada imagem, a figura[4.11.a] mostra uma aglomeração de pontos de máximo. Como as distâncias buscadas são intercaladas entre cumes e vales, pode-se eliminar a redundância de valores obtidos através de uma análise regional. Fez-se necessário então agrupar os *pixels* de acordo com a região, verificando-se a proximidade de cada *pixel*, marcado como possível cume ou vale.

Figura [4.11] –Pontos de máximo e mínimo encontrados medindo-se a distância euclidiana entre o pulso e os pontos de máximo e mínimo.

Figura [4.11.a] quantidade de pontos encontrados em um pico.

O Vektor característico $p=10$ pode ser assim representado:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \text{Dp1} \\ \text{Dp2} \\ \text{Dp3} \\ \text{Dp4} \\ \text{Dp5} \\ \text{Dp6} \\ \text{Dp7} \\ \text{Dp8} \\ \text{Dp9} \\ \text{Dp10} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Onde Dp1 = distância entre o centro do pulso e o ponto P1;} \\ \text{Dp2 = distância entre o centro do pulso e o ponto P2;} \\ \text{Dp3 = distância entre o centro do pulso e o ponto P3;} \\ \text{Dp4 = distância entre o centro do pulso e o ponto P4;} \\ \text{Dp5 = distância entre o centro do pulso e o ponto P5;} \\ \text{Dp6 = distância entre o centro do pulso e o ponto P6;} \\ \text{Dp7 = distância entre o centro do pulso e o ponto P7;} \\ \text{Dp8 = distância entre o centro do pulso e o ponto P8;} \\ \text{Dp9 = distância entre o centro do pulso e o ponto P9;} \\ \text{Dp10 = distância entre o centro do pulso e o ponto P10;} \end{array}$$

Desenvolveu-se, então, um algoritmo que analisa a diferença entre duas distâncias vizinhas. Se a distância entre os picos for inferior ou igual a 25 unificam-se os pontos, caso contrário os pontos são mantidos. O valor 25 utilizado é empírico e foi experimentado com as imagens presentes no banco.

Inicialmente foram coletadas 44 imagens para testes iniciais para que se pudesse avaliar a funcionalidade do algoritmo proposto e observar características como o comportamento do método em situações diversas, como a quantidade de *pixels* que se deveria agrupar para obter os vales e cumes representados por um único valor regional, usuários com unhas compridas, variação na cor da pele, presença de adornos (anéis e alianças), iluminação, aparelhos de *scanners* diferentes, etc...

4.4 Resultados e discussões

Na segunda fase foram coletas 84 amostras de 28 usuários, sendo que foi solicitado ao usuário que colocasse a mão por três vezes no *scanner*. Isso foi feito para identificar as diferenças entre abertura dos dedos, similaridade, falsos negativos e falsos positivos sendo então os resultados de cada usuário avaliados.

Como o Classificador de Distância Mínima opera melhor quando as médias das classes estão afastadas umas das outras e quando a dispersão dentro de cada classe (Desvio Padrão) é pequena, foram realizados os seguintes procedimentos: Cada vetor

de característica de cada indivíduo é um elemento do espaço p-vetorial com $p = 10$. Logo, cada classe de padrões é representada pelo conjunto de três medidas realizadas independentemente, através da metodologia proposta. O vetor protótipo (média) de cada classe foi então calculado, considerando-se as três amostras de cada indivíduo. Utilizando-se a *Distância Euclidiana* entre a média e cada um dos três vetores extraídos ($(|a-a_1|^2)^{1/2}$; $(|a-a_2|^2)^{1/2}$; $(|a-a_3|^2)^{1/2}$) selecionou-se os dois menores valores de distância, desprezando-se o maior valor, e refazendo-se a média entre os dois vetores de menor distância da média. A representação das variáveis utilizadas é vista a seguir:

a_1 ; a_2 ; a_3 : amostras do usuário n

a: média entre as três amostras do usuário n.

Representação dos valores encontrados: $|a-a_1|$; $|a-a_2|$; $|a-a_3|$

A comparação entre a média(a) das medidas adquiridas, obtida subtraindo-se o valor de cada medida, em cada posição ou seja:

$$\text{Média}(a) - \text{medida}(a_1) = (\sum (a - a_1)^2)^{1/2}$$

$$\text{Média}(b) - \text{medida}(a_2) = (\sum (a - a_2)^2)^{1/2}$$

$\text{Média}(c) - \text{medida}(a_3) = (\sum (a - a_3)^2)^{1/2}$; o cômputo realizado com os valores obtidos na aquisição das três amostras dos usuário A podem ser visualizados na tabela[4.1].

			Vetor protótipo média			
Três amostras do usuário A			Vetor de característica(A)			
A1	A2	A3				
146	130	130	135	121	25	25
473	486	470	476	9	100	36
264	278	256	266	4	144	100
636	649	636	640	16	81	16
343	360	349	351	64	81	4
653	665	653	657	16	64	16
334	359	337	343	81	256	36
613	623	619	618	25	25	1
306	315	306	309	9	36	9
517	529	531	526	81	9	25
			Somatório ^{1/2} →	20,63970	28,65310	16,37070

tabela[4.1] - Vetor protótipo média

O resultado geral para todos os usuários e sua menor *Distância Euclidiana*, como visto em detalhes no exemplo da tabela[4.1] é mostrado na tabela[4.2]. A coluna um corresponde a quantidade de usuários cadastrados, a coluna dois (A..Ab) representa cada usuário:

Nr. mãos	index	Medida1: $(a-a_1 ^2)^{1/2}$	Medida2: $(a-a_2 ^2)^{1/2}$	Medida3: $(a-a_3 ^2)^{1/2}$
1	A	20,1246118	16,37070554	
2	B	16,30950643		21,97726098
3	C	17,72004515	13,60147051	16,0
4	D	14,93318452		13,34166406
5	E	13,22875656	13,03840481	
6	F	6,403124237	6,557438524	
7	G	8,306623863	9,433981132	
8	H		6,164414003	6,164414003
9	I	7,0	5,916079783	
10	J	12,0	10,67707825	
11	K	19,07878403		19,79898987
12	L	9,219544457		8,94427191
13	M	32,24903099		33,27160952
14	N	5,291502622	5,291502622	
15	O	19,18332609	19,18332609	
16	P	18,0	18,41195264	
17	Q	17,23368794	16,76305461	
18	R	15,03329638	15,71623365	
19	S	7,615773106	8,774964387	
20	T	11,35781669	12,52996409	
21	U		5,477225575	4,69041576
22	V		4,898979486	4,795831523
23	X	11,70469991		10,34408043
24	Z		30,11644069	30,38091506
25	W		7,483314774	7,280109889
26	Y	6,8556546		5,385164807
27	Aa		7,615773106	6,164414003
28	Ab	7,681145748		9,219544457

Tabela 4.2 - *Distância Euclidiana* entre o vetor média e cada vetor obtido de cada usuário

Campos de valores desprezados

Calculou-se então, a *Distância Euclidiana* entre o vetor protótipo(média) de cada usuário com a média de todos os outros usuários da seguinte forma:

$(\sum |a-b|^2)^{1/2}$; $(\sum |a-c|^2)^{1/2}$.. $\sum |a-n|^2)^{1/2}$... $\sum |n-(n-1)|^2)^{1/2}$, onde n representa o número de usuários.

Os resultados obtidos foram utilizados como parâmetros para averiguar o afastamento entre os vetores característicos, ou melhor, se haveriam mãos com medidas próximas entre usuários diferentes. Os valores de maior importância podem ser vistos na tabela [4.3]. Eles representam a menor diferença encontrada entre

usuários diferentes e a menor distância encontrada para o mesmo usuário. A tabela com todos os resultados encontra-se na tabela[2] no apêndice C :

	<i>Distância Euclidiana mínima encontrada em mãos de um mesmo usuário e a média.</i>	<i>Distância Euclidiana mínima encontrada em mãos de usuários diferentes e a média</i>	<i>Situação de maior proximidade entre usuários</i>
A	16,37070554	47,66550115	A - F
B	16,30950643	34,82814953	B - C
C	13,60147051	34,82814953	C - B
D	13,34166406	38,54867053	D - P
E	13,03840481	34,9141805	E - H
F	6,403124237	34,53983208	C - F
G	8,306623863	45,58508528	G - H
H	6,164414003	26,30589288	H - I
I	7	26,30589288	I - H
J	10,67707825	95,21554495	J - D
K	14,69693846	44,11349	K - I
L	8,94427191	47,92702787	L - D
M	32,24903099	33,46640106	M - O
N	5,291502622	67,99954044	N - C
O	19,18332609	33,46640106	O - M
P	18	38,54867053	P - D
Q	16,76305461	75,01333215	Q - E
R	15,03329638	44,38468204	V - R
S	7,615773106	33,10589071	S - G
T	11,35781669	34,68429039	T - Aa
U	4,69041576	33,03028913	U - W
V	4,795831523	24,06242	V - W
X	10,34408043	40,19950248	X - J
Z	30,11644069	48,33218389	Z - Ab
W	7,280109889	16,4924225	W - Aa
Y	5,385164807	28,14249456	Y - Aa
Aa	6,164414003	16,4924225	Aa - W
Ab	7,681145748	34,40930107	Ab - K

Tabela[4.3] – Comparação entre as distâncias mínimas encontradas nas mãos de um mesmo usuário e entre mãos de usuários diferentes.

Pode-se observar na tabela [4.3] que houve uma proximidade de valores nas distâncias entre mãos de usuários diferentes (*W* e *Aa*). Por esta razão o cômputo de

todas as distâncias para esses dois vetores característicos e suas distâncias em relação aos outros usuários do banco de dados é representado na tabela [4.4]. Ressalta-se, entretanto, que os valores de distância mínima entre os mesmos usuários ($W - W'$) e ($Aa - Aa'$) estão dentro dos valores esperados e abaixo dos valores encontrados para ($W - Aa$).

Distância Euclidiana entre usuários diferentes			
	W		Aa
$\sum(a-w ^2)^{1/2}$	53,00943312	$\sum(a-Aa ^2)^{1/2}$	54,44263036
$\sum(b-w ^2)^{1/2}$	74	$\sum(b-Aa ^2)^{1/2}$	73,63423117
$\sum(c-w ^2)^{1/2}$	72,58787778	$\sum(c-Aa ^2)^{1/2}$	70,76015828
$\sum(d-w ^2)^{1/2}$	106,5645344	$\sum(d-Aa ^2)^{1/2}$	104,2592922
$\sum(e-w ^2)^{1/2}$	68,78953409	$\sum(e-Aa ^2)^{1/2}$	68,60029154
$\sum(f-w ^2)^{1/2}$	45,29900661	$\sum(f-Aa ^2)^{1/2}$	46,04345773
$\sum(g-w ^2)^{1/2}$	81,16033514	$\sum(g-Aa ^2)^{1/2}$	83,60023923
$\sum(h-w ^2)^{1/2}$	56,71860365	$\sum(h-Aa ^2)^{1/2}$	87,21811738
$\sum(i-w ^2)^{1/2}$	48,03123983	$\sum(i-Aa ^2)^{1/2}$	48,52834223
$\sum(j-w ^2)^{1/2}$	189,0079363	$\sum(j-Aa ^2)^{1/2}$	187,808413
$\sum(k-w ^2)^{1/2}$	82,37111144	$\sum(k-Aa ^2)^{1/2}$	82,56512581
$\sum(l-w ^2)^{1/2}$	115,2865994	$\sum(l-Aa ^2)^{1/2}$	112,4144119
$\sum(m-w ^2)^{1/2}$	33,1662479	$\sum(m-Aa ^2)^{1/2}$	31,08054054
$\sum(n-w ^2)^{1/2}$	106,6630208	$\sum(n-Aa ^2)^{1/2}$	101,7251198
$\sum(o-w ^2)^{1/2}$	29,54657341	$\sum(o-Aa ^2)^{1/2}$	30,23243292
$\sum(p-w ^2)^{1/2}$	98,66103588	$\sum(p-Aa ^2)^{1/2}$	96,97422338
$\sum(q-w ^2)^{1/2}$	127,9648389	$\sum(q-Aa ^2)^{1/2}$	130,5411812
$\sum(r-w ^2)^{1/2}$	55,84800802	$\sum(r-Aa ^2)^{1/2}$	61,48983656
$\sum(s-w ^2)^{1/2}$	61,83041323	$\sum(s-Aa ^2)^{1/2}$	61,65225057
$\sum(t-w ^2)^{1/2}$	37,2961124	$\sum(t-Aa ^2)^{1/2}$	34,68429039
$\sum(u-w ^2)^{1/2}$	33,03028913	$\sum(u-Aa ^2)^{1/2}$	35,51056181
$\sum(v-w ^2)^{1/2}$	176,7088	$\sum(v-Aa ^2)^{1/2}$	26,0959767
$\sum(w-x ^2)^{1/2}$	99,02019996	$\sum(w-Aa ^2)^{1/2}$	
$\sum(y-w ^2)^{1/2}$	24,06241883	$\sum(x-Aa ^2)^{1/2}$	176,9011023
$\sum(z-w ^2)^{1/2}$	103,7352399	$\sum(y-Aa ^2)^{1/2}$	28,14249456
$\sum(Aa-w ^2)^{1/2}$		$\sum(z-Aa ^2)^{1/2}$	100,9405766
$\sum(Ab-w ^2)^{1/2}$	30,757113	$\sum(Ab-Aa ^2)^{1/2}$	105,7497045

Tabela[4.4] - Distância Euclidiana entre usuários diferentes

.Na Figura[4.12] pode-se observar os resultados obtidos na tabela[4.3], comparando-se as menores distâncias encontradas.

