

Marcelo Franceschi de Bianchi

**EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DE IMAGENS DE FACES
HUMANAS ATRAVÉS DE WAVELETS, PCA E IMPCA**

Dissertação de mestrado apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientação: Prof. Dr. Adilson Gonzaga

**São Carlos
2006**

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

B577e Bianchi, Marcelo Franceschi de
Extração de características de imagens de faces
humanas através de Wavelets, PCA e IMPCA / Marcelo
Franceschi de Bianchi. -- São Carlos, 2006.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2006.

Área: Engenharia Elétrica.

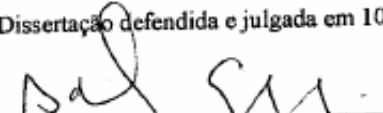
Orientador: Prof. Dr. Adilson Gonzaga.

1. Reconhecimento de faces humanas. 2. Wavelets. 3.
PCA (Principal Component Analysis). 4. IMPCA (Image
Principal Component Analysis). 5. Extração de
características. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel **MARCELO FRANCESCHI DE BIANCHI**

Dissertação defendida e julgada em 10-04-2006 perante a Comissão Julgadora:




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



Prof. Dr. **EVANDRO LUIS LINHARI RODRIGUES**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADO



Prof. Dr. **APARECIDO NILCEU MARANA**
(UNESP/Campus de Bauru) APROVADO



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



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

Dedico este trabalho a uma pessoa fundamental na minha trajetória de vida, sem a qual eu não teria alcançado êxito: a minha mãe Elizabeth.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adilson Gonzaga, pela oportunidade e por sua orientação no qual me forneceu não somente a visão técnica, mas me ensinou a pensar no rigor da pesquisa científica.

A todo o pessoal do Laboratório de Visão Computacional (LAVI) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) do Departamento de Engenharia Elétrica (SEL) da USP de São Carlos, pela disposição em sempre ajudar.

As secretárias de pós-graduação do departamento de Engenharia Elétrica, pela ajuda sempre prestada nas horas certas.

Ao amigo Dr. Rodrigo Capobianco Guido pelas valiosas dicas da teoria de *Wavelets*.

Ao amigo Ms. André Luiz Nogueira pelas valiosas dicas da teoria de *PCA e IMPCA*.

*“De tudo, ficaram três coisas:
a certeza de que estamos sempre começando...
a certeza de que é preciso continuar ...
a certeza de que seremos
interrompidos antes de terminar ...
Portanto, DEVEMOS
fazer da interrupção um caminho novo ...
da queda um passo de dança ...
do medo, uma escada ...
do sonho, uma ponte ...
da procura ... um encontro”*

Fernando Sabino

RESUMO

BIANCHI, F. M. (2006). Extração de características de imagens de faces humanas através de *Wavelets*, *PCA* e *IMPCA*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

Reconhecimento de padrões em imagens é uma área de grande interesse no mundo científico. Os chamados métodos de extração de características, possuem as habilidades de extrair características das imagens e também de reduzir a dimensionalidade dos dados gerando assim o chamado vetor de características.

Considerando uma imagem de consulta, o foco de um sistema de reconhecimento de imagens de faces humanas é pesquisar em um banco de imagens, a imagem mais similar à imagem de consulta, de acordo com um critério dado. Este trabalho de pesquisa foi direcionado para a geração de vetores de características para um sistema de reconhecimento de imagens, considerando bancos de imagens de faces humanas, para propiciar tal tipo de consulta.

Um vetor de características é uma representação numérica de uma imagem ou parte dela, descrevendo seus detalhes mais representativos. O vetor de características é um vetor n -dimensional contendo esses valores. Essa nova representação da imagem propicia vantagens ao processo de reconhecimento de imagens, pela redução da dimensionalidade dos dados. Uma abordagem alternativa para caracterizar imagens para um sistema de reconhecimento de imagens de faces humanas é a transformação do domínio. A principal vantagem de uma transformação é a sua efetiva caracterização das propriedades locais da imagem.

