



SIRnat Sistema de Reconhecimento e Registo Natural

VÍTOR DANIEL MARTINS MOTA

Outubro de 2016

SIRnat

Sistema de Reconhecimento e Registo Natural

Vítor Daniel Martins Mota

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Informática, Área de Especialização em
Sistemas Gráficos e Multimédia**

Orientador: Professor Doutor António Abel Vieira De Castro

Coorientador: Professor Doutor João Paulo Jorge Pereira

Porto, outubro de 2016

À família e à minha esposa, por tudo o que me proporcionou ao longo da vida e muito especialmente ao meu filho Rodrigo, a razão do meu ser.

Resumo

O registo de presenças nas organizações é uma prática comum e já remonta há muitos anos atrás. Nos últimos anos, esta prática que era conhecida tradicionalmente como “marcação do livro de ponto” foi sendo substituída por outros mecanismos que foram evoluindo tecnologicamente.

O propósito inicial do presente estudo era proporcionar a uma dada organização informações sobre os colaboradores que se encontravam presentes nas suas instalações para facilitar a comunicação entre os mesmos ou com pessoas do exterior, facilitando por exemplo a um rececionista a passagem de uma chamada externa sem perdas de tempo.

Atendendo às dificuldades de implementar e testar um protótipo desta natureza numa grande organização decidimos que o protótipo a desenvolver para o efeito poderia ser testado num âmbito mais restrito como por exemplo uma sala de aula dado que o mecanismo seria em tudo semelhante e que as informações sobre a presença dos alunos e dos docentes poderia ser, de forma controlada, posta em prática.

Para o efeito e atendendo ao facto de que no Instituto Superior de Engenharia do Porto o registo de entradas e de saídas das salas de aula é atualmente processado com o recurso a cartões magnéticos concebidos para funcionar em cada terminal de leitura, instalados no exterior (para o docente abrir a sala) e interior de cada sala (para registo de presenças) e considerando que os alunos por vezes os esquecem, perdem ou que ficam danificados planeamos um protótipo que pudesse ir de encontro à pretensão inicial e que fosse passível de implementar em ambiente controlado.

Pretendemos conceber um sistema de presenças que definimos para o efeito como “protótipo de sistema de marcação de presenças “natural” dado que passaria a ser a sala “a saber” se o aluno ou docente estariam presentes, sem que estes tivessem que realizar qualquer outra operação como passar um cartão.

O protótipo deveria detetar e reconhecer em tempo real os indivíduos que entravam e saíam de uma sala de aula e que registasse essas informações também em tempo real. Desse modo, para além do protótipo se tornar uma ferramenta extremamente útil para o registo de presenças numa sala de aula, poderia paralelamente cumprir com os objetivos iniciais de passar dentro de uma organização como por exemplo uma Camara Municipal as informações sobre a presença (ou não) dos colaboradores facilitando em tempo real, o trabalho da telefonista e proporcionando uma maior eficácia e qualidade de serviço na comunicação com o exterior.

Palavras-chave: reconhecimento do rosto, biometria, sistemas biométricos, deteção e reconhecimento, sistemas de autenticação, SIRnat (Sistema de reconhecimento e registo natural).

Abstract

The attendance record is a common practice in organizations. In the recent years, this practice is traditionally known as “to clock in” (register one’s arrival at work), although it has been replaced by other mechanisms that have evolved technologically.

The initial purpose of this study is to facilitate the process of retrieving the information of employees’ attendance to an organization. Therefore, it enhances the task of consulting what employees might be either present or absent within the organization.

In regard to the difficulties of implementing and testing a prototype of this nature in a large organization, we have decided to test it in a different and restrict scope, as e.g., a classroom where the mechanism is similar to the organization’s ambit.

Moreover, the current mechanism for keeping record of student’s attendance to the classes at ISEP is currently handled by using magnetic cards, these cards are designed to operate on each terminal, either installed outside (where the teacher can open the room for the class) or inside of each room (where students register their presence to the class). However, the students might forget or lose their cards, hence we planned a prototype to solve the problem described where it could be used in a natural controlled environment.

Furthermore, the purpose of this work is related to the development of an attendance’s system, that we named it as SIRnat, that can perfectly register all the student’s assiduity within a class without the hassle of manually registering their presence by using the magnetic card.

Finally, our prototype shall detect and recognize in real time the students by face recognition, that either enter or leave the class and register such information automatically to a database system. Therefore, the prototype might be an extremely useful tool for keeping record of student’s attendance, what could be also compared to the registry of the employee’s attendance within an organization, providing greater efficiency and quality when compared to the most conventional methods.

Keywords: facial recognition, biometry, biometric systems, detection and recognition, authentication systems, SIRnat (recognition and natural record system).

Agradecimentos

Não poderia deixar de registar neste documento todos aqueles que me ajudaram na realização desta dissertação.

Ao meu orientador, Prof. Doutor António Vieira de Castro, docente do ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto), investigador no GILT (*Graphics Interaction and Learning Technologies*) e diretor do LAMU (Laboratório Multimédia) pelos conhecimentos transmitidos e por todo a sua dedicação, apoio, incentivos e sempre pronta disponibilidade.

Ao meu coorientador, Prof. Doutor João Paulo Pereira do Instituto Superior de Engenharia do Porto, pela oportunidade e apoio demonstrado nesta tese, num tema que tem tanto de interessante como de importância.

As vossas orientações, sugestões e dedicação foram uma fonte constante de encorajamento ao longo da realização desta dissertação. Foi uma grande honra e prazer trabalhar sobre a vossa supervisão pelo que apresento um forte agradecimento e louvor especialmente a estes dois professores que tão bem dignificam o Ensino Superior Público Português.

À minha esposa, Ana Oliveira e ao meu filho Rodrigo Mota que ao longo destes dois anos compreenderam pacientemente as minhas ausências.

Termino com um terno agradecimento à minha família, pela força e encorajamento e por tudo o que me proporcionou ao longo da vida, que me motivou e ajudou a manter focado no presente estudo.

Também dirijo os meus agradecimentos a todos os colegas de curso, em particular ao Marco Costa, João Dias e Filipe Alves pelo companheirismo e apoio em todos os momentos desta etapa pela vossa amizade sempre numa conjuntura de fraternidade.

Estou ainda muito grato a todos os professores que fizeram parte do meu percurso académico, por tudo o que me transmitiram e por me terem proporcionado experiências e valorizações altamente gratificante em todos os quadrantes pretendidos com um ensino de inovação e de qualidade.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Enquadramento	2
1.3	O problema	3
1.4	Objetivos e contributos esperados	4
1.5	Motivação	4
1.6	Estrutura	5
2	Os Sistemas Biométricos	7
2.1	Conceito da Biometria	7
2.1.1	Caraterísticas gerais da biometria	8
2.1.2	Eixos fundamentais da biometria	9
2.1.3	Vantagens e desvantagens da biometria	11
2.2	Função do biométrico	12
2.3	Elementos biométricos quantificáveis	12
2.3.1	O rosto humano	13
2.3.2	O olho humano	16
2.3.3	A mão	17
2.3.4	Os gestos	20
2.3.5	A forma da assinatura	21
2.3.6	A forma de andar	21
2.3.7	A voz	21
2.4	Desempenho das técnicas	22
2.5	As caraterísticas individuais	23
2.6	As técnicas multimodelares	25
2.7	Aplicações do sistema biométrico	25
2.7.1	A segurança biométrica	25
2.7.2	O controlo das fronteiras e aeroportos	25
2.7.3	O consumo doméstico da biometria	26
2.7.4	O setor financeiro	26
2.7.5	As impressões digitais como autenticação	26
2.7.6	A biometria na saúde	27
2.7.7	Os fabricantes e revendedores	27
2.7.8	A justiça	27
2.7.9	A biometria móvel	27
2.7.10	O controlo físico	28
2.7.11	A presença e assiduidade	28
2.7.12	O reforço da autenticação	28
2.8	A deteção e reconhecimento do rosto	28

2.9	Caso de negócio.....	29
2.9.1	Análise PEST.....	29
2.9.2	Análise SWOT.....	30
2.9.3	Proposta de valor.....	30
2.9.4	Business Model Canvas.....	31
2.10	A monitorização biométrica por vídeo.....	32
2.10.1	Os transportes públicos	32
2.10.2	O reconhecimento de matrículas	33
2.10.3	Os aeroportos	33
2.10.4	Os sistemas de controlo de assiduidade.....	34
2.10.5	As vias públicas	35
2.11	As tecnologias de monitorização biométrica por vídeo.....	36
2.11.1	Hitachi Kokusai Electric	36
2.11.2	Lenovo.....	36
2.11.3	Software Livre de deteção do rosto	37
2.11.4	Identificação das pessoas nas redes sociais	37
2.11.5	Os jogos	38
2.11.6	Faceless	38
2.11.7	Autenticação no twitter e facebook pelo rosto e voz	38
2.12	A tecnologia e métodos	38
2.12.1	A visão por computador	39
2.12.2	O reconhecimento de imagem	39
2.12.3	Evitar redundâncias	40
2.12.4	Diferentes abordagens do reconhecimento do rosto.....	40
2.12.5	Métodos e técnicas de deteção	41
2.12.6	O eigenfaces (PCA).....	42
2.12.7	O fisherfaces (LDA).....	43
2.12.8	O padrão binário local do histograma (LBPH)	43
2.12.9	O algoritmo Haar ou Viola Jones	44
2.12.10	Algoritmos de deteção e reconhecimento na visão móvel	45
2.12.11	Scale-Invariant Feature Transform (SIFT).....	46
2.12.12	Speeded Up Robust Features(SURF).....	48
2.13	Serviços e <i>software</i> de desenvolvimento	49
2.13.1	A biblioteca OpenCV	52
2.13.2	O EmguCV.....	53
2.13.3	A visão geral da arquitetura.....	54
2.14	As bases “de dados” de imagens.....	54
2.15	O enquadramento legal	58
3	Análise e Desenho	59
3.1	Requisitos funcionais e não funcionais	59
3.1.1	Requisitos funcionais	59
3.1.2	Requisitos não funcionais	68
3.2	Arquitetura do sistema	69
3.2.1	Software	69
3.2.2	Módulo de deteção.....	70

3.2.3	Hardware	71
3.2.4	Diagrama do desenvolvimento	71
3.2.5	Base de dados de imagens	73
3.2.6	Linguagem de programação C#	75
3.2.7	Biblioteca OpenCV	75
3.2.8	O EmguCV.....	76
3.2.9	Framework Viola Jones.....	76
3.2.10	Vista do sistema	77
3.2.11	Como funciona o algoritmo de deteção	78
3.2.12	Resumo da solução técnica	79
3.3	Principais caraterísticas identificadas	82
3.3.1	Integração da imagem.....	84
3.3.2	O algoritmo AdaBoost	84
3.3.3	O classificador Cascade	84
3.3.4	Seleção dos classificadores	85
3.4	Modelo concetual do protótipo	87
4	Implementação do SIRnat.....	89
4.1	A deteção do rosto	90
4.2	Algoritmos e código	92
4.3	O modelo conceptual	95
4.4	A interface do SIRnat	99
4.5	Aquisição e captura de imagem	100
4.6	Registo natural de presenças.....	100
4.7	Exportação da informação	101
5	Avaliação e testes do SIRnat	103
5.1	Avaliação ao SIRnat	103
5.2	Objetivos dos testes	104
5.3	Aquisição de dados.....	104
5.4	Métricas e avaliação	110
5.5	Testes	110
5.5.1	Parâmetros dos algoritmos	111
5.6	Testes e resultados	112
6	Conclusões e trabalho futuro	131
6.1	Conclusões.....	131
6.2	Trabalho futuro	133
7	ANEXOS.....	137
7.1	Anexo 1: Diagrama de Classes.....	138

7.2	Anexo 2: Interface principal do SIRnat	139
7.3	Anexo 3: Interface de registo	139
7.4	Anexo 4: Interface de registo e aprendizagem.....	140
7.5	Anexo 5: Interface Sobre.....	140
7.6	Anexo 6: Menu de Seleção	141
7.7	Anexo 7: Declaração de autorização dos alunos do ISEP	142
7.8	Anexo 8: Declaração de autorização dos alunos da ESMAD	143

Lista de Figuras

Figura 1 - Requisitos de um sistema biométrico	11
Figura 2 - Exemplo de uma imagem térmica do rosto	15
Figura 3 - Exemplo de etapa na construção do modelo gráfico da biométrica da orelha	16
Figura 4 - Exemplo de retina	16
Figura 5 - Exemplo de impressão digital	17
Figura 6 - Exemplo da geometria da mão	18
Figura 7 - Exemplo da impressão da palma da mão	18
Figura 8 - Exemplo de uma imagem térmica do dorso da mão	19
Figura 9 - Exemplo da geometria do dedo	19
Figura 10 - Exemplo de reconhecimento vascular	20
Figura 11 - Exemplos de gestos passíveis de ser reconhecidos	20
Figura 12 - Verificação dinâmica da assinatura	21
Figura 13-Exemplo do reconhecimento de voz	22
Figura 14 - Taxas de erro nos sistemas biométricos	22
Figura 15 - <i>Receiver operating characteristic (ROC)</i>	23
Figura 16 – As impressões digitais como autenticação	26
Figura 17 – Exemplo do conceito da deteção e reconhecimento do rosto	29
Figura 18 - <i>Business Model Canvas</i>	31
Figura 19 - Câmara na Cidade de Westminster, Reino Unido	32
Figura 20 - Deteção e reconhecimento de matrículas	33
Figura 21 - Reconhecimento no aeroporto	34
Figura 22 - Relógio de Ponto multibiométrico	35
Figura 23 - Câmaras instaladas nas ruas da Cidade do Porto ²⁸	35
Figura 24 - Sistema de deteção da Hitachi ³⁰	36
Figura 25 - Pontos de medida do rosto	37
Figura 26 - Identificação no Facebook	37
Figura 27 - Extração das características da imagem e reconhecimento	40
Figura 28 - Eficácia dos métodos por número de imagens	42
Figura 29 - Transformada de Fourier	42
Figura 30 – Concatenação do histograma	44
Figura 31 – Deteção Haar	45
Figura 32 - Os principais passos no reconhecimento de objetos	46
Figura 33 – Construir o objeto SIFT	47
Figura 34 – Desenhar círculos nos pontos principais ⁴⁷	47
Figura 35 – SIFT, resultados da implementação	47
Figura 36 – Encontrar os pontos principais e descritores com o SIFT	47
Figura 37 – Utilização da função SURF.detect() e SURF.compute()	48
Figura 38 – O aumento limiar Hessian ⁴⁸	48
Figura 39 – Desenhar os pontos principais encontrados ⁴⁸	48
Figura 40 – Utilização do U-SURF ⁴⁸	49

Figura 41 – SURF resultados da implementação.....	49
Figura 42 – Alterar o tamanho do descritor para 128-dim ⁴⁸	49
Figura 43 - Exemplo de detecção ⁵⁰	50
Figura 44 - Exemplo de reconhecimento ⁵⁰	50
Figura 45 – Detecção do rosto por imagem ⁶⁰	50
Figura 46 – Exemplo Fisherfaces no OpenCV ⁵²	51
Figura 47 – Detecção e localização das características do rosto.....	52
Figura 48 – Detecção de diversos rostos, o retângulo marcado indica a sua posição ⁵⁷	52
Figura 49 – Detecção do rosto em imagens ⁵⁸	52
Figura 50 – Arquitetura do EmguCV.....	54
Figura 51 – Base de dados de adultos ⁷⁴	55
Figura 52 – Exemplo imagens contidas na <i>AR Face Database</i>	56
Figura 53 – Estrutura da BD de imagens.....	56
Figura 54 – Detecção e reconhecimento ⁷⁹	57
Figura 55 – Distribuição da base de dados.....	57
Figura 56 – Base de dados Yale ⁸²	58
Figura 57- Base de dados Yale ⁸³	58
Figura 58 – Diagrama de fluxo de dados.....	60
Figura 59 – Diagrama UML de casos de uso.....	61
Figura 60 – Diagrama de sequência.....	62
Figura 61 – Diagrama de sequência da detecção do rosto.....	63
Figura 62 – Diagrama de atividades da detecção do rosto.....	64
Figura 63 – Diagrama de sequência do reconhecimento do rosto.....	64
Figura 64 – Diagrama de atividades do reconhecimento do rosto.....	65
Figura 65 – Diagrama de classes.....	67
Figura 66 – A4TECH PK-910H.....	68
Figura 67 – Diagrama de atividades do sistema.....	69
Figura 68 – Diagrama de atividades do sistema principal.....	70
Figura 69 – Diagrama de atividades da detecção do rosto.....	70
Figura 70 – Diagrama de atividades do reconhecimento do rosto.....	71
Figura 71 – Diagrama de atividades do sistema com o <i>hardware</i>	71
Figura 72 – Diagrama do desenvolvimento.....	72
Figura 73 – Todos os componentes do sistema.....	72
Figura 74 – Diagrama de estrutura da entidade relação.....	73
Figura 75 – Diagrama de entidade relação.....	74
Figura 76 - Módulos do OpenCV.....	76
Figura 77 – Fluxograma do sistema.....	78
Figura 78 – O Diagrama do processo e estrutura do reconhecimento do rosto.....	79
Figura 79 – Diagrama da disposição do sistema.....	79
Figura 80 – Conjunto de características retangulares utilizadas no OpenCV.....	81
Figura 81 – a) <i>Upright Summed Area Table</i> (SAT) and (b) <i>Rotated Summed Area Table</i> (RSAT); <i>calculation scheme of the pixel sum of upright (c) and rotated rectangles</i>	82
Figura 82 – Classificadores que utilizam a característica Haar.....	82

Figura 83 – Estrutura do ficheiro XML do classificador frontal do rosto	83
Figura 84 – Integração de imagem (Viola Jones)	84
Figura 85 – Estrutura que representa o detetor Cascade (Viola Jones)	85
Figura 86 – Estrutura do classificador Viola Jones	85
Figura 87 – Detecção de rosto: a subjanela percorre toda a imagem	86
Figura 88 – Estrutura de uma etapa utilizada no classificador de localização do objeto	86
Figura 89 – Ecrã principal	88
Figura 90 – Ecrã gravar dados	88
Figura 91 – Diagrama de sequência da deteção do rosto	92
Figura 92 – Diagrama de sequência do reconhecimento do rosto	94
Figura 93 – Técnicas de normalização fotométrica	95
Figura 94 – SIRnat, o antes e o depois	96
Figura 95 – Modelo conceptual da aplicação SIRnat	96
Figura 96 – Criação da BD rostos do SIRnat	97
Figura 97 – Mecanismo de captura de cada rosto	98
Figura 98 – Processo de deteção e reconhecimento e colocação do nome na legenda	98
Figura 99 – Lista de presenças	100
Figura 100 – Exportação da lista de presenças	101
Figura 101 – Exportação de todas as entradas e saídas	101
Figura 102 - Exportação de todas as entradas e saídas	102
Figura 103 – Ficheiro de log de dados dos desconhecidos	102
Figura 104 – Estrutura e organização do diretório dos desconhecidos	102
Figura 105 – Exemplo da base de dados de imagens do SIRnat	105
Figura 106 – Esquema da sala no ISEP	106
Figura 107 – Esquema da sala na ESMAD	106
Figura 108 – SIRnat em funcionamento no ambiente de sala de aula	107
Figura 109 – SIRnat em execução de acordo com a posição e iluminação ideal de reconhecimento	108
Figura 110 – SIRnat em execução de acordo com a posição e iluminação ideal de reconhecimento	108
Figura 111 – SIRnat em execução de acordo com a posição e iluminação ideal de reconhecimento	109
Figura 112 – Luz introduzida no ambiente	109
Figura 113 – Estudo do posicionamento da câmara	110
Figura 114 – Resultados da deteção no teste 1	114
Figura 115 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 1	114
Figura 116 – Resultados da deteção no teste 1	115
Figura 117 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 1	115
Figura 118 – Resultados da deteção no teste 3	117
Figura 119 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 3	117
Figura 120 – Resultados da deteção no teste 4	119
Figura 121 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 4	119
Figura 122 – Resultados da deteção no teste 5	121

Figura 123 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 5	122
Figura 124 – Resultados da deteção no teste 5.1	122
Figura 125 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 5.1	123
Figura 126 – Resultados da deteção no teste 6	125
Figura 127 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 6	125
Figura 128 – Resultados da deteção em grupo no teste 6.....	126
Figura 129 – Resultados de imagens reconhecidas em grupo no teste 6	126
Figura 130 – Resultados da deteção no teste 6.1	127
Figura 131 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 6.1	127
Figura 132 – Resultados da deteção no teste 6.2	128
Figura 133 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 6.2	128

Lista de Tabelas

Tabela 1- Características biométricas mais usadas	9
Tabela 2 - Técnicas biométricas e o desempenho por cada requisito (adaptado de Garima Rani et. al. 2014)	24
Tabela 3 - Análise PEST.....	30
Tabela 4 - Análise SWOT	30
Tabela 5-Proposta de plano de serviços	31
Tabela 6 – Exemplo de tempos de computação entre diferentes tipos de imagens.....	51
Tabela 7 – Características do caso de uso	61
Tabela 8 – Casos de uso 1	62
Tabela 9 – Casos de uso 2	65
Tabela 10 – Casos de uso 3	66
Tabela 11 – Casos de uso 4	66
Tabela 12 – Casos de uso 5	67
Tabela 13 – Especificações técnicas da <i>WebCam</i>	68
Tabela 14 – Classificadores Haar Cascade	87
Tabela 15 Tipos de registo de presença e as suas falhas mais comuns.....	95
Tabela 16 – Caso de testes 1 e 2	113
Tabela 17 – Caso de testes 3.....	116
Tabela 18 – Caso de testes 4.....	118
Tabela 19 – Caso de testes 5.....	120
Tabela 20 – Caso de testes 6.....	123

Acrónimos e Símbolos

2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
ANPR	<i>Automatic Number Plate Recognition</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
BD	Base de Dados
B2C	<i>Business to Consumer</i>
B2B	<i>Business to Business</i>
CCTV	<i>Closed Circuit Television</i>
CFTV	Circuito Fechado e Televisão
2D	Duas Dimensões
EER	<i>Equal Error Rate</i>
EMGU	<i>Wrapper</i> multiplataforma
EER	<i>Equal Error Rate</i>
FNR	<i>False Negative Rate</i>
FPR	<i>False Positive Rate</i>
FAR	<i>False Acceptance Rate</i>
FRR	<i>False Rejection Rate</i>
GILT	<i>Games, Interaction and Learning Technologies</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
JPEG	<i>Joint Photographic Experts Group</i>
LAMU	Laboratório Multimédia do DEI - ISEP
LBPH	<i>Local binary patterns histogram</i>
LDA	<i>Linear discriminant analysis</i>
LBP	<i>Local binary patterns</i>
OpenCV	<i>Open Computer Vision Library</i>
ONG	Organização não governamental
PCA	<i>Principal Component Analysis</i>
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
SIRnat	Sistema de reconhecimento e registo natural
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
SDK	<i>Software Development Kit</i>
TNR	<i>True Negative Rate</i>
TPR	<i>True Positive Rate</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

1 Introdução

“É fastidioso ser forçado a fazer o que pode ser feito naturalmente”

António Castro, 2016

No presente capítulo, apresenta-se uma breve introdução ao tema da deteção e reconhecimento do rosto humano em tempo real.

Faz-se o enquadramento do presente estudo evidenciando a necessidade de aplicar e implementar um sistema natural de deteção e reconhecimento do rosto humano em tempo real para responder a problemas relacionados, antevendo a necessidade de etapas intermédias até ao reconhecimento de rostos específicos.

Aborda-se o problema e os objetivos e salientam-se os contributos esperados.

Apresenta-se a motivação do autor para o presente estudo e termina-se o capítulo com a estrutura do presente documento.

1.1 Contextualização

A deteção e reconhecimento de um rosto humano em tempo real é uma matéria sensível e relevante na visão por computador. A análise das características do rosto desperta diversos interesses, dados os consideráveis avanços ao nível da interação do homem com a máquina, uma vez que estamos a abordar a forma natural e eficaz da comunicação dos seres humanos no reconhecimento por visão.

Algumas áreas de aplicação relacionadas com o rosto e as suas expressões incluem a identificação pessoal, do controlo de acessos, crime cibernético, operações bancárias, aplicações forenses, segurança, entre outros.

A implementação de sistemas biométricos permitia melhorar substancialmente estas situações, porque para além de tornar os locais mais seguros e confiáveis, aplicavam uma interação natural do ser humano com os sistemas e possibilitava a integração da comunidade com o uso da tecnologia biométrica.

O reconhecimento do rosto das pessoas já é uma tendência cada vez mais popular na análise de imagens, a necessidade deste tipo de tecnologia em diversas áreas continua a alavancar a evolução da pesquisa de novas soluções tecnológicas.

Podemos considerar que um sistema de reconhecimento é um sistema biométrico que identifica ou verifica seres humanos através de uma característica exclusiva [20]. Por norma os dispositivos biométricos capturam atributos inerentes a um indivíduo em particular e têm a particularidade de poderem ser medidos. A aplicação deste tipo de leitura biométrica pode ter inúmeras aplicações, muitas delas ainda por explorar.

A título de exemplo, podemos pensar que um cidadão poderia pagar as suas compras usando o seu rosto para o identificar, que uma empresa poderia identificar os seus funcionários eliminando o cartão de ponto, que um criminoso [20] possa ser identificado por uma câmara de vigilância urbana ou que os alunos sejam registados numa sala de aula apenas pela sua entrada através do reconhecimento do seu rosto.

Embora o desempenho do reconhecimento do rosto seja mais sensível do que outros métodos semelhantes [20] de identificação, como a correspondência das impressões digitais, o reconhecimento do rosto é considerado uma técnica de verificação muito fácil de usar, porque não tem a interação direta do utilizador.

Embora existam avanços, ainda nem sequer existe a possibilidade de os computadores rivalizarem com a capacidade humana no processo de reconhecimento do rosto. Por outro lado, a visão por computador tem a capacidade de detetar numa imagem até de alguma forma degradada ao olho humano o seu conteúdo eficientemente.

Os computadores são capazes de memorizar mais rostos do que é humanamente possível. Isso requer um sistema rápido e eficiente, mas também robusto o suficiente para realmente trabalhar sob as condições variáveis que se pode esperar na utilização normal do dia a dia.

Com a implementação do SIRnat (Sistema de reconhecimento e registo natural) é pretendido que quando um rosto é reconhecido através da deteção por câmara em tempo real, seja realizado o seu registo natural, aplicado na fase de protótipo do SIRnat a um grupo de alunos para aferir por este meio biométrico a sua presença em sala de aula.

Na perspetiva da análise de custos e benefícios conclui-se que a implementação de um sistema para a deteção e reconhecimento do rosto seria uma boa escolha para diversas organizações, tanto para melhorar a segurança, controlar a localização das pessoas nos edifícios, quer para agilizar o controlo de entradas e saídas das organizações e melhorar a eficácia dos serviços prestados em diversas áreas.

Estas razões validam que a implementação de um sistema biométrico em tempo real para o reconhecimento do rosto como o SIRnat seria uma mais valia, dado possuir informações relevantes como a presença da pessoa e controlo de assiduidade na organização.

1.2 Enquadramento

Este trabalho de dissertação surge no âmbito do Mestrado em Engenharia Informática, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), inserido na unidade curricular de dissertação (TMDEI), na área de Sistemas Gráficos e Multimédia.

O objetivo deste projeto é a implementação de um sistema natural de deteção e reconhecimento do rosto humano, capaz de dar resposta em tempo real e disponibilizar uma lista de presenças.

No domínio dos sistemas biométricos a deteção do rosto por imagens e em tempo real, revela-se uma tarefa essencial, uma vez que irá dar suporte a todas as etapas posteriores, particularmente às etapas da segmentação e normalização das imagens necessárias ao reconhecimento do rosto.

1.3 O problema

Um dos problemas identificados nas organizações de média e grande dimensão, como por exemplo nos Serviços Públicos, como as Universidades, Hospitais, Câmaras Municipais e Empresas, é conseguir responder em tempo “quase real” se um determinado colaborador da organização se encontra ou não no seu interior.

A solução tradicional que permite responder a esta questão é o resultado das informações obtidas pelos dispositivos de controlo de assiduidade [21] existentes nessas organizações.

Paralelamente, verifica-se que mesmo com essa informação, há por vezes, uma enorme perda de tempo nestas organizações à procura de um determinado colaborador que muitas vezes nem sequer se encontra no interior da organização.

Para além do “desespero” e tempo despendido das pessoas que estão por exemplo a fazer uma chamada do exterior, é evidente uma falta de eficácia, resultando daí prejuízos potenciais quer para a organização quer para os próprios intervenientes.

Vejam-se alguns exemplos para ilustrar o problema:

- Um professor não conseguiu convidar outro para um projeto de investigação porque não o conseguiu contactar atempadamente quando estava a submeter uma lista de formalização de um projeto no final do prazo, mesmo estando esse docente na organização;
- Uma empresa perde uma grande venda, porque o seu cliente não o conseguiu contactar na hora da tomada decisão, mesmo estando ele na empresa;
- Um arquiteto de uma Câmara não reuniu com um empreiteiro que tinha urgência na aprovação de uma licença, mesmo estando ele na Câmara;
- Um paciente internado no Hospital, abandona as instalações indevidamente e entre muitos outros exemplos de casos.

Perante a existência de sistemas de reconhecimento do rosto humano (que é um sistema biométrico que identifica a identidade de seres humanos através de uma característica exclusiva, que é o seu rosto), e considerando que os dispositivos biométricos capturam atributos inerentes a um indivíduo em particular (que têm a particularidade de poderem ser medidos e quantificados), consideramos que uma solução biométrica que possa registar naturalmente as entradas e saídas de pessoas num determinado espaço, poderão contribuir para fazer de forma natural o que, tradicionalmente tem de ser feito por processos convencionais, como por exemplo picar o ponto ou passar o cartão numa sala de aula para dar entrada no sistema.

Com a implementação do SIRnat pretende-se que quando uma pessoa for reconhecida por uma câmara, seja registada naturalmente na lista de presenças. Nesta fase do protótipo pretende-se que seja aplicado a um grupo de alunos para aferir por este meio biométrico a sua presença na sala de aula.

1.4 Objetivos e contributos esperados

Pretendemos com o presente estudo investigar a possibilidade de obter informações em tempo real em procedimentos comuns (como entrar num departamento de uma Câmara Municipal) ou marcar a presença numa sala de aula, de forma natural sem obrigar o utilizador a procedimentos mecânicos não naturais, obtendo do protótipo informações específicas que podem ser utilizadas para um determinado fim, parametrizável.

Para o efeito, consideramos ser necessário, identificar pesquisas relacionadas com o presente estudo, publicadas no sentido de propor uma abordagem para implementar uma solução capaz de identificar naturalmente as pessoas pelo seu rosto, com a implementação de algoritmos de deteção e reconhecimento por imagem e em tempo real.

Dado o interesse e motivação para implementar este trabalho os objetivos são apresentados sumariamente:

- Ganhar experiência sobre biometria, mais especificamente a biometria do rosto humano;
- Compreender o sistema de deteção e reconhecimento biométrico;
- Conhecer a forma de trabalhar dos sistemas biométricos de reconhecimento e técnicas;
- Técnicas usadas para identificar o rosto de uma pessoa numa imagem;
- Explorar a forma de aplicar um detetor de reconhecimento em tempo real de pessoas capturadas por uma câmara;
- Analisar o potencial uso em distintas áreas;
- Permitir o reconhecimento do rosto com a máxima precisão para identificação de um dado indivíduo através de imagens capturadas em tempo real;
- O sistema deverá possibilitar ao utilizador associar um nome a cada indivíduo reconhecido, de modo a que o utilizador também possa gerir e corrigir o sistema no caso de alterações e falhas;
- Tornar o reconhecimento natural ao abordar o seu potencial em detrimento da biometria mecânica (por exemplo: o aluno a entrar na sala e ser reconhecido em vez de passar o cartão).

1.5 Motivação

Um sistema biométrico é um instrumento com uma enorme relevância nos procedimentos de autenticação, de verificação e de identificação, no âmbito do controlo do acesso [22] a

espaços físicos e virtuais (acesso a determinados sistemas ou serviços eletrónicos). Com os progressos [22] da tecnologia nos últimos anos, os sistemas biométricos tornam-se cada vez mais simples, de fácil inclusão e interação com os utilizadores, com custos baixos e adequados às aplicações como é o caso dos sistemas ligados ao reconhecimento das características humanas.

Uma boa razão que também motivou a realização deste trabalho nesta área, foi a de tentar reconhecer um rosto humano e determinar a sua localização através das câmaras. Com isto, conseguir também usar-se o sistema fiavelmente num ambiente natural não controlado e obter bons desempenhos e com custos reduzidos.

Outra razão foi constatar que esta área tecnológica ainda se encontra num estado de desaproveitamento e pouco amadurecida, particularmente a área dos sistemas que permitem reconhecer indivíduos em tempo real, pela análise das imagens. Embora haja várias aplicações nesta área, ainda há muitos outros pontos que podem ser melhorados, como captar as pessoas em movimento e identificar as suas orientações, a presença e localização, admitindo tratar áreas de aplicação menos exploradas. A abordagem a novos fatores nas aplicações biométricas de reconhecimento das características, pode ajudar também a que os sistemas não sirvam só para detetar uma característica particular, mas também para obter informações como o interesse da pessoa num determinado sítio, e determinadas ocorrências nas instituições públicas ou privadas, por exemplo operações que envolvam pagamentos e ser pertinente uma validação mais fidedigna da identificação da pessoa para validar a autenticidade da sua identidade.

1.6 Estrutura

A dissertação está organizada em seis capítulos.

O capítulo 1, a introdução, apresenta uma breve introdução ao tema da deteção e reconhecimento do rosto humano em tempo real. Faz o enquadramento do presente estudo evidenciando a necessidade de aplicar e implementar um sistema de deteção e reconhecimento do rosto humano em tempo real para responder a problemas relacionados, antevendo a necessidade de etapas intermédias até ao reconhecimento de rostos específicos. Aborda-se o problema e os objetivos e salientam-se os contributos esperados e a motivação para o presente estudo e termina-se o capítulo com a estrutura do presente documento.

O capítulo 2 descreve detalhadamente o estado de arte em termos de sistemas biométricos. Apresenta os conceitos sobre biometria e explica o modo de funcionamento, os tipos de características biométricas existentes, que métricas são usadas na avaliação, as vantagens e desvantagens da sua utilização, técnicas e exemplos de aplicações da deteção e reconhecimento de pessoas nos sistemas biométricos. Neste capítulo são também apresentados o caso de negócio e exemplos de monitorização biométrica por vídeo e as tecnologias associadas. Descreve-se ainda os principais algoritmos para a deteção e reconhecimento por imagem e os principais recursos tecnológicos disponibilizados atualmente, tais como, as bibliotecas e o *software*.

No capítulo 3 apresenta-se o desenho da implementação, na qual inicia-se com os métodos e estratégias a adotar ao longo do desenvolvimento da dissertação, nomeadamente o desenho da implementação pretendida, com os requisitos funcionais e não funcionais, exposição de diagramas, a arquitetura do sistema, as principais características identificadas e o esboço gráfico do protótipo mais adequado à implementação.

No capítulo 4 é apresentada a implementação do protótipo utilizada na implementação do protótipo do sistema natural de deteção e reconhecimento do rosto em tempo real. Neste é elencado o método de seleção das bibliotecas de visão por computador, algoritmos e código utilizados no desenvolvimento do protótipo.

O quinto capítulo apresenta os testes realizados, os resultados esperados e os obtidos nas condições naturais do sistema de deteção e do reconhecimento do rosto humano, que originaram inferências sobre a implementação do protótipo desenvolvido e as quais são identificadas.

Por fim, no capítulo 6 e último capítulo da presente dissertação, são retiradas as respetivas conclusões e as perspetivas do trabalho futuro.

2 Os Sistemas Biométricos

*“Há projetos importantes e outros menos importantes,
embora a qualidade deva ser a mesma”*

Vitor Mota, 2016

Este capítulo tem o desígnio de apresentar uma descrição do estado da arte da tecnologia que agregue o reconhecimento biométrico.

As implementações dos sistemas de reconhecimento biométrico utilizam diferentes características biométricas, o que urge abordar algumas das vantagens e desvantagens de utilização, e conjuntamente descreve-se algumas vulnerabilidades destes sistemas, ilustrando possíveis falhas relacionadas às mesmas e quais as medidas que estão a ser implementadas.

Explicar o seu modo de funcionamento, que métricas são utilizadas para avaliar e analisar as características biométricas. São expostos exemplos de uso dos sistemas biométricos e as tecnologias utilizadas na conceção e funcionamento normal de um sistema de reconhecimento biométrico com o objetivo de expor as técnicas, os métodos e algoritmos fundamentais da área.

Por fim, contextualizar os procedimentos legais que envolvem os sistemas biométricos através do seu enquadramento legal.

2.1 Conceito da Biometria

A expressão biometria¹ advém da derivação de palavras de origem grega [1], bios (vida) e metros (medida). Pode-se definir como a ciência que estuda estatisticamente as características físicas, fisiológicas ou comportamentais dos seres humanos [21], mas atualmente tem sido associado ao estudo das características [1] físicas, fisiológicas ou comportamentais [2, 22] das pessoas como forma de identificação.

Dentro das características físicas existem a íris (parte colorida do olho), a retina (membrana interna do globo ocular), a impressão digital, a geometria da mão, a voz e o formato do rosto. Existem também características biológicas que poderão ser utilizadas no futuro, como o ADN [6] (ácido desoxirribonucleico) [2] e odores do corpo.