Figura [4.13] -Comparação entre *Distância Euclidiana* das diversas mãos utilizadas

Como as médias das classes encontradas estão afastadas, é necessário verificar se a dispersão entre os elementos de cada classe é pequena, ou seja, se o desvio padrão entre as amostras é pequeno.

Os valores encontrados podem ser vistos na tabela [4.4], onde $[a - a']$ representa o desvio padrão encontrado para as medidas da mesma mão e $[a - (b..n)']$ refere-se ao desvio padrão encontrado entre as médias de todos os usuários. As letras (A..Ab) referem-se aos usuários:

	Desvio Padrão a - a'	Desvio Padrão a - (b..n)'
A	1,876953127	33,28991
B	2,833877273	38,85334
C	1,688989049	45,02459
D	0,795760229	50,42187
E	0,095175872	56,85243
F	0,077157143	37,18527
G	0,563679	59,02686
H	0	56,87819
I	0,541960108	53,5766

J	0,661461	64,86139
K	0,360102922	60,88778
L	0,137636274	49,01208
M	0,511289263	48,44254
N	0	42,39574
O	0	58,91409
P	0,205976	44,76149
Q	0,235317	63,83701
R	0,341469	32,16512
S	0,579596	49,60417
T	0,586074	35,16662
U	0,393405	49,71735
V	0,051574	39,08681
X	0,68031	62,88498
Z	0,132237	58,49332
W	0,101602	42,95191
Y	0,735245	43,97719
Aa	0,72568	42,72
Ab	0,769199	66,94223

Tabela 4.5 Desvio Padrão

Os resultados mostram a separabilidade entre as classes, considerando a metodologia de seleção e extração de características adotada.

4.4.1 Representação Gráfica

A representação gráfica do desvio padrão entre os mesmos elementos pode ser visto no gráfico da figura [4.13]. É possível verificar que 96% das médias estão abaixo de 2,0; O gráfico da figura [4.14] representa o desvio padrão entre as medidas de usuários diferentes, que se encontram acima de 30. Como comparação pode-se examinar o gráfico da figura [4.15] que mescla o desvio padrão das medidas do mesmo usuário com o desvio padrão entre as medidas de usuários diferentes.

Figura [4.14] - Desvio Padrão a - a'

Figura [4.15] - Desvio Padrão

Desvio Padrão

Figura[4.16] Comparação de Desvio Padrão gráfico das figuras[4.14] x [4.15]

Na Tabela [4.6] pode-se observar o número de falsos positivos e de falsos negativos considerando o banco de dados utilizado. Considerou-se como falso negativo o desvio padrão encontrado superior a 2,8(usuário B) na tabela[4.5], e considerou-se como falso positivo as diferenças entre usuários ($W - Aa$) com Distâncias Euclidianas de 16,49 *pixels* de na tabela [4.3].

Fase		Quantidade	percentual
Inicial (testes)	Mãos testadas	52	
Final	Usuários	28	100%
	Mãos analisadas (3 por usuário)	84	
	Falsos Negativos	1	3,57%
	Falsos Positivos	2	7,14%

Tabela[4.6]Falsos positivos e Falsos negativos encontrados

5. Conclusão

Através das medidas realizadas neste trabalho foi possível comprovar que, utilizando-se de uma tecnologia de captura de imagem de baixo custo (scanner de mesa) e existente em grande parte dos conjuntos de microcomputadores, a mão humana pode ser usada como meio de identificação pessoal.

Como as imagens adquiridas são bi-dimensionais, o algoritmo proposto obteve resultados satisfatórios de maneira simplificada, empregando medidas de tamanho dos dedos e da palma da mão.

As características extraídas mostraram ser discriminante para o banco de imagens teste permitindo uma classificação compatível com a proposta de uso do sistema. Ou seja, em situações onde apenas um pequeno número de usuários deva ser autenticado, caso este compatível com microcomputadores pessoais localizados em residências, escritórios, ou mesmo para aplicação em curso à distância, a metodologia proposta discrimina corretamente as diversas mãos testadas.

Foi mostrado que há uma relação direta entre o tamanho da mão e os valores de distâncias de cumes e vales encontrados.

A captura da imagem utiliza um scanner doméstico, com a restrição de que o pulso deve ser colocado em linha reta e apoiado à base do scanner, de maneira que apenas a palma da mão seja capturada. A coleta de amostras para cada usuário foi feita três vezes e o algoritmo teve um bom desempenho com os valores obtidos nas amostras.

Com as amostras adquiridas não houve alteração no tamanho dos dedos em relação ao comprimento das unhas (unhas com até cinco mm de comprimento acima da ponta do dedo) não interferiram nas medidas finais(figura[5.1]). Também houve uma atenção especial para o comportamento do programa quanto à utilização de adornos pelo usuário. Observou-se que alianças ou anéis com até quatro mm não alteram o resultado do processamento. As alterações aparecem em adornos prateados (devido ao reflexo) ou com espessura superior a cinco mm.

A pigmentação da pele não afeta os resultados. O algoritmo apresentou resultados satisfatórios com dedos mais abertos e mais fechados, sendo necessário apenas uma pequena abertura entre dedos, um a dois *pixels* de distância.

É possível concluir que o conjunto de valores obtidos para cada mão possibilita a autenticação do usuário.

O Algoritmo mostrou-se eficiente, com baixo custo computacional, devido ao processamento utilizar um *scanner* doméstico sem a necessidade de câmera CCD o que eleva os custo de aquisição de imagem. Pode-se destacar também o baixo custo operacional e valores aceitáveis de desvio padrão.

Portanto, o objetivo de se implementar um algoritmo simples baseado em imagens bi-dimensionais de mão humana, que extraísse características a serem usadas na identificação pessoal, foi alcançado amplamente.

6. Trabalhos Futuros

Novas pesquisas podem ser realizadas extraindo-se um número maior de características e aumentando-se o número de amostras.

O desenvolvimento de um suporte que posicione de maneira fixa a mão do usuário, a exemplo dos pinos utilizados por Reillo (REILLO, 2000), também poderia melhorar o processo de aquisição e logo, aumentar a eficiência do algoritmo.

Uma proposta que também pode ser pesquisada é como o algoritmo se comportará ao se aumentar o número de amostras por usuário e também, colhendo estas amostras em intervalos de tempo maiores.

A utilização de classificadores mais robustos deve também aumentar a eficiência da autenticação de um usuário.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDENDERFER, M. S.; Blashfield, R. K. *Cluster Analysis*. Beverly Hills: CA:Sage, 1984.

AND INTERNATIONAL PUBLISHERS. *Comparison of Biometric Identification Methods*. Disponível em < <http://www.and.com/id/products/biometri/biometri.html>> (02/07/1999) apud GERRIT, B. *Biometric Authentication and Multilateral Security*; Addison-Wesley, München 1999, 157-172 .

BADOIU, M., Har-Peled, S; Indyk, P. *Approximate clustering via core-sets*. Proc.34th Annu. ACM Sympos. on Theory of Computing, pages 250–257, 2002.

BEN-HUR, A.; Horn, D et al. *Support vector clustering*. Journal of Machine Learning Research, 2:125-137, 2001.

BOMBONATTI, J. *História da Dactiloscopia*, 1997. Disponível em <<http://www.aguiarsoftware.com.br/aguiar211.htm>>(5/11/2003)

BULATOV, Y et al. *Hand Recognition Using Geometric Classifiers*. DIMACS, *Workshop on Computational Geometry*, Rutgers University, Piscataway, N.J., 2002.

CYCLOPS, The Cyclops Project, *Técnicas de Filtragem*, CPGCC - INE –UFS, 1999. Disponível em <http://www.inf.ufsc.br/~visao/1999/neilza/c_filtro.htm>(1/9/2004)

DAHAB, R. *Biometria é a senha*. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. Disponível em <<http://www.dcc.unicamp.br/~ra007846/mp205/Biometria.htm#V>> (06/06/2003)

DONI, M. V. *Análise de cluster: métodos hierárquicos e de particionamento*, Universidade presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2004.

FERREIRA, A.de H.F. *Novo Dicionário Aurélio - Século XXI*. Lexikon Informática Ltda. Nova Fronteira, 2001. Disponível em
<http://www2.uol.com.br/aurelio/index_result.html?stype=k&verbete=biometria>
(06/11/2003)

FIORESE, M. 2000. *Uma proposta de autenticação de usuários para ensino a distância*. Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 2000. Disponível em
<<http://www.cleber.com.br/ufrgspes.htm>> (11/11/2003).

GONÇALVES, L.M.G. *Notas de aula de Percepção Robótica-Visão Computacional: Gradientes de superfície*. Departamento de Engenharia de Computação e Automação. Centro de Tecnologia: UFRN, 2004.
disponível em <<http://www.ic.unicamp.br/~lmarcos/mo810>> (17/02/2004)

GONZÁLES, R.C; Woods, R.E. *Processamento de Imagens Digitais*. Edgard Blücher Ltda: São Paulo, 2000.

HANDPUNCH 2000, *Terminal para control de puntualidad y asistencia*. Empresa Recognition Sistem .INC: Campbell, Califórnia, 2000. Disponível em
<<http://www.biometria.cl/PDF/HK/hp2000sp.pdf>> (06/06/2003) apud website
Recognition Sistem: <http://www.recogsys.com/>

HSU, R.L. et al. *Face detection in color images*. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24, no. 5, pp. 696-706, 2002. Disponível em
<http://www.cse.msu.edu/~hsurein/facloc/index_facloc.algo.html> (06/06/2003)

I. R., RECOGNITION SYSTEMS. *HandReader Technology verifies identities by the size and shape of the hand*, 2002. Disponível em www.handreader.com (06/06/2003)

KEEGAN, J. F. *How can you tell if two line drawings are the same?* Computer Graphics and Image Processing, vol. 6, no. 1, pp. 90-92, 1977.

LAY, Y. L. *Hand shape recognition* - Department of Electronic Engineering, National Chin-Yi Institute of Technology, Sec 1, Chung-Shan Road, Taiping, Taichung 411, Taiwan Received 29 July 1999; **Journal:** Optics and Laser Technology, v. 32, pp. 1-5, 2000.

LANDIM, P. *Análise Estatística de Dados Geológicos*. Editora Unesp. 1997.

MATH WORKS, The. Inc. *Documentation – Image Processing Toolbox*. 1994-2004, Disponível em
http://www.mathworks.com/access/helpdesk_r12p1/help/toolbox/images/strel.shtml
(17/01/2004)

PEREIRA.A.S. et al. *Detecção de Microcalcificações de Bordas Lisas e Agrupamentos em Formação, para Auxílio ao Diagnóstico Médico de Câncer de Mama*. UNESP-IBILCE . São José do Rio Preto, 2002.

REDIN, R. M. *Biometria aplicada a segurança de dados e locais*. Santa Maria, RS: UFSM, 2002. Disponível em
<<http://www.usr.inf.ufsm.br/~redin/trabalhoelc111.doc>>(07/01/2004)

REILLO, A. Gonzáles, M. A. *Multiresolution Analysis and Geometric Measure for Biometric Identification*. CQRE Secure Networking. Dusseldorf, Germany, 1999.

REILLO, R.S; GONZÁLES, M. A. *Access Control System with Hand Geometry Verification and Smart Cards*. Proceedings of the 33rd Annual 1999 International Carnahan Conference on Security Technology. Madrid Spain, 1999.p. 485-487.

REILLO,R.S. *Hand Geometry Pattern Recognition Through Gaussian Mixture Modelling* .Universidad Politecnica de Madrid – E.T.S.I Telecommunication Dpt. Tecnologia Fotonica. Ciudad Universitária, 2000.

ROETHENBAUGH, G. *Biometrics explained*. 1998. Disponível em
<<http://www.ncsa.com/services/consortia/cbdc/explained.htm>> (04/10/1998).

ROSENFELD, A. K. *Digital Picture Processing*, London: Academic Press, 1982.

SHIMAKURA, S. *Média variância e desvio padrão*, Departamento de Estatística UFPR, 2002. Disponível em
<http://www.est.ufpr.br/~silvia/CE003/node16.html>(20/11/2004)

SHU, W. *Palmprint Verification: An Implementation of Biometric Technology*. Department of Automation, Tsinghua University, Beijing, P. R. China, 1998. Proceedings of the 14th International Conference on Pattern Recognition, vol.1 pp: 219, 1998.