As *wavelets* diferenciam-se das tradicionais técnicas de Fourier pela forma de localizar a informação no plano tempo-freqüência; basicamente, têm a capacidade de mudar de uma resolução para outra, o que as fazem especialmente adequadas para análise, representando o sinal em diferentes bandas de freqüências, cada uma com resoluções distintas correspondentes a cada escala. As *wavelets* foram aplicadas com sucesso na compressão, melhoria, análise, classificação, caracterização e recuperação de imagens. Uma das áreas beneficiadas onde essas propriedades tem encontrado grande relevância é a área de visão computacional, através da representação e descrição de imagens.

Este trabalho descreve uma abordagem para o reconhecimento de imagens de faces humanas com a extração de características baseado na decomposição multiresolução de *Wavelets* utilizando os filtros de Haar, Daubechies, Biorthogonal, Reverse Biorthogonal, Symlet, e Coiflet. Foram testadas em conjunto as técnicas *PCA* (*Principal Component Analysis*) e *IMPCA* (*Image Principal Component Analysis*), sendo que os melhores resultados foram obtidos utilizando a *wavelet* Biorthogonal com a técnica *IMPCA*.

Palavras-Chaves: Reconhecimento de faces humanas, *Wavelets*, *PCA* (*Principal Component Analysis*), *IMPCA* (*Image Principal Component Analysis*), *Extração de Características*.

ABSTRACT

BIANCHI F. M. (2006). Features extraction of human faces images through Wavelets, PCA and IMPCA . M.Sc. Dissertation – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

Image pattern recognition is an interesting area in the scientific world. The features extraction method refers to the ability to extract features from images, reduce the dimensionality and generates the features vector.

Given a query image, the goal of a features extraction system is to search the database and return the most similar to the query image according to a given criteria. Our research addresses the generation of features vectors of a recognition image system for human faces databases.

A feature vector is a numeric representation of an image or part of it over its representative aspects. The feature vector is a n -dimensional vector organizing such values. This new image representation can be stored into a database and allow a fast image retrieval. An alternative for image characterization for a human face recognition system is the domain transform. The principal advantage of a transform is its effective characterization for their local image properties.

In the past few years researches in applied mathematics and signal processing have developed practical wavelet methods for the multi scale representation and analysis of signals. These new tools differ from the traditional Fourier techniques by the way in which they localize the information in the time-frequency plane; in particular, they are capable of trading on type of resolution for the other, which makes them especially suitable for the analysis of non-stationary signals. The wavelet transform is a set basis function that represents signals in different frequency bands, each one with a resolution matching its scale. They have been successfully applied to image compression, enhancement, analysis, classification, characterization and retrieval. One privileged area of application where these properties have been found to be relevant is computer vision, especially human faces imaging.

In this work we describe an approach to image recognition for human face databases focused on feature extraction based on multiresolution wavelets decomposition, taking advantage of Biorthogonal, Reverse Biorthogonal, Symlet, Coiflet, Daubechies and Haar. They were tried in joint the techniques together the PCA (Principal Component Analysis) and IMPCA (Image Principal Component Analysis).

Key-words: Human face recognition, Wavelets, PCA (Principal Component Analysis), IMPCA (Image Principal Component Analysis), Features extraction.