A aplicação das características biológicas [5] para identificar um indivíduo é possível, porque cada pessoa é constituída de forma exclusiva pelas referidas características. Pode-se verificar que não há ninguém com um rosto igual, com a mesma voz, a mesma impressão digital, a mão ou olho, existem sempre diferenças. Dentro da biometria que é abordada nesta dissertação, é dado ênfase ao que é, e quais as tecnologias usadas atualmente na deteção e reconhecimento do rosto humano.

¹ Disponível em: <http://bit.ly/2eupXoB> consultado em jan. 2016

Conclui-se que a biometria é o uso das características físicas ou comportamentais dos seres humanos para verificar a sua identidade, o que torna este método extremamente seguro, pois cada vez mais há preocupações relacionadas com a segurança, mas também com o conforto das pessoas e a procura de tornar a interação dos sistemas com o ser humano o mais natural possíveis. É uma tecnologia relativamente recente com enorme potencial para as empresas e governos.

Através da identificação natural, segura e rápida das pessoas é possível trazer segurança e comodidade aos utilizadores e aos sistemas, cortar nos custos operacionais, reduzir a criminalidade [5, 12] e incidentes sociais.

2.1.1 Caraterísticas gerais da biometria

Verifica-se que até bem recentemente estas técnicas eram especialmente aplicadas apenas nos ambientes de alta segurança e aplicações de identificação criminal [22], devido à natureza económica e tecnológica que envolvem as necessidades da área [5].

Com o desenvolvimento da tecnologia e a redução dos custos dos dispositivos biométricos, a biometria tem ganhado mercado, com especial interesse no mercado do reconhecimento humano e cada vez mais utilizado na resolução de problemas no reconhecimento da identidade das pessoas.

A caraterística física, fisiológica ou comportamental [22] da pessoa, são usadas para efeitos de reconhecimento, a que se dá o nome de caraterística biométrica².

Esta caraterística pode ser dividida por três classes, as físicas ou estáticas, as fisiológicas e as comportamentais ou dinâmicas.

As caraterísticas físicas ou estáticas definem-se por serem as caraterísticas relacionadas com os traços do corpo, ou seja, a genética das pessoas. Estas caraterísticas variam muito pouco ao longo do tempo. Exemplos dessas caraterísticas são a íris, a retina, a mão, as impressões digitais, o rosto, entre outros [4, 12, 22].

As caraterísticas fisiológicas estão ligadas ao funcionamento do organismo da pessoa, embora possam sofrer variações com o avançar da idade dos indivíduos, ou por razões de saúde. Exemplos destas caraterísticas são o batimento cardíaco, a força muscular, entre outros.

As caraterísticas comportamentais ou dinâmicas definem-se por serem caraterísticas relacionadas com o comportamento dos indivíduos. As pessoas aprendem e desenvolvem estas caraterísticas ao longo da sua vida e podem variar com o tempo e podem ser facilmente alteradas pela vontade ou estado da pessoa. Exemplos dessas caraterísticas são a voz, a assinatura, o andar, entre outros.

As caraterísticas biométricas morfológicas e fisiológicas são aquelas que consistem de caraterísticas físicas permanentes, presentes na maior parte dos seres humanos tais como impressões digitais, dedos, mão, íris, retina, rosto, entre outros.

Existem vários métodos biométricos aplicados na atualidade [3] (não comerciais e comerciais), a tabela 1 apresentada a seguir mostra as caraterísticas biométricas mais usadas [2, 22].

² Disponível em: <http://bit.ly/2dl4Ulp> consultado em jan. 2016

Tabela 1- Características biométricas mais usadas

Biológicas	Comportamentais	Químicas
Impressões digitais	Reconhecimento de voz	Odor
Reconhecimento do rosto	Reconhecimento de escrita	Padrão da termografia do rosto
Reconhecimento da retina	Reconhecimento do padrão de teclado	Padrão termografia do dorso da mão
Reconhecimento da íris	Reconhecimento do equilíbrio	
Geometria da orelha	Reconhecimento de gestos	
Geometria da mão	Reconhecimento do batimento cardíaco	
Impressão da palma da mão		
Padrão vascular da mão		
ADN		

2.1.2 Eixos fundamentais da biometria

A biometria refere-se a tecnologias que medem e analisam características do corpo humano com o objetivo de as identificar. Existe uma grande variedade de características biométricas, sendo comumente usadas para fins biométricos.

De seguida apresentam-se as características biométricas habitualmente utilizadas e que tecnologias apresentam maturidade para implementação, assinalando as suas particularidades.

A biometria é uma técnica utilizada para identificar características e comportamentos através da eletrónica e que permite identificar diferentes atributos nas características humanas. As técnicas biométricas baseadas nas características fisiológicas são normalmente mais fiáveis, do que as características comportamentais [3, 12, 22], mesmo que esta possa ser mais fácil de integrar em determinadas aplicações. As técnicas biométricas permitem que um indivíduo seja reconhecido, pelo recurso dos métodos de identificação e verificação.

A verificação atesta ou rejeita a identidade de um indivíduo que diz ser quem é, através de uma correspondência de um para um [21].

A identificação é a comparação dos vários modelos [22] guardados numa base de dados por cada indivíduo, com uma correspondência de um para muitos. Isto implica que a identificação e verificação sejam duas situações diferentes e que devem ser tratadas isoladamente.

Observemos em quatro eixos principais [1, 22] da técnica biométrica:

1. Aquisição: dos dados biométricos (câmara/sensores);
2. Extração de características [22]: através dos dados recolhidos, extrair os vetores de características;
3. Comparação [22]: comparar os vetores da característica com os dados adquiridos;
4. Tomada de decisão: a identificação do indivíduo é correta ou incorreta.

Nas técnicas biométricas é fundamental proceder à avaliação dos requisitos [2], ver a figura 1. De seguida serão apresentadas algumas das características biométricas normalmente utilizadas e cujas tecnologias apresentam um estado avançado de implementação, indicando as suas particularidades.

Na teoria qualquer característica humana poderá ser usada no reconhecimento de um indivíduo, desde que cumpra os seguintes requisitos [7, 12, 22]:

- Universalidade - todos os utilizadores que usem o sistema biométrico devem possuir a característica medida;
- Exclusividade: ter características diferentes, não pode ser igual;
- Permanência: as características não devem variar com o tempo. Na prática existem alterações provocadas pelo envelhecimento, mudança das condições emocionais e de saúde, por influência das condições do ambiente de aquisição;
- Mensurável - Facilidade de ser medida quantitativamente, sem causar inconvenientes;
- Desempenho: este requisito é quanto à precisão com que é realizado o reconhecimento e dos recursos essenciais para se obter uma precisão de medição satisfatória, velocidade e robustez da tecnologia;
- Aceitação: o equipamento biométrico deverá ter uma aceitação por parte de todos os utilizadores;
- Proteção: este requisito refere-se à facilidade ou dificuldade dos utilizadores não registados ou recenseados no sistema biométrico, conseguirem invadir o sistema com objetivo de o comprometer, através da utilização de técnicas ilegais.

As técnicas não são infalíveis nem satisfazem a 100% as características referidas. Dependendo da sua aplicação a tomada de decisão deve realizar uma análise das características e determinar qual é a melhor escolha para a implementação do sistema numa dada entidade em determinado local.



Figura 1 - Requisitos de um sistema biométrico

2.1.3 Vantagens e desvantagens da biometria

A biometria tem a vantagem de conter determinadas características físicas, biológicas ou comportamentais únicas e imutáveis [2], o que permite serem analisadas e medidas para a criação de um sistema para o registo biométrico. Estas características são difíceis de perder, ou esquecer e dificilmente sofrem alterações com o tempo.

Seguidamente mostra-se algumas vantagens [22] da utilização dos dispositivos biométricos para o reconhecimento de pessoas, na substituição dos habituais códigos ou cartões de identificação que são as seguintes:

- O biométrico é intrínseco às pessoas, não podendo ser esquecidos, extraviado ou simplesmente fornecidos a outras pessoas;
- A possibilidade de haver mais do que uma pessoa com a mesma característica biométrica é extremamente baixa ou quase nula;
- Os dados biométricos são praticamente impossíveis de plagiar, menor exposição a ataques, ao inverso dos tradicionais códigos.

No entanto como qualquer sistema além das suas vantagens, também possui desvantagens da aplicação do sistema biométrico. Apresentamos as principais desvantagens relacionadas com a sua utilização:

- Nos casos de acidentes e doenças que danifiquem a característica, poderá impedir a utilização e conseqüentemente a autenticação da pessoa, pois as características biométricas podem sofrer alterações;
- Com a idade as características biométricas das pessoas podem alterar-se, diminuindo as taxas de sucesso na autenticação das pessoas. Para que isso não aconteça pode ser

necessário atualizar a informação biométrica registada nas bases de dados, como acontece hoje em dia com o cartão de cidadão ou passaporte;

- Na situação de uma característica biométrica física ser comprometida, não será possível a sua substituição como acontece com um código, isto é, não é possível substituir um dedo, o rosto ou um olho.

2.2 Função do biométrico

Os sistemas biométricos têm a finalidade de serem sistemas para o reconhecimento de modelos (padrões) que permitem comparar representações de uma determinada característica biométrica com o objetivo de estabelecer uma métrica de similaridade. Os sistemas biométricos têm como missão o reconhecimento de pessoas, sendo concebidos e utilizados normalmente para esse efeito. Com recurso a dispositivos próprios para o efeito, tais como sensores, câmaras ou scanner, microfones, leitores óticos, entre outros. Permitem capturar amostras de características biométricas da pessoa, que através de algoritmos é normalizada e transformada num perfil biométrico, nomeadamente o seu modelo [2] (*template*).

O reconhecimento é estabelecido através da comparação entre o modelo extraído da característica adquirida na fase de aquisição, com os modelos armazenados na base de dados e que mediante o resultado da comparação origina um reconhecimento verdadeiro ou falso.

A biometria no âmbito do reconhecimento recorre a partes específicas do corpo humano para a extração das características a serem usadas para o reconhecimento, tais como: a mão, as impressões digitais, os olhos, a íris, a retina, a orelha, o rosto, entre outros. Estes sistemas fundamentam-se no princípio que cada indivíduo é exclusivo e detém características físicas distintas que permitem a distinção entre um determinado grupo de [2]. Um sistema de reconhecimento biométrico consoante a parte do corpo a que está relacionado, extrai as características pertinentes e com esse conjunto de características é criada uma assinatura correspondente à pessoa.

A partir daí essa assinatura representa a identidade da pessoa no sistema, aquando do reconhecimento é comparada com o conjunto de características guardadas e dependendo da medida de similaridade, a pessoa é corretamente identificada ou não, podendo em algumas situações ser recusada a sua identificação. Dos vários tipos de reconhecimento biométrico existem uns que se destacam pela sua elevada eficácia e segurança, tais como as impressões digitais, reconhecimento da íris ou da retina, mas existem outros que se destacam por serem sistemas amigáveis, ou seja, menos invasivos na interação com o utilizador, simplicidade e baixo custo, como é o caso do reconhecimento do rosto humano.

2.3 Elementos biométricos quantificáveis

São várias as partes do corpo humano que proporcionam a aquisição de dados biométricos. Neste subcapítulo apresentam-se alguns dos elementos quantificáveis começando pelo rosto

do ser humano que é uma característica biométrica [4, 22] que nós próprios utilizamos naturalmente para proceder ao reconhecimento das pessoas conhecidas.

2.3.1 O rosto humano

Este reconhecimento é constituído por várias características denominadas como pontos nodais, nomeadamente, a distância entre os olhos, o comprimento do nariz, o tamanho do queixo e a linha da mandíbula³.

O número de sistemas de reconhecimento implementados comercialmente, que utilizam esta característica biométrica é relativamente elevado, mas o desempenho destes sistemas é apenas razoável, devido ao facto destes sistemas terem dificuldades em lidar com os ambientes não controlados. Quando se deseja a adoção de um sistema cuja aquisição seja menos intrusiva, o reconhecimento baseado nas imagens é uma solução viável. Um sistema deste tipo baseia-se na aquisição de uma imagem do rosto e através de determinadas características [2] que são extraídas do rosto humano é efetuada uma comparação com as imagens existentes na base de dados. É importante para o reconhecimento o intervalo entre os olhos, o nariz, o queixo e o cabelo. O reconhecimento do rosto compreende certas limitações designadamente ao nível das imagens que captura, pois pode ser confundido, por exemplo, através das suas expressões, pêlos do corpo humano ou óculos, dificultando a identificação da pessoa.

Com o desenvolvimento da tecnologia 3D [21], muitas destas falhas foram ultrapassadas, embora provocasse a estes sistemas um aumento no orçamento e originando uma menor atração para aplicações mais vulgares.

A obtenção das imagens de um determinado rosto pode ter diferentes abordagens, na qual pode-se agrupar em quatro pontos:

- Imagens 2D [2, 20] - A obtenção de imagens digitalizadas de fotografias, os dados estão na forma de fotografia, quer a cores quer a preto e branco.

Estamos perante a aquisição estática de imagens. Para a aquisição de imagens em tempo real, tem-se de recorrer às câmaras digitais. As imagens normalmente deverão ser capturadas com o consentimento do utilizador e em ambientes controlados, ou seja, com iluminação.

Uma câmara como uma simples Webcam, pode ser o suficiente para a obtenção de imagens 2D [19], porém em termos de resultados as câmaras com melhor resolução exibirão imagens com maior detalhe e qualidade. Por este motivo, devem ser utilizadas câmaras de boa resolução ao longo de todo o processo.

- Imagens 3D [2] - As recentes técnicas baseiam-se na geometria da cabeça e exigem imagens a três dimensões. Os modelos 3D [19] têm mais informações de um rosto e é indiferente à posição. Uma desvantagem presente nos modelos 3D é tratar o rosto

³ Disponível em: <http://glo.bo/2ehsDsS> consultado a fev. 2016

como um objeto rígido, sem a capacidade de retratar as expressões e no reconhecimento através das imagens 2D, há essa capacidade e supera os métodos 3D;

- Sequências de imagens [2] - As câmaras de vigilância gravam sequências de vídeo, que podem conter imagens de pessoas. No entanto a resolução destas imagens é baixa, o que dificulta a sua utilização nos sistemas de reconhecimento. As técnicas de detecção em conjunto com a utilização das câmaras com foco, é uma boa solução para melhorar a resolução das imagens. Esta técnica pode ser usada para focar o rosto num vídeo;
- Termograma do rosto [2] - Um dos problemas na aquisição de imagens do rosto está relacionado com as condições da iluminação. A iluminação por lâmpada de infravermelho de baixa potência, invisível ao olho humano pode ser utilizada no processo da detecção do rosto. Os termogramas de radiação infravermelha não dependem da iluminação ambiente e são resistentes a disfarces ou posturas que as pessoas possam adotar, embora o custo elevado da implementação e a influência das fontes de calor afetem este tipo de biometria.

Relativamente à obtenção das características do rosto, a primeira ação é a segmentação [8], ou seja, isolamento da imagem do rosto que se pretende extrair as características. A segmentação é um processo de grande importância para o sucesso do reconhecimento do rosto.

Os métodos holísticos, estruturais e híbridos são métodos para a extração e comparação de características das imagens do rosto, que apresentamos seguidamente:

- Métodos holísticos [4]: estes métodos requerem a obtenção do rosto completo no sistema de reconhecimento. Entre as várias técnicas existentes o PCA [5], baseado no algoritmo *Eigenfaces* [13] e é o mais utilizado;
- Métodos estruturais: contêm técnicas mais recentes, utilizam os ângulos e as distâncias relativas entre diversos pontos notáveis do rosto como olhos, nariz, boca e bochechas;
- Métodos híbridos: estes métodos tentam imitar o sistema de perceção humano, que utiliza tanto a aparência global do rosto como a geometria do rosto na comparação das características.

Como podemos verificar estes métodos partilham a dificuldade de realizar uma comparação quando existe alguma alteração significativa nas características. A título de exemplo os olhos fechados, a utilização de óculos ou o cabelo. Embora dentro de um ambiente controlado os algoritmos de reconhecimento do rosto possam apresentar resultados bastante aceitáveis.

Obviamente, existem vantagens e desvantagens e a tecnologia biométrica baseada no rosto humano não é exceção. Assim, as principais vantagens são as seguintes:

- Há uma boa aceitação por parte das pessoas para este tipo de sistema biométrico, devido à banalização do uso das fotografias, por via das redes sociais e da documentação digital;
- Visto ser um sistema de reconhecimento pouco intrusivo por não estabelecer contacto direto, a colaboração do utilizador e o rosto da pessoa é o método natural dos seres humanos se reconhecerem;
- Os equipamentos para a aquisição de imagens 2D têm um baixo custo;
- As câmaras atuais possuem resoluções de alta definição e são baratas.

Quanto às principais desvantagens são as seguintes:

- Um sistema que recorra à verificação da imagem através da visão por computador, necessita de controlar as condições de iluminação;
- Estes sistemas podem ser facilmente adulterados com a utilização de uma fotografia no ato da aquisição, uma forma simples e fácil de aldrabar um sistema com este tipo de reconhecimento biométrico é o recurso a disfarces.

2.3.1.1 A termografia

Os padrões de energia do corpo humano são considerados únicos por cada pessoa. A captura do rosto através das câmaras de infravermelhos produz assinaturas únicas, constituídas pelo calor que passa através do tecido da cara. Estas assinaturas são designadas por termogramas do rosto. Este método de reconhecimento não é invasivo, contudo pode ser altamente comprometido quando existem por perto superfícies quentes [2, 3, 4].

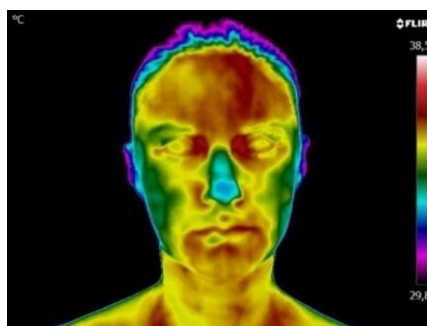


Figura 2 - Exemplo de uma imagem térmica do rosto⁴

2.3.1.2 A orelha

O recurso à análise da geometria da orelha tem sido usado na identificação de pessoas, especialmente nas cenas de crimes [5], aquando da ausência de impressões digitais.

⁴ Disponível em: <http://bit.ly/2cdsNv9> consultado a jan. 2016

No entanto a sua aquisição é uma interrogação, pois pode simplesmente encontrar-se tapada e existir a necessidade da cooperação da pessoa que esteja a ser identificada [4].

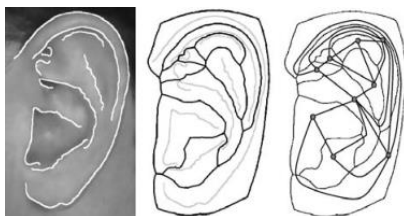


Figura 3 - Exemplo de etapa na construção do modelo gráfico da biométrica da orelha⁵

2.3.2 O olho humano

O olho humano tem como função a captação da energia luminosa, compreendida pelo cérebro. As partes visíveis do olho são o globo ocular, formado pela parte branca do olho e onde se forma a córnea. A outra parte é a íris, formada pela cor dos olhos, evita reflexos que poderiam interferir na pureza da imagem. No centro da íris é a pupila, quando contrai permite controlar o fluxo de entrada da luz.

2.3.2.1 A retina

A leitura da retina armazena os padrões das veias na parte interna do olho. Estes padrões são estáveis, únicos e difíceis de falsificar e considerados das características biométricas mais seguras.

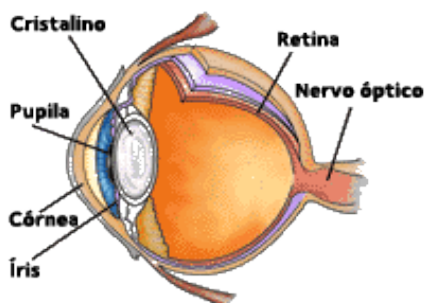


Figura 4 - Exemplo de retina⁶

A retina é pequena, interna e requer uma enorme cooperação por parte do indivíduo e torna-se muito intrusiva [4].

2.3.2.2 A íris

A íris é uma característica difícil de ser alterada, visto que uma íris artificial pode ser detetada e a captura da imagem é ideal, porque ocorre no NIR⁷, dispositivo de captura relativamente caro e que exige a cooperação por parte do indivíduo [1, 2, 3, 4, 5].

⁵ Disponível em <http://bit.ly/2cDYnZ9> consultado a jan. 2016

⁶ Disponível em: <http://bit.ly/2cpPzDq> consultado a jan. 2016

⁷ Disponível em: <http://bit.ly/2dSfim6> consultado a jan. 2016

Os sistemas biométricos recorrem à íris ou à retina dos olhos por serem os mais fiáveis, apesar de ser uma parte do corpo visível, e uma parte interna do olho.

A probabilidade de existirem duas íris iguais numa amostra de mil pessoas deverá ser provavelmente nula. Dado o seu carácter intrusivo da aquisição desta tecnologia biométrica e o seu elevado custo, apenas são aplicados nos casos que seja mesmo crítico implementar um sistema de segurança extrema.

2.3.3 A mão

As técnicas biométricas que incluem a mão [1, 2, 4, 5, 12] são menos hostis que as que envolvem o olho. No entanto são menos usadas do que aquelas que envolvem impressão digital. Existem seis técnicas biométricas através da mão, que são as seguintes: a impressão digital, a geometria da mão, a palma da mão, a termografia da mão, a geometria do dedo e as veias das mãos.

2.3.3.1 A impressão digital

O reconhecimento por impressão digital [1, 2, 4, 5] é atualmente um dos métodos de reconhecimento mais conhecidos e implementados. Por ter uma elevada taxa de eficácia na identificação, serem sistemas muito eficientes e melhorados no sentido de possuir interações mais simples e fáceis de utilizar por parte dos utilizadores. Uma desvantagem deste método em comparação com os baseados no reconhecimento no rosto, reside na cooperação do indivíduo e ambas as técnicas são vulneráveis ao ruído.



Figura 5 - Exemplo de impressão digital

2.3.3.2 A geometria da mão

A geometria da mão [1, 2, 4, 5] tem como características elementares a sua forma, linhas características, o comprimento e a largura dos dedos. Este género de sistema de reconhecimento é suportado pela identificação biométrica da mão.

A geometria da mão é referente a uma série de medidas que podem ser extraídas determinando alguns pontos característicos, tais como o comprimento, largura e área da superfície. Habitualmente aplicado em grupos pequenos, dado as suas características não serem completamente distintivas em universos maiores.



Figura 6 - Exemplo da geometria da mão

Os sistemas que aplicam a leitura da mão como objeto de reconhecimento têm um funcionamento de certa forma idêntico aos sistemas biométricos por impressões digitais. Os sistemas firmados no reconhecimento da mão demonstram ter uma fraca interação com os utilizadores.

2.3.3.3 A palma da mão

A impressão da palma da mão é sustentada por um padrão de irregular dos rasgos e vales, algo bastante idêntico à impressão digital [1, 2, 5, 12] (Figura 7).

Como acontece nas impressões digitais, as palmas da mão são compostas por padrões únicos. Uma vez que as mãos são maiores do que os dedos, a diferenciação entre as pessoas deverá ser mais elevada, logicamente obriga a ter um espaço físico superior para realizar a aquisição, o que também torna os dispositivos de captura mais dispendiosos.

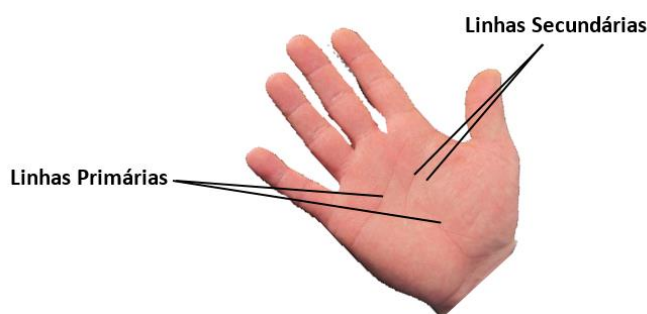


Figura 7 - Exemplo da impressão da palma da mão

2.3.3.4 A termografia da mão

Comparando com o método anterior existem semelhanças entre eles, cada indivíduo possui um padrão único no que se refere ao sistema vascular da mão, facto que influencia a microcirculação cutânea da mão que é passível de ser registada com recurso a termografia, ver a figura 8 [5].

Contudo as restrições mantêm-se inalteradas também, o elevado valor do equipamento, a complexidade da análise das imagens e a necessidade que o ambiente da captura seja controlado (temperatura ambiente, humidade relativa e fluxo de ar). Seria um ótimo método como complemento de outro sistema biométrico, nas situações onde a exigência da segurança é crítica e sensível.



Figura 8 - Exemplo de uma imagem térmica do dorso da mão⁸

2.3.3.5 A geometria do dedo

A geometria do dedo [6] consiste em avaliar o comprimento do dedo, a largura, a sua espessura e respetiva curvatura. Apesar de esta técnica de aquisição ser relativamente simples e não invasiva, exige que a pessoa alinhe os dedos nos pinos fixadores, presentes no equipamento.



Figura 9 - Exemplo da geometria do dedo⁹

2.3.3.6 As veias da mão

As veias da mão incidem nos padrões expostos pelas veias do sangue, estes são únicos por cada indivíduo, e podem ser adquiridos através da iluminação NIR¹⁰. Constituem um traço biométrico relativamente seguro, a exibição das veias da mão é feita no NIR visto que a hemoglobina absorve os raios infravermelhos, conduzindo a que as veias sejam visíveis a preto. Embora este procedimento apresente bastante dificuldade em ser corrompido, requer uma elevada cooperação por parte da pessoa.

Com o progresso da biometria relacionada com o reconhecimento dos seres humanos, emergiram novas técnicas e, novos tipos de sistemas começaram a ser investigados e desenvolvidos, como é o caso do reconhecimento das veias. Estes tipos de sistemas biométricos são relativamente recentes e firmam-se na organização das veias.

⁸ Disponível em <http://bit.ly/2deTuEC> consultado a jan. 2016

⁹ Disponível em: <http://bit.ly/2cXFFBT> consultado a jan. 2016

¹⁰ Disponível em: <http://bit.ly/2doLWyd> consultado a jan. 2016



Figura 10 - Exemplo de reconhecimento vascular¹¹

Como se ilustra na figura 10, podemos verificar como é realizada a distinção por este método e que se mantém distinta de indivíduo para indivíduo. Logicamente que sistemas deste tipo têm um preço elevado, principalmente devido ao tipo de equipamento utilizado aquando da aquisição, mas também contemplam de uma forma muito respeitável a segurança, pois o padrão das veias é diferente mesmo entre irmãos. Pelas próprias circunstâncias do ser humano em que algumas veias podem não ser visualizadas pelos nossos olhos, através da pele, constata-se que a falsificação e manipulação deste tipo de sistema biométrico sejam praticamente nulas [4].

2.3.4 Os gestos

O reconhecimento de gestos é concretizado com o recurso a uma câmara de vídeo e às técnicas disponíveis na área da visão por computador, na qual recorre um determinado conjunto de técnicas disponíveis para o processamento das imagens e para análise dos limites temporais. Isto para possibilitar ao dispositivo com poder de processamento identificar o gesto capturado [4, 17]. Apesar de ser possível o reconhecimento de gestos envolvendo mãos, braços, corpo ou cabeça, são mais comuns a deteção de gestos e padrões das mãos (Figura 11).

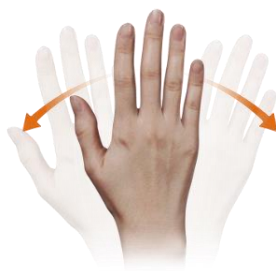


Figura 11 - Exemplos de gestos passíveis de ser reconhecidos¹²

Os padrões gestuais [4] funcionam como uma chave gestual, para a identificação da pessoa. Como cada indivíduo é relacionado por um determinado padrão gestual, esta técnica poderá servir como outra forma de poder aumentar a exatidão e fiabilidade de outro sistema de reconhecimento biométrico. Além disso considerando as pessoas que por motivos de saúde recorram à linguagem gestual, este sistema biométrico seria uma boa solução.

¹¹ Disponível em: <http://bit.ly/2cZvM02> consultado a jan. 2016

¹² Disponível em: <http://bit.ly/2d3pHvw> consultado a jan. 2016

Certamente este método terá uma boa concordância por parte dos utilizadores, por outro lado usando apenas o reconhecimento gestual não garante a confiabilidade da identificação do indivíduo.

2.3.5 A forma da assinatura

A forma como uma pessoa assina o seu próprio nome é uma característica comportamental e individual, que normalmente permanece igual ao longo da vida da pessoa. A análise tradicional deste procedimento é sustentada no aspeto visual da assinatura [4], assim como a velocidade, direção e a pressão exercida na escrita também podem ser alvo de análise. Podemos ter em consideração que uma assinatura é um ato natural de um ser humano que sabe escrever podendo identificar-se perante um documento físico. É um método de reconhecimento com boa aceitação.

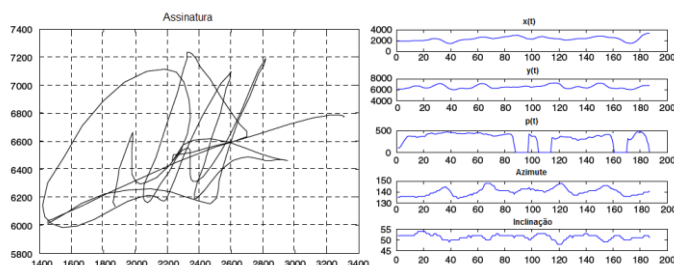


Figura 12 - Verificação dinâmica da assinatura¹³

Com a utilização desta característica deve-se ter especial atenção às restrições das condições físicas, psicológicas e culturais da pessoa.

2.3.6 A forma de andar

A forma e dinâmica de caminhar pode ser uma informação para a identificação, é um dado biométrico complexo tanto no espaço, como no tempo, consiste em analisar a locomoção humana, que pode ser feita através de imagens vídeo (com recurso a câmara) ou por sensores, como acelerómetros e giroscópios que registam a velocidade e ângulos do movimento. Existe o recurso à análise das características dos limites temporais e respetivos comprimentos do passo.

2.3.7 A voz

Nesta característica biométrica é utilizada a informação acústica. O reconhecimento é realizado através da análise das características da voz do indivíduo. Esta característica apenas é usada nas aplicações onde o requisito de segurança é reduzido, pois devido às variações que possam

¹³ Disponível em: <http://bit.ly/2cLr18u> consultado a jan. 2016

ocorrer (por exemplo: problemas com as vias respiratórias, entre outros) e à baixa performance (ruído ambiente) [4, 3, 5].

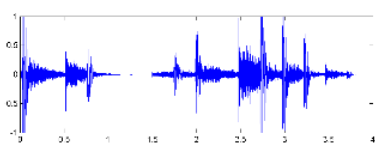


Figura 13-Exemplo do reconhecimento de voz¹⁴

2.4 Desempenho das técnicas

Devido às diversas posições impostas ao sensor de captura, às condições das imagens, alterações do meio ambiente, tipos de interferências que criem ruído ou deformações, e interações defeituosas do utilizador com o sensor, os sistemas biométricos não conseguem ter dois modelos da mesma propriedade biométrica, exatamente iguais adquiridos em diferentes sessões.

Por esta razão, a resposta dos sistemas de reconhecimento é normalmente um resultado “s”, que é avaliado com os dados guardados numa base de dados.

A classificação [22] de uma semelhança é comparada com um limiar “t” e caso for maior ou igual, as amostras comparadas pertencem à mesma pessoa. Caso “s” [22] seja menor que “t”, trata-se de outro indivíduo.

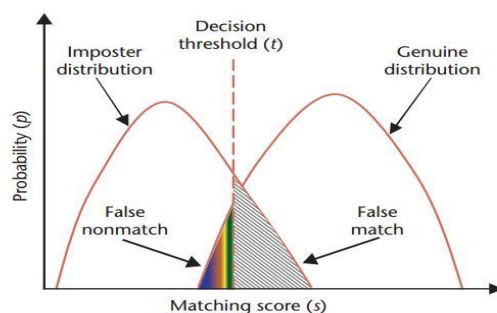


Figura 14 - Taxas de erro nos sistemas biométricos¹⁵

As regras de desempenho abaixo descritas são utilizadas para medir os erros [4]:

- O falso positivo (FMR - False match rate) [22] é um valor de classificação falso, contudo o classificador atribui o valor de verdadeiro, ou seja, mede a percentagem de registos das entradas inválidas que indevidamente condizem com o modelo e foram identificadas como sendo uma pessoa registada ou conhecida.
- O falso negativo (FNMR - False non match rate) [22] mede a percentagem de registos de entradas válidas que são indevidamente rejeitadas.

¹⁴ Disponível em <http://bit.ly/2d6NSgO> consultado a jan. 2016

¹⁵ Disponível em: <http://bit.ly/2cRwcUr> consultado a jan. 2016

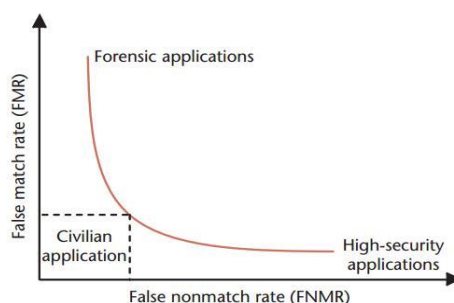


Figura 15 - Receiver operating characteristic (ROC)¹⁶

As funções básicas do limiar são o FNMR e FMR [1, 2, 4]. O que significa que se colocarmos um sistema de reconhecimento biométrico mais flexível, os resultados em “t” diminuem, o que por outro lado faz aumentar o FMR [2]. Se o objetivo for tornar o sistema mais seguro, então o valor de “t” deverá aumentar. Sendo que o FMR e FNMR [1, 2, 4] ficam juntos numa curva característica da operação do recetor (ROC-Receiver Operating Characteristic) [22] que verifica o FMR com o FNMR (ou 1-FNMR) em diferentes limiares, conforme visto na figura 15. A curva vertical do gráfico ROC [2, 22] representa a taxa de aceitação falsa, ou seja, a sensibilidade. Já a curva horizontal representa a taxa de rejeição falsa [1, 2, 4, 5, 8].

2.5 As caraterísticas individuais

Considerando que determinada caraterística biométrica é o único método de realizar uma identificação, as caraterísticas herdam as seguintes limitações [5]: o ruído, dados com ruído, variações internas, distinção e não universal.

- Os ruídos que interfiram nos dados adquiridos podem significar, por exemplo um rosto com algum dano como uma cicatriz ou outros tipos de lesões;
- Os dados que apresentarem ruídos podem representar a acumulação de sujidades num sensor ou outras variáveis das condições ambientais;
- As variações internas podem ser originadas pelos utilizadores que interagem com o sensor, a título de exemplo postura incorreta de um rosto;
- A distinção compreende que num sistema com um grande número de utilizadores, possam existir diversas semelhanças (sobreposições) nos vetores da caraterística [5] de múltiplos utilizadores;
- Num sistema biométrico não universal, o sistema perderá a capacidade de concretizar a aquisição dos dados biométricos fundamentais num dado conjunto de utilizadores.

Na tabela 2 apresentamos as comparações das tecnologias biométricas quanto aos seus requisitos [4] [6].

¹⁶ Disponível em: <http://bit.ly/2cRwcUr> consultado a jan. 2016

Através da informação apresentada, podemos concluir que nenhuma característica biométrica tem uma nota elevada de desempenho como resultado do seu requisito, porque não há uma característica biométrica que satisfaça todos os requisitos referidos na tabela 2.

Embora cada característica biométrica contenha vantagens e desvantagens quando comparada com outras características biométricas, faz com que se deva analisar bem a seleção da característica biométrica a implementar.

Devemos selecionar a característica que melhor se adequa aos requisitos desejados na aplicação biométrica.

Tabela 2 - Técnicas biométricas e o desempenho por cada requisito (adaptado de Garima Rani et. al. 2014)

<i>Caraterística</i>	Universalidade	Exclusividade	Permanência	Mensurável	Desempenho	Aceitação	Proteção
Rosto	Elevado	Baixo	Médio	Elevado	Baixo	Elevado	Baixo
Termografia do rosto	Elevado	Elevado	Baixo	Elevado	Médio	Elevado	Baixo
Impressão Digital	Média	Elevado	Elevado	Médio	Elevado	Médio	Médio
Íris	Elevado	Elevado	Elevado	Médio	Elevado	Baixo	Baixo
Retina	Elevado	Elevado	Médio	Baixo	Elevado	Baixo	Baixo
Geometria da orelha	Médio	Médio	Elevado	Médio	Médio	Elevado	Médio
Geometria da mão	Médio	Médio	Médio	Elevado	Médio	Médio	Médio
Palma da mão	Médio	Elevado	Elevado	Médio	Elevado	Médio	Médio
Veias da mão	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Baixo
Voz	Médio	Baixo	Baixo	Médio	Baixo	Elevado	Elevado
Assinatura	Baixo	Baixo	Baixo	Elevado	Baixo	Elevado	Elevado
Forma de teclar	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Baixo	Médio	Médio
Maneira de andar	Médio	Baixo	Baixo	Elevado	Baixo	Elevado	Médio

As diversas posições impostas ao sensor de recolha da característica biométrica, provocam situações de imagens imperfeitas, assim como por alterações ambientais, deformações, ruídos e interação errada por parte dos utilizadores com o sensor.

Apresentados os motivos, podemos constatar que a resposta dos sistemas biométricos de reconhecimento é normalmente um resultado “s”, que é avaliado com os dados armazenados numa base de dados. Uma classificação que apresente uma semelhança é comparada com um limiar “t” e caso seja maior ou igual, as amostras comparadas pertencem ao mesmo utilizador. No caso de “s” ser menor, pode significar tratar-se de alguém que pretende comprometer o sistema ou alguém que apenas não está recenseado no sistema biométrico.