SIM, GRUPO SIM. *Processamento de Imagens*. Universidade de São Paulo Escola Politécnica- Departamento de sistemas Eletrônicos, SP. Disponível em
<<http://sim.lme.usp.br/linhas/iinteligente/pimagem/idigital/idigital.html>>
(06/06/2003)

TAVARES Jr, G. S. *A Papiloscopia nos locais de crime: dactiloscopia, quiroscopia, podoscopia*. São Paulo: Ícone, 1991.

VOROS J. *A strategy for repetitive neighbor Riding in images represented by quadrees*. Pattern Recognition Letters, 1997.

WIVES, L. K. *Utilizando Conceitos como descritores de Textos para o processo de identificação de conglomerados (clustering) de documentos*. Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre, 2004.

YANG, M.H.; Kriegman, D. J.; AHUJA, N. *Detecting Faces in Images: A Survey*. IEEE: Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), vol. 24, no. 1, pp. 34-58, 2002.

Apêndice

Apêndice A

O apêndice A encontra-se dividido em três partes, na primeira parte estão os scripts utilizados para o desenvolvimento do aplicativo, na segunda parte estão as imagens e gráficos obtidos através do processamento na fase inicial do trabalho e na terceira parte estão as mãos originais, utilizadas pelo aplicativo, obtidas através de varredura.

Apêndice B

O apêndice B está dividido em duas partes, na primeira parte estão as imagens obtidas através do processamento utilizando o algoritmo desenvolvido (tabela [1]), e na segunda parte estão as imagens das mãos originais capturada por varredura utilizadas para o processamento. Cada usuário possui três armazenadas das imagens da mão.

Apêndice C

No apêndice C encontram-se os cálculos e resultados obtidos utilizando-se medida de *Distância Euclidiana* durante o desenvolvimento das pesquisas.

Apêndice A

O apêndice A encontra-se dividido em três partes, na primeira parte estão os scripts utilizados para o desenvolvimento do aplicativo, na segunda parte estão as imagens e gráficos obtidos através do processamento na fase inicial do trabalho e na terceira parte estão as mãos originais, utilizadas pelo aplicativo, obtidas através de varredura.

Parte I

Scripts utilizados no desenvolvimento do aplicativo.

1.1 Script: Prepara a imagem

```
clear all;
```

```
%preparando as imagens.
```

```
%n_imagens e o numero de imagens que deverao ser processadas
```

```
%as imagens deverao ter o nome de mao?.bmp, onde ? e um numero de 1 ate n
```

```
n_imagens=1;
```

```
for i=1:n_imagens,
```

```
    %le a imagem escaneada
```

```
    nentrada=strcat('mao',int2str(i),'.bmp');
```

```
    a = imread(nentrada);
```

```
    %imshow(a)
```

```
    b=double(a(:,:,1))/255;
```

```
%filtro morfologico e divisao de tons
```

```
c = imopen(b,strel('disk',25));
```

```
%figure;
```

```
%imshow(c);
```

```

    %pause
    %imagem binarizada
    level = graythresh(c);
    d = im2bw(c,level);
    %imshow(d);
    %pause
    %grava a imagem limpa
    nlimpa=strcat('limpa',int2str(i),'.bmp');
    imwrite(d,nlimpa,'bmp');

    %encaixando a mao em um arquivo de 900x900
    %na horizontal
    tam_ent=size(d);% d - tamanho da imagem
    pulso=find(d(tam_ent(1),1:tam_ent(2))==1); % encontra o primeiro 1 e vai até
o último 1
    tam_pulso=size(pulso); % o resultado 'e o tamanho do pulso
    centro_pulso=round((pulso(1)+pulso(tam_pulso(2)))/2);% divide o valor ao
meio para encontrar o centro do pulso
    des_col=450-centro_pulso;
    des_lin=900-tam_ent(1)-1;

    e=zeros(900,900);
    % cria uma matriz de zeros
    % insere a imagem na imagem de zeros 900x900
    e(des_lin+1:tam_ent(1)+des_lin,des_col+1:tam_ent(2)+des_col)=d;

    %grava a imagem pronta para o processamento
    nok=strcat('ok',int2str(i),'.bmp');
    imwrite(e,nok,'bmp');
    clear a b c d e;
end;

```


1.2 Função: Próximo pixel

```
function pfim = proxpix( pinicio, pcentro, matriz);
%calcula em qual ponto esta o inicio
inicio=pinicio - pcentro + [2 2];
proximo=inicio;
%achou =1 quando encontrar o próximo pixel
achou=0;
pixel1=matriz(pinicio(1),pinicio(2));
while (achou==0)
    if (inicio(1)==1)&(inicio(2)~=3)
        proximo(2)=proximo(2)+1;% anda mais um ponto
    elseif (inicio(1)==3)&(inicio(2)~=1)
        proximo(2)=proximo(2)-1;
    end;
    if (inicio(2)==1)&(inicio(1)~=1)
        proximo(1)=proximo(1)-1;
    elseif (inicio(2)==3)&(inicio(1)~=3)
        proximo(1)=proximo(1)+1;%ando mais um
    end;
    pproximo=proximo+pcentro-[2 2];% repete a operação anterior para a próxima
                                                                    matriz
    pixel2=matriz(pproximo(1),pproximo(2));
    if (pixel1==0)&(pixel2==1)
        achou=1;
        pfim=pproximo;
    else
        pixel1=pixel2;
        inicio=proximo;
    end;
end;
```

1.3 Script Marca Distâncias dos dez pontos:

```
clear all;
```

```
% calculando as distancias dos pontos extremos da mao
```

```
% n_imagens e o numero de imagens
```

```
% banco e o arquivo texto onde estaraos dados
```

```
n_imagens=1;
```

```
banco=fopen('resultados.txt','w');
```

```
for k=1:n_imagens,
```

```
    %abrindo o arquivo preparado
```

```
    nok=strcat('ok',int2str(k),'.bmp');
```

```
    e=double(imread(nok))/255;
```

```
    fprintf(banco,'%s \t',nok);
```

```
%Iniciando o contorno no sentido horario
```

```
branco=find(c(899,1:900)==1);
```

```
ante=[899 branco(1)];
```

```
atual=proxpix([ante(1) ante(2)+1],ante,e);
```

```
distancia(1)=sqrt((899-atual(1))^2+(450-ante(2))^2);% distancia euclidiana
```

```
i=1;
```

```
direcao=1;
```

```
j=0;
```

```
clear picos;
```

```

while (atual(1)~=899)
    i=i+1;
    prox=proxpix(ante,atual,e);
    distancia(i)=sqrt((899-prox(1))^2+(450-prox(2))^2);
    %prox(2)indice
    if i>10
        diferenca=distancia(i)-distancia(i-10);
    else
        diferenca=distancia(i)-distancia(i-1);
    end;
    ante=atual;
    atual=prox;
    %se esta subindo
    if direcao==1
        if diferenca < 2
            j=j+1;
            picos(j,1:2)=atual;
            picos(j,3)=distancia(i);
            direcao=0;
        end;
    %se esta descendo
    else
        if diferenca > 0
            j=j+1;
            picos(j,1:2)=atual;
            picos(j,3)=distancia(i);
            direcao=1;
        end;
    end;
end;%while

```

```

%grafico das distancias do contorno ao centro do pulso
plot (distancia);

%encontrando todos os picos baseados na distancia e angulo da funcao dist
g = length(picos)
for i=1:g
    nmarca=strcat('marca',int2str(k),'.bmp');
    imwrite(e,nmarca,'bmp');
    imshow(nmarca)
end;
fprintf(banco,'\n');
end;
fclose(banco);

```

1.4 Programa que encontra máximos e vales

```

cont1=1;
dimensao=size(picos);
anterior=picos(1,3);
vet=zeros(100,1);
vet(1,1)=anterior;
cont=2;
maxdist=zeros(100,1);
for i=2:dimensao(1,1),
    posterior=picos(i,3);
    if (abs(posterior-anterior)<=25)
        vet(cont,1)=picos(i,3);
        cont=cont+1;
        anterior=posterior;
    else

```



```

        maxdist(cont1,1)=max(vet);
        vet=zeros(100,1);
        anterior=picos(i,3);
        cont1=cont1+1;
        cont=2;
        vet(1,1)=anterior;
    end
end
maxdist(cont1,1)=max(vet);
roundoff(maxdist,2)

```

Parte II - Resultados obtidos banco de dados inicial

Imagens obtidas através de testes com o aplicativo

Cada conjunto de imagens, que pode ser visto na tabela[1] representa um usuário diferente. As figuras[*a] representam o gráfico das distâncias do contorno ao centro do pulso. As figuras[*b] foram obtidas após o processamento. As imagens originais adquiridas por varredura encontram-se na tabela [2].

2.1 Resultados obtidos

Mão 1-Figura[1a] Pontos de máximos e mínimos obtidos -Figura[1a] Imagem obtida após processamento

Mão 2-Figura[2a] Pontos de máximos e mínimos obtidos -Figura[2b] Imagem obtida após processamento

Mão 3-Figura[3a] Pontos de máximos e mínimos obtidos -Figura[3b] Imagem obtida após processamento

Mão 4-Figura[4a] Pontos de máximos e mínimos obtidos -Figura[4b] Imagem obtida após processamento

Mão 5-Figura[5a] Pontos de máximos e mínimos obtidos -Figura[5b] Imagem obtida após processamento

Mão 6-Figura[6a] Pontos de máximos e mínimos obtidos -Figura[6b] Imagem obtida após processamento

Mão 7-Figura[7a] Pontos de máximos e mínimos obtidos -Figura[7b] Imagem obtida após processamento

Mão 8-Figura[8a] Pontos de máximos e mínimos obtidos -Figura[8b] Imagem obtida após processamento

Mão 9	Mão 10

Tabela 2 - Imagens originais adquiridas por varredura

2.3 Imagens obtidas para testes em situações problemas: unhas compridas, variação de cor de pele, anéis .

Ad
----	--

Mão 5

Mão 6

Mão 7

Mão 8

Mão 1

Mão 2

Mão 3

Mão 4

Mão 9-Figura[9a] Pontos de máximos e mínimos obtidos -Figura[9b] Imagem obtida após processamento

Mão 10-Figura[10a] Pontos de máximos e mínimos obtidos -Figura[10b] Imagem obtida após processamento

Tabela 1 - Resultados Obtidos

2.2 Imagens originais obtidas através de varredura.

Tlt

Vnss

Rn

Obs: Peso acima de 100 Kg

Sm

Pr Rnto

Obs: Problemas com o processamento no uso de anel da cor prata.

MI

Obs. Proximidade dos dedos não interferiam no processamento

PtI

Pr. Mry

Problema apresentado entre as duas distancia;

Obs: Problemas oriundos da presença de anéis acima de 5 mm

Mes

Obs.
Unha comprida no dedo mínimo. Não
interferiram no processamento.

marca1.bmp

Mrg

Obs. Presença de anéis acima de 5 mm
interferiram no processamento

Mss

marca1.bmp

Lc

marca1.bmp

Mrc

marca1.bmp

Fl

Obs. Anéis no dedo médio não interferiram no processamento.

marca1.bmp

Kl

Obs. Proximidade dos dedos não interferiam no processamento

marca1.bmp

Deb

marca1.bmp

Fe

Ca

marca1.bmp

Cas

marca1.bmp

Al

Ar

Apêndice B

O apêndice B está dividido em duas partes, na primeira parte estão as imagens obtidas através do processamento utilizando o algoritmo desenvolvido (tabela [1]), e na segunda parte estão as imagens das mãos originais capturada por varredura utilizadas para o processamento. Cada usuário possui três armazenadas das imagens da mão.

Apêndice B

A 1

A 2

A 3

B 1

B 2

B 3

C 1

C 2

C 3

D 1

D 2

D 3

E 1

E 2

E 3

F1

F2

F3

G 1

G 2

G 3

H 1

H 2

H 3

I 1

I 2

I 3

J 1

J 2

J 3

K 1

K 2

K 3

L 1

L 2

L 3

M 1

M 2

M 3

N1

N2

N3

O1

marcat1.bmp

O2

marcat1.bmp

O3

marcat1.bmp

P1

marcat1.bmp

P2

Q1

Q2

Q3

R1

R2

R3

S1

S2

S3

T1

T2

T3

X1

X2

X3

Y1

Y2

Y3

Z1

Z2

Z3

<p>AA1</p>	<p>AA2</p>	<p>AA3</p>
<p>AB1</p>	<p>AB2</p>	<p>AB3</p>

Tabela[1] Mãos repetidas de usuários

A_1

A_2

A_3

B_1

B_2

B_3

C_1

C_2

C_3

D_1

D_2

D_3

E_1

E_2

E_3

F_1

F_2

F_3

G_1

G_2

G_3

H_1

H_2

H_3

I_1

I_2

I_3

J_1

J_2

J_3

K_1

K_2

K_3

L_1

L_2

L_3

M_1

N1

O1

M_2

N2

O2

M_3

N3

O3

P1

P2

Q1

Q2

Q3

R1

R2

R3

S1

S2

S3

T1

T2

T3

U1

U2

U3

VI

V2

V3

W1

W2

W3

X1

X2

X3

Y1

Y2

Y3

Z1

Z2

Z3

AA1

AA2

AA3

AB1

AB2

AB3

Tabela[1] Imagem capturada por varredura: Mãos repetidas de usuários

Apêndice C

No apêndice C encontram-se os cálculos e resultados obtidos utilizando-se medida de *Distância Euclidiana* durante o desenvolvimento das pesquisas.