Lista de Figuras

1.1	Processo de geração de assinatura.....	18
2.1	Esquema para se obter a correlação de $f(x,y)$ e $w(x,y)$ no ponto (s,t)	26
2.2	Blocos funcionais para o reconhecimento de padrão na abordagem estatística.....	28
2.3	As várias abordagens para o reconhecimento de padrão.....	30
2.4	Redes auto-associativas para encontrar um subespaço tri-dimensional.....	37
3.1	Um típica distribuição das populações de ovelha e lobos.....	42
3.2	FAR e FRR versus limiar.....	43
3.3	FAR versus FRR.....	44
3.4	Imagens de faces para uso da técnica NLC.....	47
3.5	Técnica de imagem para reconhecimento HMM.....	50
4.1	Função Contínua e Função Aproximação Caixa.....	56
4.2	Geração do espaço superior em função de $f(x)$ e $y(x)$	57
4.3	Processo de Decomposição ao aplicar a transformada <i>wavelet</i> em um domínio 2D.....	63
5.1	Codificação do PCA.....	72
5.2	Decodificação do PCA.....	72
5.3	Exemplos de auto-vetores gerados pela técnica <i>PCA</i>	73
5.4	Amostras de auto-vetores.....	74
6.1	Amostra de imagens do Banco de Imagens Banco1.....	85
6.2	Amostra de imagens do Banco de Imagens Banco2.....	85
6.3	Exemplo de resultado positivo obtido utilizando o algoritmo com Haar 16x16.....	86
6.4	Exemplo de resultado positivo obtido utilizando o algoritmo com Haar 16x16.....	87
6.5	Exemplo de resultado positivo obtido utilizando o algoritmo com Haar 16x16.....	87
6.6	Exemplo de resultado positivo obtido utilizando o algoritmo com Haar 16x16.....	88
6.7	Exemplo de resultado positivo obtido utilizando o algoritmo com Haar 16x16.....	88
6.8	Exemplo de resultado negativo obtido utilizando o algoritmo com Haar 16x16.....	89
6.9	Melhores Resultados obtidos com as resoluções 16x16, 32x32 e 64x64 com a técnica <i>wavelets</i> e a base de imagens <i>Stirling</i>	91
6.10	Amostra de imagens de 1 (uma) classe referente a base de imagens <i>Stirling</i>	93
6.11	Melhores resultados com a <i>wavelet Haar</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	94
6.12	Melhores resultados com a <i>wavelet Daubechies</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	95
6.13	Melhores resultados com a <i>wavelet Symlet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	96
6.14	Melhores resultados com a <i>wavelet Coiflet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	97
6.15	Melhores resultados com a <i>wavelet Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	98
6.16	Melhores resultados com a <i>wavelet Reverse Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	99
6.17	Melhores resultados com a <i>wavelet Haar</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	100
6.18	Melhores resultados com a <i>wavelet Daubechies</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	101
6.19	Melhores resultados com a <i>wavelet Symlet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	102
6.20	Melhores resultados com a <i>wavelet Coiflet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	103
6.21	Melhores resultados com a <i>wavelet Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i>	

	com a base de imagens <i>Stirling</i>	104
6.22	Melhores resultados com a <i>wavelet Reverse Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	105
6.23	Amostra de imagens de 1 (uma) classe referente a base de imagens <i>Essex</i>	107
6.24	Melhores resultados com a <i>wavelet Haar</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	108
6.25	Melhores resultados com a <i>wavelet Daubechies</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	109
6.26	Melhores resultados com a <i>wavelet Symlet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	110
6.27	Melhores resultados com a <i>wavelet Coiflet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> e a base de imagens <i>Essex</i>	111
6.28	Melhores resultados com a <i>wavelet Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> e a base de imagens <i>Essex</i>	112
6.29	Melhores resultados com a <i>wavelet Reverse Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	113
6.30	Melhores resultados com a <i>wavelet Haar</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	114
6.31	Melhores resultados com a <i>wavelet Daubechies</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	115
6.32	Melhores resultados com a <i>wavelet Symlet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	116
6.33	Melhores resultados com a <i>wavelet Coiflet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	117
6.34	Melhores resultados com a <i>wavelet Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	118
6.35	Melhores resultados com a <i>wavelet Reverse Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	119
7.1	Resumo dos melhores resultados referente à base de imagens <i>Stirling</i> e a técnica <i>Wavelet</i>	123
7.2	Resumo dos melhores resultados referente à base de imagens <i>Stirling</i> e a técnica <i>Wavelet</i> e <i>PCA</i>	124
7.3	Resumo dos melhores resultados referente à base de imagens <i>Stirling</i> e a técnica <i>Wavelet</i> e <i>IMPCA</i>	125
7.4	Resumo dos melhores resultados referente à base de imagens <i>Essex</i> e a técnica <i>Wavelet</i> e <i>PCA</i>	126
7.5	Resumo dos melhores resultados referente à base de imagens <i>Essex</i> e a técnica <i>Wavelet</i> e <i>PCA</i>	127
A.1	Tela de Login de Usuário do software Face Match.....	139
A.2	Tela Principal do Software Face Match.....	139
A.3	Menu Principal, com as opções do Submenu Maintenance Module.....	140
A.4	Menu Principal, com opções do Submenu Search Module.....	140
A.5	Menu Principal, com as opções do Submenu Report Module.....	141
A.6	Menu Help com opção About.....	141
A.7	Tela About do Software Face Match.....	142
A.8	Tela de Manutenção de Base de Imagens.....	142
A.9	Barra de Ferramentas do módulo de manutenção de bases de imagens.....	143
A.10	Tela de Busca de Base de Imagens.....	143
A.11	Tela de Seleção de Base de Imagens.....	144
A.12	Botão de Geração do Vetor de Características Desativado.....	145
A.13	Tela de Manutenção de Imagens de Faces e Informações Pessoais.....	145
A.14	Combo Box de Troca de Base de Imagens.....	145
A.15	Tela de Carregamento de Imagem de Faces Humanas.....	146
A.16	Combo Box de Escolha de Transformada Wavelet.....	146
A.17	Combo Box de Escolha do Nível da Transformada Wavelet.....	146
A.18	Tela de Procura por Registro no Banco de Dados.....	147
A.19	Informativo do total de imagens que cada base de imagens da base de dados possui....	147
A.20	Barra de Ferramentas do Images Maintenance Module.....	148