2.6 As técnicas multimodelares

As técnicas multimodelares [2] representam a combinação de diferentes tipos de características biométricas.

Para exemplificação do caso podemos ter sistemas que sobreponham mais do que uma característica, apenas numa técnica biométrica se for conseguido, mas independentemente disso, podemos sempre ter mais que uma impressão digital juntamente com o rosto do mesmo utilizador [7], ou impressões digitais de dedos diferentes, leitura da íris ou da retina. Os sistemas multimodelares permitem tratar eficazmente o problema dos dados com ruído (por exemplo uma impressão digital danificada).

2.7 Aplicações do sistema biométrico

A tecnologia biométrica pode ser introduzida num largo número de aplicações, que podem envolver a segurança [22] e ajudar a tornar a vida do ser humano mais segura e conveniente. Existem também aplicações desta tecnologia no tratamento das ameaças cibernéticas [6, 7]. O objetivo aqui é descrever as áreas de implementação da biometria e que soluções as empresas produzem para a identificação das pessoas.

2.7.1 A segurança biométrica

A evolução das redes sem fios e dos dados móveis, proporcionou uma melhor conectividade e cobertura por toda a parte.

Esta evolução fez com que a tecnologia biométrica esteja mais acessível, preparada para oferecer mais segurança [22] e maior conveniência para o que precisa de proteção, como por exemplo: as pessoas, a partir de uma porta de casa, como edifícios públicos ou particulares, um automóvel, entre muitas outras coisas.

2.7.2 O controlo das fronteiras e aeroportos

O controlo das fronteiras e dos Aeroportos [22] é uma área chave na aplicação da tecnologia biométrica.

Qualquer viajante é conhecedor dos postos de controlo da segurança [22] nas fronteiras e nos aeroportos, são etapas frustrantes na qual as pessoas têm que transitar.

Com certeza a tecnologia biométrica facilita a automatização deste processo, com a introdução de aplicações de interação natural com o humano, seguras e confortáveis para o uso dos viajantes ou passageiros, pela identificação automática.

2.7.3 O consumo doméstico da biometria

A possível inclusão da biometria no mercado dos consumidores domésticos [22], só foi possível devido às inovações mais recentes das áreas da mobilidade e da conectividade, que criaram condições ideais ao consumo desta tecnologia.

Por exemplo, através dos dispositivos móveis e dos computadores portáteis com sensores de impressões digitais, aplicações que permitem o reconhecimento do rosto e da voz, são as formas cada vez mais populares de os utilizadores interagirem com a biometria nas suas vidas.

2.7.4 O setor financeiro

A biometria no setor financeiro pode ser um benefício nas transações financeiras, num universo onde o risco é elevado. Por exemplo, uma instituição bancária [22] ao conceder um empréstimo a uma pessoa, sabe realmente o seu histórico perante este tipo de instituições. Com as recentes implementações dos pagamentos através dos dispositivos móveis e online, estas transações poderiam estar protegidas pela biometria.

A título de exemplo a Mastercard¹⁷ tem investido em diferentes formas de comprovar a identidade de uma pessoa no âmbito dos pagamentos online, como o reconhecimento do rosto¹⁸.

2.7.5 As impressões digitais como autenticação

Um sistema biométrico que recorra à autenticação por impressão digital [2, 21], será uma ótima solução para o controlo de acesso lógico, este método oferece uma autenticação mais forte do que um código ou uma password, cartões de RFID, por uma simples razão, a impressão digital é parte do corpo humano e não algo físico que temos em nossa posse. Uma *password* ou um código, pode ser perdido ou roubado e usado por terceiros.



Figura 16 – As impressões digitais como autenticação¹⁹

¹⁷ Disponível em: <http://bit.ly/2esgi4c> consultado a jan. 2016

¹⁸ Disponível em: <http://bit.ly/1XqJc1t> consultado a jan. 2016

¹⁹ Disponível em: <http://bit.ly/2dMCvGk> consultado a jan. 2016

Na figura 16 é apresentado um caso²⁰ prático de autenticação por impressão digital. O processo inicia-se após o leitor biométrico realizar a digitalização do dedo, para obtenção da imagem da impressão digital e processar os pontos do dedo, para geração do modelo do dedo e a sua codificação.

2.7.6 A biometria na saúde

A biometria ligada aos cuidados de saúde traduz-se num aumento da segurança e conveniência onde quer que seja implementado, introduzido em alguns casos também contribuirá para o aumento da organização e da comunicação, culminando no maior eficácia e eficiência destes serviços.

2.7.7 Os fabricantes e revendedores

Os fabricantes e revendedores têm como principal missão a obtenção de soluções biométricas integradas.

Isto deve-se às múltiplas necessidades existentes no mercado e que podem ser colmatadas com a tecnologia biométrica, o que também poderá encaminhar uma empresa a organizar-se num sistema vertical.

Tornando a empresa desta forma integradora das necessidades dos consumidores e a impulsionar a introdução de novas soluções ao consumidor.

2.7.8 A justiça

Esta tecnologia na justiça possui uma longa história e beneficiou de importantes inovações no que refere à gestão das identidades.

Nos dias de hoje a aplicação da biometria na justiça é efetivamente multimodal, pois utilizam as impressões digitais, o rosto, a orelha e o reconhecimento da voz, todas estas características desempenham um papel importante no reforço da segurança e na identificação das pessoas procuradas.

2.7.9 A biometria móvel

É difícil explicar o enorme impacto que os dispositivos móveis têm tido em vastos aspetos da nossa vida.

Há cada vez mais e melhores condições e benefícios em termos de eficiência, conectividade, mas sem a segurança adequada as eficiências podem-se tornar vulnerabilidades.

Os padrões internacionais estabelecidos na indústria do hardware dos dispositivos móveis, alavancaram o desenvolvimento do software biométrico e bem como as inovações.

²⁰ Disponível em: <http://bit.ly/2dlQSVZ> consultado a jan. 2016

2.7.10 O controlo físico

Habitualmente todas as pessoas tem algo de valor a requer atenção no compete à sua segurança.

Podemos constatar que uma solução para controlar os acessos físicos através de um sistema biométrico, seria um método muito mais natural, que o processo das chaves físicas [22], cartões e códigos, devido a ser a pessoa no seu estado natural e não o que a pessoa tem na sua posse.

2.7.11 A presença e assiduidade

A tecnologia da biometria pode ser utilizada no atendimento de uma instituição para agilizar o processo de verificação da presença de um colaborador no seu posto de trabalho e trazer uma maior eficiência. Estabelecer melhores cuidados no controlo da segurança dos colaboradores no local de trabalho. Assegurar a assiduidade e situações de ausência do colaborador ao serviço durante o período de trabalho e para um melhor controlo sobre os colaboradores cujo trabalho é realizado no ambiente externo à empresa.

2.7.12 O reforço da autenticação

A autenticação é o processo de verificar e aceitar uma identidade, à qual providencia um nível de aceitação como probabilidade do sujeito ser quem é ou afirma ser. O nível de aceitabilidade depende das preocupações externas e internas.

2.8 A deteção e reconhecimento do rosto

A identificação de uma pessoa é um processo que envolve três fases: a primeira a captura da imagem, a segunda fase envolve a deteção do rosto e terceira a obtenção de um resultado (conhecido ou desconhecido) através da comparação das imagens previamente armazenadas no sistema. Para uma melhor perceção e distinção das fases, apresentamos um exemplo deste conceito [22] na figura 17.

Podemos descrever estes dois importantes métodos biométricos, da seguinte forma:

- Deteção do rosto: processo de identificar um objeto como um rosto e localizá-lo na imagem capturada;
- Reconhecimento do rosto: processo de decisão, por exemplo é um indivíduo conhecido ou desconhecidos, recorrendo-se a uma base de dados de imagens que contém o rosto, a fim de validar a deteção.

O recurso a um sistema de reconhecimento do rosto [7, 22] pode então ajudar na identificação natural das pessoas. Através da verificação das imagens do rosto capturadas em tempo real, em comparação com as gravadas na base de dados de imagens.

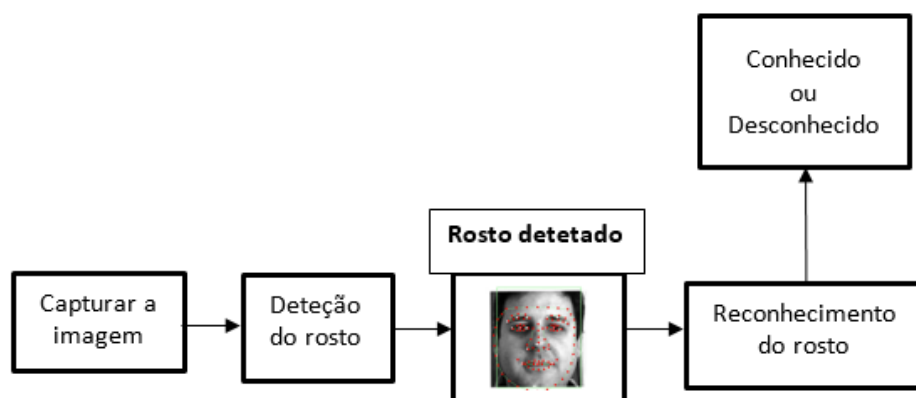


Figura 17 – Exemplo do conceito da detecção e reconhecimento do rosto

Para cada caso específico o sistema necessita de realizar as operações da análise e de tomada de decisão, o sistema de reconhecimento pode ter o objetivo de verificar a identificação de pessoas ou acontecimentos em tempo real, como por exemplo uma lista de presenças dos colaboradores de uma organização.

2.9 Caso de negócio

Uma vez introduzidas as variadíssimas formas de aplicações da biometria utilizadas num sistema biométrico, principalmente para reforçar o controlo de acessos ou para efetuar o controlo da assiduidade dos colaboradores [9]. No caso de estudo apresentado nesta dissertação é possível que o caso de negócio, funcione para ambas as situações mencionadas.

Contudo o objetivo principal é a identificação natural dos indivíduos em tempo real e alargado à dimensão que a detecção e reconhecimento em tempo real possam oferecer às infraestruturas tecnológicas das organizações e à sociedade.

2.9.1 Análise PEST

Passaremos à apresentação da análise PEST, que realizamos sobre o nosso caso de negócio do SIRnat.

2.9.1.1 Preocupações externas e internas

As preocupações externas incluem as exigências impostas pela lei e responsabilidade ética. Os regulamentos que podem afetar a biometria incluem as Diretivas Comunitárias, a Comissão Nacional de Proteção de Dados (CNPD) e a Legislação Portuguesa, que regulam sobre os aspetos relevantes a ter em conta na utilização de imagem, vídeo, dados pessoais, entre outros.

As tabelas 3 e 4 apresentam as análises PEST e SWOT, para uma melhor compreensão das preocupações externas e internas.

Tabela 3 - Análise PEST

Político-legal	Económico	Tecnológico	Social
Questões legais e regulamentos	A confiança das organizações	Aceitação da sociedade (privacidade e proteção)	Atitude de aceitação da sociedade quanto à privacidade e proteção
Base de dados legal	Exigências das seguradoras	Inovar e acompanhar as novas tecnologias	Impacto cultural, dos produtos
	Impacto nos impostos	Transmissão de dados	

2.9.2 Análise SWOT

Esta análise SWOT apresenta as forças, fraquezas e potenciais oportunidades e ameaças que podem combinar numa vantagem competitiva de uma empresa na área da tecnologia biométrica.

Tabela 4 - Análise SWOT

	Oportunidades	Ameaças
Ambiente Externo	Mercado vasto e com enorme potencial de crescimento (B2B e B2C); Expetativas do crescimento da tecnologia biométrica; Produto competitivo; Aplicação da lei na base de dados da organização;	Aceitação das pessoas; Período de validade da precisão das câmaras; Precisão dos dados; Número de produtos substitutos.
Ambiente Interno	Forças	Fraquezas
	Tecnologia inovadora, rápida, não intrusiva; Muito segura; Singularidade; Naturalidade e simplicidade da captura; Suporte e manutenção.	Atrasos nas transmissões e interferências naturais não controladas; Sujeito a tentativas de falsificação; Nova empresa, sem negócios e inexperiência em gestão; Sem clareza estratégia de posicionamento e definição clara do produto; Capital inicial limitado; Sem relações e referências no ramo.

2.9.3 Proposta de valor

- Proporcionar um sistema que cumpra todos os requisitos para o reconhecimento do rosto;
- Um sistema preparado com as funcionalidades de captura, registo na base de dados com as imagens do rosto, que permita a gestão e comparação das imagens;
- Independência e liberdade total no processo de recenseamento do rosto e na gestão da base de dados de imagens dos utilizadores;

- Personalizado para cada caso de implementação;
- O baixo custo.

2.9.3.1 A proposta para o plano de serviços

Na tabela 5 é apresentado uma proposta para o plano de serviços, organizada por itens do sistema e com dois tipos de propostas, a proposta base ou normal e a proposta pretendida.

Tabela 5-Proposta de plano de serviços

Itens	Proposta base/normal	Proposta pretendida
Algoritmo	1 Euro por cada 10 imagens	Ilimitado
Câmaras	A definir	A definir
Base de Dados	Comunicação interna	Comunicação externa
Número de BD	1	Múltiplas
Sistema	Controlo biométrico natural	Controlo biométrico natural
Precisão	Crucial	Não depende do utilizador
Capacidade	Até 1000	N/A

Os custos permanecem no estado indefinido, devido a variar com o tipo de sistema a implementar e em influência dos tipos e quantidades de equipamentos necessários.

2.9.4 Business Model Canvas

Após a abordagem dos principais pontos do plano estratégico, apresenta-se o Business Model Canvas, no sentido de sintetizar toda a informação.

Business Model Canvas Sistema de Reconhecimento e Registo Natural (SIRnat)				
Key Partners ISEP LAMU	Key Activities Desenvolvimento software Instalação/conf. hardware Teste de produto Manutenção Suporte a customização cliente	Value Propositions Reconhecimento e registo natural Aumento da assiduidade Eficácia administrativa e RH Cumprir as normas/legislação Aumento da produtividade Redução custos administrativos Interface amigável e fácil de usar	Customer Relationships Assistência personalizada Website portal Anúncios	Customer Segments Transportes públicos Aeroportos Hospitais Espaços públicos e particulares Edifícios públicos e privados Escolas Bancos Tribunais Estabelecimentos comerciais Outros
	Key Resources Investidores Programadores Computadores Câmaras Base de dados Vídeo e imagem		Channels Portal do produto Presença nas redes sociais Anúncios	
Cost Structure A definir.		Revenue Streams Unidades vendidas Patrocinadores Co-Marketing		

Figura 18 - Business Model Canvas

2.10 A monitorização biométrica por vídeo

A monitorização e a utilização biométrica por vídeo podem ser aplicadas em vastas situações, como o controlo das atividades públicas por parte das autoridades de segurança, na deteção de matrículas dos veículos, no controlo de fronteiras e aeroportos, entre muitos outros. Nos subcapítulos seguintes apresentamos alguns casos de exemplos da sua aplicação.

2.10.1 Os transportes públicos

Segundo o portal do metro de Londres²¹, as câmaras de CCTV e ANPR são utilizadas por cinco objetivos principais:

- Proteger a saúde e segurança dos colaboradores, clientes e membros do público;
- Prevenir e detetar o crime e comportamento antissocial;
- Monitorização do tráfego em tempo real;
- Aplicação de regras e regulamentos de tráfego (por exemplo, relativas a cruzamentos, regras de sinalização, semáforos e via de autocarros);
- Apoiar a gestão e operação das redes rodoviárias e ferroviárias.



Figura 19 - Câmara na Cidade de Westminster, Reino Unido²²

Utilizam o CCTV para monitorizar e capturar as imagens de ações que estão a decorrer em locais específicos em tempo real.

Estas câmaras executam a vigilância das estações de metro de Londres, caixas de multibanco, parques de estacionamento e comboios de Londres, para monitorizar todo o tráfego rodoviário.

²¹ Disponível em: bit.ly/1oeMf13 consultado a fev. 2016

²² Disponível em: bit.ly/1Q2mS9J consultado a fev. 2016

O sistema estende-se também às estradas concessionadas, aos autocarros de Londres, aos serviços de transporte de passageiros de barco no rio e edifícios da empresa.

Eles guardam as imagens gravadas em discos rígidos ou fita magnética, consoante o tipo de câmara. As câmaras podem estar a focar um alvo específico ou podem ser comandadas remotamente por operadores de CFTV.

Os funcionários que executam serviços no terreno, encontram-se equipados com uma câmara visível. O que permite captar gravações de áudio e imagens, apenas acionadas na ocorrência de incidentes que envolvam violência verbal ou física.

Algumas infraestruturas de CCTV são partilhadas com a polícia Londrina e autoridades locais, com o objetivo de controlar e prevenir a deteção de crimes e comportamentos anti sociais.

2.10.2 O reconhecimento de matrículas

O software de reconhecimento de matrículas permite reconhecer automaticamente os caracteres das matrículas de todos os veículos que passam por um ponto de controlo, nos parques de estacionamento, na identificação de carros roubados, nos pagamentos automáticos, na gestão de trânsito e entre outros. Por exemplo, depois de efetuar o reconhecimento, as matrículas são comparadas com as existentes nas listas autorizadas e não autorizadas. Caso a matrícula seja autorizada, é enviado um sinal para abertura da cancela do parque de estacionamento ou portão. Se não for autorizada, é ativado um alerta sonoro e aviso no sistema. Com uma solução deste género obtém-se o acesso mais rápido e automático das viaturas autorizadas, assim como um maior controlo.



Figura 20 - Deteção e reconhecimento de matrículas²³

2.10.3 Os aeroportos

Com o trágico atentado que ocorreu no dia 11 de setembro de 2001 nos Estados Unidos, os países concentraram as atenções na segurança nacional de forma a protegerem as suas fronteiras contra a entrada ilegal de pessoas e mercadorias.

Esta ação coloca as responsabilidades a quem realiza o controlo de bordo no aeroporto, de maneira a oferecer um ambiente seguro e confortável ao cidadão. O primeiro aeroporto a adotar o reconhecimento do rosto com a missão de controlar as fronteiras foi o Aeroporto Internacional de Orlando.

²³ Disponível em: <http://www.shbc.eu> consultado a fev. 2016

Este sistema biométrico é composto por um equipamento, ou quiosques para a realização do controlo automático de passaportes (Automated Passport Control-APC) à qual também inclui o reconhecimento da pessoa através do rosto. O sistema autentica a identidade dos passageiros, combinando os seus rostos com o registo biométrico presente no seu passaporte eletrónico.

Este sistema é propriedade da SITA²⁴, que é uma empresa especialista nas comunicações de transporte aéreo e tecnologia da informação.



Figura 21 - Reconhecimento no aeroporto²⁵

2.10.4 Os sistemas de controlo de assiduidade

Todas as organizações têm os seus métodos e tecnologias para efetuar o controlo das horas de entrada e de saída dos seus colaboradores. Algumas empresas recorrem à inserção manual numa base de dados, outras utilizam tecnologias do tipo relógio de ponto ou livro de ponto. A introdução da tecnologia biométrica, em termos do controlo da assiduidade é definitivamente uma boa solução.

Um sistema de controlo da assiduidade pode ser um sistema que automaticamente identifica determinado comportamento humano e atributo físico que é usado para identificar uma pessoa e armazenar estas características numa base de dados de forma a permitir realizar uma comparação. Com a aplicação deste tipo tecnologia biométrica no controlo de assiduidade, os utilizadores vêem-se livres, dos cartões de acesso, da memorização de códigos, das manutenções e custos fixos, de picar o ponto ou da introdução manual na base de dados. Permite aos colaboradores registar as horas de entrada e saída, através da exibição natural das suas caras e o sistema armazena automaticamente determinados atributos físicos para uma verificação simples e agradável.

Com todas estas funcionalidades e tecnologias inovadoras, os *softwares* biométricos de assiduidade são a forma mais recente e inteligente de controlar as horas de entrada e saída dos colaboradores de uma organização.

A tecnologia biométrica também aumenta a segurança do sistema, portanto pode ser usada nos principais setores públicos ou privados tais como hospitais, hotéis, restaurantes, centros comerciais e em setores que também pretendam segurança ou ser utilizada como um sistema de controlo de acessos.

Apresenta-se a título de demonstração, o caso de uma solução presente no mercado da empresa Idonic²⁶, que comercializa um relógio de ponto com o reconhecimento do rosto

²⁴ Disponível em: bit.ly/2OSXnBW consultado a fev. 2016

²⁵ Disponível em: <http://bit.ly/2dZFcg1> consultado a fev. 2016

multimodal, ou seja, que acrescenta a verificação de outra característica, neste caso a impressão digital. Também possui um sistema através do leitor de cartões por RFID, caso o utilizador pretenda alternar entre os dois sistemas, conforme a conveniência ou incorporar a dupla verificação, para maior segurança. Contém uma câmara de infravermelhos de alta definição, que permite a identificação do utilizador num ambiente com pouca iluminação. Um problema relacionado com este sistema biométrico, refere-se à interação do utilizador com o equipamento (figura 22) deste tipo, dada a extrema sensibilidade destes equipamentos no que respeita a rigoroso alinhamento a que têm que estar sujeitos para evitar falhas no processo de deteção e reconhecimento do rosto.



Figura 22 - Relógio de Ponto multibiométrico²⁷

2.10.5 As vias públicas

A cidade do Porto possui câmaras devidamente legais de videovigilância na via pública²⁸. Estas recolhem e armazenam as imagens 24 horas por dia, assim como em Lisboa, ambas as cidades visam a necessidade de controlar e monitorizar as atividades das zonas mais frequentadas na cidade quer pelos turistas quer pelos habitantes e coordenar eficazmente as intervenções com a polícia de segurança pública e bombeiros.

Este tipo de sistema de videovigilância nas vias públicas com a integração da biometria, facilitaria a identificação de criminosos, proporciona mais eficácia às autoridades e segurança aos cidadãos.



Figura 23 - Câmaras instaladas nas ruas da Cidade do Porto²⁸

²⁶ Disponível em: <http://goo.gl/q8k3ES> consultado a fev. 2016

²⁷ Disponível em: bit.ly/1R225oT consultado a fev. 2016

²⁸ Disponível em: <http://goo.gl/8M084T> consultado a fev. 2016

2.11 As tecnologias de monitorização biométrica por vídeo

Os amplos usos da deteção e do reconhecimento do rosto por vídeo e por imagem têm conquistado o terreno tecnológico, envolvendo as famílias nas aplicações, jogos e Websites, com enorme potencial para tornar a vida mais fácil para todos nós.

A tecnologia de reconhecimento do rosto possui uma autêntica capacidade para ajudar as pessoas, quer em sistemas de segurança ou de lazer.

Em seguida demonstram-se algumas das utilidades que a deteção e o reconhecimento tem disponibilizado à sociedade e como está a mudar a forma como usamos e interagimos com a tecnologia²⁹.

2.11.1 Hitachi Kokusai Electric

Segundo a *Digital Consume Magazine*³⁰, a Hitachi desenvolveu um sistema de monitorização que faz o reconhecimento, num sistema com 36 milhões de rostos apenas num segundo. Este sistema avançado de CCTV, consiste num conjunto constituído por *software* e *hardware* especialmente concebido para as empresas que operam com o controlo de multidões. É um sistema de reconhecimento em tempo real, extremamente rápido e muito flexível, pois faz o processamento das imagens estáticas e em movimento, permite identificar uma pessoa num segundo. E assim que reconhece as pessoas, desenha um quadrado sobre o rosto das mesmas, o que facilita a deteção da pessoa e a sua localização. O sistema funciona em tempo real, o que permite saber a localização de qualquer pessoa num espaço, como um estádio de futebol, centro comercial, casino ou mesmo na rua.



Figura 24 - Sistema de deteção da Hitachi³⁰

2.11.2 Lenovo

Os portáteis da marca Lenovo vêm apetrechados com uma pré-instalação de um *software* que faz o reconhecimento do rosto chamado VeriFace³¹. Este analisa as características singulares do rosto de um utilizador com o recurso da câmara integrada que o portátil traz equipado, para autenticar os utilizadores no sistema operativo do Windows. Com o recurso desta técnica a

²⁹ Disponível em: <http://bit.ly/1d54Jer> consultado a fev. 2016

³⁰ Disponível em: <http://goo.gl/k8tdL7> consultado a fev. 2016

³¹ Disponível em: <https://goo.gl/7CzYcg> consultado a fev. 2016

segurança aplicada pelo VeriFace é muito robusta, fiável e sem acontecer o esquecimento da *password*. O VeriFace pode ser desativado através de uma opção na sua configuração.



Figura 25 - Pontos de medida do rosto³²

2.11.3 Software Livre de deteção do rosto

O *Facetedect*³³ é um utilitário por linha de comandos do Python e usa a biblioteca de código aberto OpenCV³⁴, para reconhecer numa fotografia digital as regiões que correspondem aos rostos das pessoas, é usado como ferramenta nas galerias de imagens, para melhorar a região de recorte nas miniaturas das imagens, de modo a que os rostos estejam sempre centrados. O *facetedect* encontra-se disponível apenas para os utilizadores das distribuições Ubuntu e Debian do Linux. O *facetedect* necessita ter instalado a biblioteca OpenCV e o Python que é a interface que comunica com o OpenCV a partir dos seus scripts.

2.11.4 Identificação das pessoas nas redes sociais

O recurso da etiqueta automática (*tag*) é uma funcionalidade disponibilizada no Facebook, que usa o reconhecimento do rosto para sugerir o nome das pessoas que poderemos desejar marcar nas fotografias visualizadas. Permite notificar as pessoas sobre os conteúdos em que estão presentes. Esta funcionalidade pode ser vista como uma invasão da privacidade e assustador ou uma ferramenta útil. O reconhecimento do rosto numa aplicação como o Facebook, pelo recurso desta etiqueta ou *tag* nas fotografias certamente é mais eficaz e eficiente para os seus utilizadores. Este tipo de funcionalidade está atualmente disponível no iPhoto, da Apple, no Picasa do Google e no Facebook.



Figura 26 - Identificação no Facebook³⁵

³² Disponível em: <http://lnv.gv/2eenPRZ> consultado a fev. 2016

³³ Disponível em: <http://goo.gl/5bGn1W> consultado a fev. 2016

³⁴ Disponível em: <http://opencv.org/> consultado a fev. 2016

³⁵ Disponível em: <on.fb.me/1O8TqfT> consultado a fev. 2016

2.11.5 Os jogos

A imagem e o reconhecimento do rosto estão a proporcionar uma nova dimensão à área dos jogos. A capacidade avançada de deteção da Microsoft Kinect, tem oferecido à Xbox 360 novos rumos na vida desta consola de jogos, pois os seus jogadores poderão mesmo acabar por deixar de usar os comandos para interagir com o seu jogo.

Entretanto uma *startup* chamada Viewdle³⁶, especializada na análise visual, aplicou o reconhecimento do rosto nos jogos móveis. Desenvolveu um jogo que usa o reconhecimento do rosto para decidir se o jogador é humano ou vampiro, preparando o cenário para uma batalha entre as duas espécies. Se na atualidade a indústria dos jogos utiliza a tecnologia biométrica de deteção e reconhecimento do rosto, então o futuro será bastante promissor para os jogos, devido às possibilidades e potenciais que a visão por computador tem para oferecer.

2.11.6 Faceless

O objetivo da aplicação Faceless³⁷, é que um utilizador fotografe as crianças com carências económicas e que se encontram a viver na rua. Ao apoiar estas crianças com dinheiro ou alimentos, solicitam-lhes em troca a sua fotografia. Então através desta aplicação é enviado automaticamente as fotografias para um servidor, que utiliza algoritmos de reconhecimento para tentar a combinar essas fotos recolhidas, pelos rostos das crianças que estão perdidas e encontram-se nesta base de dados. Qualquer resultado positivo é partilhado e validado com a ONG, que por sua vez ajudam a estas crianças.

2.11.7 Autenticação no twitter e facebook pelo rosto e voz

Como parte de um projeto Europeu chamado MoBio³⁸(biometria móvel), uma equipa de Manchester desenvolveu uma aplicação de demonstração que pode autenticar o utilizador no Gmail, Twitter e Facebook usando apenas o rosto e reconhecimento de voz. Este projeto obteve uma série de empresas bem conhecidas no espaço móvel e que demonstraram muito interesse em usar a tecnologia.

2.12 A tecnologia e métodos

O interesse e a atenção do mercado têm vindo aumentar mais recentemente para a implementação³⁹ de aplicações de deteção e reconhecimento de objetos e de indivíduos. Dado o aumento da robustez das tecnologias atuais, entre muitos outros sistemas, há um maior desenvolvimento na segurança, robótica e na multimédia.

³⁶ Disponível em: bit.ly/1mzzQDd consultado a fev. 2016

³⁷ Disponível em: bit.ly/1nZVq1i consultado a fev. 2016

³⁸ Disponível em: bit.ly/1SoXHUn consultado a fev. 2016

³⁹ Disponível em: <http://bit.ly/1Cmy4H9> consultado a fev. 2016

A detecção do rosto possibilita localizar uma ou mais particularidades correspondentes ao rosto da pessoa, incluídas num vídeo ou imagem. Opostamente o reconhecimento do rosto permite estabelecer um classificador único, por exemplo entre dois ou mais traços independentes que correspondem ao rosto do mesmo indivíduo [10].

De acordo com os autores destes trabalhos os desafios, tanto em relação à detecção humana como à detecção do rosto, são em consideração ao ambiente de captura das imagens, pois muitas das vezes a complexidade do ambiente dificulta a ação da detecção devido a aspetos como, entre outros, a iluminação, planos envolventes, cor da pele e expressões do rosto.

2.12.1 A visão por computador

A visão por computador recebe os dados obtidos por uma câmara fotográfica ou de vídeo, realiza o tratamento desses dados, para o computador conseguir interpretar. Existindo desta forma uma nova representação dos dados, na qual poderá representar a reprodução da realidade.

A visão por computador implementa métodos estatísticos que fazem a separação dos dados, suportados por modelos construídos para esse efeito e é auxiliada pelas áreas da geometria, física e a teoria da aprendizagem. Na atualidade o que é realmente procurado é que os computadores vejam como pessoas.

Existem empresas que desenvolvem novos sensores, permitindo que as câmaras funcionem de forma semelhante aos olhos humanos e obviamente que o resultado será o início de um mercado milionário.

A visão humana caracteriza-se principalmente pela capacidade de reduzir a quantidade de dados a um mínimo, exemplo disso é um carro aproximar-se numa estrada, onde a rua torna-se um mero pano de fundo e o que nos interessa mesmo não é o que se aproxima de nós, mas apenas onde está o carro. O objetivo é que a câmara reconheça a posição dos objetos sempre em tempo real.

Para tal existe a necessidade de registar apenas as alterações no campo da visão, impedindo a redundância de todas as áreas que permanecem inalteradas.

Por exemplo a utilização de um sensor poderia ser útil para muitas aplicações modernas, do modo semelhante ao Google Glass, o utilizador poderia usar os óculos inteligentes e, com eles, perceber o ambiente de uma forma mais intensa, devido ao recurso dos objetos virtuais como por exemplo a apresentação de descrições.

2.12.2 O reconhecimento de imagem

As câmaras podem ser os olhos de um sistema e há um enorme potencial para o desenvolvimento. Nenhum sistema na atualidade é capaz visualmente de reconhecer pessoas como nós, os seres humanos podem, graças aos seus olhos.

A principal razão deve-se à falta de eficiência das câmaras convencionais recolhem grandes quantidades de dados, e que exigem uma grande quantidade de poder computacional para analisar os mesmos. Contudo as câmaras têm a capacidade de detetar continuamente as posições dos objetos em tempo real.

Um algoritmo de reconhecimento localiza os pontos [22] de cada imagem. Isso funciona, mas é relativamente pesado. Porque sempre que todas as imagens são processadas, e embora apenas a posição do ponto de interesse, são geradas grandes quantidades de dados redundantes. Todos estes dados têm que passar pelo algoritmo de reconhecimento, que requer tempo, consumo de energia e processamento.

Após este contexto, é apresentado na figura 27 através de um esquema [2] o processo do reconhecimento de um rosto humano por imagem, para uma melhor compreensão do funcionamento.

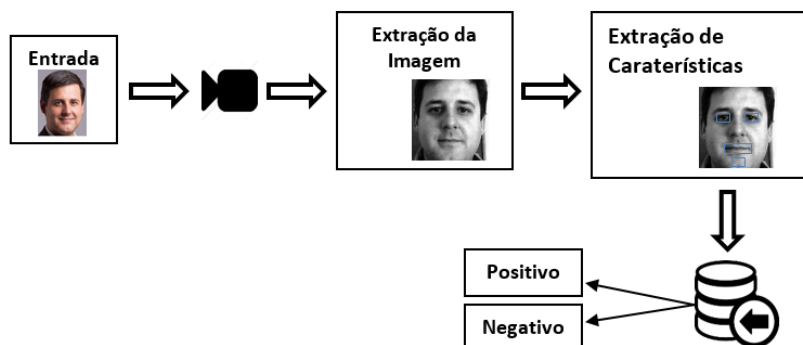


Figura 27 - Extração das características da imagem e reconhecimento

2.12.3 Evitar redundâncias

A visão humana é caracterizada por limitar a quantidade de dados para o que é relevante. Para este efeito, a seleção tem lugar na retina. O cérebro procura a acumulação de dados desnecessários para prevenir e processar apenas a informação necessária, assim a detecção do objeto é inicialmente negligenciada. Habitualmente o ser humano não concentra a visão no que se movimenta ao seu redor, mas sim onde está determinado objeto ou pessoa.

Esta diferença faz com que o ser humano possa reagir com a rapidez desejada no seu ambiente natural.

A título de exemplo o olho pode ser imitado por sensores com um conjunto de algoritmos de introspeção. Quanto às câmaras são pelo menos tão funcionais como o olho humano, mas ineficientes quando ocorrem movimentos rápidos das pessoas e provocando falhas a um processo de identificação.

2.12.4 Diferentes abordagens do reconhecimento do rosto

Os algoritmos de reconhecimento podem ser divididos por duas principais abordagens:

- A geométrica, que analisa as diferentes características (algoritmos: SIFT e SURF) [22];
- A fotometria, que é uma abordagem estatística que retira os valores da imagem e compara estes valores com os modelos [2, 22] (*template*) para eliminar as variações (algoritmos: Eigenfaces (PCA), Fisherfaces (LDA), LBPH, Haar ou Viola-Jones).

Os algoritmos mais conhecidos no reconhecimento do rosto são:

- Análise de Componentes Principais (PCA) [5, 11, 17] usando o algoritmo *eigenfaces* [4, 5];
- Análise Discriminante Linear (LDA) [4, 8, 11];
- *Elastic Bunch Graph Matching*⁴⁰, que aplica o algoritmo *fisherface* [4];
- O modelo [4] de Markov⁴¹;
- O modelo de rede neural, com ajuda da técnica da estimativa estatística ou correspondência de ligação dinâmica⁴².

2.12.5 Métodos e técnicas de detecção

Conforme verificamos anteriormente existem muitos fatores que podem influenciar o reconhecimento, como por exemplo, a utilização de disfarces, as expressões, as condições da iluminação, a distância e a posição da câmara.

Assim sendo este tipo de identificação biométrica está comprometido por situações naturais, como no caso do uso de uma fotografia, óculos ou um chapéu e mais complicados com o recurso a máscaras [12].

De seguida serão apresentadas quatro soluções, devido a merecerem o destaque pela sua utilização e por já existirem estudos: PCA (*Principal Component Analysis*) [15], LDA (*Linear Discriminant Analysis*) [15], LBPH (*Local Binary Pattern Histogram*) [14, 15, 16] e Haar [4, 18] ou Viola Jones, que passamos a descrever de seguida.

No caso do reconhecimento do rosto com pequenos números de imagens, a escolha dos modelos PCA e LDA poderá ser a escolha menos correta.

Estas duas abordagens funcionam mais eficientemente com grandes amostras de imagens, necessita de muitos dados para um bom funcionamento, porque baseiam-se na avaliação das variâncias dos dados. Portanto quantas mais imagens, mais robusto fica o modelo. Um exame com bastante detalhe aos métodos PCA (*Eigenfaces*) e LDA (*Fisherfaces*) [11] com conjuntos de dados muito pequenos, poderá ser observado no seguinte artigo [11].

Foi produzida a comparação dos dois métodos utilizando a *Facedatabase* como a base de dados de imagem e o *Facerec* como *framework*, sendo reproduzido o desempenho destes métodos com um número muito flexível de imagens por pessoa, ver a figura 28.

⁴⁰ Disponível em: bit.ly/1LxBgEW consultado a fev. 2016

⁴¹ Disponível em: bit.ly/1SFhC1o consultado a fev. 2016

⁴² Disponível em: bit.ly/1LxBgEW consultado a fev. 2016

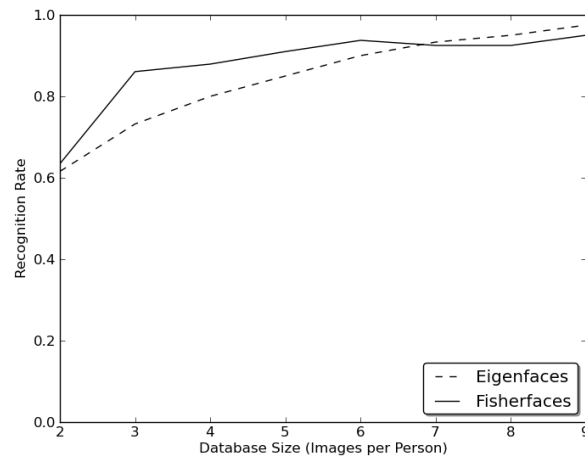


Figura 28 - Eficácia dos métodos por número de imagens⁴³

2.12.6 O eigenfaces (PCA)

O *Eigenfaces* foi desenvolvido por Sirovich e Kirby [13] e foi considerado o primeiro exemplo de sucesso da tecnologia do reconhecimento de rostos humanos.