1. A tabela[1] se encontra relacionado os vetores protótipo médios, obtidos para cada usuário e referenciado pela letra de A.. AB.

A	B	C	D	E	F	G
135	125	146	161	126	137	114
476	453	467	475	451	460	394
266	242	255	254	246	260	227
640	657	662	651	596	638	598
351	363	364	381	341	372	338
657	687	673	689	618	661	633
343	369	361	383	334	354	344
618	647	641	665	580	635	590
309	330	332	351	306	332	316
526	554	563	579	509	550	496
H	I	J	K	L	M	N
118	137	142	148	134	141	165
427	431	526	426	456	423	474
236	234	291	232	245	233	258,5
607	610	678	602	657	605	662
346	334	409	330	382	358	381,5
630	634	729	625	697	637	675
332	335	399	327	386	355	422
589	598	686	583	669	611	636,5
308	312	372	301	381	331	340
519	525	601	490	569	529	560,5
O	P	Q	R	S	T	U
129	145	84	104	126	133	128
438,5	473	421	453	408	446	421
240,5	248	249	279	220	236	239
616	660	562	626	600	620	605
342	364	348	383	349	351	351
642	701	594	658	627	657	640
351	367	325	366	347	350	346
620	663	554	630	597	629	607
321,5	347	302	332	318	339	330
519,5	559	489	541	518	553	529
V	W	X	Y	Z	AA	AB
131	137	139	140	118	140	131
447	437	508	458	448	444	420
262	257	286	246	240	247	229
609	617	692	609	613	621	586
366	357	391	349	320	357	323
648	646	729	641	625	642	612
367	355	381	348	319	359	311

616	616	695	606	578	612	579
337	326	354	318	274	333	291
537	535	598	532	493	534	492

Tabela[1] – Vetor característico dos usuários do banco de dados

2. Distância Euclidiana para mãos de usuários diferentes

Na tabela[2] são apresentados os resultados obtidos através da medida de Distância Euclidiana para vetores característico de mãos de usuários diferentes presentes no banco de dados. O resultado apresentado trata-se do valor final encontrado para cada vetor. Os valores calculados ponto a ponto encontram-se detalhados no item 3, na tabela[3]

A		B		C		D	
$(a-b ^2)^{1/2}$	72,663608	$(b-a ^2)^{1/2}$	72,663608	$ a-c ^2$	63,111013	$ a-d ^2$	106,05659
$ a-c ^2$	63,111013	$ b-c ^2$	34,82815	$ b-c ^2$	34,82815	$ b-d ^2$	62,241465
$ a-d ^2$	106,05659	$ b-d ^2$	62,241465	$(c-d ^2)^{1/2}$	51	$(c-d ^2)^{1/2}$	51
$ a-e ^2$	80,535706	$ b-e ^2$	131,53707	$ c-e ^2$	129	$(d-e ^2)^{1/2}$	167,57685
$ a-f ^2$	47,665501	$ b-f ^2$	44,988888	$ c-f ^2$	34,539832	$ d-f ^2$	69,382995
$ a-g ^2$	113,70576	$ b-g ^2$	135,21464	$ c-g ^2$	145,40977	$ d-g ^2$	180,4245
$ a-h ^2$	80,280757	$ b-h ^2$	115	$ c-h ^2$	130,44922	$ d-h ^2$	157,93986
$ a-i ^2$	72,422372	$ b-i ^2$	106,17438	$ c-i ^2$	106,35789	$ d-i ^2$	145,1103
$ a-j ^2$	174,69974	$ b-j ^2$	136,8722	$ c-j ^2$	110,83772	$ d-j ^2$	95,215545
$ a-k ^2$	97,851929	$ b-k ^2$	142	$ c-k ^2$	117,37121	$ d-k ^2$	180,09164
$ a-l ^2$	123,18685	$ b-l ^2$	64,490309	$ c-l ^2$	65,429351	$ d-l ^2$	47,927028
$ a-m ^2$	79,334734	$ b-m ^2$	92,649879	$ c-m ^2$	132,68383	$ d-m ^2$	124,4749
$ a-n ^2$	106,92521	$ b-n ^2$	77	$ c-n ^2$	67,99954	$ d-n ^2$	56,133769
$ a-o ^2$	56,929781	$ b-o ^2$	82	$ c-o ^2$	220,9819	$ d-o ^2$	122,28246
$ a-p ^2$	89,84431	$ b-p ^2$	40	$ c-p ^2$	40,435133	$ d-p ^2$	38,548671
$ a-q ^2$	147,69902	$ b-q ^2$	190	$ c-q ^2$	165,36626	$ d-q ^2$	230,41484

E		F		G		H	
$ a-e ^2$	80,535706	$ a-f ^2$	47,665501	$ a-g ^2$	113,70576	$ a-h ^2$	80,280757
$ b-e ^2$	131,53707	$ b-f ^2$	44,988888	$ b-g ^2$	135,21464	$ b-h ^2$	115
$ c-e ^2$	129	$ c-f ^2$	34,539832	$ c-g ^2$	145,40977	$ c-h ^2$	130,44922
$(d-e ^2)^{1/2}$	167,57685	$ d-f ^2$	69,382995	$ d-g ^2$	180,4245	$ d-h ^2$	157,93986
$(e-f ^2)^{1/2}$	103,70149	$(e-f ^2)^{1/2}$	103,70149	$ e-g ^2$	66,790718	$ e-h ^2$	34,914181
$ e-g ^2$	66,790718	$(f-g ^2)^{1/2}$	121,70045	$(f-g ^2)^{1/2}$	121,70045	$ f-h ^2$	93,600214
$ e-h ^2$	34,914181	$ f-h ^2$	93,600214	$(g-h ^2)$	45,585085	$(g-h ^2)$	45,585085
$ e-i ^2$	42,225585	$ f-i ^2$	85,023526	$ g-i ^2$	55,767374	$(h-i ^2)^{1/2}$	26,305893
$ e-j ^2$	244,65486	$ f-j ^2$	147,51949	$ g-j ^2$	263,36856	$ h-j ^2$	238,60218
$ e-k ^2$	44,215382	$ f-k ^2$	120,04582	$ g-k ^2$	54,295488	$ h-k ^2$	46,626173
$ e-l ^2$	177,71607	$ f-l ^2$	83,360662	$ g-l ^2$	177,87636	$ h-l ^2$	163,11959
$ e-m ^2$	65,848311	$ f-m ^2$	70,668239	$ g-m ^2$	62,825154	$ h-m ^2$	48,918299
$ e-n ^2$	161,85178	$ f-n ^2$	81,516869	$ g-n ^2$	175,29404	$ h-n ^2$	156,00321
$ e-o ^2$	58,412327	$ f-o ^2$	62,657801	$ g-o ^2$	65,878676	$ h-o ^2$	44,933284
$ e-p ^2$	156,59502	$ f-p ^2$	61,514226	$ g-p ^2$	166,05722	$ h-p ^2$	144,862
$ e-q ^2$	75,013332	$ f-q ^2$	165,2725	$ g-q ^2$	83,258633	$ h-q ^2$	83,042158

I		J		K		L	
a-i ²	72,422372	a-j ²	174,69974	a-k ²	97,851929	a-l ²	123,18685
b-i ²	106,17438	b-j ²	136,8722	b-k ²	142	b-l ²	64,490309
c-i ²	106,35789	c-j ²	110,83772	c-k ²	117,37121	c-l ²	65,429351
d-i ²	145,1103	d-j ²	95,215545	d-k ²	180,09164	d-l ²	47,927028
e-i ²	42,225585	e-j ²	244,65486	e-k ²	44,215382	e-l ²	177,71607
f-i ²	85,023526	f-j ²	147,51949	f-k ²	120,04582	f-l ²	83,360662
g-i ²	55,767374	g-j ²	263,36856	g-k ²	54,295488	g-l ²	177,87636
(h-i ²) ^{1/2}	26,305893	h-j ²	238,60218	h-k ²	46,626173	h-l ²	163,11959
(i-j ²) ^{1/2}	229,75857	(i-j ²) ^{1/2}	229,75857	i-k ²	44,11349	i-l ²	153,54478
i-k ²	44,11349	(j-k ²) ^{1/2}	263,63801	(j-k ²) ^{1/2}	263,63801	j-l ²	104,10091
i-l ²	153,54478	j-l ²	104,10091	(k-l ²) ^{1/2}	188,93385	(k-l ²) ^{1/2}	188,93385
i-m ²	40,459857	j-m ²	211,64593	k-m ²	70,604532	(l-m ²) ^{1/2}	128,79053
i-n ²	144,81022	j-n ²	117,73275	k-n ²	174,4305	l-n ²	77,987178
i-o ²	34,452866	j-o ²	205,25594	k-o ²	66,738295	l-o ²	127,56959
i-p ²	132,44999	j-p ²	108,36051	k-p ²	166,27387	l-p ²	49,203658
i-q ²	103,27633	j-q ²	303,14848	k-q ²	90,233032	l-q ²	232,63276

M		N		O		P	
		a-n ²	106,92521	a-o ²	56,929781	a-p ²	89,84431
a-m ²	79,334734	b-n ²	77	b-o ²	82	b-p ²	40
b-m ²	92,649879	c-n ²	67,99954	c-o ²	220,9819	c-p ²	40,435133
c-m ²	132,68383	d-n ²	56,133769	d-o ²	122,28246	d-p ²	38,548671
d-m ²	124,4749	e-n ²	161,85178	e-o ²	58,412327	e-p ²	156,59502
e-m ²	65,848311	f-n ²	81,516869	f-o ²	62,657801	f-p ²	61,514226
f-m ²	70,668239	g-n ²	175,29404	g-o ²	65,878676	g-p ²	166,05722
g-m ²	62,825154	h-n ²	156,00321	h-o ²	44,933284	h-p ²	144,862
h-m ²	48,918299	i-n ²	144,81022	i-o ²	34,452866	i-p ²	132,44999
i-m ²	40,459857	j-n ²	117,73275	j-o ²	205,25594	j-p ²	108,36051
j-m ²	211,64593	k-n ²	174,4305	k-o ²	66,738295	k-p ²	166,27387
k-m ²	70,604532	l-n ²	77,987178	l-o ²	127,56959	l-p ²	49,203658
(l-m ²) ^{1/2}	128,79053	(l-m-n ²) ^{1/2}	123,63252	m-o ²	33,466401	m-p ²	117,90674
(l-m-n ²) ^{1/2}	123,63252	(l-n-o ²) ^{1/2}	122,40098	(l-n-o ²) ^{1/2}	122,40098	n-p ²	72,636079
m-o ²	33,466401	n-p ²	72,636079	(l-o-p ²) ^{1/2}	108,25433	(l-o-p ²) ^{1/2}	108,25433
m-p ²	117,90674	n-q ²	223,41665	o-q ²	219,78398	(l-p-q ²) ^{1/2}	191,53329
m-q ²	117,88554						

Q		R		S		T	
a-q ²	147,69902	a-r ²	65,627738	a-s ²	99,634331	a-t ²	63,269266
b-q ²	190	b-r ²	66,955209	b-s ²	118,23282	b-t ²	57,697487
c-q ²	165,36626	c-r ²	71,049279	c-s ²	125,07598	c-t ²	59,782941
d-q ²	230,41484	d-r ²	96,265259	d-s ²	158,33193	d-t ²	89,660471
e-q ²	75,013332	(e-r ²) ^{1/2}	105,1903	(e-s ²) ^{1/2}	58,043087	(e-t ²) ^{1/2}	89,738509
f-q ²	165,2725	f-r ²	44,977772	f-s ²	101,32621	f-t ²	40,975602
g-q ²	83,258633	g-r ²	118,67603	g-s ²	33,333333	g-t ²	98,539332