Lista de Tabelas

2.1	Exemplo de aplicações para o reconhecimento de padrão.....	22
3.1	Exemplos de biometria.....	40
6.1	A relação do número de momentos nulos com o tamanho do suporte do filtro.....	90
6.2	Melhores Resultados obtidos com as resoluções 16x16, 32x32 e 64x64 com a técnica <i>wavelets</i> e a base de imagens <i>Stirling</i>	90
6.3	Variações nas configurações das <i>Wavelets</i> referente a base <i>Stirling</i>	92
6.4	Dimensão máxima do subespaço <i>PCA / IMPCA</i> referente a base <i>Stirling</i>	92
6.5	Conjuntos de treinamento <i>PCA / IMPCA</i> referente a base <i>Stirling</i>	92
6.6	Melhores resultados com a <i>wavelet Haar</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	94
6.7	Melhores resultados com a <i>wavelet Daubechies</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	94
6.8	Melhores resultados com a <i>wavelet Symlet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	95
6.9	Melhores resultados com a <i>wavelet Coiflet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	96
6.10	Melhores resultados com a <i>wavelet Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	97
6.11	Melhores resultados com a <i>wavelet Reverse Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	98
6.12	Melhores resultados com a <i>wavelet Haar</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	99
6.13	Melhores resultados com a <i>wavelet Daubechies</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	100
6.14	Melhores resultados com a <i>wavelet Symlet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	101
6.15	Melhores resultados com a <i>wavelet Coiflet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	102
6.16	Melhores resultados com a <i>wavelet Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	103
6.17	Melhores resultados com a <i>wavelet Reverse Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	104
6.18	Variações nas configurações das <i>Wavelets</i> referente a base <i>Essex</i>	106
6.19	Dimensão máxima do subespaço <i>PCA / IMPCA</i> referente a base <i>Essex</i>	106
6.20	Conjunto de treinamento pelas técnicas <i>PCA / IMPCA</i> referente a base <i>Essex</i>	106
6.21	Melhores resultados com a <i>wavelet Haar</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	107
6.22	Melhores resultados com a <i>wavelet Daubechies</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	108
6.23	Melhores resultados com a <i>wavelet Symlet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	109
6.24	Melhores resultados com a <i>wavelet Coiflet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	110
6.25	Melhores resultados com a <i>wavelet Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	111
6.26	Melhores resultados com a <i>wavelet Reverse Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>pca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	112