O *Eigenfaces* apresenta melhores resultados comparativamente com os outros métodos, o *Fisherfaces* e o PBPH, nomeadamente na velocidade e na eficiência do sistema. Este método é mais rápido e tem uma capacidade funcional que permite trabalhar com múltiplos rostos num curto espaço de tempo.

Esta técnica demonstra uma capacidade bastante intuitiva na classificação do reconhecimento, resumindo-se à extração e codificação de toda a informação da imagem e a seguir procede à leitura da imagem contida na base de dados para realizar a comparação.

A transformada de Fourier [13], normalmente utilizada nas aplicações relacionadas com o processamento de sinais, é aplicada à imagem através de uma função capaz de realizar a decomposição em várias funções, com diferentes frequências e parâmetros muito bem distintos, por exemplo amplitude e frequência, ver na figura 29.

De modo equivalente, cada imagem é separada num conjunto de elementos ou vetores exclusivos numa matriz simétrica (matriz de covariância), delimitada pelo conjunto de rostos presentes no modelo e representados significativamente através de uma combinação linear.

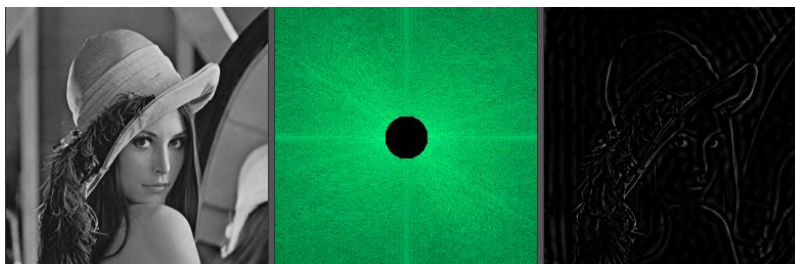


Figura 29 - Transformada de Fourier⁴⁴

⁴³ Disponível em: <http://bit.ly/2cn0v1e> consultado a fev. 2016

⁴⁴ Disponível em: <http://bit.ly/2dbRYEt> consultado a fev. 2016

2.12.7 O fisherfaces (LDA)

Este método é utilizado na análise do rosto humano, com base na análise discriminante linear de Fisher (FLD), também conhecida pela análise de discriminantes linear (ADL). Foi desenvolvido por R. A. Fisher, no âmbito do reconhecimento de pessoas e objetos.

O método baseia-se em combinações lineares das variáveis independentes e atribui uma pontuação ao objeto observado, obtendo a probabilidade daquele objeto pertencer a um grupo. Desta forma o conjunto de imagens presente na base de dados, é agrupado através de várias classes, onde cada uma representa a identidade de uma pessoa, permitindo que o reconhecimento possa ser executado de modo a determinar a que classe pertence uma determinada pessoa desconhecida.

O método procura modelar a dispersão dos pontos, tendo como objetivo a maior fiabilidade da classificação. A análise de discriminantes linear procura aprimorar a linha através de uma superfície que separa adequadamente as classes [14].

Quando o algoritmo é executado, fornece as matrizes da dispersão entre as classes, dando-se o nome de interclasse [2] e quando está dentro das classes dá-se o nome de intraclasse. A projeção é realizada aumentando a dispersão interclasse e diminuindo a intraclasse [2], baseado na razão entre os determinantes de ambas as matrizes, por isso divergindo da análise de componentes principais (PCA), que aumenta a propagação e a dispersão dos modelos no espaço de características, independente da classe a que pertencem [15].

2.12.8 O padrão binário local do histograma (LBPH)

Este método é usado para extrair as características universais [14]. Dada a sua capacidade e naturalidade computacional, levou a que este operador de texturas esteja a ser usado nas aplicações, maioritariamente como classificador das características humanas [16].

O LBPH perante o problema de reconhecimento do rosto e, ao contrário dos algoritmos mencionados anteriormente, organiza as imagens do rosto numa composição de padrões [24]. Neste método cada pixel da imagem é substituído por um valor binário. Este valor é determinado pela comparação de uma matriz quadrada, que contém os pixels vizinhos, onde cada vizinho é comparado com o valor central. As imagens do rosto podem ser visualizadas como uma estrutura composta por pequenas zonas, que são bem expostas pelo LBPH⁴⁵. Assim como os pixels que compõem a imagem são substituídos por um valor binário. O valor binário é o resultado da comparação realizada pela matriz quadrada que contém os pixels próximos. Todos os pixels próximos são comparados individualmente com o valor de referência ou central. Os valores obtidos para cada pixel próximo são concatenados e o número binário gerado é convertido na base decimal para substituir o valor central.

Neste processo por cada pixel, multiplicam-se os valores próximos por uma máscara de pesos e que somado obtém-se o resultado, um número binário. Depois com o resultado em binário de todos os pixels, faz o cálculo do histograma [4, 7, 10, 14, 15, 17, 18] que irá ser utilizado como descritor. Todavia o tamanho e o formato dos valores próximos podem variar.

⁴⁵ Disponível em: bit.ly/20M83x3 consultado a fev. 2016

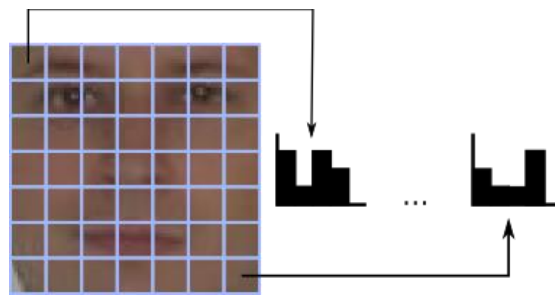


Figura 30 – Concatenação do histograma⁴⁶

A imagem criada é distribuída em zonas e são retirados isoladamente os descritores PBLH de cada zona. No entanto poderá ser necessário recorrer à aplicação de outras formas, com sobreposição ou sem sobreposição. A seguir retira de cada zona e separadamente os descritores de textura, e calcula o histograma da intensidade dos pixéis. Os descritores serão posteriormente concatenados de forma a apresentar um descritor geral da imagem. Para a verificação das semelhanças entre as diferentes imagens, procede-se ao cálculo utilizando a distância euclidiana entre os diferentes descritores.

2.12.9 O algoritmo Haar ou Viola Jones

A transformada de Haar⁴⁷ é um padrão na deteção de objetos como o rosto humano em tempo real. A técnica foi desenvolvida no ano de 2001 por Paul Viola e Michael Jones, por isso chamada por deteção Viola Jones⁴⁸, mas porque usa as características Haar é também chamado por deteção Haar.

Contudo a implementação na biblioteca OpenCV, dá o nome ao método *cvHaarDetectObjects()* ou *CascadeClassifier::detectMultiScale()*. De facto, a deteção Haar é relevante por possuir duas técnicas bastante vantajosas. Uma técnica é conhecida como a imagens integrais⁴⁹, por aumentar a velocidade da avaliação da característica.

A outra técnica chama-se AdaBoost⁵⁰, que reduz o número das características que necessitam ser testadas.

Como pode ser consultado através da pesquisa realizada⁵¹, podemos visualizar numa breve demonstração o funcionamento da deteção Haar, onde é ilustrado através de um vídeo como a árvore de decisão que contém o classificador, permite avaliar em escalas diferentes a imagem para detetar o objeto.

O objeto detetado depende unicamente da árvore de decisão, esta por sua vez depende das imagens registadas na base de dados de imagens, faz a comparação da amostra e retornando um resultado positivo ou negativo, conforme podemos ver na figura 31.

⁴⁶ Disponível em: bit.ly/1TsnKsv consultado a fev. 2016

⁴⁷ Disponível em: bit.ly/24i2Y3W consultado a fev. 2016

⁴⁸ Disponível em: bit.ly/1SI20Ko consultado a fev. 2016

⁴⁹ Disponível em: bit.ly/1UeKo8F consultado a fev. 2016

⁵⁰ Disponível em: bit.ly/1QrsJV4 consultado a fev. 2016

⁵¹ Disponível em: bit.ly/1GhJO3A consultado a fev. 2016



Figura 31 – Detecção Haar⁵²

O algoritmo Viola Jones, apresenta melhor desempenho que o esquema utilizado pelo algoritmo *Eigenfaces* na deteção do rosto. O esquema aplicado no *Eigenfaces* tem mais complexidade e maior consumo de tempo, que são superados na abordagem usada no Viola Jones. O algoritmo Viola Jones possui a funcionalidade para a deteção das características do rosto, tais como: os olhos, o nariz e a boca, visualizado na figura 31. Em suma é mais preciso e pode ser utilizado em diversas aplicações.

2.12.10 Algoritmos de deteção e reconhecimento na visão móvel

O aumento do reconhecimento de imagem e objetos é um fenómeno nos dispositivos móveis, muito derivado às melhorias introduzidas no *hardware* dos equipamentos.

O reconhecimento de imagem quer seja adquirida por via da câmara dos dispositivos móveis ou por vídeo de uma outra câmara, requer uma capacidade matemática e computacional muito exigente. Inicialmente este facto impôs algum limite na disponibilização das aplicações, em especial nas disponíveis no mercado móvel ao utilizador final.

Hoje em dia, o progresso no desenvolvimento de aplicações móveis está a aumentar, acompanhado com o suporte para várias plataformas. Anteriormente o desenvolvimento das aplicações deste tipo, foram feitas quase exclusivamente nas linguagens de baixo nível, como *Assembly* e C. Atualmente, é possível a utilização das linguagens de alto nível como Java e C#, o percurso estabelecido neste raciocínio baseia-se no conceito dos recursos locais e com a evolução dos algoritmos, na velocidade das transmissões dos dados, protocolos de rede de dados, entre muitas outras tecnologias.

Contudo e focando os recursos locais que um dispositivo móvel dispõe, são pontos relevantes na imagem da visão móvel, que podem ser encontrados de forma confiável sob diferentes condições de visualização (escala, rotação e câmara) e na localização de objetos (acelerómetro e bússola magnética). Sem a necessidade de recorrer a marcadores e a nenhuma informação GPS para efetuar o reconhecimento de objetos e de visualização. A

⁵² Disponível em: <http://bit.ly/2cWp0TC> consultado a fev. 2016

maior parte dos algoritmos mais populares e mais frequentemente usados nos sistemas móveis, consistem em quatro passos [7] (ver na figura 32).

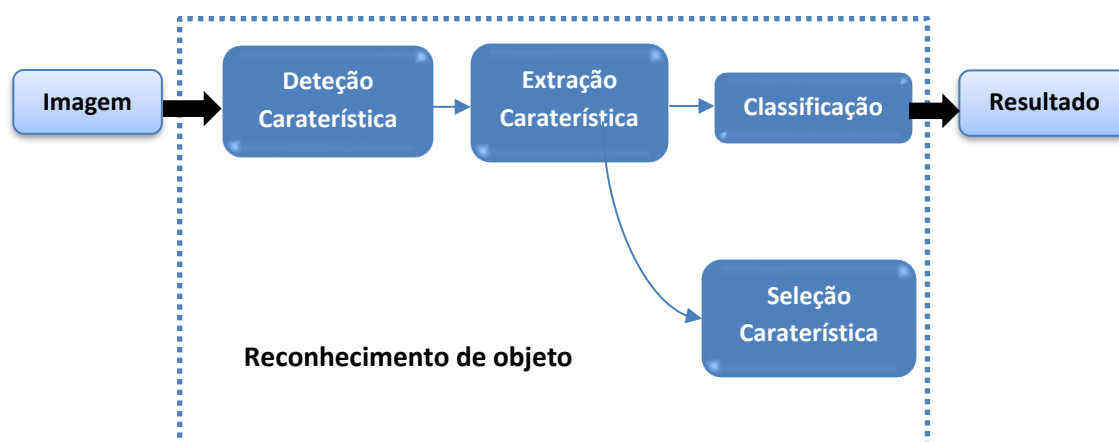


Figura 32 - Os principais passos no reconhecimento de objetos

O recurso de detecção consiste na execução de um algoritmo de detecção com o objetivo de encontrar os pontos mais importantes nas imagens. A extração é um recurso que funciona com as características detetadas, de modo a que possam ser comparados e analisados.

A seleção de recursos é uma etapa opcional, mas pode incluir a redução da dimensionalidade ou de alguns critérios de rejeição, baseada na teoria da informação para fazer com que a quantidade de dados seja melhor gerida.

A classificação compara os recursos extraídos de uma base de dados, de recursos já conhecidos para encontrar os melhores parceiros e verificar a geometria para produzir resultados.

Estes dois métodos são os mais importantes para a detecção com o recurso da extração dos algoritmos SIFT e SURF. Seguidamente serão mostradas implementações destes dois algoritmos.

2.12.11 Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)

Scale-Invariant Feature Transform (SIFT), este algoritmo permite a detecção e descrição das características das imagens locais, invariante da escala e da rotação.

Consiste no processo de diferença gaussianas, detecção extrema, pontos principais ou chaves (keypoint), localização e escala.

2.12.11.1 A Implementação SIFT

Como a documentação do OpenCV descreve, a implementação do SIFT começa com a detecção do ponto chave. Inicia com a construção do objeto SIFT. A função `sift.detect()`, responsável por encontrar os pontos chave nas imagens, ver na figura 33. A máscara pode ser aplicada se o objetivo for procurar apenas uma parte da imagem. Cada ponto principal é uma estrutura especial que tem muitos atributos, como as coordenadas (x, y).

```

import cv2
import numpy as np
img = cv2.imread('home.jpg')
gray= cv2.cvtColor(img,cv2.COLOR_BGR2GRAY)
sift = cv2.SIFT()
kp = sift.detect(gray,None)
img=cv2.drawKeypoints(gray,kp)
cv2.imwrite('sift_keypoints.jpg',img)

```

Figura 33 – Construir o objeto SIFT⁵³

A função `cv2.drawKeypoints()`, é fornecida para desenhar pequenos círculos nos locais dos pontos principais, ver a figura 34. Com esta função é possível desenhar um círculo com tamanho e orientações do ponto principal, ver a figura 34 e o resultado na figura 35.

```

img=cv2.drawKeypoints(gray,kp,flags=cv2.DRAW_MATCHES_FLAGS_DRAW_RICH_KEYPOINTS)
cv2.imwrite('sift_keypoints.jpg',img)

```

Figura 34 – Desenhar círculos nos pontos principais⁴⁷



Figura 35 – SIFT, resultados da implementação⁵⁴

Assim que os pontos principais estejam criados, a função `SIFT.compute()` tem que ser chamada. Esta função irá ser responsável por calcular os descritores dos pontos principais que foram criados. Se todos os pontos principais forem criados, há a possibilidade de encontrar diretamente os pontos principais e os descritores numa etapa única através da função `SIFT.detectAndCompute()`.

```

Sift = cv2.SIFT()
kp, des = sift.detectAndCompute(gray,None)

```

Figura 36 – Encontrar os pontos principais e descritores com o SIFT⁵⁵

⁵³ Disponível em: <http://bit.ly/2ehmBca> consultado a fev. 2016

⁵⁴ Disponível em: <http://bit.ly/2ehmBca> consultado a jan. 2016

⁵⁵ Disponível em: <http://bit.ly/2ehmBca> consultado a jan. 2016

2.12.12 Speeded Up Robust Features(SURF)

Speeded Up Robust Features (SURF), é um detetor de recurso de imagem e descritor. O algoritmo tem objetivo de filtrar o desempenho, mas é mais rápido e eficiente nos cálculos. Contudo muitos dos passos do SIFT e do SURF são semelhantes.

O SURF é comparativamente mais rápido para a detecção do ponto-chave e descrição, por esta razão é uma versão melhorada do SIFT.

2.12.12.1 A implementação SURF

Como acontece no SIFT, existe a necessidade de criar um objeto. Neste caso, é usada a função SURF.detect() e SURF.compute() para encontrar os pontos principais e descritores.

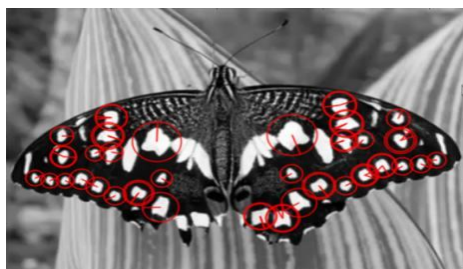


Figura 37 – Utilização da função SURF.detect() e SURF.compute()⁵⁶

No caso do número dos pontos principais ser enorme, há uma maneira de os reduzir para cerca de 50 pontos e desenhar-lhos, pela correspondência e comparação das imagens, sendo necessário os pontos principais, ver na figura 38.

```
>>> print surf.hessianThreshold
400.0
# We set it to some 50000. Remember, it is just for representing in picture.
>>> surf.hessianThreshold = 50000
# Again compute keypoints and check its number.
>>> kp, des = surf.detectAndCompute(img, None)
>>> print len(kp)
47
```

Figura 38 – O aumento limiar Hessian⁴⁸

Existe a possibilidade de desenhar cada ponto principal encontrado.

```
>>> img2 = cv2.drawKeypoints(img, kp, None, (255, 0, 0), 4)
>>> plt.imshow(img2), plt.show()
```

Figura 39 – Desenhar os pontos principais encontrados⁴⁸

O método U-SURF pode ser aplicado, de modo que não irá encontrar a orientação (figura 40).

⁵⁶ Disponível em: <http://bit.ly/2di3Xwr> consultado a fev. 2016

```

# Check upright flag, if it False, set it to True
>>> print surf.upright
False
>>> surf.upright = True
# Recompute the feature points and draw it
>>> kp = surf.detect(img,None)
>>> img2 = cv2.drawKeypoints(img,kp,None,(255,0,0),4)
>>> plt.imshow(img2),plt.show()

```

Figura 40 – Utilização do U-SURF⁴⁸

Com este método todas as orientações (ver linha no interior do círculo vermelho) são apresentadas na mesma direção, tornando mais rápido do que método SIFT. O SURF também é mais rápido que o SIFT, se a orientação não for um problema na imagem analisada, ver a figura 41.



Figura 41 – SURF resultados da implementação⁵⁷

Finalmente, podemos verificar a função “*surf.extended*” que é do tipo booleano e alterar o valor para verdadeiro (*true*) para obtermos “128-dim” descritores na imagem, caso o valor seja falso (*false*) a imagem será analisada através de “64-dim” descritores, ver a figura 42.

```

# Find size of descriptor
>>> print surf.descriptorSize()
64
# That means flag, “extended” is False.
>>> surf.extended
False
# So we make it to True to get 128-dim descriptors.
>>> surf.extended = True
>>> kp, des = surf.detectAndCompute(img,None)
>>> print surf.descriptorSize()
128
>>> print des.shape

```

Figura 42 – Alterar o tamanho do descritor para 128-dim⁴⁸

Conforme foi demonstrado esta é a maneira simples para implementar as funcionalidades do SURF com a biblioteca do OpenCV.

2.13 Serviços e *software* de desenvolvimento

⁵⁷ Disponível em: <http://bit.ly/2di3Xwr> consultado a fev. 2016

Com o objetivo de promover e acelerar o processo de desenvolvimento, as interfaces de programação de aplicações (API), e Kit de desenvolvimento de *software* (SDK) e as bibliotecas, fornecem recursos para que o desenvolvedor possa implementar as suas aplicações da forma mais eficiente possível.

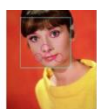
Na área da visão por computador existem SDK e API disponíveis que facultam um conjunto de tecnologias. No entanto existem SDK e API que podem oferecer os melhores recursos e funcionalidades para a criação de um sistema biométrico para o reconhecimento de imagens.

Estas tecnologias são conquistas consolidadas e prontas a serem exploradas.

De seguida apresentam-se algumas API's e SDK⁵⁸.

- Face Recognition⁵⁹ - Esta API fornece a deteção do rosto e reconhecimento, a posição dos olhos, a posição do nariz, a posição boca, e classificação de género da pessoa através de uma imagem que seja enviada para esta API para o processamento da deteção e reconhecimento do rosto da pessoa;

Exemplo de deteção:



```
JSON Results
[
  {
    "status": "success",
    "message": " ",
    "results": [
      {
        "x": 10,
        "y": 10,
        "width": 100,
        "height": 100
      }
    ]
  }
]
```

Figura 43 - Exemplo de deteção⁵⁰

Exemplo de reconhecimento:



```
JSON Results
[
  {
    "status": "success",
    "message": " ",
    "results": [
      {
        "x": 10,
        "y": 10,
        "width": 100,
        "height": 100
      }
    ]
  }
]
```

Figura 44 - Exemplo de reconhecimento⁵⁰

- Animetrics Face Recognition⁶⁰ - A API de reconhecimento do rosto Animetrics pode ser usada para detetar rostos humanos em imagens. As informações sobre as características ou pontos de referência são devolvidos como coordenadas sobre a imagem e também irá detetar e retornar a orientação, ou pose do rosto ao longo de 3 eixos; «

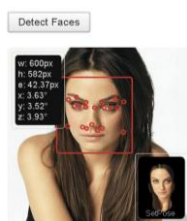


Figura 45 – Deteção do rosto por imagem⁶⁰

- OpenCV Face Recognizer⁶¹ - OpenCV (Open Source Computer Vision Library): é uma biblioteca de licença BSD de código aberto que inclui várias centenas de algoritmos de visão por computador;

⁵⁸ Disponível em: <https://goo.gl/Bovrdc> consultado a fev. 2016

⁵⁹ Disponível em: <http://bit.ly/2dw4mgd> consultado a fev. 2016

⁶⁰ Disponível em: <http://bit.ly/2eoWpbC> consultado a fev. 2016

⁶¹ Disponível em: <http://goo.gl/PYO6mu> consultado a fev. 2016

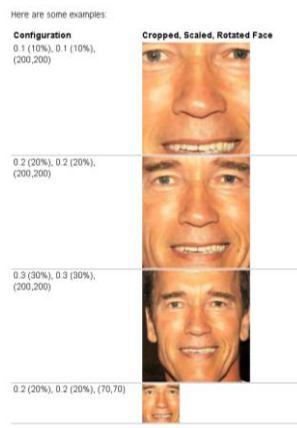


Figura 46 – Exemplo Fisherfaces no OpenCV⁵²

- *Computer Vision Source Code*⁶² - é uma coleção de código para o processamento de imagens;

Tabela 6 – Exemplo de tempos de computação entre diferentes tipos de imagens⁶³

Image	Image Size	Rate (bpp)	Computations Times (sec)	
			REWIC	RECON
#3	512x512	0.015625	1.3	1.5
		0.03125	1.3	1.7
		0.0625	1.3	1.9
		0.125	1.3	1.9
		0.25	1.3	1.9
		0.5	1.4	2.0
#24	512x512	0.015625	1.2	1.5
		0.03125	1.2	0.6
		0.0625	1.2	1.8
		0.125	1.3	1.8
		0.25	1.3	1.8
		0.5	1.3	1.9
#65	512x512	0.015625	1.1	1.3
		0.03125	1.1	1.5
		0.0625	1.1	1.7
		0.125	1.2	1.7
		0.25	1.2	1.7
		0.5	1.2	1.8

- Face SDK⁶⁴- Permite o reconhecimento do rosto e funcionalidade de identificação biométrica com base no rosto humano;

⁶² Disponível em: <http://goo.gl/APf4kU> consultado a fev. 2016

⁶³ Disponível em bit.ly/1QqZBgR consultado a fev. 2016

⁶⁴ Disponível em: <http://goo.gl/6HF9C4> consultado a fev. 2016

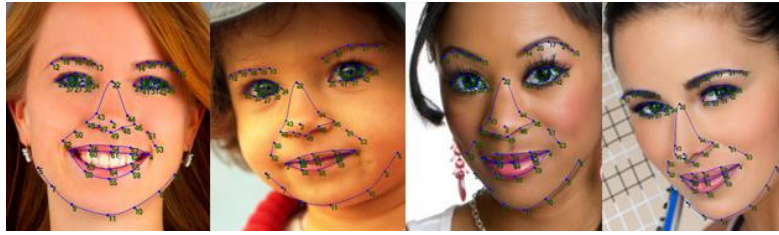


Figura 47 – Detecção e localização das características do rosto⁶⁵

- Microsoft Research Face SDK⁶⁶ - Integra as mais recentes tecnologias do rosto, pelas equipas de investigação da Microsoft;



Figura 48 – Detecção de diversos rostos, o retângulo marcado indica a sua posição⁵⁷

- Google Cloud Vision API⁶⁷ – Permite a deteção de objetos e rostos humanos dentro das imagens, localiza e deteta também as palavras impressas contidas nas imagens.

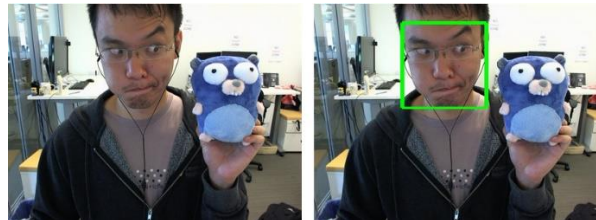


Figura 49 – Detecção do rosto em imagens⁵⁸

2.13.1 A biblioteca OpenCV

Segundo o portal da biblioteca, o OpenCV foi criado no ano de 1999 pela empresa Intel, escrito na linguagem C e distribuído sob a licença BSD e, portanto, é gratuito para o âmbito académico. Esta biblioteca está disponível nos três principais sistemas operativos (Windows, Linux e Mac OS), mas também para os sistemas operativos dos dispositivos móveis como o Android e IOS.

Atualmente o núcleo da biblioteca é escrito em C++ e possui interfaces para C++, C, Python e Java e alguns *wrappers* para outras linguagens de programação como o Java e C#.

⁶⁵ Disponível em: <http://bit.ly/2eKJVy3> consultado a fev. 2016

⁶⁶ Disponível em: <http://goo.gl/itcwPz> consultado a fev. 2016

⁶⁷ Disponível em: <http://bit.ly/2efO3IZ> consultado a fev. 2016

O OpenCV foi projetado para a eficiência da visão por computador e com um forte foco para as aplicações em tempo real. A biblioteca é composta por funções para o processamento de imagem em tempo real e por alguns módulos, tais como:

1. Conversão do formato da imagem: o OpenCV possui um utilitário para a interação entre a plataforma Android e estrutura do OpenCV. Tem funções necessárias para a conversão entre o tipo de variável OpenCV Mat e Bitmap, que é o formato de imagem utilizado no Android;
2. Calibração da câmara e reconstrução 3D: contém as classes relacionadas com a calibração da câmara para corrigir os principais desvios do modelo Pinhole das lentes e também inclui funções para a reconstrução 3D;
3. Core: abrange as funcionalidades fundamentais da estrutura do OpenCV, tais como as estruturas básicas, como o Mat e o tipo Point;
4. Características 2D: cobre as classes e métodos relacionados com a extração e correspondências, possui um detetor de pontos, incluindo os algoritmos SIFT e SURF;
5. Interface gráfico do utilizador (GUI): é o módulo que permite a interação entre o OpenCV e o sistema operativo, o sistema de ficheiros e do *hardware* como as câmaras. Disponibiliza uma interface para ler e gravar imagens no disco ou na memória e ler o vídeo de uma câmara em tempo real ou gravá-lo num ficheiro;
6. Processamento de imagem: contempla os algoritmos fundamentais da visão por computador, desde filtros de imagem, transformação de imagens, o cálculo e equalização do histograma, análise estrutural, descritores de forma e de deteção das características, como o algoritmo de extração de contornos o Canny⁶⁸;
7. *Machine Learning*: a visão por computador e a aprendizagem máquina estão muito relacionadas, o OpenCV oferece um módulo de *Machine Learning*. Este módulo é focado no reconhecimento de padrões estatísticos e *clustering*.

2.13.2 O EmguCV

O EmguCV⁶⁹ é um *wrapper*⁷⁰ para a biblioteca de processamento de imagem OpenCV e é multiplataforma para as tecnologias do .NET⁷¹.

Permite chamar as funções do OpenCV através do .NET, é compatível com as linguagens C#, VB, VC++, IronPython, entre outros.

Este wrapper pode ser compilado com o Visual Studio, Xamarin Studio e Unity, e funciona nas plataformas Windows, Linux, Mac OS X, iOS, Android e Windows Phone.

O *Eigenfaces* baseia-se no método PCA para o reconhecimento, é suportado pela biblioteca EmguCV, tal como é o método Viola Jones para a deteção e facultando desta forma implementações na *framework* .NET.

⁶⁸ Disponível em: <http://bit.ly/1Yv9LXR> consultado a fev. 2016

⁶⁹ Disponível em: <http://goo.gl/mwnNe> consultado a fev. 2016

⁷⁰ Disponível em: <https://goo.gl/9tEzWm> consultado a fev. 2016

⁷¹ Disponível em: <https://goo.gl/TxYIK> consultado a fev. 2016

2.13.3 A visão geral da arquitetura

O EmguCV é composto por duas camadas, conforme podemos visualizar na figura 51, dentro do processamento de imagem.

A camada primeira camada contém as ligações às funções, estruturas e enumeração que refletem diretamente com o OpenCV.

A segunda camada engloba as classes do .NET, retirando vantagens desta *framework*.

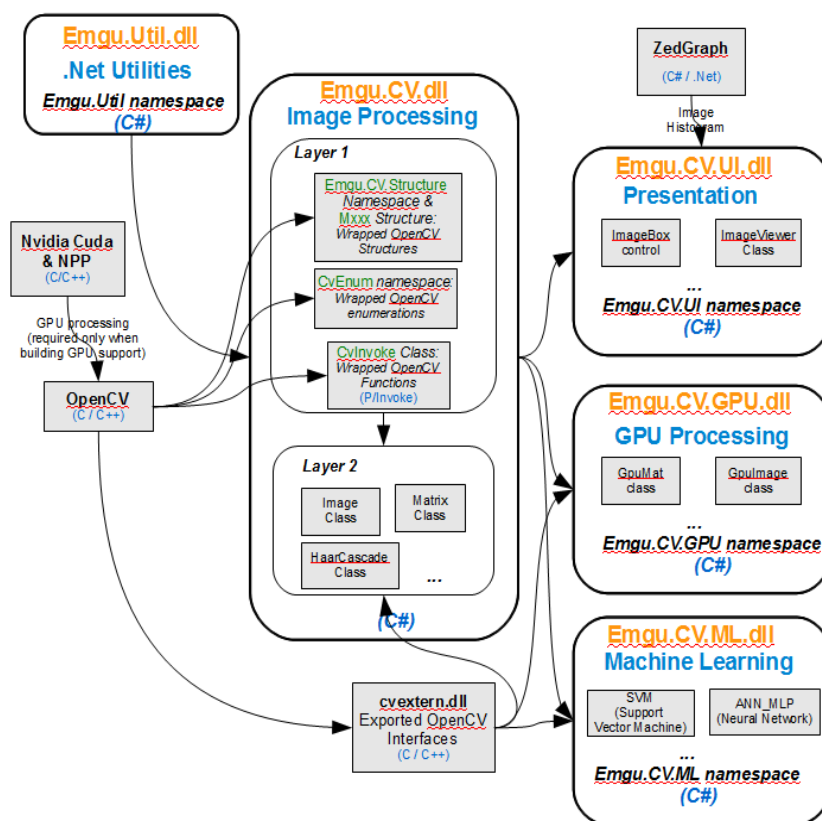


Figura 50 – Arquitetura do EmguCV⁷²

2.14 As bases “de dados” de imagens

O estudo da detecção e reconhecimento do rosto implica ter uma amostra alargada de rostos humanos para utilizar no sistema. O que leva os investigadores a recorrer a uma base de dados existente, criadas por investigadores e organizações.

Existem regras e diferentes requisitos na utilização de cada uma destas bases de dados. Em especial a maioria destas bases de dados são disponibilizadas apenas para fins de investigação e não para fins comerciais.

⁷² Disponível em: <http://bit.ly/1KbMvSg> consultado a fev. 2016

Toda esta situação deriva da necessidade de aferir se um algoritmo é recomendável para utilizar num conjunto de dados, com o objetivo da realização de testes que permitam comparar diretamente os resultados.

Embora existam muitas bases de dados disponíveis atualmente, a escolha da base de dados mais adequada a ser utilizada, deverá ser sustentada com base na tarefa que a mesma irá desempenhar (estático, dinâmico, expressões, iluminação, entre outros). Por exemplo, pode ser selecionado um conjunto específico de dados para a propriedade a ser testada (por exemplo, o resultado do algoritmo quando dada imagem recebe mudanças na iluminação, acessórios colocados no rosto ou imagens com diferentes expressões).

Por outro lado, um algoritmo necessita de ser bem testado com o maior número de imagens por classe (como LDA). Por exemplo a base de dados do rosto humano Yale é provavelmente mais apropriada⁷³ do que FERET.

Apresenta-se uma seleção das bases de dados⁷⁴, para o reconhecimento do rosto, disponíveis na Internet.

- A 10k US Adult Faces Database⁷⁵

Esta base de dados tem mais de 10.000 fotografias naturais do rosto humano e mais de 2000 destas fotografias já possuem as medições que incluem, técnicas de memorização, marcadores, visão por computador e atributos de psicologia. As imagens do rosto estão no formato JPEG com 72 pixels de resolução e 256 pixels de altura. Os dados dos atributos são armazenados nos ficheiros do MATLAB ou Excel.



Figura 51 – Base de dados de adultos⁷⁴

- A AR Face Database⁷⁶

Esta base de dados foi criada por Alex Martinez e Robert Benavente no Centro de Visão de Computador (CVC), da Universidade do Alabama em Birmingham (U.A.B.). Esta base de dados contém mais de 4.000 imagens a cores do rosto de 126 pessoas (70 homens e 56 mulheres). As imagens contêm rostos, na vista frontal e com diferentes expressões, condições de iluminação e acessórios como óculos polarizados

⁷³ Disponível em: <http://bit.ly/2gl0Jly> consultado a fev. 2016

⁷⁴ Disponível em: <http://goo.gl/2oaF> consultado a fev. 2016

⁷⁵ Disponível em: <http://goo.gl/ZE4u8c> consultado a fev. 2016

⁷⁶ Disponível em: <http://goo.gl/9cnDNM> consultado a fev. 2016

e lenços. As fotos foram tiradas sob condições estritamente controladas. Não houve restrições colocadas nas roupas, óculos, maquiagem ou penteado. Estes tipos de medições numa base de dados do rosto tornam o sistema biométrico dinâmico.

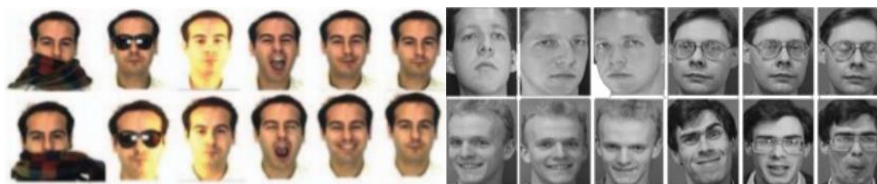


Figura 52 – Exemplo imagens contidas na AR Face Database⁷⁷

- A base de dados da AT&T⁷⁸

Esta base de dados possui um conjunto de imagens capturadas no laboratório da AT&T em Cambridge. Há dez imagens diferentes de cada um dos 40 indivíduos. A aquisição das imagens foi realizada em diferentes momentos, variações da iluminação, expressões (olhos abertos, fechados, a sorrir e sem sorrir) e detalhes (óculos e sem óculos). Todas as imagens foram adquiridas com um fundo escuro liso. Os sujeitos foram colocados numa posição vertical e frontal.



Figura 53 – Estrutura da BD de imagens⁷⁹

- A base de dados BioID⁸⁰

Os conjuntos de dados existentes na base de dados BioID, consiste em 1521 imagens em tons de preto e branco com uma resolução de 384x286 pixels. Cada fotografia apresenta a vista frontal de um rosto das 23 pessoas recenseadas. Para fins de comparação, o conjunto também contém posições dos olhos ajustados manualmente.

⁷⁷ Disponível em: <http://bit.ly/2eejr5t> consultado a fev. 2016

⁷⁸ Disponível em: <http://goo.gl/nJpdMx> consultado a fev. 2016

⁷⁹ Disponível em: <http://bit.ly/2e0zO7a> consultado a fev. 2016

⁸⁰ Disponível em: <http://goo.gl/3Y3xH0> consultado a fev. 2016

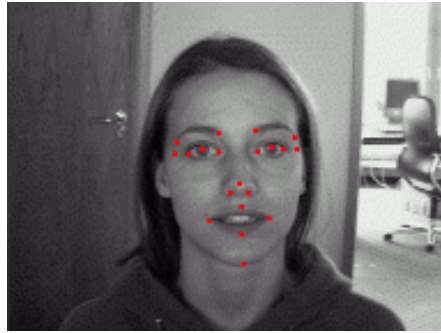


Figura 54 – Detecção e reconhecimento⁷⁹

- A base de dados FERET⁸¹

A tecnologia de reconhecimento do rosto (FERET) é patrocinada através de um programa do governo Americano o *Counter Drug-DOD*. Este programa desenvolveu a base de dados FERET e foram recolhidas imagens dos rostos para a base de dados. A base de dados tem aproximadamente 8,5 *gigabytes*.