$ h-q ^2$	83,042158	$ h-r ^2$	95,561499	$ h-s ^2$	33,734256	$ h-t ^2$	74,498322
$ i-q ^2$	103,27633	$ i-r ^2$	97,3242	$ i-s ^2$	38,078866	$ i-t ^2$	62,144992
$ j-q ^2$	303,14848	$(j-r ^2)^{1/2}$	157,36264	$(j-s ^2)^{1/2}$	244,41563	$(j-t ^2)^{1/2}$	174,5308
$ k-q ^2$	90,233032	$(k-r ^2)^{1/2}$	128,99612	$(k-s ^2)^{1/2}$	54,680892	$(k-t ^2)^{1/2}$	102,41094
$ l-q ^2$	232,63276	$ l-r ^2$	98,254771	$ l-s ^2$	159,70598	$ l-t ^2$	95,015788
$ m-q ^2$	117,88554	$ m-r ^2$	80,740324	$ m-s ^2$	37,080992	$ m-t ^2$	47,592016
$ n-q ^2$	223,41665	$ n-r ^2$	98,954535	$ n-s ^2$	155,04515	$ n-t ^2$	103,10189
$ o-q ^2$	219,78398	$ o-r ^2$	72,470684	$ o-s ^2$	49,487372	$ o-t ^2$	43,874822
$(p-q ^2)^{1/2}$	191,53329	$(p-r ^2)^{1/2}$	89,705072	$(p-s ^2)^{1/2}$	148,15195	$(p-t ^2)^{1/2}$	79,164386
		$(q-r ^2)^{1/2}$	151,00331	$(q-s ^2)^{1/2}$	93,47727	$(q-t ^2)^{1/2}$	149,17104
		$ s-r ^2$	104,68047	$ s-s ^2$	104,68047	$ t-r ^2$	65,192024
		$ t-r ^2$	65,192024	$ t-s ^2$	75,841941	$ t-s ^2$	75,841941
		$ u-r ^2$	77,88453	$ u-s ^2$	33,136083	$ u-t ^2$	48,270074
		$ v-r ^2$	44,384682	$ v-s ^2$	74,859869	$ v-t ^2$	42,731721
		$(x-r ^2)^{1/2}$	72,945185	$(x-s ^2)^{1/2}$	62,66578	$(x-t ^2)^{1/2}$	45,70558
		$(w-r ^2)^{1/2}$	55,848008	$(w-s ^2)^{1/2}$	61,830413	$(w-t ^2)^{1/2}$	37,296112
		$(y-r ^2)^{1/2}$	146,08901	$(y-s ^2)^{1/2}$	66,121101	$(y-t ^2)^{1/2}$	121,4084
		$(Aa-r ^2)^{1/2}$	61,489837	$(Aa-s ^2)^{1/2}$	61,652251	$(Aa-t ^2)^{1/2}$	34,68429
		$(Ab-r ^2)^{1/2}$	146,08901	$(Ab-s ^2)^{1/2}$	66,121101	$(Ab-t ^2)^{1/2}$	121,4084
		$(z-r ^2)^{1/2}$	132,47641	$(z-s ^2)^{1/2}$	82,365041	$(z-t ^2)^{1/2}$	116,90167
			32,165116		49,604175		35,166621

U		V		W		X	
$ a-u ^2$	76,791927	$(a-v ^2)^{1/2}$	60,207973	$(a-w ^2)^{1/2}$	53,009433	$(a-x ^2)^{1/2}$	159,7185
$ b-u ^2$	94,090382	$(b-v ^2)^{1/2}$	74,893257	$(b-w ^2)^{1/2}$	74	$(b-x ^2)^{1/2}$	117,85584
$ c-u ^2$	98,711701	$(c-v ^2)^{1/2}$	73,986485	$(c-w ^2)^{1/2}$	72,587878	$(c-x ^2)^{1/2}$	111,7184
$ d-u ^2$	131,60927	$(d-v ^2)^{1/2}$	100,17485	$(d-w ^2)^{1/2}$	106,56453	$(d-x ^2)^{1/2}$	85,158675
$(e-u ^2)^{1/2}$	58,881236	$(e-v ^2)^{1/2}$	78,23682	$(e-w ^2)^{1/2}$	68,789534	$(e-x ^2)^{1/2}$	233,91024
$ f-u ^2$	72,849159	$(f-v ^2)^{1/2}$	44,485953	$(f-w ^2)^{1/2}$	45,299007	$(f-x ^2)^{1/2}$	134,17153
$ g-u ^2$	53,981478	$(g-v ^2)^{1/2}$	93,701654	$(g-w ^2)^{1/2}$	81,160335	$(g-x ^2)^{1/2}$	249,4093
$ h-u ^2$	37,121422	$(h-v ^2)^{1/2}$	71,358251	$(h-w ^2)^{1/2}$	56,718604	$(h-x ^2)^{1/2}$	224,8266
$ i-u ^2$	33,136083	$(i-v ^2)^{1/2}$	66,437941	$(i-w ^2)^{1/2}$	48,03124	$(i-x ^2)^{1/2}$	215,06511
$(j-u ^2)^{1/2}$	215,72436	$(j-v ^2)^{1/2}$	177,81732	$(j-w ^2)^{1/2}$	189,00794	$(j-x ^2)^{1/2}$	40,139512
$(k-u ^2)^{1/2}$	66,693328	$(k-v ^2)^{1/2}$	98,478424	$(k-w ^2)^{1/2}$	82,371111	$(k-x ^2)^{1/2}$	249,58165
$ l-u ^2$	133,62634	$(l-v ^2)^{1/2}$	107,09809	$(l-w ^2)^{1/2}$	115,2866	$(l-x ^2)^{1/2}$	94,926287
$ m-u ^2$	19,104973	$(m-v ^2)^{1/2}$	44,575778	$(m-w ^2)^{1/2}$	33,166248	$(m-x ^2)^{1/2}$	200,45448
$ n-u ^2$	133,04511	$(n-v ^2)^{1/2}$	98,397154	$(n-w ^2)^{1/2}$	106,66302	$(n-x ^2)^{1/2}$	114,89125
$ o-u ^2$	29,529646	$(o-v ^2)^{1/2}$	44,922155	$(o-w ^2)^{1/2}$	29,546573	$(o-x ^2)^{1/2}$	191,02356
$(p-u ^2)^{1/2}$	121,47016	$(p-v ^2)^{1/2}$	96,306801	$(p-w ^2)^{1/2}$	98,661036	$(p-x ^2)^{1/2}$	89,621426
$(q-u ^2)^{1/2}$	107,90737	$(q-v ^2)^{1/2}$	132,81566	$(q-w ^2)^{1/2}$	127,96484	$(q-x ^2)^{1/2}$	294,17512
$ u-r ^2$	77,88453	$(v-r ^2)^{1/2}$	44,384682	$(w-r ^2)^{1/2}$	55,848008	$(x-r ^2)^{1/2}$	148,1317
$ u-s ^2$	33,136083	$(v-s ^2)^{1/2}$	74,859869	$(w-s ^2)^{1/2}$	61,830413	$(x-s ^2)^{1/2}$	231,54481
$ u-t ^2$	48,270074	$(v-t ^2)^{1/2}$	42,731721	$(w-t ^2)^{1/2}$	37,296112	$(x-t ^2)^{1/2}$	160,98137
$ v-u ^2$	46,411206	$(v-u ^2)^{1/2}$	46,411206	$(w-u ^2)^{1/2}$	33,030289	$(x-u ^2)^{1/2}$	203,21171
$(x-u ^2)^{1/2}$	203,21171	$(x-v ^2)^{1/2}$	169,94999	$(w-v ^2)^{1/2}$	176,7088	$(x-v ^2)^{1/2}$	176,7088
$(w-u ^2)^{1/2}$	33,030289	$(w-v ^2)^{1/2}$	24,06242	$(w-x ^2)^{1/2}$	99,0202	$(w-x ^2)^{1/2}$	169,94999
$(y-u ^2)^{1/2}$	41,725292	$(y-v ^2)^{1/2}$	40,533936	$(y-w ^2)^{1/2}$	24,062419	$(y-x ^2)^{1/2}$	187,51
$(Aa-u ^2)^{1/2}$	35,510562	$(Aa-v ^2)^{1/2}$	26,095977	$(Aa-w ^2)^{1/2}$	30,757113	$(Aa-x ^2)^{1/2}$	176,9011
$(Ab-u ^2)^{1/2}$	83,294658	$(Ab-v ^2)^{1/2}$	118,90332	$(Ab-w ^2)^{1/2}$	103,432423	$(Ab-x ^2)^{1/2}$	272,33619
$(z-u ^2)^{1/2}$	89,899944	$(z-v ^2)^{1/2}$	113,87713	$(z-w ^2)^{1/2}$	103,73524	$(z-x ^2)^{1/2}$	251,42196
	49,717352		39,086809		42,951914		62,884984

Y		Z		AA		AB	
(a-y ²) ^{1/2}	47,497368	(a-z ²) ^{1/2}	94,620294	(a-Aa ²) ^{1/2}	54,44263	(a-Ab ²) ^{1/2}	119,46129
(b-y ²) ^{1/2}	87,361319	(b-z ²) ^{1/2}	147,73287	(b-Aa ²) ^{1/2}	73,634231	(b-Ab ²) ^{1/2}	164,05182
(c-y ²) ^{1/2}	82,504545	(c-z ²) ^{1/2}	148,35094	(c-Aa ²) ^{1/2}	70,760158	(c-Ab ²) ^{1/2}	165,39045
(d-y ²) ^{1/2}	117,85584	(d-z ²) ^{1/2}	192,41881	(d-Aa ²) ^{1/2}	104,25929	(d-Ab ²) ^{1/2}	204,49205
(e-y ²) ^{1/2}	50,517324	(e-z ²) ^{1/2}	48,959167	(e-Aa ²) ^{1/2}	68,600292	(e-Ab ²) ^{1/2}	52,716221
(f-y ²) ^{1/2}	58,103356	(f-z ²) ^{1/2}	128,90694	(f-Aa ²) ^{1/2}	46,043458	(f-Ab ²) ^{1/2}	141,8908
(g-y ²) ^{1/2}	83,731714	(g-z ²) ^{1/2}	79,09488	(g-Aa ²) ^{1/2}	83,600239	(g-Ab ²) ^{1/2}	60,249481
(h-y ²) ^{1/2}	49,929951	(h-z ²) ^{1/2}	57,58472	(h-Aa ²) ^{1/2}	#N/D	(h-Ab ²) ^{1/2}	55,85696
(i-y ²) ^{1/2}	38,405729	(i-z ²) ^{1/2}	64	(i-Aa ²) ^{1/2}	48,528342	(i-Ab ²) ^{1/2}	61,886994
(j-y ²) ^{1/2}	198,58499	(j-z ²) ^{1/2}	267,49766	(j-Aa ²) ^{1/2}	187,80841	(j-Ab ²) ^{1/2}	287,02787
(k-y ²) ^{1/2}	70,519501	(k-z ²) ^{1/2}	49,959984	(k-Aa ²) ^{1/2}	82,565126	(k-Ab ²) ^{1/2}	34,409301
(l-y ²) ^{1/2}	131,60927	(l-z ²) ^{1/2}	203,23386	(l-Aa ²) ^{1/2}	112,41441	(l-Ab ²) ^{1/2}	212,27812
(m-y ²) ^{1/2}	41,952354	(m-z ²) ^{1/2}	98,919159	(m-Aa ²) ^{1/2}	31,080541	(m-Ab ²) ^{1/2}	90,912045
(n-y ²) ^{1/2}	117,30729	(n-z ²) ^{1/2}	186,69226	(n-Aa ²) ^{1/2}	101,72512	(n-Ab ²) ^{1/2}	202,06435
(o-y ²) ^{1/2}	31,685959	(o-z ²) ^{1/2}	82,097503	(o-Aa ²) ^{1/2}	30,232433	(o-Ab ²) ^{1/2}	87,218117
(p-y ²) ^{1/2}	108,90363	(p-z ²) ^{1/2}	174,79416	(p-Aa ²) ^{1/2}	96,974223	(p-Ab ²) ^{1/2}	190,42321
(q-y ²) ^{1/2}	119,46129	(q-z ²) ^{1/2}	87,88629	(q-Aa ²) ^{1/2}	130,54118	(q-Ab ²) ^{1/2}	71,316197
(r-y ²) ^{1/2}	72,945185	(r-z ²) ^{1/2}	132,47641	(r-Aa ²) ^{1/2}	61,489837	(r-Ab ²) ^{1/2}	146,08901
(s-y ²) ^{1/2}	62,66578	(s-z ²) ^{1/2}	82,365041	(s-Aa ²) ^{1/2}	61,652251	(s-Ab ²) ^{1/2}	66,121101
(t-y ²) ^{1/2}	45,70558	(t-z ²) ^{1/2}	116,90167	(t-Aa ²) ^{1/2}	34,68429	(t-Ab ²) ^{1/2}	121,4084
(u-y ²) ^{1/2}	41,725292	(u-z ²) ^{1/2}	89,899944	(u-Aa ²) ^{1/2}	35,510562	(u-Ab ²) ^{1/2}	83,294658
(v-y ²) ^{1/2}	40,533936	(v-z ²) ^{1/2}	113,87713	(v-Aa ²) ^{1/2}	26,095977	(v-Ab ²) ^{1/2}	118,90332
(w-y ²) ^{1/2}	30,757113	(w-z ²) ^{1/2}	99,0202	(w-Aa ²) ^{1/2}	15,492423	(w-Ab ²) ^{1/2}	103,73524
(x-y ²) ^{1/2}	187,51	(x-z ²) ^{1/2}	251,42196	(x-Aa ²) ^{1/2}	176,9011	(x-Ab ²) ^{1/2}	272,33619
(Aa-y ²) ^{1/2}	28,142495	(Aa-z ²) ^{1/2}	100,94058	(Aa-z ²) ^{1/2}	100,94058	(Ab-z ²) ^{1/2}	48,332184
(Ab-y ²) ^{1/2}	91,032961	(Ab-z ²) ^{1/2}	48,332184	(Ab-Aa ²) ^{1/2}	105,7497	(Ab-Aa ²) ^{1/2}	105,7497
(z-y ²) ^{1/2}	82,553013	(z-y ²) ^{1/2}	82,553013	(Aa-y ²) ^{1/2}	28,142495	(Ab-y ²) ^{1/2}	91,032961
	43,977188						

Tabela[2] – Medida de *Distâncias Euclidianas* entre mãos de usuários diferentes.