6.27	Melhores resultados com a <i>wavelet Haar</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	113
6.28	Melhores resultados com a <i>wavelet Daubechies</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	114
6.29	Melhores resultados com a <i>wavelet Symlet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	115
6.30	Melhores resultados com a <i>wavelet Coiflet</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	116
6.31	Melhores resultados com a <i>wavelet Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	117
6.32	Melhores resultados com a <i>wavelet Reverse Biorthogonal</i> referente a técnica <i>wavelet</i> e <i>impca</i> com a base de imagens <i>Essex</i>	118
7.1	Resumo dos melhores resultados referente à base de imagens <i>Stirling</i> e a técnica <i>Wavelet</i>	123
7.2	Resumo dos melhores resultados referente à base de imagens <i>Stirling</i> e a técnica <i>Wavelet</i> e <i>PCA</i>	124
7.3	Resumo dos melhores resultados referente à base de imagens <i>Stirling</i> e a técnica <i>Wavelet</i> e <i>IMPCA</i>	125
7.4	Resumo dos melhores resultados referente à base de imagens <i>Essex</i> e a técnica <i>Wavelet</i> e <i>PCA</i>	125
7.5	Resumo dos melhores resultados referente à base de imagens <i>Essex</i> e a técnica <i>Wavelet</i> e <i>IMPCA</i>	126
7.6	Melhor resultado referente à base <i>Stirling</i> , técnica <i>Wavelet</i> e <i>PCA</i>	127
7.7	Melhor resultado referente à base <i>Stirling</i> , técnica <i>Wavelet</i> e <i>IMPCA</i>	127
7.8	Melhor resultado referente à base <i>Essex</i> , técnica <i>Wavelet</i> e <i>PCA</i>	128
7.9	Melhor resultado referente à base <i>Essex</i> , técnica <i>Wavelet</i> e <i>IMPCA</i>	128

Sumário

1	Introdução	14
1.1	Considerações Iniciais	14
1.2	A redução de dimensionalidade, extração e seleção de características	16
1.3	Motivação	18
1.4	Objetivos	18
1.5	Contribuições	19
1.6	Organização do Trabalho	20
2	Reconhecimento de Padrões	21
2.1	O que é Reconhecimento de Padrões	21
2.2	Algumas Técnicas de Reconhecimento de Padrões	23
2.2.1	“Casamento” de Modelos (Template Matching)	23
2.2.2	Classificador de Distância Mínima	24
2.2.3	Casamento de Modelos por Correlação	25
2.2.4	Técnicas Estatísticas	27
2.3	Super-treinamento e Super-adaptação	31
2.4	O Problema da Dimensionalidade e o Fenômeno de Máximo	33
2.5	Redução da Dimensionalidade	34
2.6	Extração de Características	35
2.7	Seleção de Características	38
2.8	Considerações Finais	39
3	Reconhecimento de Imagens de Faces Humanas	40
3.1	Introdução	40
3.2	Medida de Desempenho de um sistema de verificação	41
3.3	Detecção de Faces	44
3.4	Reconhecimento de Faces	45
3.4.1	Abordagem Estatística	45
3.4.1.1	Método de Correlação	46
3.4.1.2	Métodos baseados em expansão Karhunen-Loeve	46
3.4.1.3	Reconhecimento sob Condições Gerais de Visualização	48
3.4.1.4	Reconhecimento usando auto-características	48
3.4.1.5	Método Discriminante Linear-Fisherfaces	48
3.4.1.6	Método baseado no modelo oculto de Markov	49
3.4.3	RNAs e o reconhecimento de Faces	50
3.5	Considerações Finais	51
4	Wavelets	52
4.1	Considerações Iniciais	52
4.2	Transformada de Fourier	53
4.3	Transformada <i>Wavelet</i>	54
4.3.1	Métodos Multiresolução	55
4.3.2	Transformada <i>Wavelet</i> de Haar	59
4.3.3	Transformada <i>Wavelet</i> de Daubechies	60
4.3.4	Extensões para Dimensões Maiores	63
4.4	<i>Wavelets</i> e Extração de Características	64
4.4.1	Similaridade e Semântica das Imagens	64