Two letter code	Pose Angle (degrees)	Description	Number in Database	Number of Subjects
Fa	0 = frontal	Regular facial expression	1762	1010
Fb	0	Alternative facial expression	1518	1009
ba	0	Frontal "b" series	200	200
bj	0	Alternative expression to ba	200	200
bk	0	Different illumination to ba	200	200
bb	+60		200	200
bc	+40	Subject faces to his left which is the photographer's right	200	200
bd	+25		200	200
be	+15		200	200
bf	-15	Subject faces to his right which is the photographer's left	200	200
bg	-25		200	200
Bh	-40		200	200
bi	-60		200	200
ql	-22.5	Quarter left and right	763	508
qr	+22.5		763	508
hl	-67.5	Half left and right	1246	904
hr	+67.5		1298	939
pl	-90	Profile left and right	1318	974
pr	+90		1342	980
Ra	+45	Random images. See note below. Positive angles indicate subject faces to photographer's right	322	264
Rb	+10		322	264
Rc	-10		613	429
Rd	-45		292	238
Re	-80		292	238

Figura 55 – Distribuição da base de dados⁸²

- A base de dados Yale⁸³

Esta base de dados contém 165 imagens em tons de preto e branco no formato GIF de 15 indivíduos. Há 11 imagens por indivíduo, uma por cada expressão diferente ou configuração: centro da iluminação, iluminação direta, com óculos e sem óculos, sorriso, triste, expressões de sonolência ou admiração e piscar o olho. Num total de 5869 imagens e com tamanho total de 1 *Gigabyte* compactado.

⁸¹ Disponível em: <http://goo.gl/flx6PX> consultado a fev. 2016

⁸² Disponível em: <http://bit.ly/20K5ag9> consultado a fev. 2016

⁸³ Disponível em: <http://goo.gl/SnHvuj> consultado a fev. 2016

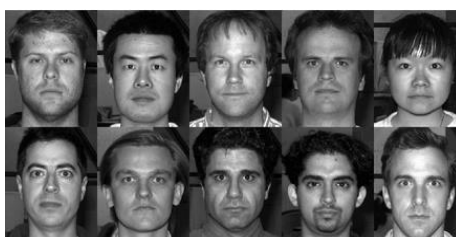


Figura 56 – Base de dados Yale⁸²

- A extensão da base de dados Yale B⁸⁴

A extensão da base de dados da Yale B contém 16128 imagens de 28 indivíduos, sobre 9 poses e 64 diferentes condições de iluminação.



Figura 57- Base de dados Yale⁸³

2.15 O enquadramento legal

Por lei a instalação de um sistema que use dados pessoais, deve ser comunicado à Comissão Nacional de Proteção de Dados (CNPd), incluindo os equipamentos destinados ao controlo de acessos e assiduidade com recurso a equipamentos biométricos, assim como sistemas de videovigilância.

Como podemos verificar terá que ser realizado o pedido de autorização à CNPD para a utilização da biometria.

Por definição a biometria utiliza as características físicas ou comportamentais do ser humano para a determinação ou verificação da identidade. Esta leitura é feita através de diversas tecnologias biométricas, das quais inclui o rosto.

A utilização de sistemas biométricos dentro dos parâmetros legais, estava dependente de um pedido de autorização à CNPD podendo a utilização do sistema ser iniciada apenas e após o deferimento da CNPD.

Recentemente a CNPD, resultado da cada vez mais vulgar utilização desta tecnologia, reduziu a burocracia, estes sistemas passaram a necessitar apenas de uma notificação de utilização a esta autoridade. A notificação deverá ser feita através do site da CNPD⁸⁵.

A CNPD emite autorizações para os tratamentos de dados abrangidos pelo artigo 28º da Lei de Proteção de Dados, que carecem de autorização prévia antes de se poderem iniciar e cuja apreciação é mais complexa⁸⁶.

⁸⁴ Disponível em: bit.ly/1WwXVHI consultado a. fev. 2016

⁸⁵ Disponível em: <http://bit.ly/2dri8P7> consultado a mar. 2016

3 Análise e Desenho

“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez”.

George Bernard Shaw

Neste capítulo apresentamos o desenho da implementação, considerando contribuir para uma melhor compreensão da implementação do protótipo SIRnat.

Abordamos os requisitos não funcionais e funcionais, a arquitetura da implementação, as principais características identificadas e por último apresentamos o modelo concetual do protótipo, que será mostrado no último subcapítulo.

3.1 Requisitos funcionais e não funcionais

Este capítulo consiste em duas partes, o *software* e o *hardware*. Numa abordagem aos requisitos funcionais e não funcionais, apresentamos as principais especificações técnicas e materiais utilizados neste projeto.

3.1.1 Requisitos funcionais

Com o objetivo de melhor descrever e demonstrar como a solução final vai funcionar, é importante a representação através do diagrama de caso de uso em UML (*Unified Modeling Language*, o diagrama é uma simples representação de como os atores interagem com o sistema.

Os requisitos funcionais do sistema são os seguintes:

1. O sistema deve ser capaz de identificar rostos humanos através de vídeo em tempo real;
2. O sistema deve ser capaz de detetar um rosto contido numa imagem em tempo real e como uma entrada. Seguidamente deverá procurar na base de dados de imagens o rosto correspondente e, de seguida, mostrar os resultados;
3. Os resultados visuais a serem apresentados, é o nome da pessoa associado à imagem detetada e reconhecida (correspondente à aquisição do rosto), mais similar com as imagens contidas na pasta do sistema e desenhar uma caixa delimitadora no vídeo (controlo gráfico “*imagebox*”);
4. O sistema deve ser capaz de iniciar e parar a aquisição do vídeo;
5. O sistema deve ser capaz de armazenar as informações dos indivíduos reconhecidos e dos desconhecidos;

⁸⁶ Disponível em: <http://bit.ly/2dkaQMe> consultado a mar. 2016

6. O sistema deve ser capaz de adicionar novos indivíduos à base de dados de imagens;
7. O sistema deve ser capaz de apresentar os registos adquiridos por nome do indivíduo, data e hora, por tipo de entrada e saída e possibilitar a sua exportação em xml.

O fator de decisão do reconhecimento depende do método dos parâmetros do rosto, sendo o resultado armazenado na base de dados de imagens. Conforme podemos observar na figura 58, no diagrama de fluxo de dados do rosto, a necessidade da validação de um rosto inexistente ou desconhecido do sistema, poderá significar termos que registar o novo rosto na base de dados. Caso o sistema tenha a capacidade e a eficiência suficiente para realizar em tempo real o procedimento de adicionar novos rostos (desconhecidos) e fazer o registo automático na base de dados. A base de dados de imagens poderá ser local ou num servidor externo, embora tenhamos a necessidade de aferir o desempenho e as vulnerabilidades. Para apoiar uma boa compreensão do sistema, apresentamos o diagrama de fluxo de dados.

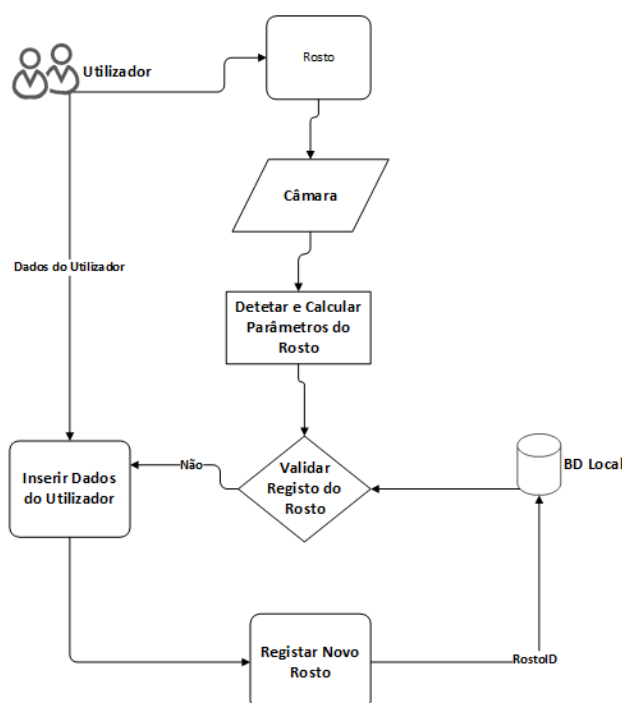


Figura 58 – Diagrama de fluxo de dados

Na figura 59 representamos o diagrama de casos de uso do SIRnat, sistema de reconhecimento e registo natural.

No SIRnat existem dois atores envolvidos no diagrama do caso de uso, que são o utilizador e o sistema, sendo o utilizador responsável por apresentar o seu rosto naturalmente.

Enquanto o sistema providencia a deteção e o reconhecimento e, apresenta o resultado da identificação do rosto visualmente e armazena informação no sistema.

O sistema para cada caso de uso aplica os seus métodos, o conteúdo é adquirido e examinado. A seguir à fase de deteção de um indivíduo o utilizador do sistema insere na base de dados o registo da sua imagem do rosto e o respetivo nome. Estas imagens estão normalizadas e contêm os pontos das características do rosto do indivíduo.

No reconhecimento do rosto, o utilizador que estiver a interagir com o sistema é informado do resultado, negativo ou positivo, visualizando os resultados através da imagem do indivíduo e respetiva informação como o nome do indivíduo.

Na fase do reconhecimento estudamos os algoritmos e selecionamos o tipo de algoritmo que iremos implementar no presente estudo. Assim como o respetivo sistema de base de dados para guardar as imagens.

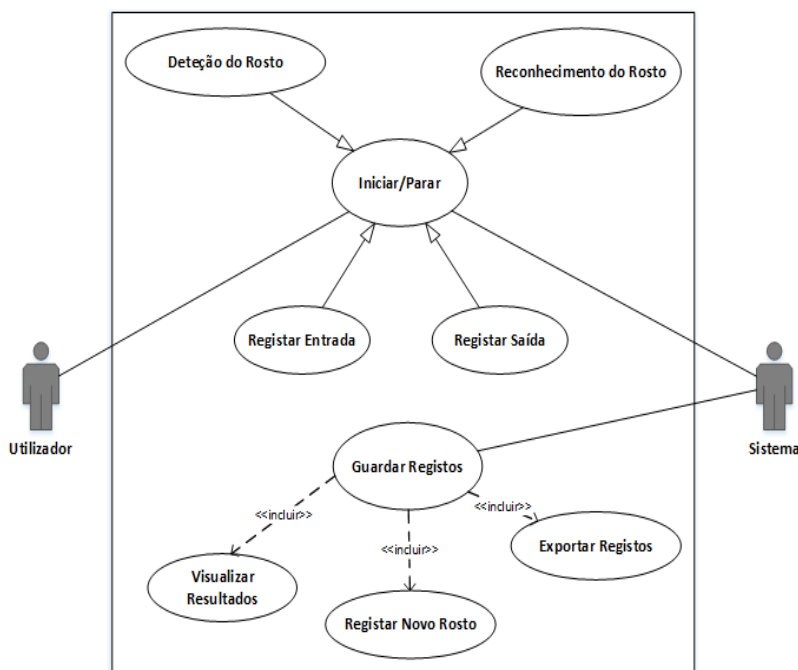


Figura 59 – Diagrama UML de casos de uso

Descrição dos atores:

Utilizadores: autorizar o sistema a analisar a imagem do vídeo e esperar que o sistema exiba os resultados.

Tabela 7 – Características do caso de uso

Caso de Uso	Descrição
Pedido de deteção do rosto	O utilizador solicita ao sistema para encontrar um rosto humano no vídeo
Pedido de reconhecimento do rosto	O utilizador solicita ao sistema a correspondência do rosto detetado
Realizar o controlo da captura	Permitir ao utilizador iniciar ou parar a captura de vídeo
Pedido de visualização de resultados no vídeo	Permitir visualizar a caixa limitadora de deteção e o nome da pessoa em tempo real
Realizar o controlo de desconhecidos	O utilizador pode ativar e desativar a captura de desconhecidos
Pedido de guardar informações	Armazenar as informações dos indivíduos reconhecidos e dos desconhecidos
Pedido de adicionar novas pessoas	O utilizador pode inserir novas pessoas
Pedido para armazenar as informações	O utilizador solicita a exportação das informações visualizadas

Para uma melhor compreensão da solução proposta ao problema e aplicada, é apresentado na figura 60, o diagrama de sequências da implementação de detecção e reconhecimento do rosto.

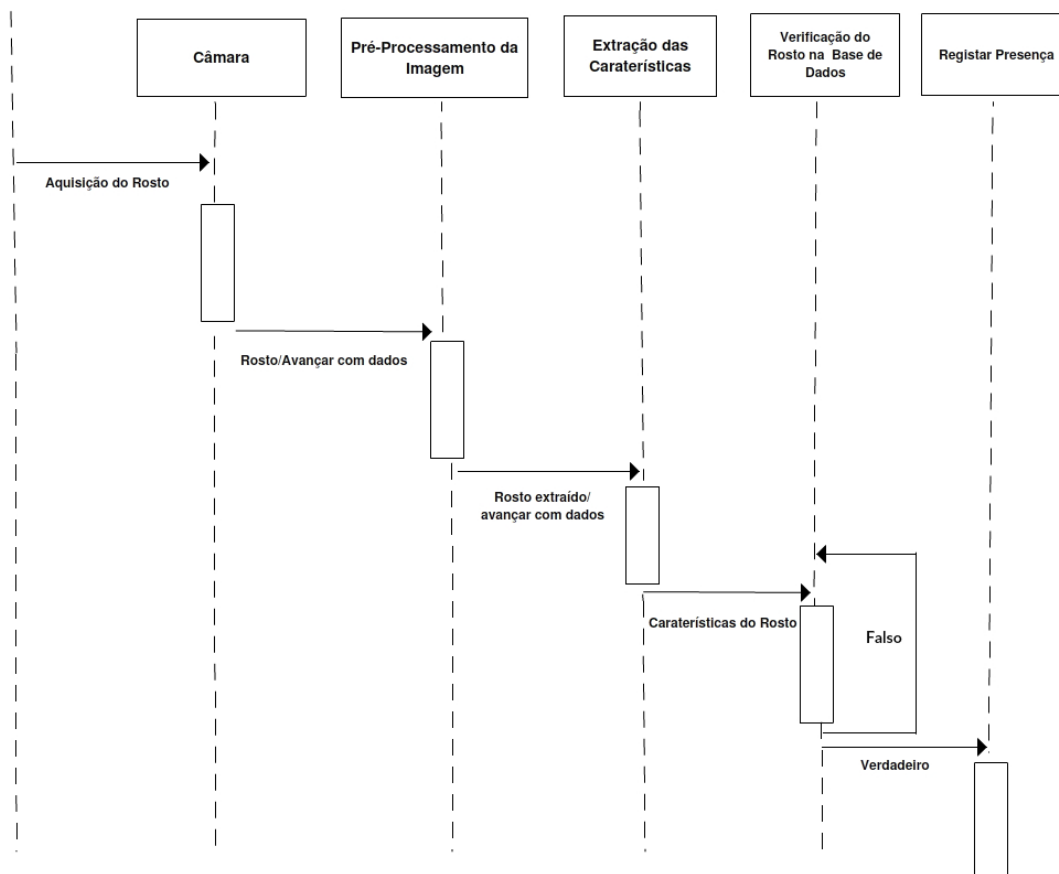


Figura 60 – Diagrama de sequência

Nas tabelas 8, 9, 10, 11 e 12 seguidamente, descrevemos os casos de uso do protótipo, onde documentamos o que o sistema faz do ponto de vista do utilizador, as principais funcionalidades do sistema e a interação dessas funcionalidades com o utilizador do sistema.

Tabela 8 – Casos de uso 1

Caso de Uso	Descrição
Caso 1	
Nome	Pedido de deteção do rosto
Ator	Utilizador
Descrição	O utilizador realiza o pedido ao sistema para encontrar rostos pela aquisição de vídeo
Pré-condição	O sistema deve receber o fluxo (<i>stream</i>) de vídeo da câmara
Pós-Condição	O sistema realça os rostos
Fluxo de Eventos	
Etapas	Descrição
1	Utilizador carrega no botão para iniciar a deteção do rosto
2	Sistema inicia o fluxo de vídeo (<i>stream</i>)

3	Sistema carrega o algoritmo (Haar) para detetar rostos no vídeo
4	Sistema destaca os rostos detetados com uma caixa delimitadora
5	Na imagem de vídeo retornada pelo sistema é possível visualizar os rostos destacados
Fluxo Alternativo	
Etapas	Descrição
2.1	Câmara desligada
5.1	Nenhum rosto detetado no vídeo
Condições de Entrada	
O utilizador está registado corretamente no sistema e as câmaras estão funcionais	
Condições de Saída	
O utilizador carrega no botão de parar a captura de vídeo ou botão sair	

Por forma a ilustrarmos melhor o processo da deteção do rosto é apresentado na imagem abaixo um diagrama de sequência na linguagem UML (*Unified Modeling Language*) representando a sequência de processos, mais especificamente das mensagens passadas entre o utilizador, o sistema e o *hardware*.

Na figura 61, apresentamos o diagrama de sequência do processo de deteção do rosto.

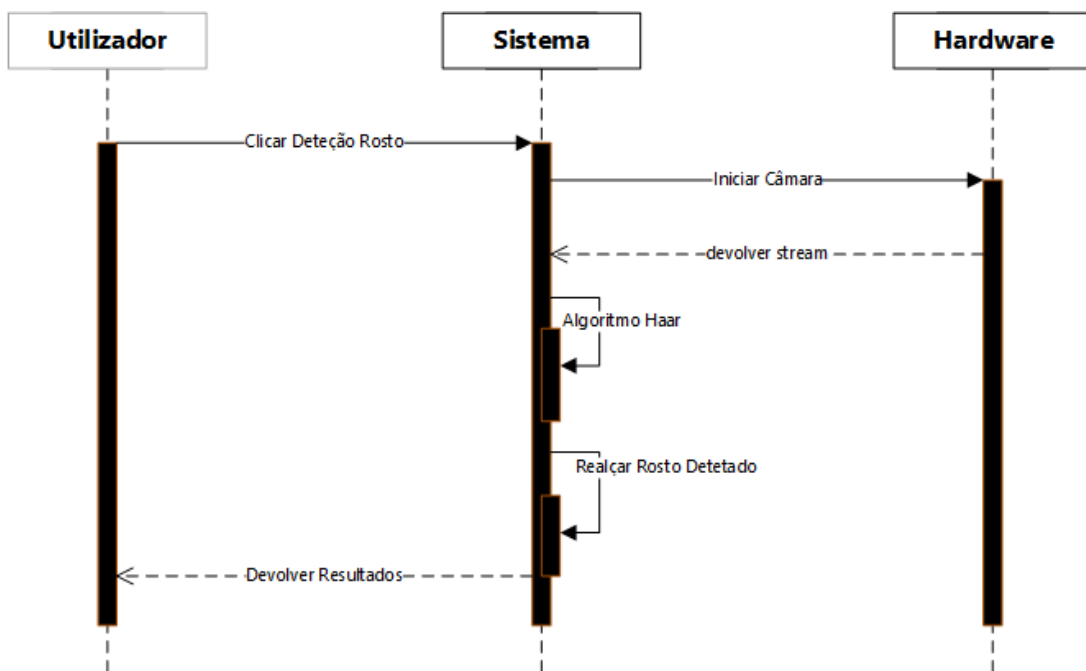


Figura 61 – Diagrama de sequência da deteção do rosto

Com o foco em transmitirmos a melhor informação possível, na figura 62 apresentamos a representação do processo de deteção do rosto, através do diagrama de atividades.

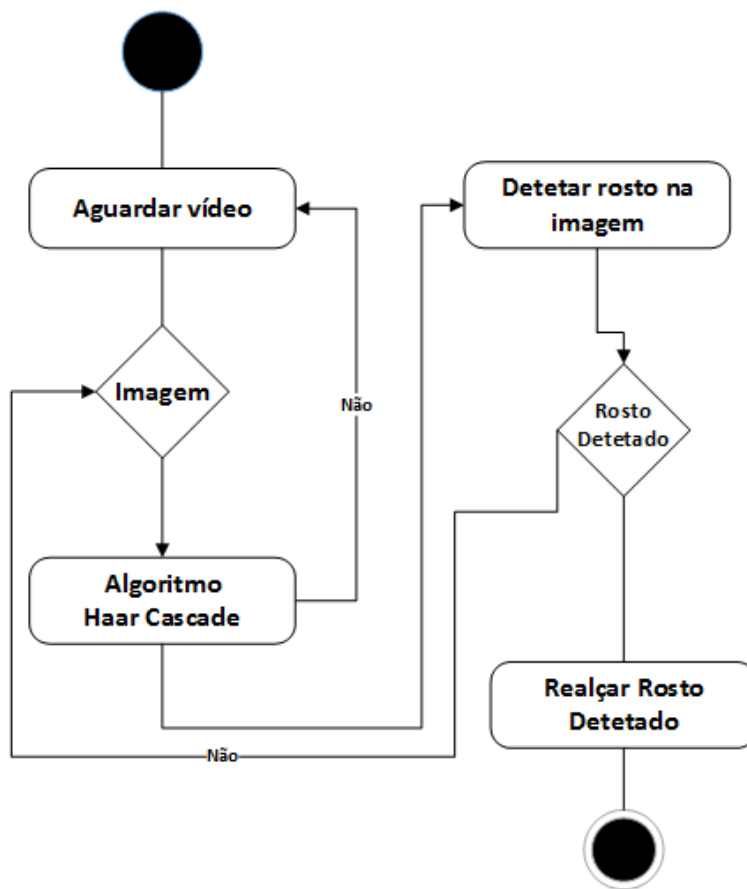


Figura 62 – Diagrama de atividades da deteção do rosto

Na figura 63, demonstramos a representação do processo de reconhecimento do rosto, através do diagrama de sequência.

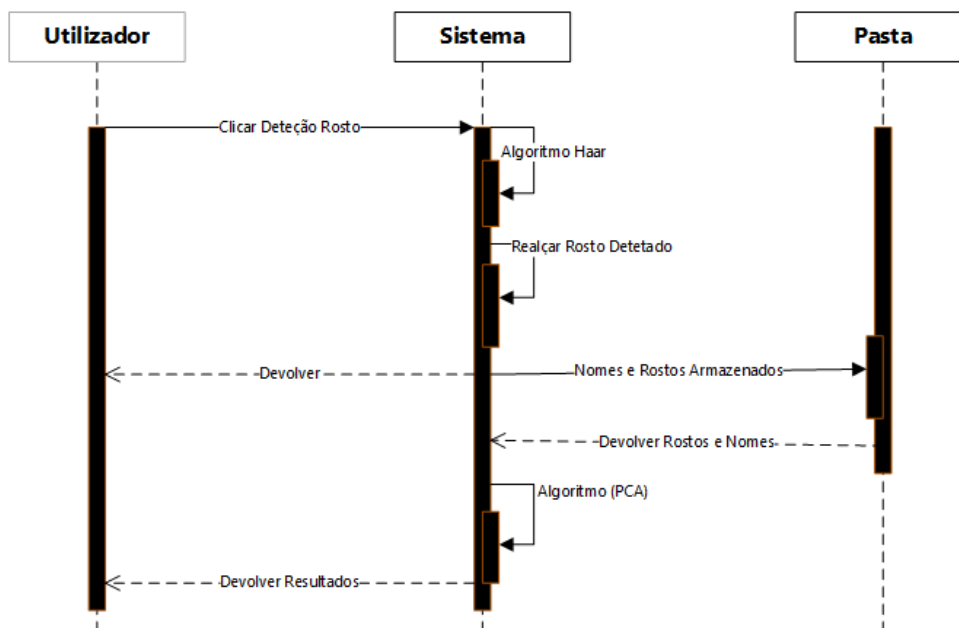


Figura 63 – Diagrama de sequência do reconhecimento do rosto

Na figura 64, apresentamos a representação do processo de reconhecimento do rosto, através do diagrama de atividades.

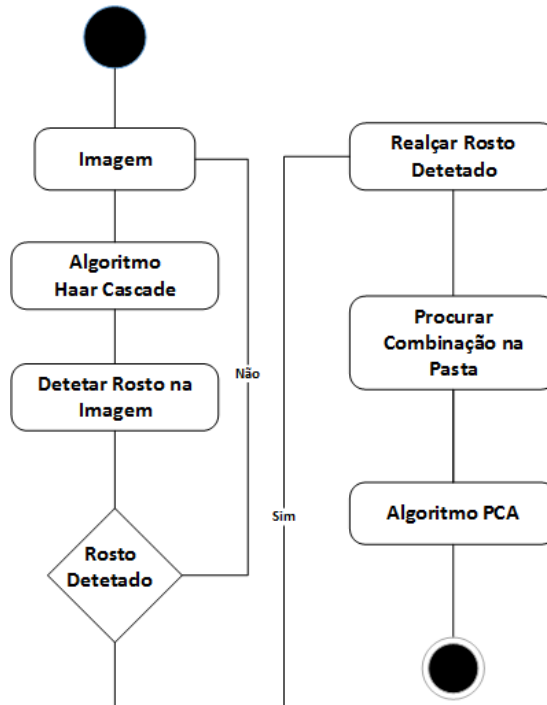


Figura 64 – Diagrama de atividades do reconhecimento do rosto

Tabela 9 – Casos de uso 2

Caso de Uso	Descrição
Caso 2	
Nome	Pedido de reconhecimento do rosto
Ator	Utilizador
Descrição	Utilizador solicita ao sistema a correspondência do rosto detetado
Pré-condição	Sistema deve detetar um rosto
Pós-Condição	O sistema apresenta o nome do rosto
Fluxo de Eventos	
Etapas	Descrição
1	Utilizador carrega no botão para iniciar a deteção do rosto
2	Sistema inicia o fluxo de vídeo (<i>stream</i>)
3	Sistema carrega o algoritmo (Haar) para detetar rostos no vídeo
4	Sistema destaca os rostos detetados com um quadrado retângulo
5	Na imagem de vídeo retornada pelo sistema é possível visualizar os rostos destacados
Fluxo Alternativo	
Etapas	Descrição
2.1	Câmara desligada
5.1	Nenhum rosto detetado no vídeo
Condições de Entrada	
O utilizador está registado corretamente no sistema e as câmaras estão funcionais	
Condições de Saída	

O utilizador carrega no botão de parar a captura de vídeo ou botão sair

Tabela 10 – Casos de uso 3

Caso de Uso	Descrição
Caso 3	
Nome	Realizar o controlo da câmara
Ator	Utilizador
Descrição	Permitir ao utilizador iniciar e parar a aquisição de vídeo em tempo real
Pré-condição	As câmaras devem ter ligações disponíveis
Pós-Condição	Exibição de vídeo em tempo real
Fluxo de Eventos	
Etapas	Descrição
1	Utilizador carrega no botão para ativar ou parar as câmaras
2	Sistema inicia o fluxo de vídeo (<i>stream</i>)
3	A ligação física do sistema com as câmaras é através de cabo USB
4	Sistema apresenta resultados da captura em tempo real
Fluxo Alternativo	
Etapas	Descrição
3.1	Sistema não consegue comunicar com a porta USB
Condições de Entrada	
Devemos ter as câmaras disponíveis através da ligação USB	
Condições de Saída	
Utilizador carrega no botão de iniciar/parar ou de sair	

Tabela 11 – Casos de uso 4

Caso de Uso	Descrição
Caso 4	
Nome	Gestão da lista de presenças
Ator	Utilizador
Descrição	Permitir ao utilizador visualizar os resultados e bem como e disponibilizar a respetiva exportação no formato xml
Pré-condição	Sistema tem que estar a reconhecer rostos
Pós-Condição	Sistema faz a exibição dos nomes, datas e horas em tempo real
Fluxo de Eventos	
Etapas	Descrição
1	Utilizador carrega no botão para iniciar as câmaras
2	Sistema inicia o fluxo de vídeo (<i>stream</i>)
3	Sistema apresenta resultados da captura em tempo real
Fluxo Alternativo	
Etapas	Descrição
2.1	Sistema não consegue comunicar com a câmara (porta USB)
Condições de Entrada	
Devemos ter as câmaras disponíveis	
Condições de Saída	
Utilizador carrega no botão de parar ou de sair	

Tabela 12 – Casos de uso 5

Caso de Uso	Descrição
Caso 5	
Nome	Indivíduos registados no sistema
Ator	Utilizador
Descrição	Permitir ao utilizador controlar a aquisição de novos rostos e visualizar os resultados registados
Pré-condição	Sistema tem que estar a detetar o rosto
Pós-Condição	Sistema faz a exibição dos rostos adquiridos
Fluxo de Eventos	
Etapas	Descrição
1	Utilizador carrega no botão para iniciar a câmara
2	Sistema inicia o fluxo de vídeo (<i>stream</i>)
3	Sistema apresenta resultados da captura em tempo real
Fluxo Alternativo	
Etapas	Descrição
2.1	Sistema não consegue comunicar com a porta USB
Condições de Entrada	
Devemos ter a câmara disponível	
Condições de Saída	
Utilizador carrega no botão de sair	

Na figura 65 disponibilizamos o diagrama de classes, onde podemos visualizar a ligação dos diagramas de classes ao código, nomeadamente o protótipo desenvolvido na linguagem de programação C# e o EmguCV.

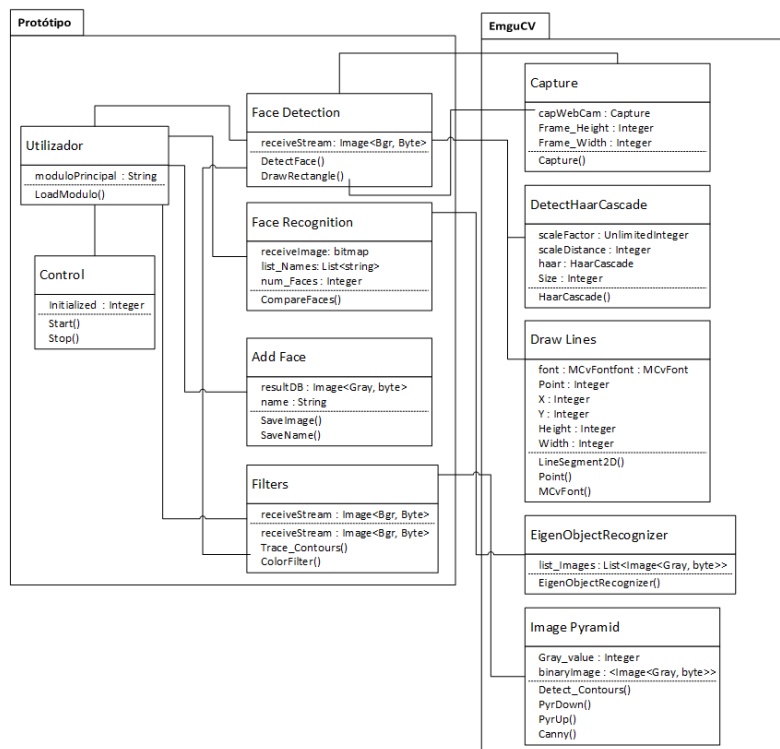


Figura 65 – Diagrama de classes

3.1.2 Requisitos não funcionais

As principais características dos requisitos não funcionais no ambiente em que o protótipo foi desenvolvido, foram as seguintes:

- Processador: Intel™ Core™ i7 CPU Q 740 1.73Ghz;
- Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, processador com base x64;
- Memória RAM: 8 Gb;
- GPU: NVIDIA GeForce GT 330M;
- Duas câmaras: A4TECH PK-910H 1080p Full-HD e *Toshiba Web Camera Application Integrated Web Camera* (640 x 480).

Para a realização da captura das imagens através do vídeo, recorreremos ao uso de uma câmara vulgar, com resolução de vídeo mínima de 2 Megapixel, representada na figura 66.



Figura 66 – A4TECH PK-910H⁸⁷

As especificações técnicas da câmara A4TECH PK-910H, são as seguintes:

Tabela 13 – Especificações técnicas da *WebCam*

<p>Marca: A4Tech;</p> <p>Modelo: PK-910H;</p> <p>Nome do produto: 1080p <i>Full-HD WebCam</i>;</p> <p>Sensor de imagem: 1080p <i>Full-HD WebCam Sensor</i>;</p> <p>Resolução de vídeo: + 2 <i>Megapixeis</i>;</p> <p>Imagem estática: + 16 <i>Megapixeis</i>, 4608 x 3456 (<i>Software</i>);</p> <p>Imagens por segundo (<i>Frame rate</i>): 30fps.</p>
--

Os requisitos não funcionais do utilizador são os seguintes:

1. O rosto deve ser localizado através da deteção dentro dos limites internos, objetos de fundo devem ser ignorados;

⁸⁷ Disponível em: <http://bit.ly/1pkYD9g> consultado a abr. 2016

2. O sistema deve ser capaz de guardar os rostos e os nomes detetados para futuras comparações;
3. O sistema deve ser capaz a qualquer momento iniciar ou parar a captura de vídeo;
4. O sistema deve possibilitar iniciar ou parar a aquisição das imagens de desconhecidos;
5. O sistema deve permitir a exportação da informação registada, relativamente a entradas ou saídas, da lista de presenças e dos desconhecidos.

3.2 Arquitetura do sistema

A arquitetura do sistema divide-se em duas partes, o *Software* e o *Hardware*.

- A biblioteca OpenCV, (*Open Source Computer Vision Library*) é uma biblioteca de funções de programação destinadas principalmente à visão por computador em tempo real, desenvolvido pela Intel;
- A biblioteca EmguCV, é um *wrapper* para a framework .NET que integra a biblioteca de processamento de imagem OpenCV;
- A linguagem de programação C# (C Sharp);
- Plataforma Windows.

3.2.1 Software

A figura 67 contém a representação da visão geral da estrutura principal do sistema, que se divide em duas partes.

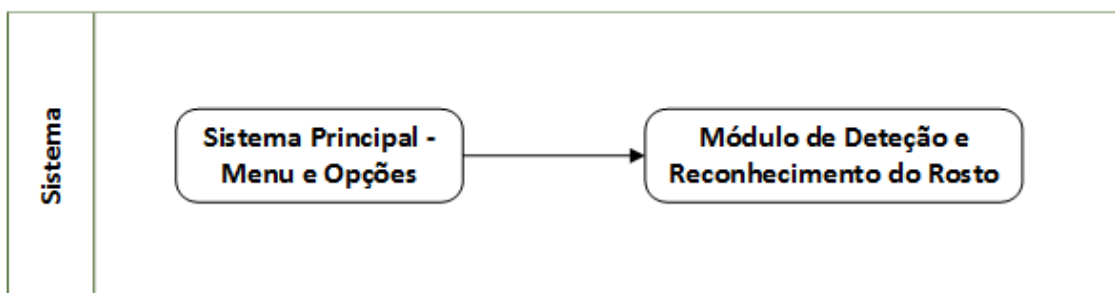


Figura 67 – Diagrama de atividades do sistema

3.2.1.1 Sistema principal

O sistema principal providencia ao utilizador uma interface na qual permite realizar as principais operações com o sistema.

Para melhor compreensão do funcionamento da componente principal do SIRnat, apresentamos o diagrama de atividades do sistema principal na figura 68.

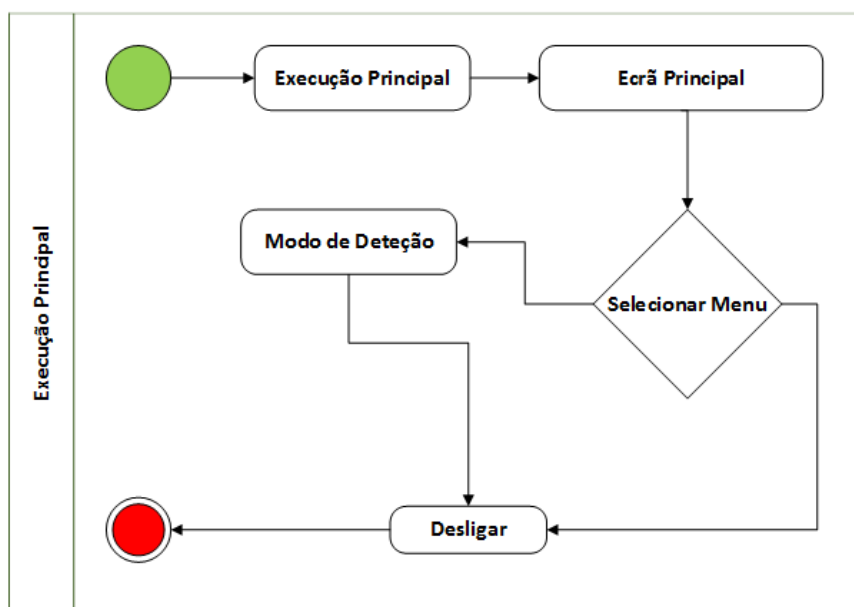


Figura 68 – Diagrama de atividades do sistema principal

3.2.2 Módulo de deteção

Esta etapa consiste na deteção e reconhecimento do sistema. Nós começaremos com o processo principal da deteção do rosto e montaremos os componentes por forma a obtermos o quadro geral.