3. Cálculos detalhados da tabela[2].

A – todos							
a-b	a-c	a-d	a-e	a-f	a-g	a-h	a-i
576	121	676	81	4	441	289	4
289	81	1	625	256	6724	2401	2025
144	121	144	400	36	1521	900	1024
900	484	121	1936	4	1764	1089	900
676	169	900	100	441	169	25	289
841	256	1024	1521	16	576	729	529
441	324	1600	81	121	1	121	64
784	529	2209	1444	289	784	841	400
0	529	1764	9	529	49	1	9
441	1369	2809	289	576	900	49	1
72,663608	63,111013	106,05659	80,535706	47,665501	113,70576	80,280757	72,422372
a-j	a-k	a-l	a-m	a-n	a-o	a-p	a-q
49	169	1	36	900	36	100	2601
2500	2500	400	2809	4	1406,25	9	3025
625	1156	441	1089	56,25	650,25	324	289
1444	1444	289	1225	484	576	400	6084
3364	441	961	49	930,25	81	169	9
5184	1024	1600	400	324	225	1936	3969
3136	256	1849	144	6241	64	576	324
4624	1225	2601	49	342,25	4	2025	4096
3969	64	5184	484	961	156,25	1444	49
5625	1296	1849	9	1190,25	42,25	1089	1369
174,69974	97,851929	123,18685	79,334734	106,92521	56,929781	89,84431	147,69902

B – todos							
b-c	b-d	b-e	b-f	b-g	b-h	b-i	b-j
441	1296	1	144	121	49	144	289
196	484	4	49	3481	676	484	5329
169	144	16	324	225	36	64	2401
25	36	3721	361	3481	2500	2209	441
1	324	484	81	625	289	841	2116
196	4	4761	676	2916	3249	2809	1764
64	196	1225	225	625	1369	1156	900
36	324	4489	144	3249	3364	2401	1521
4	441	576	4	196	484	324	1764
81	625	2025	16	3364	1225	841	2209
34,82815	62,241465	131,53707	44,988888	135,21464	115,06954	106,17438	136,8722
b-k	b-l	b-m	b-n	b-o	b-p	b-q	
529	81	256	1600	16	400	1681	
729	9	900	441	210,25	400	1024	
100	9	81	272,25	2,25	36	49	
3025	0	2704	25	1681	9	9025	
1089	361	25	342,25	441	1	225	

3844	100	2500	144	2025	196	8649
1764	289	196	2809	324	4	1936
4096	484	1296	110,25	729	256	8649
841	2601	1	100	72,25	289	784
4096	225	625	42,25	1190,25	25	4225
141,82031	64,490309	92,649879	76,720271	81,798533	40,199502	190,38645

C – todos

c-d	c-e	c-f	c-g	c-h	c-i	c-j	c-k
225	400	36	1024	625	81	4	36
64	256	196	5329	2209	1296	2704	676
1	81	9	784	576	441	676	81
121	4356	961	4096	3721	2704	100	2401
289	529	1	676	484	900	1444	576
256	3025	400	1600	2304	1521	2500	1444
484	729	225	289	1024	676	1024	676
576	3721	169	2601	3136	1849	1521	2500
361	676	25	256	729	400	1156	625
256	2916	361	4489	2209	1444	1156	4761
51,312766	129,18591	48,815981	145,40977	130,44922	106,35789	110,83772	117,37121
c-l	c-m	c-n	c-o	c-p	c-q		
289	16	105,0625	729	1	3364		
196	3136	217,5625	3844	36	361		
196	1225	81	144	49	36		
81	5476	4	14641	4	6400		
169	441	351,5625	2025	0	100		
400	2601	1	8100	784	4096		
484	400	3721	1369	36	1296		
529	2025	56,25	5476	484	5776		
1936	169	30,25	2704	225	1156		
1	2116	56,25	9801	16	4761		
65,429351	132,68383	67,99954	220,9819	40,435133	165,36626		

D – todos

d-e	d-f	d-g	d-h	d-i	d-j	d-k	d-l
1225	576	2209	1849	576	361	169	729
576	225	6561	2304	1936	2601	2401	361
64	36	729	324	400	1369	484	81
3025	169	2809	1936	1681	729	2401	36
1600	81	1849	1225	2209	784	2601	1
5041	784	3136	3481	3025	1600	4096	64
2401	841	1521	2601	2304	256	3136	9
7225	900	5625	5776	4489	441	6724	16
2025	361	1225	1849	1521	441	2500	900
4900	841	6889	3600	2916	484	7921	100
167,57685	69,382995	180,4245	157,93986	145,1103	95,215545	180,09164	47,927028
d-m	d-n	d-o	d-p	d-q			
400	16	1024	256	5929			
2704	1	1332,25	4	2916			
441	20,25	182,25	36	25			
2116	121	1225	81	7921			
529	0,25	1521	289	1089			
2704	196	2209	144	9025			

784	1521	1024	256	3364
2916	812,25	2025	4	12321
400	121	870,25	16	2401
2500	342,25	3540,25	400	8100
124,4749	56,133769	122,28246	38,548671	230,41484

E todos

e-f	e-g	e-h	e-i	e-j	e-k	e-l	e-m
121	144	64	121	256	484	64	225
81	3249	576	400	5625	625	25	784
196	361	100	144	2025	196	1	169
1764	4	121	196	6724	36	3721	81
961	9	25	49	4624	121	1681	289
1849	225	144	256	12321	49	6241	361
400	100	4	1	4225	49	2704	441
3025	100	81	324	11236	9	7921	961
676	100	4	36	4356	25	5625	625
1681	169	100	256	8464	361	3600	400
103,70149	66,790718	34,914181	42,225585	244,65486	44,215382	177,71607	65,848311

e-n	e-o	e-p	e-q
1521	9	361	1764
529	156,25	484	900
156,25	30,25	4	9
4356	400	4096	1156
1640,25	1	529	49
3249	576	6889	576
7744	289	1089	81
3192,25	1600	6889	676
1156	240,25	1681	16
2652,25	110,25	2500	400
161,85178	58,412327	156,59502	75,013332

F

f-g	f-h	f-i	f-j	f-k	f-l	f-m	f-n
529	361	0	25	121	9	16	784
4356	1089	841	4356	1156	16	1369	196
1089	576	676	961	784	225	729	2,25
1600	961	784	1600	1296	361	1089	576
1156	676	1444	1369	1764	100	196	90,25
784	961	729	4624	1296	1296	576	196
100	484	361	2025	729	1024	1	4624
2025	2116	1369	2601	2704	1156	576	2,25
256	576	400	1600	961	2401	1	64
2916	961	625	2601	3600	361	441	110,25
121,70045	93,600214	85,023526	147,51949	120,04582	83,360662	70,668239	81,516869

f-o	f-p	f-q
64	64	2809
462,25	169	1521
380,25	144	121
484	484	5776
900	64	576
361	1600	4489
9	169	841

225	784	6561
110,25	225	900
930,25	81	3721
62,657801	61,514226	165,2725

G

g-h	g-i	g-j	g-k	g-l	g-m	g-n	g-o
16	529	784	1156	400	729	2601	225
1089	1369	17424	1024	3844	841	6400	1980,25
81	49	4096	25	324	36	992,25	182,25
81	144	6400	16	3481	49	4096	324
64	16	5041	64	1936	400	1892,25	16
9	1	9216	64	4096	16	1764	81
144	81	3025	289	1764	121	6084	49
1	64	9216	49	6241	441	2162,25	900
64	16	3136	225	4225	225	576	30,25
529	841	11025	36	5329	1089	4160,25	552,25
45,585085	55,767374	263,36856	54,295488	177,87636	62,825154	175,29404	65,878676
g-p	g-q						
961	900						
6241	729						
441	484						
3844	1296						
676	100						
4624	1521						
529	361						
5329	1296						
961	196						
3969	49						
166,05722	83,258633						

h

h-i	h-j	h-k	h-l	h-m	h-n	h-o	h-p	h-q
361	576	900	256	529	2209	121	729	1156
16	9801	1	841	16	2209	132,25	2116	36
4	3025	16	81	9	506,25	20,25	144	169
9	5041	25	2500	4	3025	81	2809	2025
144	3969	256	1296	144	1260,25	16	324	4
16	9801	25	4489	49	2025	144	5041	1296
9	4489	25	2916	529	8100	361	1225	49
81	9409	36	6400	484	2256,25	961	5476	1225
16	4096	49	5329	529	1024	182,25	1521	36
36	6724	841	2500	100	1722,25	0,25	1600	900
26,305893	238,60218	46,626173	163,11959	48,918299	156,00321	44,933284	144,862	83,042158

i

i-j	i-k	i-l	i-m	i-n	i-o	i-p	i-q
25	121	9	16	784	64	64	2809
9025	25	625	64	1849	56,25	1764	100
3249	4	121	1	600,25	42,25	196	225
4624	64	2209	25	2704	36	2500	2304
5625	16	2304	576	2256,25	64	900	196
9025	81	3969	9	1681	64	4489	1600

4096	64	2601	400	7569	256	1024	100
7744	225	5041	169	1482,25	484	4225	1936
3600	121	4761	361	784	90,25	1225	100
5776	1225	1936	16	1260,25	30,25	1156	1296
229,75857	44,11349	153,54478	40,459857	144,81022	34,452866	132,44999	103,27633

J

j-k	j-l	j-m	j-n	j-o	j-p	j-q
36	64	1	529	169	9	3364
10000	4900	10609	2704	7656,25	2809	11025
3481	2116	3364	1056,25	2550,25	1849	1764
5776	441	5329	256	3844	324	13456
6241	729	2601	756,25	4489	2025	3721
10816	1024	8464	2916	7569	784	18225
5184	169	1936	529	2304	1024	5476
10609	289	5625	2450,25	4356	529	17424
5041	81	1681	1024	2550,25	625	4900
12321	1024	5184	1640,25	6642,25	1764	12544
263,63801	104,10091	211,64593	117,73275	205,25594	108,36051	303,14848

K

k-l	k-m	k-n	k-o	k-p	k-q
196	49	289	361	9	4096
900	9	2304	156,25	2209	25
169	1	702,25	72,25	256	289
3025	9	3600	196	3364	1600
2704	784	2652,25	144	1156	324
5184	144	2500	289	5776	961
3481	784	9025	576	1600	4
7396	784	2862,25	1369	6400	841
6400	900	1521	420,25	2116	1
6241	1521	4970,25	870,25	4761	1
188,93385	70,604532	174,4305	66,738295	166,27387	90,233032

I

i-m	i-n	i-o	i-p	i-q
49	961	25	121	2500
1089	324	306,25	289	1225
144	182,25	20,25	9	16
2704	25	1681	9	9025
576	0,25	1600	324	1156
3600	484	3025	16	10609
961	1296	1225	361	3721
3364	1056,25	2401	36	13225
2500	1681	3540,25	1156	6241
1600	72,25	2450,25	100	6400
128,79053	77,987178	127,56959	49,203658	232,63276

M

m-n	m-o	m-p	m-q
576	144	16	3249
2601	240,25	2500	4
650,25	56,25	225	256
3249	121	3025	1849

552,25	256	36	100
1444	25	4096	1849
4489	16	144	900
650,25	81	2704	3249
81	90,25	256	841
992,25	90,25	900	1600
123,63252	33,466401	117,90674	117,88554

N		O		P
n-o	n-p	o-p	o-q	p-q
1296	400	256	3721	3249
1260,25	1	1190,25	2704	625
324	110,25	56,25	1	169
2116	4	1936	9604	6084
1560,25	306,25	484	256	100
1089	676	3481	11449	8464
5041	3025	256	1764	1764
272,25	702,25	1849	11881	9604
342,25	49	650,25	2025	2401
1681	2,25	1560,25	4900	4225
122,40098	72,636079	108,25433	219,78398	191,53329

Q

Calculado nas anteriores

R							
(R4-A4)^2	(R4-b4)^2	(R4-c4)^2	(R4-d4)^2	(R4-e4)^2	(R4-f4)^2	(R4-g4)^2	(R4-h4)^2
961	441	1764	3249	484	1089	100	196
529	0	196	484	4	49	3481	676
169	1369	576	625	1089	361	2704	1849
196	961	1296	625	900	144	784	361
1024	400	361	4	1764	121	2025	1369
1	841	225	961	1600	9	625	784
529	9	25	289	1024	144	484	1156
144	289	121	1225	2500	25	1600	1681
529	4	0	361	676	0	256	576
225	169	484	1444	1024	81	2025	484
65,627738	66,955209	71,049279	96,265259	105,1903	44,977772	118,67603	95,561499
(R4-i4)^2	(R4-j4)^2	(R4-k4)^2	(R4-l4)^2	(R4-m4)^2	(R4-n4)^2	(R4-o4)^2	(R4-p4)^2
1089	1444	1936	900	1369	3721	625	1681
484	5329	729	9	900	441	210,25	400
2025	144	2209	1156	2116	420,25	1482,25	961
256	2704	576	961	441	1296	100	1156
2401	676	2809	1	625	2,25	1681	361
576	5041	1089	1521	441	289	256	1849
961	1089	1521	400	121	3136	225	1
1024	3136	2209	1521	361	42,25	100	1089
400	1600	961	2401	1	64	110,25	225
256	3600	2601	784	144	380,25	462,25	324
97,3242	157,36264	128,99612	98,254771	80,740324	98,954535	72,470684	89,705072
(R4-q4)^2	(R4-s4)^2	(R4-t4)^2	(R4-u4)^2	(R4-v4)^2	(R4-x4)^2	(R4-z4)^2	(R4-w4)^2
400	484	841	576	729	1296	196	1089