4.4.2	Escolha da <i>Wavelet</i> Analisadora.....	65
4.4.3	Geração do Espaço de Características.....	66
4.5	Considerações Finais.....	67
5	PCA e IMPCA	68
5.1	Considerações Iniciais	68
5.2	Variância e Covariância.....	69
5.3	A Matriz de Covariância	70
5.4	Auto-vetores e Auto-valores	71
5.5	Redução de Dimensionalidade	71
5.6	Aplicação do PCA no Reconhecimento de Imagens de Faces Humanas	72
5.7	IMPCA (PCA 2D)	75
5.8	Considerações Finais	77
6	Implementações dos Algoritmos e Resultados	78
6.1	Considerações Iniciais	78
6.2	Implementação dos Algoritmos.....	79
6.2.1	Algoritmo de extração de características baseado na transformada <i>Wavelet</i> para a primeira bateria de testes	79
6.2.2	Algoritmo de extração de características baseado na transformada <i>Wavelet</i> e na técnica <i>PCA</i> para a segunda e a terceira bateria de testes para a base de imagens <i>Stirling</i>	80
6.2.3	Algoritmo de extração de características baseado na transformada <i>Wavelet</i> e na técnica <i>PCA</i> para a segunda e a terceira bateria de testes para a base de imagens <i>Essex</i>	81
6.2.4	Algoritmo de extração de características baseado na transformada <i>Wavelet</i> e na técnica <i>IMPCA</i> para a segunda e a terceira bateria de testes para a base de imagens <i>Stirling</i>	82
6.2.5	Algoritmo de extração de características baseado na transformada <i>Wavelet</i> e na técnica <i>IMPCA</i> para a segunda e a terceira bateria de testes para a base de imagens <i>Essex</i>	83
6.3	Resultados	84
6.3.1	Resultados dos testes utilizando a técnica <i>Wavelets</i> com a base de imagens <i>Stirling</i>	84
6.3.2	Testes do algoritmo de extração de características utilizando as técnicas <i>Wavelets</i> e <i>PCA</i> e <i>Wavelets</i> e <i>IMPCA</i> na base de imagens <i>Stirling</i> (504 imagens)	91
6.3.3	Resultados dos testes referentes à técnica <i>Wavelets</i> e <i>PCA</i> com a base de imagens <i>Stirling</i> (504 imagens).....	94
6.3.4	Resultados dos testes referentes à técnica <i>Wavelets</i> e <i>IMPCA</i> com a base de imagens <i>Stirling</i> (504 imagens)	99
6.3.5	Testes para a extração de características utilizando <i>Wavelets</i> e <i>PCA</i> ou <i>Wavelets</i> e <i>IMPCA</i> na base de imagens <i>Essex</i> (2640 imagens).....	105
6.3.6	Resultados dos testes referentes a aplicação da técnica <i>Wavelets</i> e <i>PCA</i> com a base de imagens <i>Essex</i> (2640 imagens).....	107
6.3.7	Resultados dos testes referentes à aplicação da técnica <i>Wavelets</i> e <i>IMPCA</i> com a base de imagens <i>Essex</i> (2640 imagens)	113
6.4	Considerações Finais	119
7	Conclusões	120
7.1	Considerações Finais	120
7.2	Conclusões	122
7.2.1	Recuperação das imagens utilizando a técnica <i>Wavelet</i>	122
7.2.2	Recuperação das imagens utilizando a técnica <i>Wavelet</i> e <i>PCA</i> e a técnica <i>Wavelet</i> e <i>IMPCA</i>	124
7.3	Contribuições deste estudo	129
7.4	Pesquisas futuras	129
	Referências	131

A	O Software <i>Face Match</i>.....	138
A.1	Desenvolvimento do software para a extração de características de imagens de faces humanas: <i>Face Match</i>	138
A.2	Considerações Finais	148