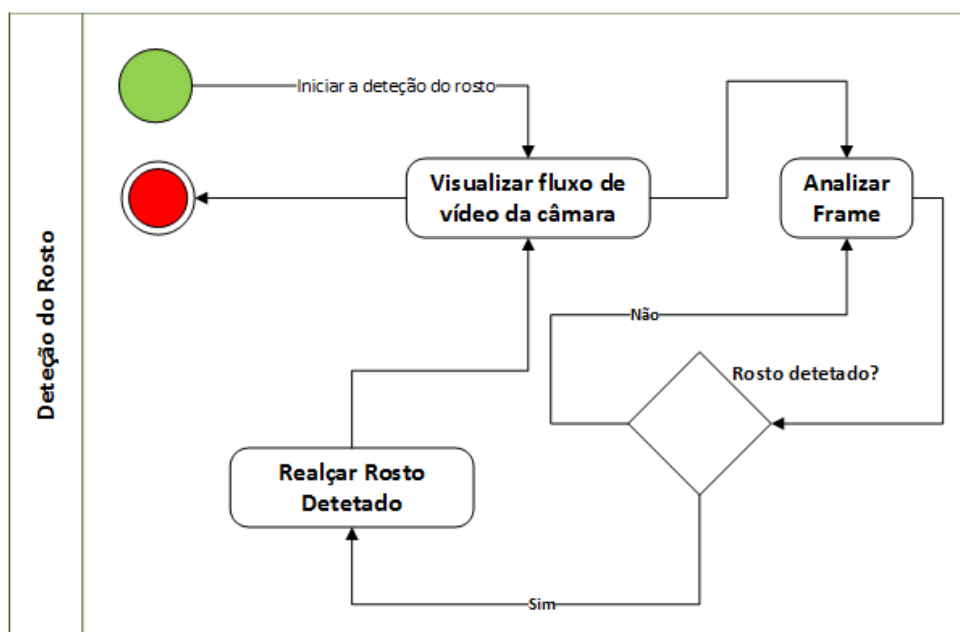


Figura 69 – Diagrama de atividades da deteção do rosto

Todos os algoritmos que utilizamos no desenvolvimento do SIRnat, são explicados no capítulo da implementação. Abaixo apresentamos o diagrama principal com todas as fases.

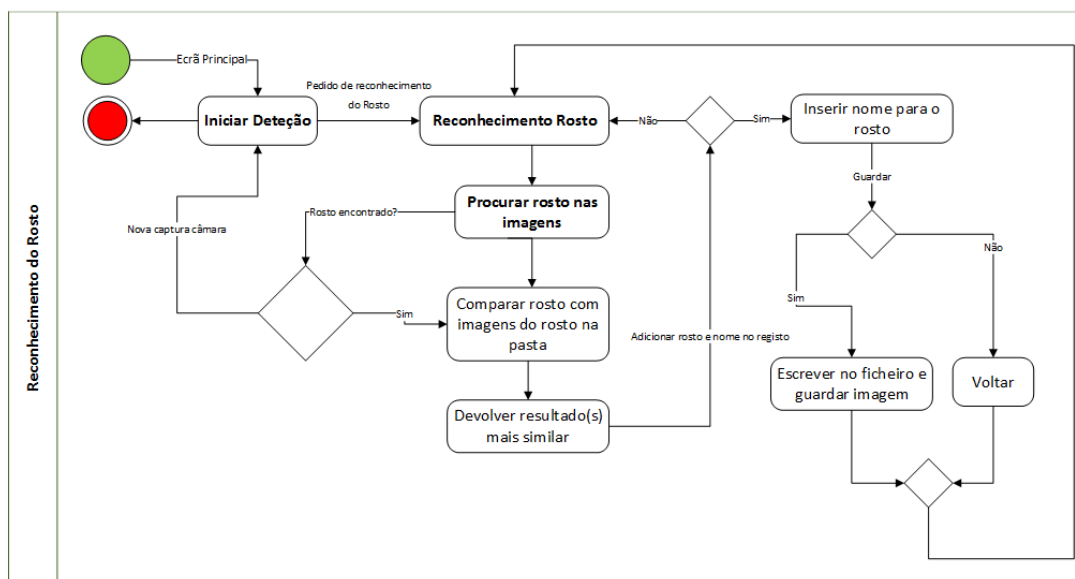


Figura 70 – Diagrama de atividades do reconhecimento do rosto

3.2.3 Hardware

Neste subcapítulo iremos representar a interação com o *hardware*, pretendendo demonstrar o ciclo de interação do C# e as câmaras. Os fluxos de imagem das câmaras não são representados aqui, devido assumirmos que o processo do controlador USB é responsabilidade do sistema operativo.

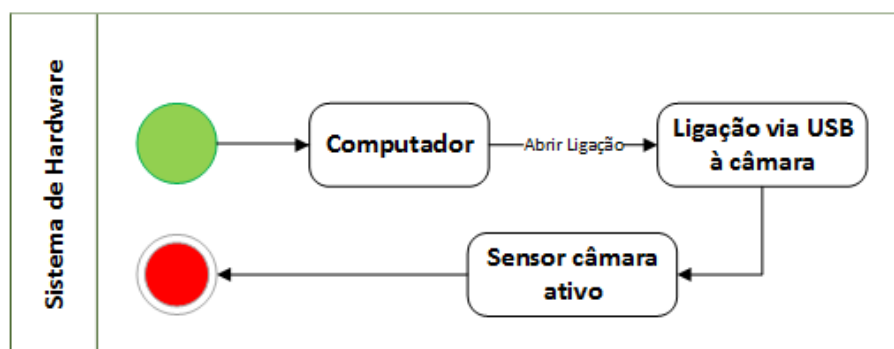


Figura 71 – Diagrama de atividades do sistema com o *hardware*

3.2.4 Diagrama do desenvolvimento

Conforme podemos observar pelo diagrama do desenvolvimento, o sistema principal do SIRnat é executado num computador que funciona na plataforma Windows, responsável pela comunicação com o hardware. No nosso caso o equipamento são as duas câmaras que o SIRnat necessita para observar as entradas e saídas naturais das pessoas num determinado espaço.

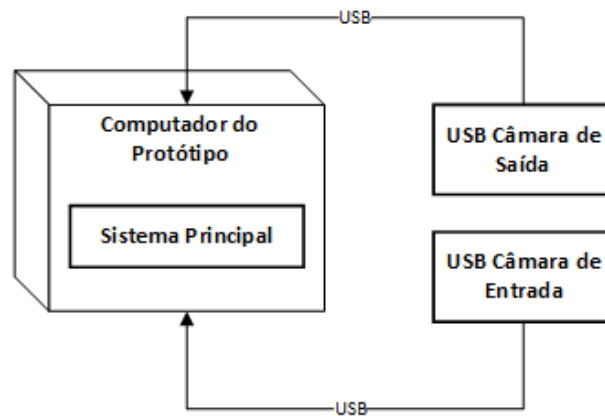


Figura 72 – Diagrama do desenvolvimento

Na figura 73 exibimos todos os componentes do sistema, composto por sensores, ou seja, as câmaras de vídeo, o computador, o sistema operativo Windows, o SIRnat e a base de dados de imagens.

No que se refere os sensores, estamos a falar das câmaras de vídeo a que nos iremos ligar a partir do módulo de deteção e reconhecimento e, controladas pela interface principal do SIRnat. O sistema operativo Windows é responsável pela camada de abstracção com o *hardware* do computador e das câmaras/sensores.

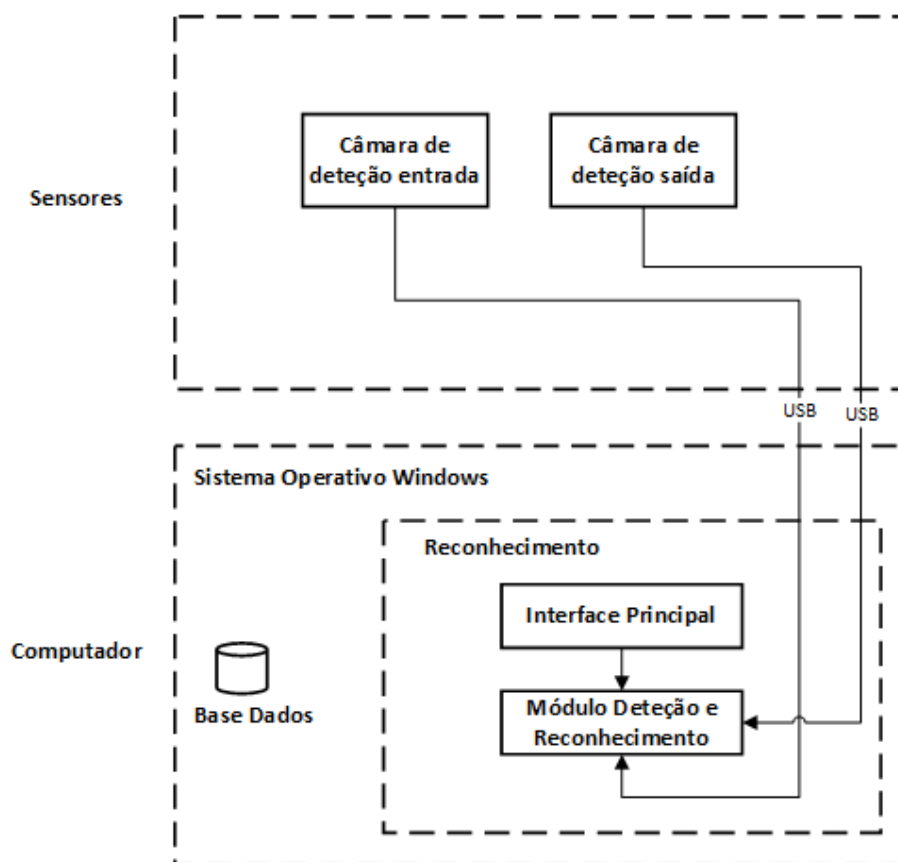


Figura 73 – Todos os componentes do sistema

3.2.5 Base de dados de imagens

O SIRnat utiliza uma base de dados de imagens para armazenar as imagens com o rosto das pessoas, porque:

- O sistema possui enormes conjuntos de dados;
- A implementação nunca utilizaria todas as características do software de base de dados;
- Causas que provocam falhas como do tipo da perda de energia poderiam originar a corrupção dos dados na base de dados, devido à natureza deste protótipo;
- Tempo associado e custos adicionais para desenvolver e provavelmente para restaurar a base de dados corrompida.

A aplicação do ficheiro de texto simples gravado no sistema de ficheiros, porque:

- Muito simples de criar e editar;
- O utilizador pode facilmente manipular o ficheiro com ferramentas simples, tal como um editor de texto como por exemplo o “Bloco de Notas”;
- Possibilidade de armazenar eficientemente documentos do tipo binário;
- Manter pequeno e simples, (K.I.S.⁸⁸: *Keep It Small and Simple*).

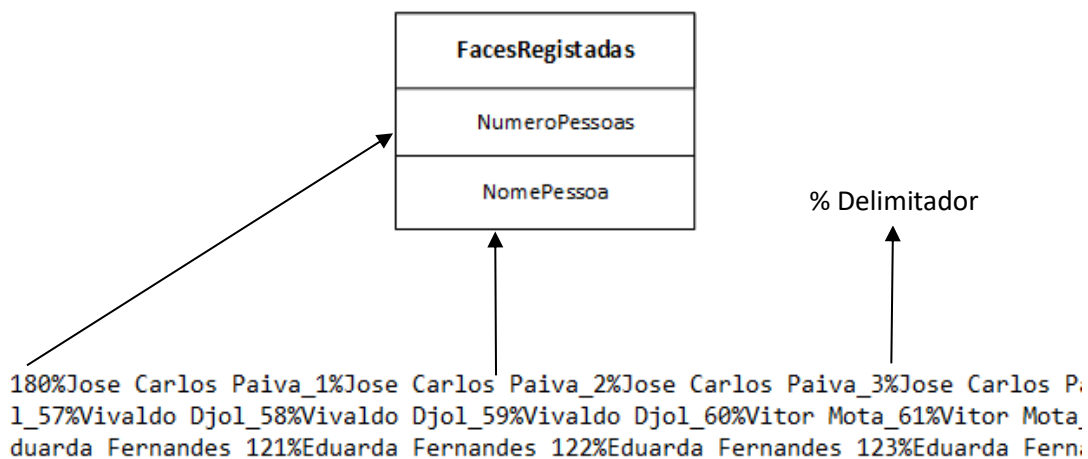


Figura 74 – Diagrama de estrutura da entidade relação

Seguidamente disponibilizamos o diagrama de entidade relação.

⁸⁸ Disponível em: <http://bit.ly/2c8RidV> consultado a mai. 2016

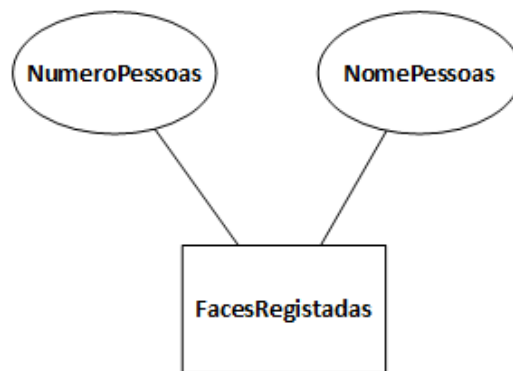


Figura 75 – Diagrama de entidade relação⁸⁹

Todas as imagens são armazenadas num ficheiro simples de mapa de bits (BMP) na pasta “FacesRegistadas” do projeto.

Cada um dos ficheiros de imagens tem um número associado que corresponde à posição do nome no ficheiro “NomePessoas”, separados por um delimitador.

O ficheiro “NumeroPessoas” representa o número total de nomes e imagens, contidas no ficheiro “NomePessoas” e da pasta “FacesRegistadas”.

Numa futura implementação pode ser desenvolvida uma base de dados em SQL ou noutro sistema de gestão de base de dados, com o recurso a um sistema de cópias de segurança e contra falhas de energia.

3.2.5.1 Aplicação do algoritmo na imagem

Na aplicação de métodos, técnicas e algoritmos nas imagens que contêm os rostos com o objetivo de realizar o reconhecimento através da face. A base de dados de imagens deve ter em consideração os seguintes aspetos:

- Número de imagens por indivíduos;
- Ângulo de captura da imagem;
- Condições de iluminação;
- Expressões do rosto;
- Resolução da imagem;
- Fundo da imagem.

Com o objetivo deste trabalho acabamos por avaliar os classificadores que utilizam o método proposto por Viola Jones para localização de rostos frontais e criamos uma base de dados académica contendo rostos frontais. As imagens são apresentadas ao nível de preto e branco e não a cores.

⁸⁹ Disponível em: <http://bit.ly/2dva6tc> consultado a mai. de 2016

No caso de utilizar imagens com cor permitiria adicionalmente avaliar como os classificadores de localização do rosto se comportariam com diferentes tonalidades.

O tamanho das imagens adquiridas não influencia a localização do rosto ao classificador, uma vez que a única limitação de cada classificador é o tamanho mínimo do rosto que pode ser localizado.

Neste caso o tamanho do rosto é o principal fator limitante do classificador. A base de dados tem como objetivo admitir o maior número de indivíduos com o maior número de imagens por pessoa, assim como os indivíduos apresentarem diferentes expressões (com óculos, sorriso, tristes, cansaço, sono, espanto, piscar de olho). Relevar a importância para as imagens serem capturadas em escala de cinza sob diferentes condições de iluminação, ou seja, num ambiente natural de uma sala de aula e cada imagem possui o tamanho de 100x100 pixels.

3.2.6 Linguagem de programação C#

O C# (C Sharp) é, sem dúvida, a linguagem preferida do .Net. É uma linguagem relativamente nova, livre dos problemas de compatibilidade, sempre atualizada no que se refere às características e continua a ser promissora. É uma linguagem de programação orientada a objetos, possui semelhanças com o Java, C++ e VB. Na verdade, o C# combina a potência e eficiência de C++, o desenho Orientado a Objetos (OO) simples e limpo do Java e a simplificação da linguagem do Visual Basic.

3.2.7 Biblioteca OpenCV

A biblioteca do OpenCV proporciona o desenvolvimento de sistemas na área da visão por computador, possui mais de duas mil funções que dão suporte a muitas áreas da visão e processamento de imagens. É um projeto de código aberto e distribuído sobre a licença BSD, sendo livre para uso acadêmico e comercial. Inicialmente escrito na linguagem C e posteriormente na linguagem C++, existem interfaces para outras linguagens de programação como C#, Python, Ruby, Java e funciona nas seguintes plataformas: Linux, Windows e Mac OS X e mais recentemente o projeto OpenCV foi disponibilizado para os dispositivos móveis que executam a distribuição Android, com o recurso da NDK (*Native Development Kit*) destinado ao desenvolvimento para Android, existe também uma implementação proprietária de desenvolvimento para os dispositivos que correm na plataforma do sistema operativo IOS. O projeto teve início nos laboratórios da Intel tendo como objetivo as aplicações em tempo-real, esta biblioteca está otimizada para funcionar na arquitetura da Intel e otimizada para aplicações em tempo real (> 15 *frames per second*).

A biblioteca utiliza IPP (*Integrated Performance Primitives*), o OpenCV recorre automaticamente às bibliotecas IPP em tempo real caso a biblioteca esteja previamente instalada no sistema.

Como a visão por computador e aprendizagem máquina estão muito relacionadas, o OpenCV contém uma biblioteca de aprendizagem de máquina (MLL). Este módulo integrado na biblioteca, é focada no reconhecimento de padrões estatísticos e *clustering*. O MLL é muito

útil para as tarefas de visão que estão no cerne da missão do OpenCV, embora seja bastante genérico, pode muito bem ser usado para qualquer problema da aprendizagem de máquina. A biblioteca é composta por 4 submódulos, exibidos seguidamente:

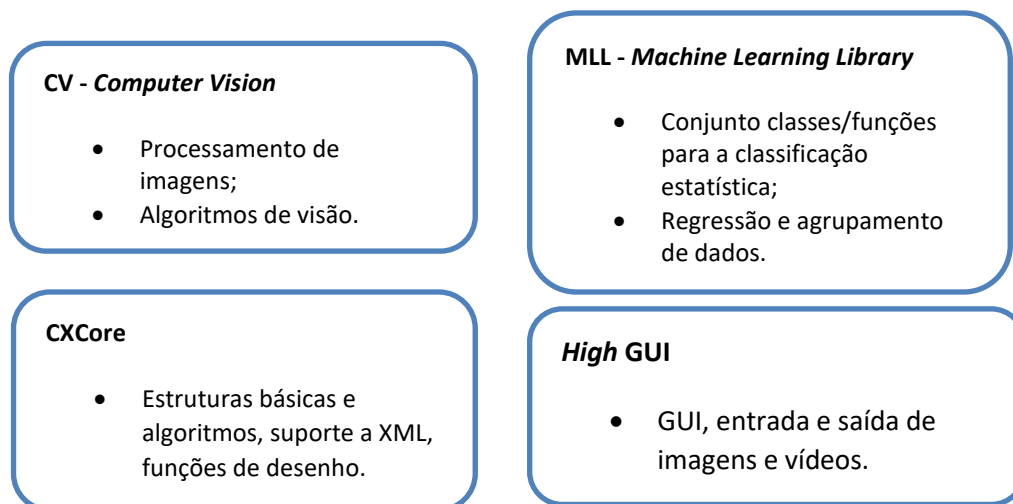


Figura 76 - Módulos do OpenCV

3.2.8 O EmguCV

Conforme podemos observar anteriormente no ponto 2.13.3 que aborda a visão geral da arquitetura do EMGUCV, é um *wrapper* da plataforma .NET que tem integrada a biblioteca OpenCV para o processamento de imagem. Permitindo chamar as funções do OpenCV a ser a partir das linguagens .NET, tais como C#, VB, C++, IronPython.

O *wrapper* pode ser compilado no Mono⁹⁰ e executado nas plataformas Windows, Linux, Mac OS X, iPhone, iPad e também nos dispositivos com a distribuição do Android.

3.2.9 Framework Viola Jones

A implementação da *framework* de detecção de objetos Viola Jones no OpenCV utiliza um conjunto de características para a classificação frontal do rosto (Lienhart e Maydt, 2002). Este conjunto utiliza as mesmas características retangulares apresentadas por Viola e Jones (2001), porém com a rotação de 45 graus, é um conjunto de características retangulares, fáceis de serem calculadas e mais adiante ilustraremos o conjunto. As áreas brancas são subtraídas das áreas pretas, a imagem integral é uma representação especial que torna a extração mais rápida da característica. Este algoritmo é baseado em três noções que tornam o algoritmo capaz de realizar a detecção em tempo real: a integração de imagens, a aprendizagem AdaBoost e um classificador Cascade.

⁹⁰ Disponível em: <http://www.mono-project.com/> consultado a jun. 2016

3.2.10 Vista do sistema

- Tempo real;
- Viola Jones aplicando AdaBoost (~95% precisão) [23];
- PCA *Eigenfaces* (~75% precisão) [23].

A detecção de rostos é uma tecnologia da visão por computador, que determina a posição e tamanhos dos rostos humanos nas imagens digitais. O algoritmo permite detetar os traços do rosto e ignorar outros objetos.

A detecção do rosto pode ser considerada como um caso específico da detecção de objetos de classe.

Na detecção de objetos de classe, a tarefa é encontrar os locais e tamanhos de todos os objetos numa imagem digital que pertencem a determinada classe, por exemplos carros.

Existem várias formas para detetar um rosto, umas mais fáceis e outras mais difíceis. Abaixo apresentam-se uma lista com as abordagens mais comuns na detecção do rosto:

- Procurar rostos nas imagens com fundo controlado;
- Procurar rostos por cor;
- Procurar rostos através do movimento;
- Combinação dos pontos anteriores;
- Procurar rostos em ambientes controlados;
- Abordagem por redes neurais;
- Redes neurais aplicando *clusters* de informação estatística;
- Modelo baseado no acompanhamento do rosto;
- Classificadores fracos.

Na implementação deste protótipo foi utilizado o método Viola Jones para a detecção do rosto, porque dá aproximadamente 95% de precisão.

Para um melhor entendimento é apresentado na figura 77, o fluxograma de funcionamento deste SIRnat.

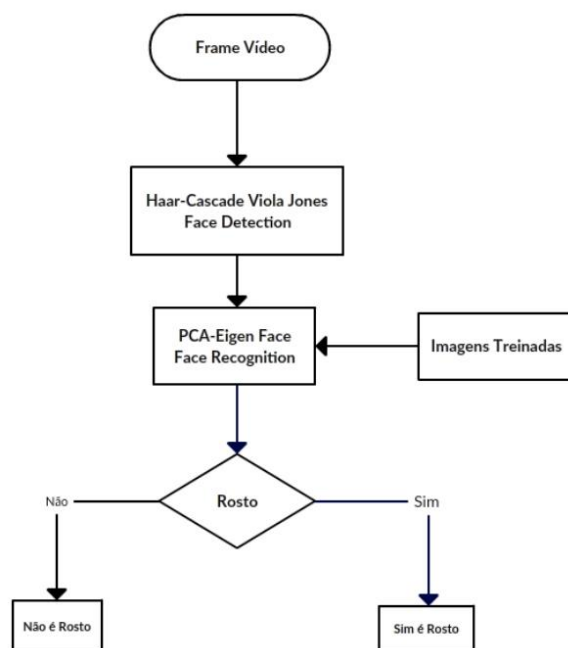


Figura 77 – Fluxograma do sistema

3.2.11 Como funciona o algoritmo de detecção

Normalmente conhecido por método de Viola Jones, esta abordagem à detecção de objetos nas imagens combina quatro conceitos chave:

- Características retangulares simples, chamado de características Haar;
- Uma imagem integral para a detecção rápida da característica;
- O método da aprendizagem de máquina AdaBoost;
- O classificador em Cascade⁹¹ para combinar muitas características de forma eficiente.

Os recursos que Viola Jones utiliza são baseados nas ondas de Haar. As ondas de Haar são ondas quadradas com um comprimento de onda único (uma com intervalo alto e outra com um intervalo baixo). Em duas dimensões, a onda quadrada é um par de retângulos adjacentes, uma branca e outra escura, na figura 81 exibimos essas características.

Porém iremos observar o diagrama que contempla o processo e estrutura do reconhecimento de um rosto, apresentado na figura 78.

⁹¹ Disponível em: <http://bit.ly/2dgPR0x> consultado a mai. 2016

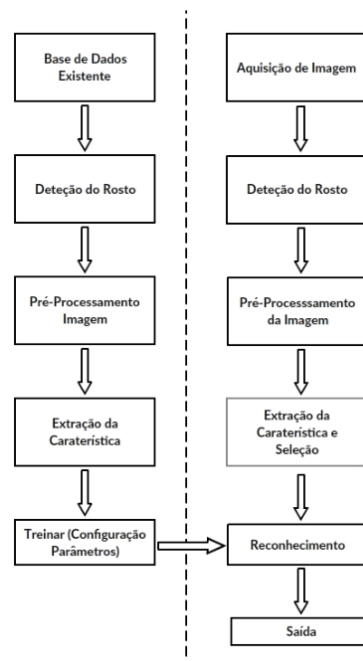


Figura 78 – O Diagrama do processo e estrutura do reconhecimento do rosto

3.2.12 Resumo da solução técnica

O fluxo de atividades abaixo representado ilustra os processos dos algoritmos de deteção e reconhecimento da solução técnica implementada no protótipo.

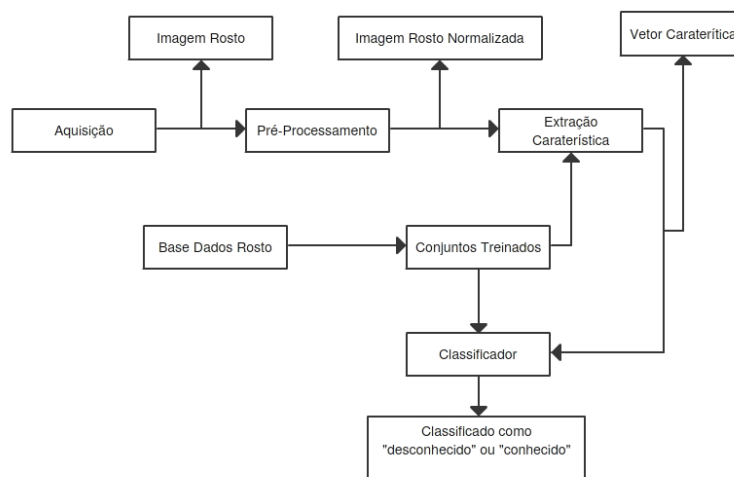


Figura 79 – Diagrama da disposição do sistema

3.2.12.1 O módulo de aquisição

Este módulo consiste nas câmaras disponíveis para realizar a captura do vídeo por *frames*. Foi testado que as câmaras são capazes de capturar e detetar os rostos dentro do parâmetro relativo à distância com a precisão de 5 metros.

3.2.12.2 O módulo de pré-processamento

Existem muitos algoritmos que poderiam ser aplicados para melhorar a precisão e o desempenho em tempo real do sistema.

Contudo no protótipo atual optou-se por usar a imagem com o tamanho definido na função de normalização [8, 22], dando assim também às imagens os tons semelhantes ao nível do preto e branco e o tamanho semelhante ao conjunto das imagens treinadas.

Assim como as *frames* que provêm da captura do vídeo e, que atingem um fluxo de vídeo a uma velocidade de cerca de 30 *frames* por segundo a partir da câmara e dentro do protótipo devemos garantir que seja um frame por segundo de forma a ser exibido no ecrã.

3.2.12.3 A Extração das Caraterísticas

Por forma a identificar a informação recebida dos indivíduos é necessário ter um acompanhamento humano pela via das imagens que se encontram armazenadas na base de dados a uma *frame* por segundo no momento da aquisição. Foi implementado um algoritmo de acompanhamento simples para decidir, caso a posição do indivíduo seja de cerca de $\frac{1}{4}$ das caixas delimitadoras, o objeto é uma nova pessoa e guarda a imagem na base de dados, caso contrário não é um indivíduo [8].

Também teremos que ter em consideração a inexistência de rostos na base de dados do sistema, para evitar comparações aos rostos desnecessárias ao sistema e permitir também por este meio guardar na base de dados estas imagens detetadas e que ficaram sem correspondência.

3.2.12.4 O Módulo de Extração das Caraterísticas

Todos os processos de extração das caraterísticas incluem o algoritmo *AdaBoost*. O algoritmo é usado para selecionar um número específico de classificadores fracos, ou seja, com menor taxa de erro por cada ficheiro *Cascade*. O processo é repetido até se obter um determinado conjunto de critérios (por exemplo: o número de estágios ou etapas, o número de caraterísticas de cada etapa e a deteção da taxa de falsos positivos).

A caraterística extraída através do método de Viola e Jones, é a informação da extração das caraterísticas demonstrado na figura 80.

3.2.12.5 A Extração das Caraterísticas

A deteção do rosto significa procurar objetos complexos numa imagem, de modo que o OpenCV usa um modelo estatístico (conhecido como classificador), na qual é preparado para encontrar o objeto pretendido. O treino consiste num determinado conjunto de imagens, divididas em amostras “positivas” e amostras “negativas” [22]. As amostras positivas são instâncias da classe objeto de interesse e a “negativa”, correspondem a imagens que não contêm o objeto de interesse.

Com a formação deste modelo estatístico, com as imagens anteriormente referidas, serão extraídas um conjunto de caraterísticas e através das caraterísticas distintivas possibilita o seu

uso para classificar um objeto. Como podemos verificar este meio permite obter um detetor com um conjunto de características que dão a hipótese de encontrar o objeto desejado.

O detetor utilizado é o OpenCV, *Haar Cascade Classifier* e utiliza características retangulares simples de acordo com Lienhart e Maydt (2002), chamada característica *Haar*.

A palavra “*Cascade*” no classificador significa que o classificador resultante é composto por vários classificadores mais simples, que são aplicados subsequentemente a uma região de interesse até que a certa altura o candidato é rejeitado ou todas as fases são aceites. Passamos apresentar os classificadores que utilizam a característica *Haar*.

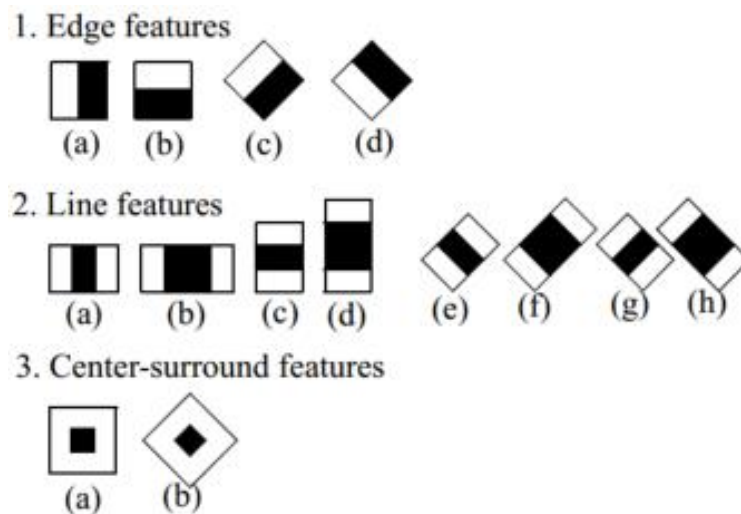


Figura 80 – Conjunto de características retangulares utilizadas no OpenCV⁹²

A característica usada num classificador particular é especificada pela forma, a escala, a posição dentro da região de interesse e para uma melhor compreensão a ideia é que estas características codifiquem a existência de contrastes orientados entre as regiões da imagem, por isso um grupo destas características pode ser utilizado para codificar o contraste exibido por um rosto humano e as relações espaciais existentes.

Basicamente o processo de deteção de um rosto passa uma janela de procura através da imagem, faz a verificação sobre a região da imagem que pode ser considerada como um “objeto do rosto” ou não.

O detetor assume uma escala fixa para o objeto, embora o rosto na imagem possa ter uma escala diferente da assumida, a janela de procura atravessará a imagem várias vezes, para procurar o objeto através de diferentes tamanhos.

⁹² Disponível em: <http://bit.ly/2dYh0Ye> consultado a mai. 2016

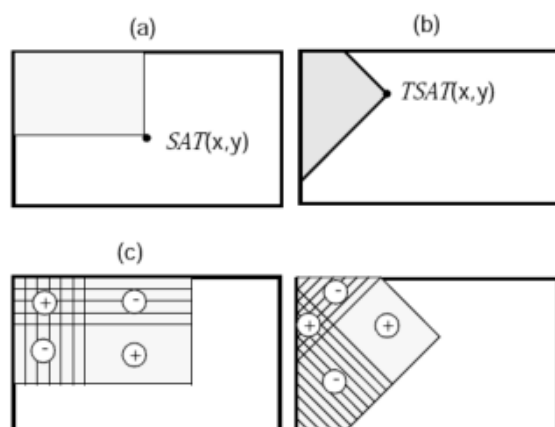


Figura 81 – a) *Upright Summed Area Table (SAT)* and (b) *Rotated Summed Area Table (RSAT)*; calculation scheme of the pixel sum of upright (c) and rotated rectangles⁹³

3.2.12.6 Opções Tecnológicas

O protótipo será desenvolvido na plataforma Windows, que irá disponibilizar a capacidade de desenvolver uma interface de fácil integração com o *hardware* externo.

Neste projeto serão utilizados o Visual Studio e a linguagem C# para desenvolver o protótipo SIRnat. O EmguCV simplifica o código na implementação dos algoritmos no C# e fornece um conjunto de ferramentas para o desenvolvimento, a título de exemplo ao nível dos controlos gráficos disponibiliza o controlo *imagebox*.

3.3 Principais características identificadas

A biblioteca OpenCV disponibiliza um conjunto completo de classificadores como ficheiros XML, que incluem, entre outros, classificadores para rostos frontais, rostos de perfil, olhos, boca, nariz, parte superior do corpo, parte inferior do corpo, entre outros.

Na figura 83 podemos ver as características do algoritmo Haar.



Figura 82 – Classificadores que utilizam a característica Haar

Como se constata o classificador é extremamente rápido, 60 micro instruções, ajustado para detetar cem por cento dos rostos, com quarenta por cento de falsos negativos no primeiro ciclo. Podemos encontrar este *software* nos programas de demonstração da biblioteca

⁹³ Disponível em: <http://bit.ly/2cDsNv9> consultado a mai. 2016

OpenCV, disponível em várias tecnologias de programação e plataformas, na seguinte localização “opencv\sources\samples”.

```

<trees>
  <_>
    <!-- tree 0 -->
    <_>
      <!-- root node -->
      <feature>
        <rects>
          <_>6 4 12 9 -1.</_>
          <_>6 7 12 3 3.</_></rects>
        <tilted>0</tilted></feature>
        <threshold>-0.0315119996666908</threshold>
        <left_val>2.0875380039215088</left_val>
        <right_val>-2.2172100543975830</right_val></_></_>
    <_>
      <!-- tree 1 -->
      <_>
        <!-- root node -->
        <feature>
          <rects>
            <_>6 4 12 7 -1.</_>
            <_>10 4 4 7 3.</_></rects>
          <tilted>0</tilted></feature>
          <threshold>0.0123960003256798</threshold>
          <left_val>-1.8633940219879150</left_val>
          <right_val>1.3272049427032471</right_val></_></_>
      <_>
    <_>
  <_>

```

Figura 83 – Estrutura do ficheiro XML do classificador frontal do rosto

O classificador trabalha as imagens numa escala de preto e branco, para que a imagem BGR recebida seja convertida em tons de preto e branco e de seguida, opcionalmente redimensionada. Exemplo do caso:

```
Image<Bgr, Byte> //EmguCV type color image
```

Nesta fase o histograma é ajustado, significa espalhar os valores da intensidade (brilho) do histograma da imagem. Sendo o momento de detetar os rostos contidos na imagem de entrada, espera-se que a função DetectHaarCascade faça exatamente isso.

Esta função retorna os objetos detetados como uma lista de retângulos. Neste caso, o vetor com os rostos vai guardar os dados recebidos. Esta função também recebe alguns parâmetros para configurar a deteção:

- *scaleFactor*: quanto ao tamanho da imagem, a mesma é reduzida em cada escala de imagem;
- *minNeighbors*: quantos vizinhos devem manter cada retângulo candidato;

- A *flag CV_HAAR_SCALE_IMAGE*, informa o algoritmo para dimensionar a imagem em vez do detetor;
- *minSize*: o tamanho mínimo possível do objeto, se for menor é ignorado.

3.3.1 Integração da imagem

Esta etapa realiza o processamento de partes intermediárias da imagem representadas por retângulos. A integral da imagem localizada no retângulo representado pelos pontos X1, Y1 e X2, Y2 é a soma dos valores dos pixels, na escala de preto e branco, contidos no retângulo.

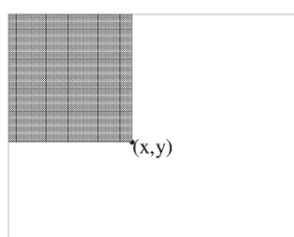


Figura 84 – Integração de imagem (Viola Jones)

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y')$$

Como podemos observar na figura 84, onde $ii(x,y)^{94}$ é a integral⁹⁵ da imagem contida no retângulo que foi processado, enquanto $i(x',y')$ contém a imagem original.

3.3.2 O algoritmo AdaBoost

O AdaBoost [18] (*Adaptive Boosting*) é um algoritmo de aprendizagem do computador ou máquina (*Machine Learning*), que tem como objetivo encontrar uma hipótese final com o menor erro relativo em relação à distribuição de exemplos treinados ou conhecidos. O AdaBoost é adaptável no sentido que as classificações subsequentes são ajustadas a favor das instâncias classificadas negativamente, combinando classificadores fracos com o objetivo de gerar um classificador forte. Como este algoritmo é composto por classificadores fracos o processamento de imagens apresenta tempos de execução muito baixos.

3.3.3 O classificador Cascade

O classificador Cascade [18] é o componente mais crítico do algoritmo Viola Jones, realiza a detecção das feições e a detecção do rosto (*face tracking*). O principal aspeto deste classificador

⁹⁴ Disponível em: <http://bit.ly/2dXaBZY> consultado a jun. 2016

⁹⁵ Disponível em: <http://bit.ly/2eUx7WD> consultado a mar. 2016

é que a maioria das subjanelas negativas são rejeitadas conforme o algoritmo avança e mantendo todas as subjanelas positivas.