1024	2025	49	1024	36	25	25	256
900	3481	1849	1600	289	1089	1521	484
4096	676	36	441	289	289	169	81
1225	1156	1024	1024	289	1156	3969	676
4096	961	1	324	100	289	1089	144
1681	361	256	400	1	324	2209	121
5776	1089	1	529	196	576	2704	196
900	196	49	4	25	196	3364	36
2704	529	144	144	16	81	2304	36
151,00331	104,68047	65,192024	77,88453	44,384682	72,945185	132,47641	55,848008
(R4-y4)^2	(R4-Aa4)^2	(R4-Ab4)^2					
729	1296	729					
1089	81	1089					
2500	1024	2500					
1600	25	1600					
3600	676	3600					
2116	256	2116					
3025	49	3025					
2601	324	2601					
1681	1	1681					
2401	49	2401					
146,08901	61,489837	146,08901					

S

(s4-A4)^2	(s4-b4)^2	(s4-c4)^2	(s4-d4)^2	(s4-e4)^2	(s4-f4)^2	(s4-g4)^2	(s4-h4)^2
81	1	400	1225	0	121	144	64
4624	2025	3481	4489	1849	2704	196	361
2116	484	1225	1156	676	1600	49	256
1600	3249	3844	2601	16	1444	4	49
4	196	225	1024	64	529	121	9
900	3600	2116	3844	81	1156	36	9
16	484	196	1296	169	49	9	225
441	2500	1936	4624	289	1444	49	64
81	144	196	1089	144	196	4	100
64	1296	2025	3721	81	1024	484	1
99,634331	118,23282	125,07598	158,33193	58,043087	101,32621	33,105891	33,734256
(s4-i4)^2	(s4-j4)^2	(s4-k4)^2	(s4-l4)^2	(s4-m4)^2	(s4-n4)^2	(s4-o4)^2	(s4-p4)^2
121	256	484	64	225	1521	9	361
529	13924	324	2304	225	4356	930,25	4225
196	5041	144	625	169	1482,25	420,25	784
100	6084	4	3249	25	3844	256	3600
225	3600	361	1089	81	1056,25	49	225
49	10404	4	4900	100	2304	225	5476
144	2704	400	1521	64	5625	16	400
1	7921	196	5184	196	1560,25	529	4356
36	2916	289	3969	169	484	12,25	841
49	6889	784	2601	121	1806,25	2,25	1681
38,078866	244,41563	54,680892	159,70598	37,080992	155,04515	49,487372	148,15195
(s4-q4)^2	(R4-s4)^2	(s4-t4)^2	(s4-u4)^2	(s4-v4)^2	(s4-x4)^2	(s4-z4)^2	(s4-w4)^2
1764	484	49	4	25	196	64	121
169	2025	1444	169	1521	2500	1600	841
841	3481	256	361	1764	676	400	1369
1444	676	400	25	81	81	169	289

1	1156	4	4	289	0	841	64
1089	961	900	169	441	196	4	361
484	361	9	1	400	1	784	64
1849	1089	1024	100	361	81	361	361
256	196	441	144	361	0	1936	64
841	529	1225	121	361	196	625	289
93,47727	104,68047	75,841941	33,136083	74,859869	62,66578	82,365041	61,830413
(s4-y4)^2	(s4-Aa4)^2	(s4-Ab4)^2					
25	196	25					
144	1296	144					
81	729	81					
196	441	196					
676	64	676					
225	225	225					
1296	144	1296					
324	225	324					
729	225	729					
676	256	676					
66,121101	61,652251	66,121101					

F

(t4-A4)^2	(t4-b4)^2	(t4-c4)^2	(t4-d4)^2	(t4-e4)^2	(t4-f4)^2	(t4-g4)^2	(t4-h4)^2
4	64	169	784	49	16	361	225
900	49	441	841	25	196	2704	361
900	36	361	324	100	576	81	0
400	1369	1764	961	576	324	484	169
0	144	169	900	100	441	169	25
0	900	256	1024	1521	16	576	729
49	361	121	1089	256	16	36	324
121	324	144	1296	2401	36	1521	1600
900	81	49	144	1089	49	529	961
729	1	100	676	1936	9	3249	1156
63,269266	57,697487	59,782941	89,660471	89,738509	40,975602	98,539332	74,498322
(t4-i4)^2	(t4-j4)^2	(t4-k4)^2	(t4-l4)^2	(t4-m4)^2	(t4-n4)^2	(t4-o4)^2	(t4-p4)^2
16	81	225	1	64	1024	16	144
225	6400	400	100	529	784	56,25	729
4	3025	16	81	9	506,25	20,25	144
100	3364	324	1369	225	1764	16	1600
289	3364	441	961	49	930,25	81	169
529	5184	1024	1600	400	324	225	1936
225	2401	529	1296	25	5184	1	289
961	3249	2116	1600	324	56,25	81	1156
729	1089	1444	1764	64	1	306,25	64
784	2304	3969	256	576	56,25	1122,25	36
62,144992	174,5308	102,41094	95,015788	47,592016	103,10189	43,874822	79,164386
(t4-q4)^2	(t4-r4)^2	(t4-s4)^2	(t4-u4)^2	(t4-v4)^2	(t4-x4)^2	(t4-z4)^2	(t4-w4)^2
2401	841	49	25	4	49	225	16
625	49	1444	625	1	144	4	81
169	1849	256	9	676	100	16	441
3364	36	400	225	121	121	49	9
9	1024	4	0	225	4	961	36
3969	1	900	289	81	256	1024	121
625	256	9	16	289	4	961	25

5625	1	1024	484	169	529	2601	169
1369	49	441	81	4	441	4225	169
4096	144	1225	576	256	441	3600	324
149,17104	65,192024	75,841941	48,270074	42,731721	45,70558	116,90167	37,296112
$(t4-y4)^2$	$(t4-Aa4)^2$	$(t4-Ab4)^2$					
4	49	4					
676	4	676					
49	121	49					
1156	1	1156					
784	36	784					
2025	225	2025					
1521	81	1521					
2500	289	2500					
2304	36	2304					
3721	361	3721					
121,4084	34,68429	121,4084					

U							
$(u4-A4)^2$	$(u4-b4)^2$	$(u4-c4)^2$	$(u4-d4)^2$	$(u4-e4)^2$	$(u4-f4)^2$	$(u4-g4)^2$	$(u4-h4)^2$
49	9	324	1089	4	81	196	100
3025	1024	2116	2916	900	1521	729	36
729	9	256	225	49	441	144	9
1225	2704	3249	2116	81	1089	49	4
0	144	169	900	100	441	169	25
289	2209	1089	2401	484	441	49	100
9	529	225	1369	144	64	4	196
121	1600	1156	3364	729	784	289	324
441	0	4	441	576	4	196	484
9	625	1156	2500	400	441	1089	100
76,791927	94,090382	98,711701	131,60927	58,881236	72,849159	53,981478	37,121422
$(u4-i4)^2$	$(u4-j4)^2$	$(u4-k4)^2$	$(u4-l4)^2$	$(u4-m4)^2$	$(u4-n4)^2$	$(u4-o4)^2$	$(u4-p4)^2$
81	196	400	36	169	1369	1	289
100	11025	25	1225	4	2809	306,25	2704
25	2704	49	36	36	380,25	2,25	81
25	5329	9	2704	0	3249	121	3025
289	3364	441	961	49	930,25	81	169
36	7921	225	3249	9	1225	4	3721
121	2809	361	1600	81	5776	25	441
81	6241	576	3844	16	870,25	169	3136
324	1764	841	2601	1	100	72,25	289
16	5184	1521	1600	0	992,25	90,25	900
33,136083	215,72436	66,693328	133,62634	19,104973	133,04511	29,529646	121,47016
$(u4-q4)^2$	$(R4-u4)^2$	$(s4-u4)^2$	$(t4-u4)^2$	$(u4-v4)^2$	$(u4-x4)^2$	$(u4-z4)^2$	$(u4-w4)^2$
1936	576	4	25	9	121	100	81
0	1024	169	625	676	7569	729	256
100	1600	361	9	529	2209	1	324
1849	441	25	225	16	7569	64	144
9	1024	4	0	225	1600	961	36
2116	324	169	289	64	7921	225	36
441	400	1	16	441	1225	729	81
2809	529	100	484	81	7744	841	81

784	4	144	81	49	576	3136	16
1600	144	121	576	64	4761	1296	36
107,90737	77,88453	33,136083	48,270074	46,411206	203,21171	89,899944	33,030289
(u4-y4)^2	(u4-Aa4)^2	(u4-Ab4)^2					
144	144	9					
1369	529	1					
49	64	100					
16	256	361					
4	36	784					
1	4	784					
4	169	1225					
1	25	784					
144	9	1521					
9	25	1369					
	35,510562	83,294658					

W

(w4-A4)^2	(w4-b4)^2	(w4-c4)^2	(w4-d4)^2	(w4-e4)^2	(w4-f4)^2	w4-g4)^2	(w4-h4)^2
4	144	81	576	121	0	529	361
1521	256	900	1444	196	529	1849	100
81	225	4	9	121	9	900	441
529	1600	2025	1156	441	441	361	100
36	36	49	576	256	225	361	121
121	1681	729	1849	784	225	169	256
144	196	36	784	441	1	121	529
4	961	625	2401	1296	361	676	729
289	16	36	625	400	36	100	324
81	361	784	1936	676	225	1521	256
53,009433	74	72,587878	106,56453	68,789534	45,299007	81,160335	56,718604
(w4-i4)^2	(w4-j4)^2	(w4-k4)^2	(w4-l4)^2	(w4-m4)^2	(w4-n4)^2	(w4-o4)^2	(w4-p4)^2
0	25	121	9	16	784	64	64
36	7921	121	361	196	1369	2,25	1296
529	1156	625	144	576	2,25	272,25	81
49	3721	225	1600	144	2025	1	1849
529	2704	729	625	1	600,25	225	49
144	6889	441	2601	81	841	16	3025
400	1936	784	961	0	4489	16	144
324	4900	1089	2809	25	420,25	16	2209
196	2116	625	3025	25	196	20,25	441
100	4356	2025	1156	36	650,25	240,25	576
48,03124	189,00794	82,371111	115,2866	33,166248	106,66302	29,546573	98,661036
(w4-q4)^2	(R4-w4)^2	(s4-w4)^2	(t4-w4)^2	(u4-w4)^2	(w4-x4)^2	(w4-z4)^2	(v4-w4)^2
2809	1089	121	16	81	4	361	36
256	256	841	81	256	5041	121	100
64	484	1369	441	324	841	289	25
3025	81	289	9	144	5625	16	64
81	676	64	36	36	1156	1369	81
2704	144	361	121	36	6889	441	4
900	121	64	25	81	676	1296	144
3844	196	361	169	81	6241	1444	0
576	36	64	169	16	784	2704	121
2116	36	289	324	36	3969	1764	4
127,96484	55,848008	61,830413	37,296112	33,030289	176,7088	99,0202	24,062419

$(w4-y4)^2$	$(w4-Aa4)^2$	$(w4-Ab4)^2$
9	9	36
441	49	289
121	100	784
64	16	961
64	0	1156
25	16	1156
49	16	1936
100	16	1369
64	49	1225
9	1	1849
30,757113	16,492423	103,73524

X

$(x4-A4)^2$	$(x4-b4)^2$	$(x4-c4)^2$	$(x4-d4)^2$	$(x4-e4)^2$	$(x4-f4)^2$	$(x4-g4)^2$	$(x4-h4)^2$
16	196	49	484	169	4	625	441
1024	3025	1681	1089	3249	2304	12996	6561
400	1936	961	1024	1600	676	3481	2500
2704	1225	900	1681	9216	2916	8836	7225
1600	784	729	100	2500	361	2809	2025
5184	1764	3136	1600	12321	4624	9216	9801
1444	144	400	4	2209	729	1369	2401
5929	2304	2916	900	13225	3600	11025	11236
2025	576	484	9	2304	484	1444	2116
5184	1936	1225	361	7921	2304	10404	6241
159,7185	117,85584	111,7184	85,158675	233,91024	134,17153	249,4093	224,8266
$(x4-i4)^2$	$(x4-j4)^2$	$(x4-k4)^2$	$(x4-l4)^2$	$(x4-m4)^2$	$(x4-n4)^2$	$(x4-o4)^2$	$(x4-p4)^2$
4	9	81	25	4	676	100	36
5929	324	6724	2704	7225	1156	4830,25	1225
2704	25	2916	1681	2809	756,25	2070,25	1444
6724	196	8100	1225	7569	900	5776	1024
3249	324	3721	81	1089	90,25	2401	729
9025	0	10816	1024	8464	2916	7569	784
2116	324	2916	25	676	1681	900	196
9409	81	12544	676	7056	3422,25	5625	1024
1764	324	2809	729	529	196	1056,25	49
5329	9	11664	841	4761	1406,25	6162,25	1521
215,06511	40,199502	249,58165	94,926287	200,45448	114,89125	191,02356	89,621426
$(x4-q4)^2$	$(R4-x4)^2$	$(s4-x4)^2$	$(t4-x4)^2$	$(u4-x4)^2$	$(w4-x4)^2$	$(x4-z4)^2$	$(v4-x4)^2$
3025	1225	169	36	121	4	441	64
7569	3025	10000	3844	7569	5041	3600	3721
1369	49	4356	2500	2209	841	2116	576
16900	4356	8464	5184	7569	5625	6241	6889
1849	64	1764	1600	1600	1156	5041	625
18225	5041	10404	5184	7921	6889	10816	6561
3136	225	1156	961	1225	676	3844	196
19881	4225	9604	4356	7744	6241	13689	6241
2704	484	1296	225	576	784	6400	289
11881	3249	6400	2025	4761	3969	11025	3721
294,17512	148,1317	231,54481	160,98137	203,21171	176,7088	251,42196	169,94999
$(x4-y4)^2$	$(x4-Aa4)^2$	$(x4-Ab4)^2$					
1	1	64					
2500	4096	7744					

1600	1521	3249
6889	5041	11236
1764	1156	4624
7744	7569	13689
1089	484	4900
7921	6889	13456
1296	441	3969
4356	4096	11236
187,51	176,9011	272,33619

Y

$(y4-A4)^2$	$(y4-b4)^2$	$(y4-c4)^2$	$(y4-d4)^2$	$(y4-e4)^2$	$(y4-f4)^2$	$(y4-g4)^2$	$(y4-h4)^2$
25	225	36	441	196	9	676	484
324	25	81	289	49	4	4096	961
400	16	81	64	0	196	361	100
961	2304	2809	1764	169	841	121	4
4	196	225	1024	64	529	121	9
256	2116	1024	2304	529	400	64	121
25	441	169	1225	196	36	16	256
144	1681	1225	3481	676	841	256	289
81	144	196	1089	144	196	4	100
36	484	961	2209	529	324	1296	169
47,497368	87,361319	82,504545	117,85584	50,517324	58,103356	83,731714	49,929951
$(y4-i4)^2$	$(y4-j4)^2$	$(y4-k4)^2$	$(y4-l4)^2$	$(y4-m4)^2$	$(y4-n4)^2$	$(y4-o4)^2$	$(y4-p4)^2$
9	4	64	36	1	625	121	25
729	4624	1024	4	1225	256	380,25	225
144	2025	196	1	169	156,25	30,25	4
1	4761	49	2304	16	2809	49	2601
225	3600	361	1089	81	1056,25	49	225
49	7744	256	3136	16	1156	1	3600
169	2601	441	1444	49	5476	9	361
64	6400	529	3969	25	930,25	196	3249
36	2916	289	3969	169	484	12,25	841
49	4761	1764	1369	9	812,25	156,25	729
38,405729	198,58499	70,519501	131,60927	41,952354	117,30729	31,685959	108,90363
$(y4-q4)^2$	$(R4-y4)^2$	$(s4-y4)^2$	$(t4-y4)^2$	$(u4-y4)^2$	$(w4-y4)^2$	$(y4-z4)^2$	$(v4-y4)^2$
3136	1296	196	49	144	9	484	81
1369	25	2500	144	1369	441	100	121
9	1089	676	100	49	121	36	256
2209	289	81	121	16	64	16	0
1	1156	0	4	4	64	841	289
2209	289	196	256	1	25	256	49
529	324	1	4	4	49	841	361
2704	576	81	529	1	100	784	100
256	196	0	441	144	64	1936	361
1849	81	196	441	9	9	1521	25
119,46129	72,945185	62,66578	45,70558	41,725292	30,757113	82,553013	40,533936
$(x4-y4)^2$	$(y4-Aa4)^2$	$(y4-Ab4)^2$					
1	0	81					
2500	196	1444					
1600	1	289					
6889	144	529					
1764	64	676					

7744	1	841
1089	121	1369
7921	36	729
1296	225	729
4356	4	1600
187,51	28,142495	91,032961

Z

$(z4-A4)^2$	$(z4-b4)^2$	$(z4-c4)^2$	$(z4-d4)^2$	$(z4-e4)^2$	$(z4-f4)^2$	$(z4-g4)^2$	$(z4-h4)^2$
289	49	784	1849	64	361	16	0
784	25	361	729	9	144	2916	441
676	4	225	196	36	400	169	16
729	1936	2401	1444	289	625	225	36
961	1849	1936	3721	441	2704	324	676
1024	3844	2304	4096	49	1296	64	25
576	2500	1764	4096	225	1225	625	169
1600	4761	3969	7569	4	3249	144	121
1225	3136	3364	5929	1024	3364	1764	1156
1089	3721	4900	7396	256	3249	9	676
94,620294	147,73287	148,35094	192,41881	48,959167	128,90694	79,09488	57,58472
$(z4-i4)^2$	$(z4-j4)^2$	$(z4-k4)^2$	$(z4-l4)^2$	$(z4-m4)^2$	$(z4-n4)^2$	$(z4-o4)^2$	$(z4-p4)^2$
361	576	900	256	529	2209	121	729
289	6084	484	64	625	676	90,25	625
36	2601	64	25	49	342,25	0,25	64
9	4225	121	1936	64	2401	9	2209
196	7921	100	3844	1444	3782,25	484	1936
81	10816	0	5184	144	2500	289	5776
256	6400	64	4489	1296	10609	1024	2304
400	11664	25	8281	1089	3422,25	1764	7225
1444	9604	729	11449	3249	4356	2256,25	5329
1024	11664	9	5776	1296	4556,25	702,25	4356
64	267,49766	49,959984	203,23386	98,919159	186,69226	82,097503	174,79416
$(z4-q4)^2$	$(R4-z4)^2$	$(s4-z4)^2$	$(t4-z4)^2$	$(u4-z4)^2$	$(w4-z4)^2$	$(y4-z4)^2$	$(v4-z4)^2$
1156	196	64	225	100	361	484	169
729	25	1600	4	729	121	100	1
81	1521	400	16	1	289	36	484
2601	169	169	49	64	16	16	16
784	3969	841	961	961	1369	841	2116
961	1089	4	1024	225	441	256	529
36	2209	784	961	729	1296	841	2304
576	2704	361	2601	841	1444	784	1444
784	3364	1936	4225	3136	2704	1936	3969
16	2304	625	3600	1296	1764	1521	1936
87,88629	132,47641	82,365041	116,90167	89,899944	99,0202	82,553013	113,87713
$(x4-z4)^2$	$(z4-Aa4)^2$	$(z4-Ab4)^2$					
441	484	169					
3600	16	784					
2116	49	121					
6241	64	729					
5041	1369	9					
10816	289	169					
3844	1600	64					

13689	1156	1
6400	3481	289
11025	1681	1
251,42196	100,94058	48,332184

AA

(Aa4-A4)^2	(Aa4-b4)^2	(Aa4-c4)^2	(Aa4-d4)^2	(Aa4-e4)^2	(Aa4-f4)^2	(Aa4-g4)^2	(Aa4-h4)^2
25	225	36	441	196	9	676	484
1024	81	529	961	49	256	2500	16
361	25	64	49	1	169	400	49
361	1296	1681	900	625	289	529	64
36	36	49	576	256	225	361	1369
225	2025	961	2209	576	361	81	289
256	100	4	576	625	25	225	1600
36	1225	841	2809	1024	529	484	1156
576	9	1	324	729	1	289	3481
64	400	841	2025	625	256	1444	1681
54,44263	73,634231	70,760158	104,25929	68,600292	46,043458	83,600239	100,94058
(Aa4-i4)^2	(Aa4-j4)^2	(Aa4-k4)^2	(Aa4-l4)^2	(Aa4-m4)^2	(Aa4-n4)^2	(Aa4-o4)^2	(Aa4-p4)^2
9	4	64	36	1	625	121	25
169	6724	324	144	441	900	30,25	841
169	1936	225	4	196	132,25	42,25	1
121	3249	361	1296	256	1681	25	1521
529	2704	729	625	1	600,25	225	49
64	7569	289	3025	25	1089	0	3481
576	1600	1024	729	16	3969	64	64
196	5476	841	3249	1	600,25	64	2601
441	1521	1024	2304	4	49	132,25	196
81	4489	1936	1225	25	702,25	210,25	625
48,528342	187,80841	82,565126	112,41441	31,080541	101,72512	30,232433	96,974223
(Aa4-q4)^2	(R4-Aa4)^2	(s4-Aa4)^2	(t4-Aa4)^2	(u4-Aa4)^2	(w4-Aa4)^2	(y4-Aa4)^2	(v4-Aa4)^2
3136	1296	196	49	144	9	0	81
529	81	1296	4	529	49	196	9
4	1024	729	121	64	100	1	225
3481	25	441	1	256	16	144	144
81	676	64	36	36	0	64	81
2304	256	225	225	4	16	1	36
1156	49	144	81	169	16	121	64
3364	324	225	289	25	16	36	16
961	1	225	36	9	49	225	16
2025	49	256	361	25	1	4	9
130,54118	61,489837	61,652251	34,68429	35,510562	16,492423	28,142495	26,095977
(x4-Aa4)^2	(z4-Aa4)^2	(Aa4-Ab4)^2					
1	484	81					
4096	16	576					
1521	49	324					
5041	64	1225					
1156	1369	1156					
7569	289	900					
484	1600	2304					
6889	1156	1089					
441	3481	1764					
4096	1681	1764					

176,9011 100,94058 105,7497

AB							
(Ab4-A4)^2	(Ab4-b4)^2	(Ab4-c4)^2	(Ab4-d4)^2	(Ab4-e4)^2	(Ab4-f4)^2	(Ab4-g4)^2	(Aa4-h4)^2
16	36	225	900	25	36	289	169
3136	1089	2209	3025	961	1600	676	49
1369	169	676	625	289	961	4	49
2916	5041	5776	4225	100	2704	144	441
784	1600	1681	3364	324	2401	225	529
2025	5625	3721	5929	36	2401	441	324
1024	3364	2500	5184	529	1849	1089	441
1521	4624	3844	7396	1	3136	121	100
324	1521	1681	3600	225	1681	625	289
1156	3844	5041	7569	289	3364	16	729
119,46129	164,05182	165,39045	204,49205	52,716221	141,8908	60,249481	55,85696
(Ab4-i4)^2	(Ab4-j4)^2	(Aa4-k4)^2	(Aa4-l4)^2	(Aa4-m4)^2	(Aa4-n4)^2	(Aa4-o4)^2	(Aa4-p4)^2
36	121	289	9	100	1156	4	196
121	11236	36	1296	9	2916	342,25	2809
25	3844	9	256	16	870,25	132,25	361
576	8464	256	5041	361	5776	900	5476
121	7396	49	3481	1225	3422,25	361	1681
484	13689	169	7225	625	3969	900	7921
576	7744	256	5625	1936	12321	1600	3136
361	11449	16	8100	1024	3306,25	1681	7056
441	6561	100	8100	1600	2401	930,25	3136
1089	11881	4	5929	1369	4692,25	756,25	4489
61,886994	287,02787	34,409301	212,27812	90,912045	202,06435	87,218117	190,42321
(Aa4-q4)^2	(R4-Ab4)^2	(s4-Ab4)^2	(t4-Ab4)^2	(u4-Ab4)^2	(w4-Ab4)^2	(y4-Ab4)^2	(v4-Ab4)^2
2209	729	25	4	9	36	81	0
1	1089	144	676	1	289	1444	729
400	2500	81	49	100	784	289	1089
576	1600	196	1156	361	961	529	529
625	3600	676	784	784	1156	676	1849
324	2116	225	2025	784	1156	841	1296
196	3025	1296	1521	1225	1936	1369	3136
625	2601	324	2500	784	1369	729	1369
121	1681	729	2304	1521	1225	729	2116
9	2401	676	3721	1369	1849	1600	2025
71,316197	146,08901	66,121101	121,4084	83,294658	103,73524	91,032961	118,90332
(x4-Ab4)^2	(z4-Ab4)^2	(Aa4-Ab4)^2					
64	169	81					
7744	784	576					
3249	121	324					
11236	729	1225					
4624	9	1156					
13689	169	900					
4900	64	2304					
13456	1	1089					
3969	289	1764					
11236	1	1764					
272,33619	48,332184	105,7497					

Tabela[3]- Cálculos detalhados da tabela[2]