Quando o algoritmo Viola Jones inicia o processamento os classificadores iniciais que entrarem em execução são os classificadores mais simples para remover as subjanelas que possivelmente não fazem parte de um rosto, de seguida os classificadores mais complexos são executados nas subjanelas restantes, diminuindo a taxa de falsos positivos. A figura 85, abaixo demonstra como os classificadores são aplicados.

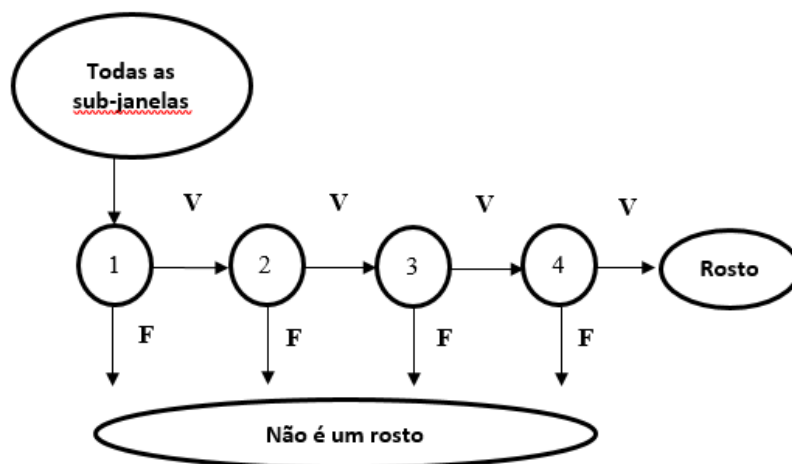


Figura 85 – Estrutura que representa o detetor Cascade (Viola Jones)

3.3.4 Seleção dos classificadores

A implementação no OpenCV de funções de treino (HaarTraining) para a criação dos classificadores de objetos através do algoritmo de Viola Jones, motivou a comunidade científica a desenvolver os seus próprios classificadores localizadores de objetos. Estes classificadores, quando aplicados numa imagem de entrada capaz de identificar as regiões (subjanelas) que contém o objeto alvo a ser localizado. Estes classificadores são ficheiros XML (*Extensible Markup Language*) estruturados em etapas como mostra a figura 86.



Figura 86 – Estrutura do classificador Viola Jones

Cada classificador é formado por várias etapas. O classificador determina o tamanho mínimo da subjanela, que será analisada pelos estágios até que seja reprovada por um deles. Caso a subjanela seja reprovada, a mesma é deslocada na imagem, gerando uma nova subjanela a ser analisada pelo classificador. Após varrer toda a imagem, a subjanela terá dimensões ampliadas e o processo recomeça através da imagem toda, conforme mostra a figura 87.



Figura 87 – Detecção de rosto: a subjanela percorre toda a imagem

Cada etapa é composta por características e por um limiar de etapa. Cada característica é formada por retângulos, por um limiar de característica, o valor à esquerda e o valor à direita. Na figura 88 é apresentado o exemplo da estrutura de apenas uma única etapa.

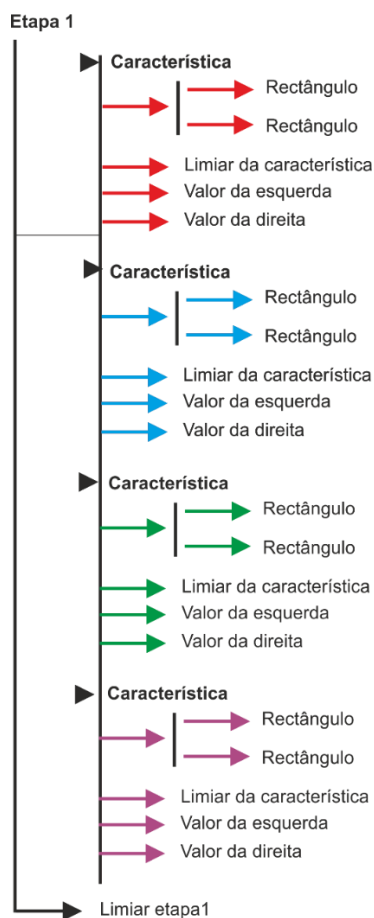


Figura 88 – Estrutura de uma etapa utilizada no classificador de localização do objeto. Cada característica é formada por 2 ou 3 retângulos, conforme visualizamos anteriormente. A característica possui um valor à esquerda e um valor à direita. Estes valores são pesos

encontrados no processo de treino e atribuídos a cada característica, os quais são somados e comparados com o limiar de etapa.

O valor de cada característica é calculado pela aplicação da mesma na subjanela. Se o valor da característica for menor do que seu limiar, acumula-se o valor da esquerda, caso contrário, o valor acumulado é o valor da direita. Para uma subjanela ser validada por uma etapa, o valor acumulado por todas as características deve ser menor do que o limiar da etapa. Alguns classificadores localizadores do objeto (rosto) são distribuídos na implementação do OpenCV. Nesta dissertação utilizamos 5 classificadores que são apresentados na tabela 14.

Tabela 14 – Classificadores Haar Cascade

Tipo de Classificador	Tamanho	Etapas	Posição	Referências
FD (haarcascade_frontalface_default.xml)	24x24	25	Frontal	Lienhart et. Al.(2003a); Lienhart et. Al. (2003b)
FA1 (haarcascade_frontalface_alt.xml)	20x20	22	Frontal	
FAT (haarcascade_frontalface_alt_tree.xml)	20x20	46	Frontal	
FA2 (haarcascade_frontalface_alt2.xml)	20x20	20	Frontal	
PR (haarcascade_profileface.xml)	20x20	26	Perfil	Bradley (2011)

A escolha destes classificadores é o resultado de uma pesquisa bibliográfica⁹⁶ criteriosa, de onde foram extraídas as referências para a tabela 14 e os respectivos classificadores. Estes classificadores contêm uma amostra de milhares de rostos humanos e, que por defeito acompanham as bibliotecas OpenCV e EmguCV. Seria desperdiçar tempo e energias na criação de um novo classificador quando já existem classificadores bastante completos. Com a aplicação do HaarTraining e uma grande base de dados de imagens do rosto, conseguiríamos criar um classificador frontal do rosto humano.

Os classificadores PR, FD, FAT, FA2, FA1 estão disponíveis na versão 2.4 da biblioteca OpenCV.

3.4 Modelo concetual do protótipo

Apresentamos o modelo concetual do protótipo, através de um esboço da interface gráfica para a implementação do protótipo. Representam uma orientação bastante útil para a construção da interface que irá dar suporte à implementação.

Conforme constatamos pela figura 89, esta interface fará a ligação com as câmaras responsáveis pela captura e visualização das imagens em tempo real e, com os algoritmos responsáveis pela deteção e reconhecimento, e a comunicação com a base de dados.

⁹⁶ Disponível em: <http://bit.ly/2ftJX9m> consultado a mai de 2016.

Também servirá para apresentar outras informações ou elementos que sejam pertinentes a sua visualização de forma a podermos apurar a precisão e eficiência do sistema.

Como podemos visualizar na figura, pensamos num menu de navegação que pode fazer parte do sistema. Este menu permitirá a navegação entre as interfaces e opções disponibilizadas no sistema. Deverá existir uma opção que seja um canal de saída das informações do sistema, nos casos da necessidade de exportar os dados para outras finalidades.

O diagrama mostra uma interface de software intitulada "Form Principal". No topo, há uma barra de navegação com três opções: "Home" (destacada em azul), "Opções" e "Ajuda". Abaixo, a interface é dividida em seções. À esquerda, há duas colunas: "Entrada" e "Saída", cada uma com um ícone de uma pessoa sorridente. Abaixo delas, há um botão "Iniciar/Parar". À direita, há uma seção de estatísticas com os seguintes dados: "Nr. de Entradas: 0", "Nr. de Saídas: 0", "Nomes:" (duas vezes), "Nr. Presenças: 0" e "Nr. Ocorrências: 0". Abaixo das estatísticas, há uma seção "Lista de presenças:" com uma lista contendo "Item One", "Item Two" e "Item Three". Na base da interface, há três colunas de filtros: "Desconhecidos", "Todos registos" e "Registos únicos". Cada coluna contém uma lista de "Item One", "Item Two" e "Item Three".

Figura 89 – Ecrã principal

A necessidade de gerir e corrigir o sistema, nas situações de consulta, registar, gravar, atualizar ou eliminar a imagem do rosto de uma pessoa registada na base de dados, carece de uma interface capaz de dar resposta a esta necessidade do SIRnat.

Por esta forma, a interface que visualizamos na figura 90, permitirá um maior controlo e automatismo necessário no processo de registo do indivíduo e na monitorização da eficiência do sistema na aquisição das imagens a serem registadas na base de dados de imagens.

O diagrama mostra uma interface de software intitulada "Aprendizagem". À esquerda, há um ícone de uma pessoa sorridente. À direita, há uma seção "Resultados:" com um retângulo contendo uma grande 'X', indicando que não há resultados. Abaixo do ícone, há um botão "<" e um botão "Adicionar Imagens" com um botão ">". Na base da interface, há um campo de texto "Nome:" com o texto "Inserir o nome da pessoa" e um botão "Registrar".

Figura 90 – Ecrã gravar dados

4 Implementação do SIRnat

*“Não há saber mais ou saber menos:
Há saberes diferentes”.*

Paulo Freire

Neste capítulo iremos indicar as partes que foram pesquisadas e estudadas para serem implementadas, ajustadas e otimizadas nas condições do mundo real no SIRnat.

O SIRnat foi concebido para ser um sistema de reconhecimento e registos natural em tempo real.

A implementação foi desenvolvida para detetar e reconhecer pessoas de forma natural dentro de uma sala de aula, que permita reunir os dados dos registos das presenças dos alunos de forma natural na sala de aula e substituir qualquer outro método de controlo de assiduidade, mesmo os que utilizam a tecnologia biométrica, dado o SIRnat não ter qualquer interação física ou intrusiva com o utilizador. O SIRnat foi construído com o recurso da *framework* .NET e o Visual Studio, EmguCV, OpenCV e uma base de dados de imagens com o rosto das pessoas que colaboraram no presente estudo.

No que compreende o código e algoritmos, para os algoritmos foi realizada uma extensa pesquisa para selecionar os algoritmos mais apropriados e que são mais adequados para o desenvolvimento do projeto. Selecionamos o EmguCV, devido a disponibilizar um conjunto de ferramentas para a nossa implementação, nomeadamente a documentação e aplicação. A arquitetura interna do EmguCV pode ser revista no subcapítulo 2.13.3 Visão Geral da Arquitetura.

Passaremos abordar a composição do protótipo.

Interface principal do protótipo

- Criação de menu para realizar o processo de interação entre os ecrãs e opções disponibilizadas;
- Criação do ecrã principal do protótipo, contempla as funções principais do protótipo;
- Criação do ecrã para a aquisição e registo do rosto no protótipo.

No que se refere à deteção do rosto destacamos os seguintes pontos:

- Criação de uma função de ligação e controlo, para a aferição do estado de inicialização e paragem do sistema de captura de vídeo em tempo real;

- Implementação do processo de captura das imagens a partir da câmara, baseado na funcionalidade do EmguCV e na pesquisa para a otimização dos parâmetros utilizados;
- Implementação do algoritmo de deteção do rosto, baseado na funcionalidade do EmguCV, assim como na pesquisa de otimização e dos parâmetros aplicados;
- Implementação do processo de visualização da deteção do rosto aplicando os contornos na imagem e o respetivo nome da pessoa.

Ao que se refere ao reconhecimento do rosto destacamos o seguinte:

- Implementação do algoritmo de reconhecimento do rosto, baseado na funcionalidade do EmguCV, tal como na pesquisa de otimização e dos parâmetros utilizados;
- Implementação do processo de visualização da deteção do rosto aplicando os contornos na imagem e o respetivo nome da pessoa;
- Implementação do algoritmo de reconhecimento para verificação dos rostos não reconhecidos.

Relativamente à base de dados destacamos o seguinte:

- Criação de interface gráfico para os registos dos indivíduos, parametrizado para adquirir 10 imagens por pessoa automaticamente, com intervalos de 10 segundos entre cada imagem e a possibilidade de controlar individualmente o processo de visualização e adição da imagem capturada ou do conjunto de imagens;
- Implementação do processo de armazenamento dos dados, baseado na funcionalidade do EmguCV, como na pesquisa de otimização e dos parâmetros usados.

4.1 A deteção do rosto

O sistema foi desenvolvido baseado no EmguCV e disponibiliza as bibliotecas aplicadas na implementação dos algoritmos de deteção e reconhecimento do rosto.

O detetor do rosto responde a uma série de parâmetros, relacionadas com filtros de forma a conseguir classificar certas regiões numa imagem a existência de um rosto.

Os filtros são chamados de filtros Haar e são calculados através da soma dos pixéis dentro de uma série de retângulos e que multiplicam cada soma por um peso e adiciona os resultados.

Passamos a exemplificar os passos da implementação.

O sistema carrega o ficheiro Haar com o seguinte nome “haarcascade_frontalface_default.xml” para detetar os rostos na posição frontal na imagem. Este ficheiro possui as métricas⁹⁷ para a deteção dos rostos. Código de exemplo:

```
Rosto = new HaarCascade("haarcascade_frontalface_default.xml");
```

⁹⁷ Disponível em: <http://bit.ly/2dPhZIU> consultado a ago. 2016

O primeiro parâmetro da chamada ao método DetectHaarCascade() é o ficheiro XML a partir do qual, os dados aprendidos ou treinados no ficheiro são carregados para o classificador Haar. Depois de carregarmos as métricas para o Haar realizar a operação de filtrar cada imagem (*frame*) obtida pela câmara, a imagem é digitalizada pelos parâmetros definidos no código. Neste momento o quadrado onde foi detetado o rosto é convertido numa imagem em tons de preto e branco e é executada a equalização do histograma⁹⁸. Ao nível da deteção existem vários parâmetros que poderemos ajustar ao nível do detetor do rosto. Na aplicação do detetor, utilizam-se os seguintes tipos de deteção Haar:

- O parâmetro “DEFAULT”, valor por defeito e não são realizadas otimizações;
- O parâmetro “DO_CANNY_PRUNING”, ignora as regiões da imagem que não são suscetíveis de conter um rosto, reduzindo a carga do processamento e possivelmente eliminação de algumas falsas deteções;
- Este parâmetro “SCALE_IMAGE”, para cada fator de escala utilizado na função irá reduzir a imagem, ao contrário de aumentar a funcionalidade das coordenadas do classificador Haar Cascade;
- O parâmetro “FIND_BIGGEST_OBJECT”, a definição deste tipo faz com que a função procure por um objeto maior na imagem;
- Este parâmetro “DO_ROUGH_SEARCH”, apenas o devemos usar no caso de se aplicar o parâmetro “CV_HAAR_FIND_BIGGEST_OBJECT” e definido com valor mínimo dos pontos vizinhos “min_neighbors > 0”. Desta forma a função é mais eficiente, pois apenas encontra o objeto e com candidatos vizinhos suficientes para realizar a operação de detetar o objeto. O valor deste parâmetro é definido entre 1 e 4, o que quer dizer que quanto maior for o “min_neighbors” especificado melhor a precisão;
- O parâmetro “scaleFactor” representa o tamanho mínimo que um rosto deverá ter para ser procurado na imagem. No nosso caso definimos por exemplo 20x20, embora este parâmetro tenha que estar de acordo com os parâmetros do classificador que aplicarmos.

Exemplificamos o código de aplicação para a otimização da performance com o classificador de deteção “DetectHaarCascade()”.

```
McvAvgComp[][] facesDetected = gray.DetectHaarCascade(Haar, 1.2, 10, Emgu.CV.CvEnum.HAAR_DETECTION_TYPE.DO_CANNY_PRUNING, new Size(20, 20));
```

De forma a obtermos uma ideia mais clarificadora sobre todo este procedimento, apresentamos abaixo o diagrama de sequência da deteção do rosto.

⁹⁸ Disponível em: <http://bit.ly/2du8HkP> consultado a ago. 2016

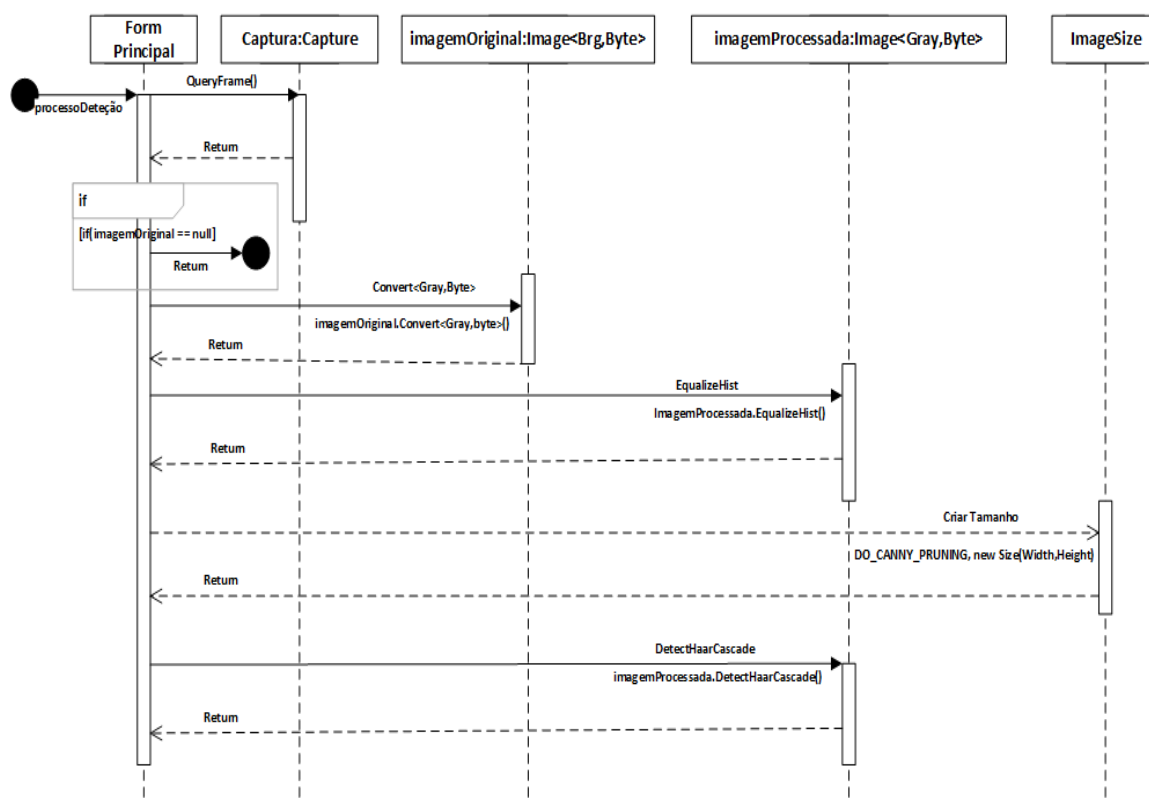


Figura 91 – Diagrama de seqüência da detecção do rosto

4.2 Algoritmos e código

Para o reconhecimento do rosto o EmguCV aplica uma série de algoritmos e combinações de cálculos matemáticos. Este processo é implementado pelo algoritmo de análise de componentes principais (PCA)⁹⁹.

A primeira etapa é a obtenção dos rostos aprendidos ou treinados, ou seja, a pasta que contém o conjunto de imagens dos rostos e o ficheiro que contempla o nome de cada um deles.

O rosto extraído através do detetor do rosto é comparado com o conjunto *Eigenfaces*. Isto significa que as características do rosto detetado serão comparadas (distância) com as características do *Eigenfaces* e devolverá o rosto mais similar.

O resultado deste rosto corresponde a um nome no ficheiro “ImagensRegistadas.txt”. Para alcançar o objetivo, o *McvTermCriteria* (parâmetro do EmguCv) realiza a comparação da distância das características do rosto entre a imagem detetada e o conjunto de imagens do *Eigenfaces*.

Quanto menor for o valor deste conjunto, maior será a probabilidade de a imagem examinada ser tratada como desconhecida. Em contrapartida quanto maior forem os valores, aumenta a probabilidade da correspondência ser mais aproximada com as imagens presentes no conjunto do *Eigenfaces*.

⁹⁹ Disponível em: <http://bit.ly/2dBlInnb> consultado a mai. 2016

A partir deste momento existe a necessidade de definir os parâmetros do *McvTermCriteria*, pelo qual será devolvido o nome correspondente à deteção do rosto mais idêntico.

O limite que definimos foi devolver sempre o rosto mais semelhante presente no conjunto do *Eigenface*, através da verificação das distâncias das características entre os rostos.

Desta forma pretendemos assegurar situações em que o rosto detetado possa estar afetado por alguma condição e o algoritmo irá sempre devolver o rosto mais semelhante do conjunto que contém na pasta.

Seguidamente iniciaremos a apresentação da função para detetar e desenhar um rosto, onde se sucedem os processos de deteção e reconhecimento do rosto.

O código que exemplifica esta implementação é o seguinte:

```
//Obter frame do dispositivo de captura
Image<Bgr, Byte>currentFrameIn =Frame.QueryFrame().Resize(Width, Height,
Emgu.CV.CvEnum.INTER.CV_INTER_CUBIC);
//Passar evento, frame nos tons de preto e branco
Frame = currentFrameIn.Convert<Gray, Byte>();
//DetectHaarCascade e EigenObjectRecognizer
McvAvgComp[][] facesDetected = Frame.DetectHaarCascade(
//Detetor do rosto
Haar,1.2,10,.CV.CvEnum.HAAR_DETECTION_TYPE.DO_CANNY_PRUNING.new Size(20,
20));
    //Acao para cada elemento detetado
foreach (McvAvgComp f in facesDetected[0])
//Assim que o rosto for detetado, tentamos reconhecer
{
//redimensionar o rosto detetado na imagem, para ser comparado //com o
mesmo tamanho da imagem treinada-método interpolação
result = currentFrameIn.Copy(f.rect).Convert<Gray, byte>().Resize(100, 100,
Emgu.CV.CvEnum.INTER.CV_INTER_CUBIC)
McvTermCriteria termCrit = new McvTermCriteria(ContTrain, 0.001);
//Eigenface - Reconhecimento do rosto
EigenObjectRecognizer recognizer = new
EigenObjectRecognizer(ImagensRegistadas.ToArray(),
labels.ToArray(), 5000, ref termCrit);
nome = recognizer.Recognize(result);
}
```

Como podemos verificar resumidamente o processo de captura leva a imagem obtida através da câmara em frames, sendo esta imagem transformada com o tipo de cor para imagem do EmguCV.

Assim que o dispositivo de captura (câmara) inicializa, o detetor está operacional para classificar as imagens. As imagens e os nomes aprendidos ou treinados previamente são disponibilizados ao algoritmo de reconhecimento (*EigenObjectRecognizer*).

A partir deste ponto entra o processo do processamento de cada frame capturada, sendo este evento responsável por providenciar a deteção e processamento das imagens por cada frame capturada.

Esta etapa é muito importante, devido aplicar-se os métodos de deteção *DetectHaarCascade* e do reconhecimento *EigenObjectRecognizer* e parametrizado as operações necessárias. Então

para cada rosto detetado numa frame é aplicado o detetor do rosto e desencadeada ações por cada elemento detetado.

Sendo um rosto detetado é despoletado o processo de reconhecimento. A imagem detetada é redimensionada para realização da comparação e esta tem que ter o mesmo tamanho da imagem armazenada na base de dados para ser aplicado o método de interpolação do tipo cúbico.

Definimos o critério de interações máximas com o número de imagens treinadas para o reconhecimento do rosto e aplicamos o algoritmo de reconhecimento *EigenObjectRecognizer*. Após esta etapa é localizado o rosto detetado e marcado através de uma área de texto com o seu nome e um retângulo por cada rosto detetado na imagem.

Para termos um melhor entendimento do sistema de reconhecimento apresentamos de seguida o diagrama de sequência do reconhecimento do rosto.

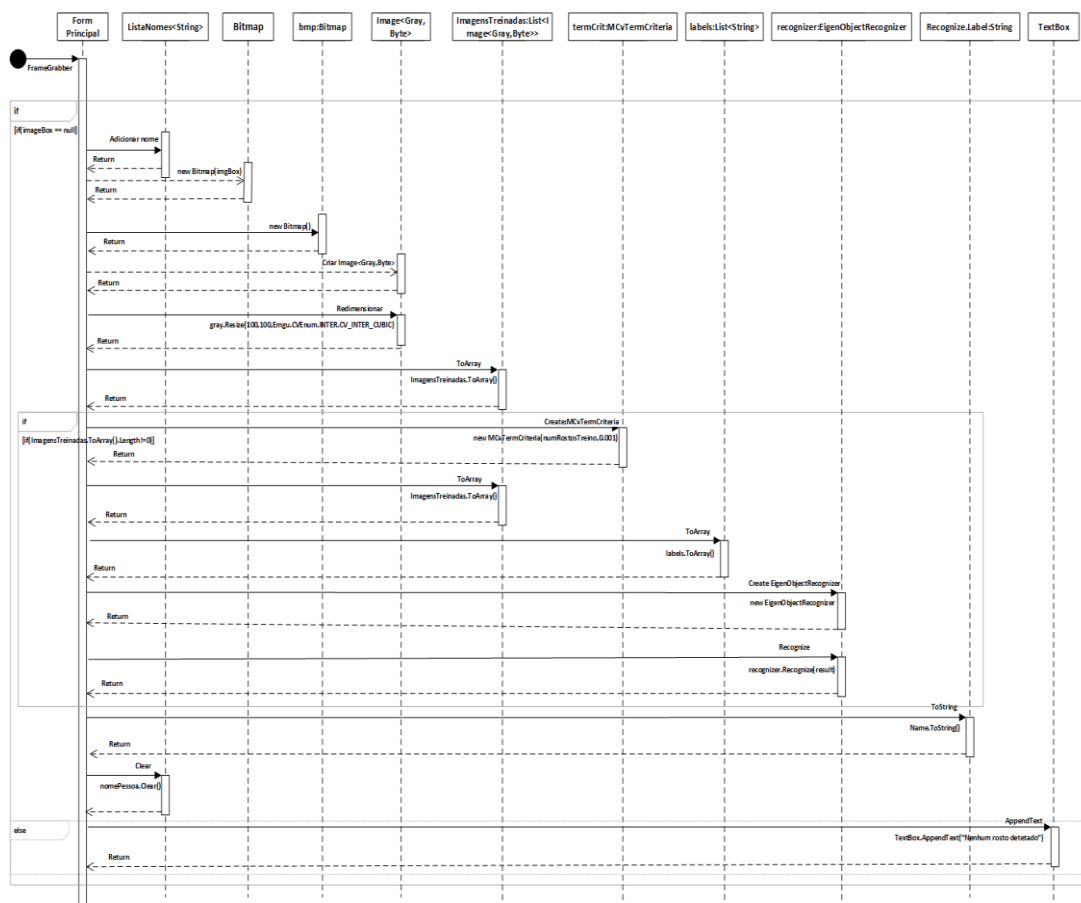


Figura 92 – Diagrama de sequência do reconhecimento do rosto

Por conseguinte ao que se refere às classes aplicadas no protótipo SIRnat, foram geradas a partir do C# e encontram-se disponível para consulta no diagrama de classes principais do protótipo na secção de anexos como anexo 1.

O esquema¹⁰⁰ abaixo ilustra a representação gráfica do processo:

¹⁰⁰ Disponível em: <http://bit.ly/2diYhGG> consultado a jun. 2016

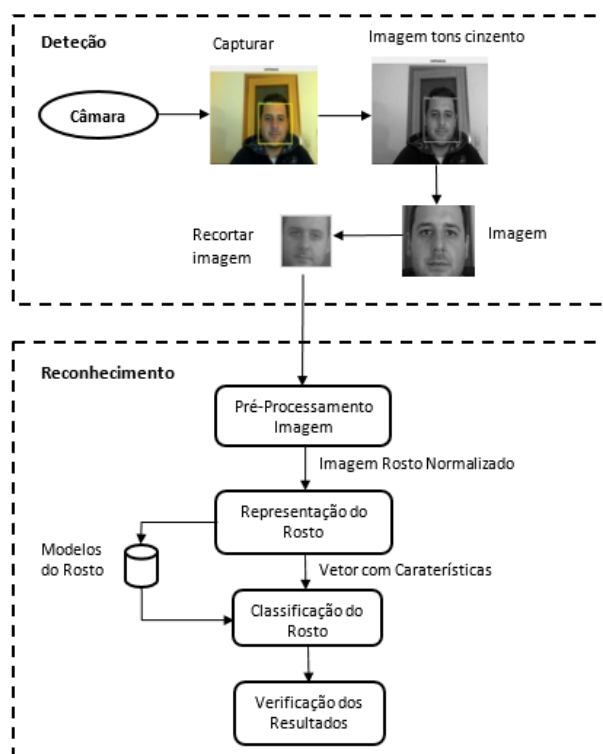


Figura 93 – Técnicas de normalização fotométrica

4.3 O modelo conceptual

O registo de presenças atualmente existente nas escolas é essencialmente de três tipos:

- Chamada oral com registo no livro de ponto;
- Folha de presenças (é passada uma folha de presenças aos alunos);
- Tecnológico (o aluno e o docente dispõem de um cartão que regista as presenças).

Verifica-se que qualquer um destes sistemas pode ser falível na medida em que podem existir falhas de registo como, a título de exemplo as apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 15 Tipos de registo de presença e as suas falhas mais comuns

Tipo de registo	Erros / Falibilidade
Chamada oral	O docente esqueceu-se ou o aluno chegou após a sua chamada ou não a ouviu.
Folha de presenças	Os colegas por vezes assinam a folha de presenças por outro aluno.
Tecnológico (Cartão)	Um aluno regista vários cartões, esquece-se do cartão ou até de o passar.

Considerando que um sistema alicerçado numa tecnologia biométrica natural (ou seja, sem a necessidade que qualquer procedimento para além do ato de entrar na sala de aula decidimos implementar uma solução que pudesse ter potencial para efetuar o registo dos intervenientes no processo sem que estes tivessem que executar algum tipo de tarefa para além a sua entrada na sala.

A figura seguinte apresenta o modelo conceptual do SIRnat onde a alunos e docentes bastará entrar na sala para que o registo da sua presença seja efetuado.

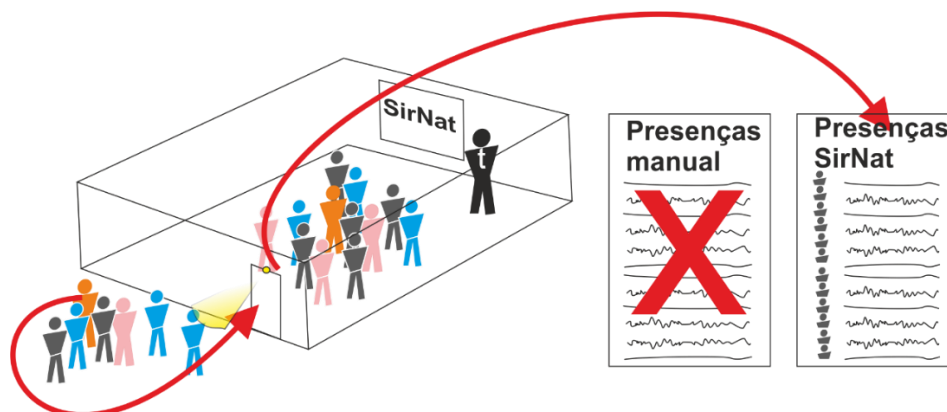


Figura 94 – SIRnat, o antes e o depois

Deste modo, estaríamos a eliminar outros tipos de registo como a chamada oral, as folhas de presenças, os cartões e passando o processo a ser natural.

Para o efeito seria necessário desenvolver uma solução que pudesse detetar e reconhecer um rosto humano (existente na base de imagens) e que o associasse a um determinado indivíduo. Caso entrasse alguém desconhecido, o sistema deveria ser capaz de dar essa informação e até de registar a sua entrada na sala de aula.

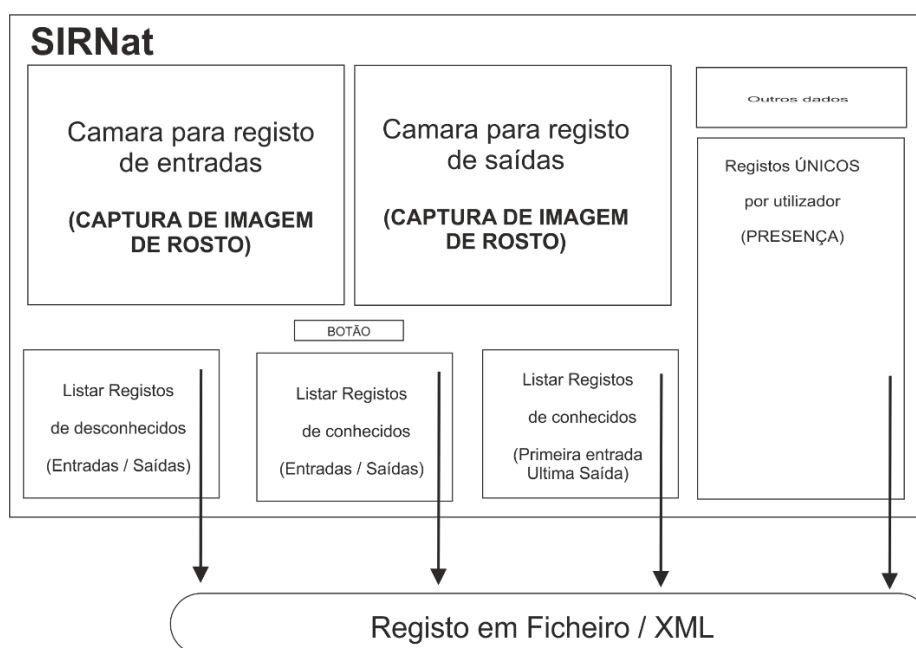


Figura 95 – Modelo conceptual da aplicação SIRnat

Conceptualmente o modelo a desenvolver deverá ser capaz de registar através de camaras de vídeo a entrada e saída de pessoas num espaço e de recorrer a algoritmos de reconhecimento que pesquisem e identifiquem nas bases de imagens um determinado indivíduo procedendo ao registo temporal das suas entradas e saídas.

O processo deverá numa primeira fase proporcionar a criação de uma base de imagens dos utilizadores. Consideramos que o procedimento era necessário após inúmeras leituras sobre o tema e pelo facto de a pessoa poder entrar na sala com o rosto numa posição diferente da capturada numa única imagem.

Um processo, baseado apenas numa única fotografia é altamente falível e apenas deteta o utilizador naquela posição errando em qualquer outra.

Planeamos um processo que pudesse capturar inúmeras fotos do utilizador que deverão ser guardadas numa base de imagens em diferentes possíveis posições. O processo é ilustrado na figura seguinte:

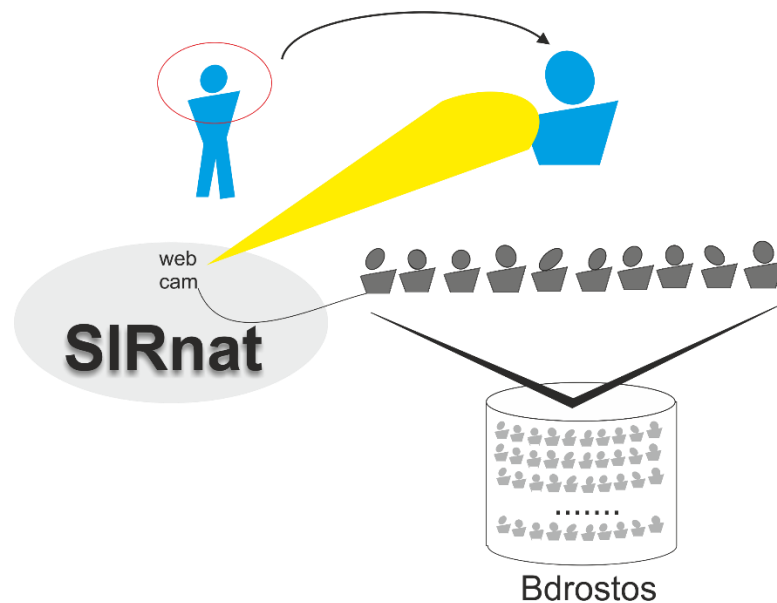


Figura 96 – Criação da BD rostos do SIRnat

A cada nova entrada, o SIRnat deverá consultar a base de dados e de imagens estabelecendo a correspondência entre o nome do utilizador e o seu rosto.

O processo de captura é de facto de extrema importância para uma garantia de funcionamento da solução, embora devam ser consideradas outras situações como por exemplo a qualidade da camara utilizada ou a luminosidade do espaço uma vez que podem influenciar o reconhecimento ou mesmo impedir a correta identificação. Naturalmente, se por exemplo a sala for mal iluminada a deteção será irremediavelmente comprometida.

Dado que as pessoas podem mover o seu rosto em diferentes direções e alturas, planeamos o seguinte método de captura.

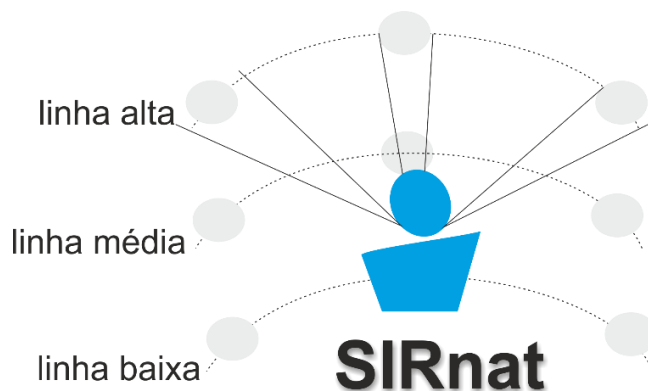


Figura 97 – Mecanismo de captura de cada rosto

Como se apresenta na figura anterior, deverá ser solicitado ao utilizador que durante o processo de captura, sejam tiradas 9 fotos (+ uma) movimente a cabeça de acordo com as 9 posições apresentadas seguindo três linhas:

- Linha alta: captura três posições simulando o olhar para cima (esquerda, frente, direita);
- Linha média: captura três posições simulando o olhar para a frente (esquerda, frente, direita);
- Linha baixa: captura três posições simulando o olhar para baixo (esquerda, frente, direita).

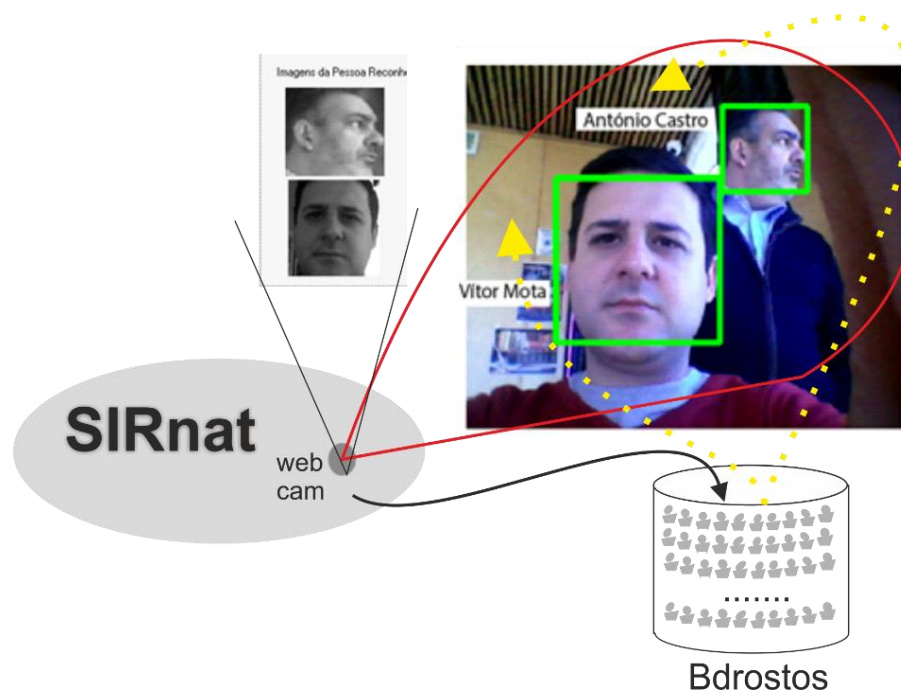


Figura 98 – Processo de deteção e reconhecimento e colocação do nome na legenda

No final será necessário guardar a informação em ficheiro como se da folha de presenças se tratasse.

4.4 A interface do SIRnat

De acordo com os requisitos iniciais e esboço do desenho da interface do protótipo, este foi projetado e desenvolvido de acordo com as necessidades da informação que se pretendem visualizar, cada componente dentro do protótipo foi pensado para ser simples, útil e ao mesmo tempo muito informativo e de fácil interação com o utilizador. Os ecrãs do protótipo podem ser visualizados na secção de anexos como anexo.

Muito resumidamente iremos apresentar os ecrãs disponibilizados focando as suas características e funcionalidades.

A interface principal do protótipo, na qual contém as principais funcionalidades da implementação, disponibiliza ao utilizador controlos visuais essenciais de visualização que permitam ao utilizador ter a real perceção do que realmente o sistema de deteção e reconhecimento em tempo real está a “ver”.

Quanto ao ecrã da interface de registo único por cada rosto, podemos dizer que é bastante útil, de fácil controlo para a operação pretendida (de treinar ou aprender um rosto) quando se pretende realizar o procedimento de recenseamento de uma nova pessoa no sistema. O ecrã da interface do registo e aprendizagem do rosto, tem o mesmo propósito que o anterior embora contemple mais funcionalidades. O ecrã da interface “Sobre” tem uma utilidade informativa e de boas práticas ao apresentar informações sobre o protótipo.

Passemos abordar a composição do menu de seleção, a opção no menu do separador “Inicial” conta com as seguintes opções, de “Limpar registos”, conforme o nome indica limpa todos os registos presentes nos controlos da interface principal do protótipo e a opção de “Sair”, como o nome indica permite desligar o protótipo.

O separador “Opções” do menu principal, possibilita aceder ao ecrã de “Adicionar rosto”, esta interface foi a versão inicial da adição e treino do rosto da pessoa e acabou por ficar como parte do protótipo pela sua utilidade simples e prática no controlo individual de aprendizagem da pessoa.

Neste menu a opção “Treinar rosto”, faz a ligação ao ecrã da interface que contempla os requisitos da segunda versão do desenvolvimento no âmbito do treino e aprendizagem do rosto humano, à qual contemplamos a aquisição automática de 10 imagens da pessoa com intervalos de 10 segundos entre cada imagem e a possibilidade de visualizar e verificar as mesmas após o processo finalizar, proceder a eventuais correções nas imagens obtidas antes de as registar.

No separador “Desconhecidos” é possível ativarmos ou desativarmos a deteção de um rosto desconhecido pelo sistema, ou seja, que não foi reconhecido pelo sistema e sendo visto para o sistema como um rosto ainda não registado.

A última opção do menu de “Opções” é o separador “Exportar marcações”, as exportações são realizadas através de um ficheiro no formato XML.

Disponibilizamos duas opções, a opção “Todos os registos” que possibilita exportação de todas as entradas e saídas da pessoa e a outra opção “Registos únicos”, que realiza a exportação das marcações compostas apenas por uma entrada e uma saída referente a cada pessoa.

4.5 Aquisição e captura de imagem

O processo de aquisição das imagens do rosto dos indivíduos capturados pelo protótipo, necessita previamente de conter uma base de dados com as imagens frontais do rosto dos indivíduos, conforme vimos anteriormente no subcapítulo 3.3.4 base de dados. Para o efeito tivemos de criar uma base de dados com as imagens do rosto frontal de cada pessoa que pretendamos que sejam devidamente identificadas no sistema.

Por conseguinte também tivemos que elaborar uma interface capaz de dar suporte a este processo de aquisição e captura das imagens do rosto e a associação do seu nome, para posteriormente ser aplicado na interface principal, responsável pela deteção e reconhecimento natural em tempo real.

Os ecrãs das interfaces que oferece suporte a este processo estão disponíveis na secção de anexos, como anexos 3 e 4.

4.6 Registo natural de presenças

A implementação do processo de deteção e reconhecimento, permitiu-nos desenvolver o tratamento dos dados da informação de forma a que obtivéssemos um registo natural das presenças e com a possibilidade de termos uma lista com as marcações real das pessoas que se encontram dentro de uma sala de aula.

Por esta via conseguimos obter um registo das marcações das entradas e saídas e de uma lista de presenças com os resultados adquiridos através do processo de deteção e reconhecimento em tempo real por via natural, no nosso caso o rosto da pessoa. Conforme podemos verificar a título demonstrativo na figura 99.

Assim que a pessoa é detetada pela câmara responsável por assegurar as entradas e saídas no espaço da sala de aula, a pessoa reconhecida passa a estar presente na lista de presenças. Aquando da sua deteção pela câmara responsável por aferir a saída da sala de aula, a pessoa é removida da lista de presenças, ou seja, deixou de estar presente na sala de aula.

7 REGISTO ÚNICO - ENTRADA & SAÍDA		RESULTADOS EM TEMPO REAL	
Jose Moreira - Entrada	29-9-2016 11:11	Nr. de Entradas: 1	Nr. de Saídas: 0
Mario Matias - Entrada	29-9-2016 11:11	Nomes: Ricardo Brioso	Nomes:
Ricardo Brioso - Entrada	29-9-2016 11:12	Ocorrências Deteção: 19	Nr. Presenças: 7
Ruben Ribeiro - Entrada	29-9-2016 11:12	LISTA DE PRESENCAS	
Rui Mariz - Entrada	29-9-2016 11:12	Nome: Jose Moreira Data/Hora: 29-9-2016 11:10	
Vitor Mota - Entrada	29-9-2016 11:12	Nome: Mario Matias Data/Hora: 29-9-2016 11:10	
Vivaldo Djol - Entrada	29-9-2016 11:12	Nome: Ricardo Brioso Data/Hora: 29-9-2016 11:10	
		Nome: Ruben Ribeiro Data/Hora: 29-9-2016 11:10	
		Nome: Rui Mariz Data/Hora: 29-9-2016 11:10	
		Nome: Vitor Mota Data/Hora: 29-9-2016 11:10	
		Nome: Vivaldo Djol Data/Hora: 29-9-2016 11:10	

Figura 99 – Lista de presenças

Todavia as informações referentes aos registos de entradas e saídas adquiridas de um dado indivíduo, prevalecem gravadas numa lista com estas operações.

4.7 Exportação da informação

A exportação da informação do SIRnat é relevante dado disponibilizar todos os registos das presenças e a consulta da informação de uma forma organizada e facultar a possibilidade desta informação ser integrada com outros serviços, através da exportação dos dados em ficheiros do tipo XML. Assim sendo veremos como se procede a exportação da informação e respetiva disponibilização para consulta e mesmo para outras utilizações.

A lista de presenças tem como função fornecer a informação de quem está presente na sala de aula, ou seja, a pessoa entrou na sala é visível na lista de presenças e quando sair é removida da mesma. Devido à volatilidade da informação, preferimos automatizar o registo deste evento do tipo “*ListBox*”, que permita proceder à exportação das marcações presentes na lista de presenças para um ficheiro no formato XML, conforme podemos ver na figura 100.

```
-<ArrayOfString>
  <string>Nome: Angelo Pinto Data/Hora: 22-9-2016 23:01</string>
  <string>
    Nome: antonio vieira de castro Data/Hora: 22-9-2016 23:01
  </string>
  <string>Nome: claudio guerra Data/Hora: 22-9-2016 23:01</string>
  <string>Nome: Vitor Mota Data/Hora: 22-9-2016 23:01</string>
</ArrayOfString>
```

Figura 100 – Exportação da lista de presenças

Na tentativa de fornecer a informação mais apropriada e útil no SIRnat, incluímos o registo e visualização das marcações por entrada e saída por cada pessoa por cada ato único, ver a figura 101.

```
-<RegistosUnicos>
  <Nome>Angelo Pinto - Entrada</Nome>
  <Data>22-9-2016 22:52</Data>
  <Nome>Angelo Pinto - Saida</Nome>
  <Data>22-9-2016 22:52</Data>
  <Nome>antonio vieira de castro - Entrada</Nome>
  <Data>22-9-2016 22:52</Data>
  <Nome>antonio vieira de castro - Saida</Nome>
  <Data>22-9-2016 22:52</Data>
  <Nome>claudio guerra - Entrada</Nome>
  <Data>22-9-2016 22:52</Data>
  <Nome>claudio guerra - Saida</Nome>
  <Data>22-9-2016 22:52</Data>
  <Nome>Daniel Martins - Entrada</Nome>
  <Data>22-9-2016 22:52</Data>
  <Nome>Tiago Coelho - Entrada</Nome>
  <Data>22-9-2016 22:55</Data>
  <Nome>Tiago Coelho - Saida</Nome>
  <Data>22-9-2016 22:56</Data>
  <Nome>Vitor Mota - Entrada</Nome>
  <Data>22-9-2016 22:56</Data>
</RegistosUnicos>
```

Figura 101 – Exportação de todas as entradas e saídas

Assim como também facultamos outro modo de visualização e exportação da informação, que abrange todos os registos das entradas e saídas das pessoas que o protótipo consegue reconhecer naturalmente dentro da sala de uma aula, ver na figura 102.

```

--<TodosRegistos>
<Registo>Angelo Pinto - Entrada - 22-9-2016 22:52</Registo>
<Registo>Angelo Pinto - Entrada - 22-9-2016 22:53</Registo>
<Registo>Angelo Pinto - Entrada - 22-9-2016 22:54</Registo>
<Registo>Angelo Pinto - Entrada - 22-9-2016 22:55</Registo>
<Registo>Angelo Pinto - Entrada - 22-9-2016 22:56</Registo>
<Registo>Angelo Pinto - Saída - 22-9-2016 22:56</Registo>
<Registo>Antonio Castro - Entrada - 22-9-2016 22:52</Registo>
<Registo>Antonio Castro - Entrada - 22-9-2016 22:53</Registo>
<Registo>Antonio Castro - Entrada - 22-9-2016 22:55</Registo>
<Registo>Antonio Castro - Entrada - 22-9-2016 22:56</Registo>
<Registo>Antonio Castro - Entrada - 22-9-2016 22:57</Registo>
<Registo>Antonio Castro - Entrada - 22-9-2016 22:58</Registo>
<Registo>Antonio Castro - Saída - 22-9-2016 22:56</Registo>
<Registo>Antonio Castro - Saída - 22-9-2016 22:58</Registo>
<Registo>claudio guerra - Entrada - 22-9-2016 22:52</Registo>
<Registo>claudio guerra - Entrada - 22-9-2016 22:55</Registo>
<Registo>claudio guerra - Entrada - 22-9-2016 22:56</Registo>
<Registo>claudio guerra - Saída - 22-9-2016 22:55</Registo>
<Registo>claudio guerra - Saída - 22-9-2016 22:56</Registo>
<Registo>Daniel Martins - Entrada - 22-9-2016 22:52</Registo>
<Registo>Tiago Coelho - Entrada - 22-9-2016 22:52</Registo>
<Registo>Tiago Coelho - Entrada - 22-9-2016 22:53</Registo>
<Registo>Tiago Coelho - Entrada - 22-9-2016 22:54</Registo>
<Registo>Tiago Coelho - Entrada - 22-9-2016 22:55</Registo>
<Registo>Tiago Coelho - Entrada - 22-9-2016 22:56</Registo>
<Registo>Tiago Coelho - Entrada - 22-9-2016 22:57</Registo>
<Registo>Tiago Coelho - Saída - 22-9-2016 22:52</Registo>
<Registo>Tiago Coelho - Saída - 22-9-2016 22:53</Registo>
<Registo>Tiago Coelho - Saída - 22-9-2016 22:55</Registo>
<Registo>Tiago Coelho - Saída - 22-9-2016 22:56</Registo>
<Registo>Vitor Mota - Entrada - 22-9-2016 22:52</Registo>
<Registo>Vitor Mota - Entrada - 22-9-2016 22:53</Registo>
<Registo>Vitor Mota - Entrada - 22-9-2016 22:54</Registo>
<Registo>Vitor Mota - Entrada - 22-9-2016 22:55</Registo>
<TodosRegistos>

```

Figura 102 - Exportação de todas as entradas e saídas

Relativamente às exportações aproveitamos para explicar que os registos obtidos nas deteções das pessoas desconhecidas aquando da monitorização das entradas e saídas, são automaticamente exportados para um ficheiro de log de dados no formato de texto simples (.txt), ver o exemplo na figura 103. O ficheiro “Desconhecidos Contagem” contém a informação da quantidade de indivíduos desconhecidos no conteúdo do diretório. Com o recurso desta técnica as respetivas imagens das capturas de imagens que não são reconhecidas, encontram-se devidamente numeradas e com a data e hora de acontecimento do evento, conforme podemos ver na figura a seguir.

```

Desconhecido IN 1 - 04-10-2016 12:38
Desconhecido IN 2 - 04-10-2016 12:38
Desconhecido IN 3 - 04-10-2016 12:38
Desconhecido IN 4 - 04-10-2016 12:38
Desconhecido IN 5 - 04-10-2016 12:38
Desconhecido IN 6 - 04-10-2016 12:38
Desconhecido IN 7 - 04-10-2016 12:38
Desconhecido IN 8 - 04-10-2016 12:38

```

Figura 103 – Ficheiro de log de dados dos desconhecidos

A numeração contida na imagem corresponde ao número do registo no ficheiro de desconhecidos, conforme poderemos visualizar na figura 104 e serve como exemplo de como o conteúdo está organizado dentro do diretório.

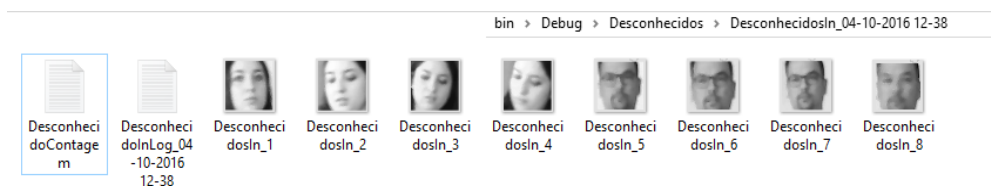


Figura 104 – Estrutura e organização do diretório dos desconhecidos

5 Avaliação e testes do SIRnat

“Para nós os grandes homens não são aqueles que resolveram os problemas, mas aqueles que os descobriram”.

Albert Schweitzer

Neste capítulo apresentamos o paradigma do protótipo SIRnat, desenvolvido nesta dissertação, com o objetivo de testar a capacidade do SIRnat e a sua usabilidade. Pretendemos avaliar a performance dos algoritmos apresentados para a deteção e reconhecimento do rosto. Atingindo a execução destes objetivos, apresentamos o protótipo SIRnat, sistema de reconhecimento e registos natural, implementado na linguagem de programação C#, que compreende as fases de segmentação, extração das características e comparação das mesmas.

Os resultados alcançados pela aplicação do SIRnat serão apresentados no presente capítulo, abordamos os objetivos dos testes, as ferramentas utilizadas, os testes realizados, resultados obtidos e serão descritas as respetivas análises ao processo do SIRnat sobre o reconhecimento e registo natural.

5.1 Avaliação ao SIRnat

A avaliação ao SIRnat tem o objetivo de testar as características relacionadas com a capacidade, usabilidade e a performance do protótipo SIRnat. O SIRnat tem como principal missão ser uma ferramenta que possibilite o reconhecimento e registos natural das pessoas. Com o uso do SIRnat será possível obter uma demonstração ampla do modo de utilização da ferramenta assim como as potencialidades.

Na captura de imagens por vídeo em tempo real, para ser realizada a deteção e reconhecimento do rosto humano, é necessário que o rosto da pessoa esteja previamente registado na base de dados de imagens do SIRnat. Apenas desta forma podemos garantir a ocorrência do processo de reconhecimento, definido pelo início de captura da imagem do rosto da pessoa, que ocorrerá quando a pessoa se posicionar dentro da área do alcance da câmara de captura e seja detetado o seu rosto.

O SIRnat está preparado para receber as pessoas com as seguintes características:

- Homens e mulheres;
- Com óculos e sem óculos;
- Com ou sem barba e com ou sem bigode;

- Toda a genética da variação de cor da pele.

Para a utilização do SIRnat basta que um indivíduo entre no campo de visão das câmaras responsáveis pela monitorização das entradas e saídas que automaticamente será analisado pelo SIRnat, que deverá apresentar um resultado da presença da pessoa, baseado nas características adquiridas do rosto e presentes na base de dados de imagens.

5.2 Objetivos dos testes

Os testes foram adaptados à natureza do protótipo, por conseguinte os principais objetivos dos testes foram os seguintes:

- Testar a deteção e reconhecimento do rosto implementado e realizar ajustes nos parâmetros do detetor do protótipo (parâmetros do classificador Haar Cascade).
- Testar o desempenho das métricas do reconhecimento frontal do rosto.
- Avaliar as limitações e verificar nos testes da prova de conceito o desempenho do SIRnat nas diferentes condições em ambientes não controlados.

5.3 Aquisição de dados

O método da criação da base de dados de imagens do rosto humano, foi realizado de acordo com a lógica utilizada na implementação do SIRnat, que passou pela fase da recolha de amostras de imagens dos alunos que colaboraram nos testes do SIRnat.

Este processo de construção da base de dados de imagens do rosto demorou aproximadamente duas semanas. Neste período está incluído a seleção do local para a realização dos testes, onde não realizamos modificações ou adaptações ao ambiente das salas de aula. Efetuamos o pedido de colaboração aos alunos para participarem neste processo como voluntários, os testes preparatórios para a composição da base de dados e por fim a captura e armazenamento das imagens que constituem a base de dados do rosto do SIRnat.

A base de dados de imagens é constituída com 10 imagens do rosto na posição frontal por cada indivíduo, no total de 420 imagens numa amostra de 42 indivíduos, constituída por homens e mulheres com idades compreendidas entre os 18 e os 50 anos, sendo 71% homens e 29% mulheres. As imagens estão no formato BMP, com a dimensão de 100x100 pixéis e em tons de preto e branco.

A base de dados foi concebida com o objetivo de cada uma das imagens conter diferentes configurações, como por exemplo: expressões, posições do rosto, óculos e a iluminação [19].

Os testes foram realizados em dois espaços físicos distintos, mas com o mesmo enquadramento uma sala de aula. De forma a conseguirmos transmitir devidamente a disposição das salas e a configuração aplicada nos testes, exibimos seguidamente dois diagramas com o esquema das duas salas de aula onde foram realizados os testes do protótipo SIRnat.

Apresentamos na figura 107 a disposição de uma das salas de aula onde foram realizados os testes 1 e 2, no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) e com a colaboração de uma turma do 1º ano da Licenciatura em Engenharia Informática. Os testes 3, 4, 5 e 6 foram realizados na Escola Superior de Media Artes e Design (ESMAD), com a colaboração de duas turmas do 3º ano da Licenciatura em Tecnologia da Comunicação Multimédia e na qual pretendemos demonstrar a configuração adotada na instalação dos testes do protótipo SIRnat, ver na figura 105.

Os testes, incluindo a validação da captura das imagens pelo SIRnat, foram realizados com um número controlado de alunos a fim de garantir a fiabilidade do processo, proporcionando ajustes eficientes e com um menor número de falhas. Na figura 106 apresentamos exemplos de algumas imagens geradas a partir dos testes realizados e registadas na base de dados de imagens do SIRnat.

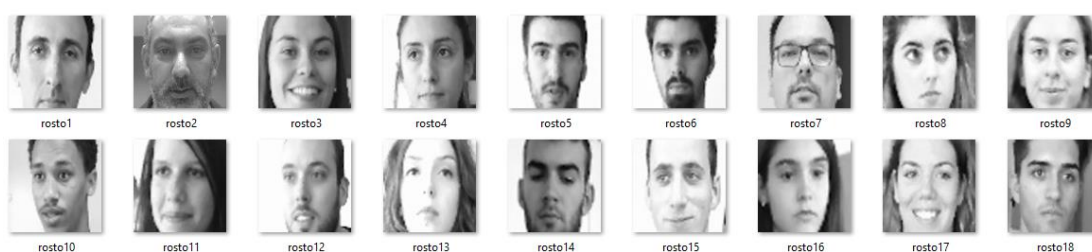


Figura 105 – Exemplo da base de dados de imagens do SIRnat

A construção da base de dados de imagens das 3 turmas que participaram voluntariamente nos testes do SIRnat, envolveu 3 fases de captura das imagens para registo na base de dados de imagens.

Foram capturadas 420 imagens dos 42 participantes, sem ser realizada qualquer alteração ao ambiente e às posturas adotadas naturalmente por um indivíduo na atividade da entrada e saída de uma sala de aula.

Quanto às imagens apresentam variações muito significativas no processo de reconhecimento, porque os ambientes criaram influências nas imagens captadas pelo SIRnat. Constatamos a presença de sombras em certas imagens e outras com demasiada claridade.

Convém referirmos que os dois ambientes de sala de aula não foram preparados em nenhum sentido e também não isolamos qualquer fonte de iluminação, quer fosse interna ou externa. As câmaras foram instaladas nas salas de aula conforme podemos ver nos esquemas das figuras 106 e 107.

Através do esquema abaixo pretendemos ilustrar a configuração adotada no ambiente de testes 1 e 2 do SIRnat e a disposição da sala de aula no ISEP.

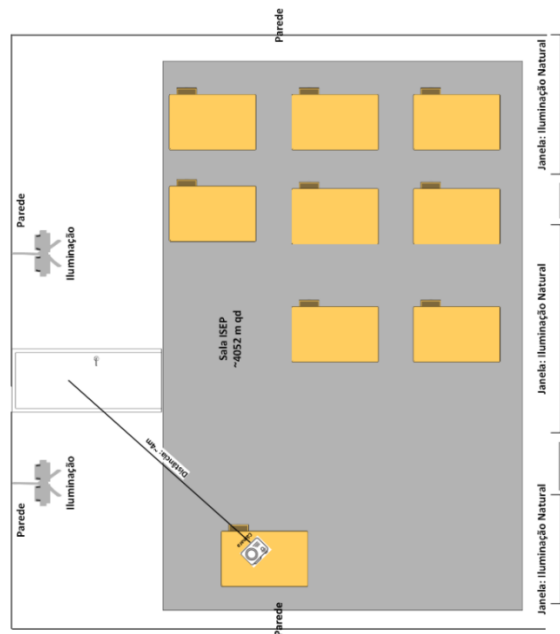


Figura 106 – Esquema da sala no ISEP

Para uma melhor compreensão apresentamos o esquema abaixo na figura 107, que contém configuração adotada no ambiente de testes 3, 4, 5 e 6 do SIRnat e a respectiva disposição da sala de aula na ESMAD.

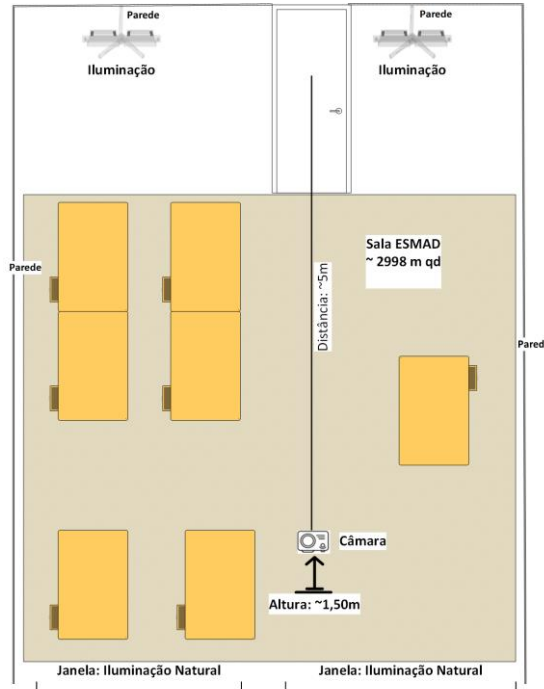


Figura 107 – Esquema da sala na ESMAD

Perante o presente panorama constatamos que no ambiente da sala de aula apenas temos os seguintes equipamentos instalados que foram a câmera (figura 108, ponto 3) de alta definição, um tripé (figura 108, ponto 3) para colocar uma altura aceitável e em posição frontal com o

rosto das pessoas, para a aquisição do vídeo capturado, da porta de entrada da sala de aula e ligado ao SIRnat que estava em funcionamento no computador (figura 108, ponto 5).

A imagem também comprova que o ambiente está no seu estado normal, não foi protegido da iluminação interna ou externa (figura 108, pontos 1 e 2) e adicionamos a presença de mais uma luz (figura 108, ponto 4) em direção à porta de entrada da sala para iluminar ainda mais o ambiente e os rostos dos alunos (figura 108, ponto 6). Esta luz foi ligada em 5 testes que realizamos (ver a tabela 19).

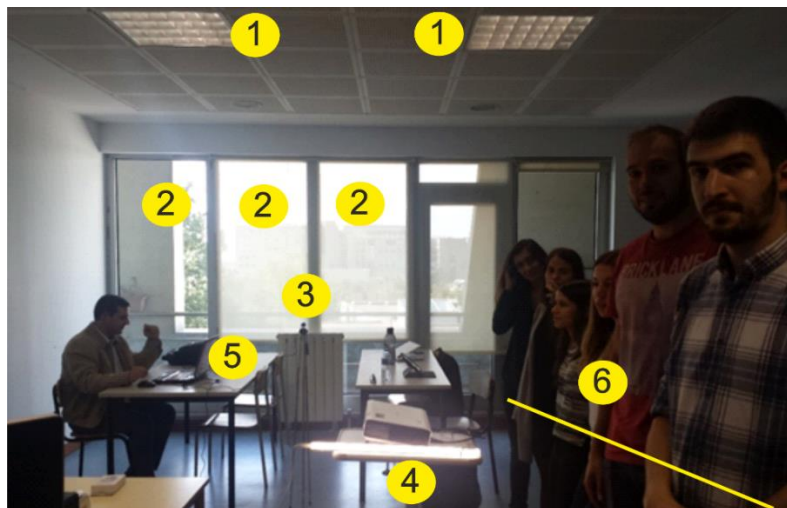


Figura 108 – SIRnat em funcionamento no ambiente de sala de aula

Perante o ambiente final instalado verificamos que a iluminação ambiente é um fator com bastante significância e tem forte impacto na eficiência do processo de reconhecimento. Observamos que quanto maior a presença da iluminação no rosto das pessoas, provocava dificuldades no processo de deteção e de reconhecimento. Originado pela presença de sombras e brilhos nas imagens, sendo o resultado da incidência da luminosidade natural e artificial sobre o vídeo capturado em tempo real.

As imagens que apresentam o rosto numa posição em que o detetor é incapaz de o classificar como um rosto, também representou uma forte influência tanto na deteção como no reconhecimento, quando o rosto não está na posição frontal com câmara de aquisição do vídeo, aumenta as hipóteses da ocorrência de erros e diminui a fiabilidade do resultado.

De acordo com as figuras 109, 110 e 111, é possível visualizarmos os processos de captura, deteção e de reconhecimento do rosto da pessoa através do SIRnat, configurado para obter o registo natural das presenças em sala de aula.

Através das figuras ilustradas, constatamos que a distância entre a câmara e a porta são aceitáveis, mas a posição da captura da câmara com o rosto não são as ideais, provocando falhas na deteção do rosto. Neste caso concreto já diversos alunos tinham sido detetados e reconhecidos com sucesso, como podemos ver no campo da lista de presenças (figura 109). Mais à frente iremos ter a oportunidade de visualizar os resultados destes testes, no caso de testes 1 e 2, realizados no ISEP.

Os dois fatores praticados propositadamente nos testes 1 e 2 que influenciaram os resultados foram a posição da câmara e o ângulo que o rosto do aluno assume com naturalidade quando

dá a entrada pela porta da sala de aula, ao posicionar o rosto em frente e não para o lado. Sabendo que o detetor está configurado e parametrizado com o classificador frontal do rosto, este caso de testes foi praticado para verificar o comportamento em termos de resultados do detetor perante esta aplicação real na sala de aula.

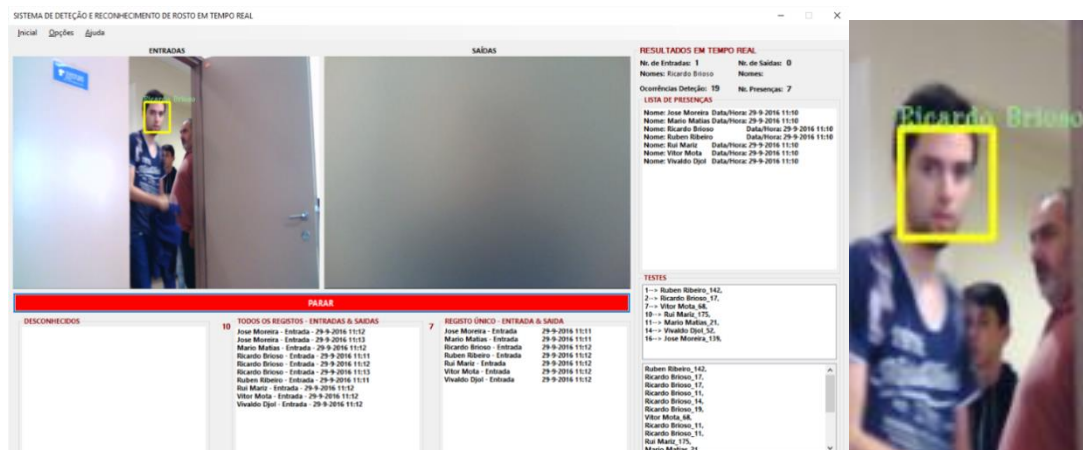


Figura 109 – SIRnat em execução de acordo com a posição e iluminação ideal de reconhecimento

Nas figuras 110 e 111, verificamos que a distância entre a câmara e a porta é aceitável e que as posições de captura da câmara e do rosto estão numa linha reta, ou seja, em posição frontal com o rosto aquando da entrada pela porta da sala de aula, fazendo com que esta situação seja o cenário ideal.

Entretanto mais à frente iremos ver os resultados obtidos no caso de testes 3, 4, 5, e 6 realizados na ESMAD. Já tínhamos falado anteriormente no fator que introduzimos neste caso de testes, que o pode afetar e influenciar os resultados.

A inclusão de uma luz direcionada para o rosto dos alunos, influenciará não só o detetor como o algoritmo de reconhecimento, pois este irá realizar a comparação da imagem detetada com as presentes na base de dados de imagens que poderão não coincidir e o resultado será uma pessoa desconhecida ao SIRnat.

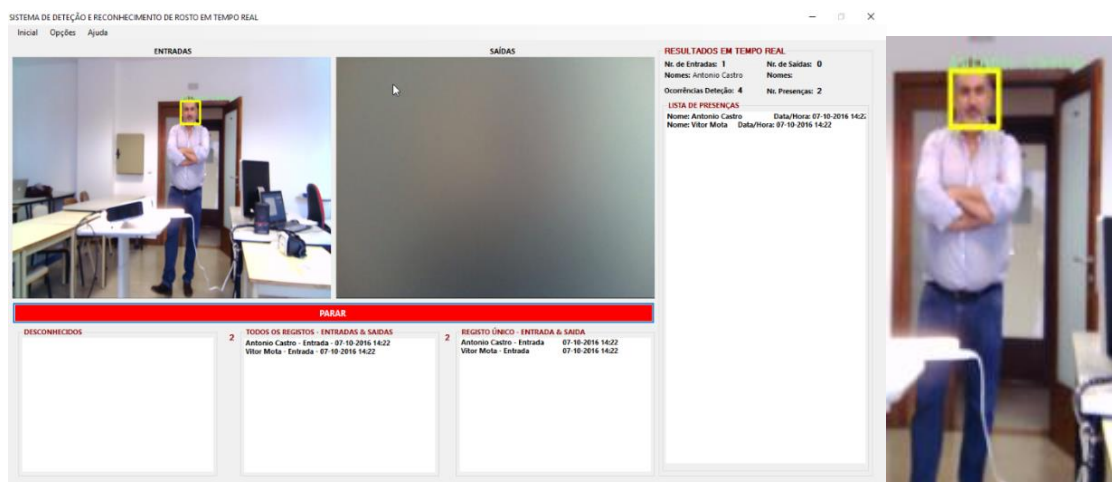


Figura 110 – SIRnat em execução de acordo com a posição e iluminação ideal de reconhecimento

A detecção também é afetada pela influência da iluminação, como podemos verificar seguidamente nas figuras 111 e 112. Os rostos dos alunos não estão a ser detetados pelo detetor do rosto, devido à presença a iluminação presente entre o SIRnat e as pessoas e que influenciou a detecção e consequentemente o processo de reconhecimento.

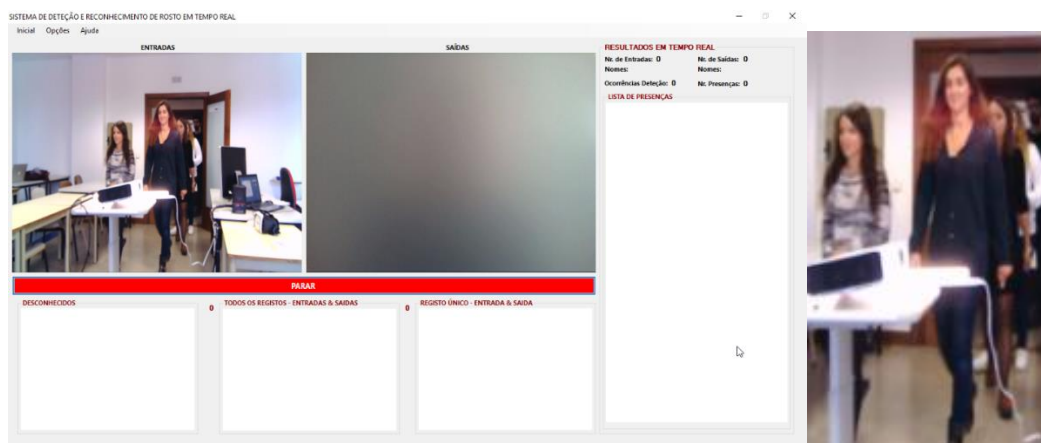


Figura 111 – SIRnat em execução de acordo com a posição e iluminação ideal de reconhecimento

A iluminação é um dos fatores que tem um enorme impacto no processo da detecção e do reconhecimento do rosto e especialmente no detetor do rosto, porque sem a detecção não ocorrerá o processo de reconhecimento.

A figura 112 apresenta a iluminação introduzida ao ambiente da sala de aula.



Figura 112 – Luz introduzida no ambiente

Os outros fatores que também tiveram um enorme impacto no processo da detecção e do reconhecimento do rosto estão relacionados com o posicionamento da câmara, o ângulo e a distância da captura do vídeo em relação ao rosto da pessoa.

A figura 113 ilustra a instalação da câmara numa linha reta com a porta de entrada da sala de aula e com a área onde é esperado o surgimento do rosto para a detecção. Este é o caso de testes 3, 4, 5 e 6 na ESMAD.

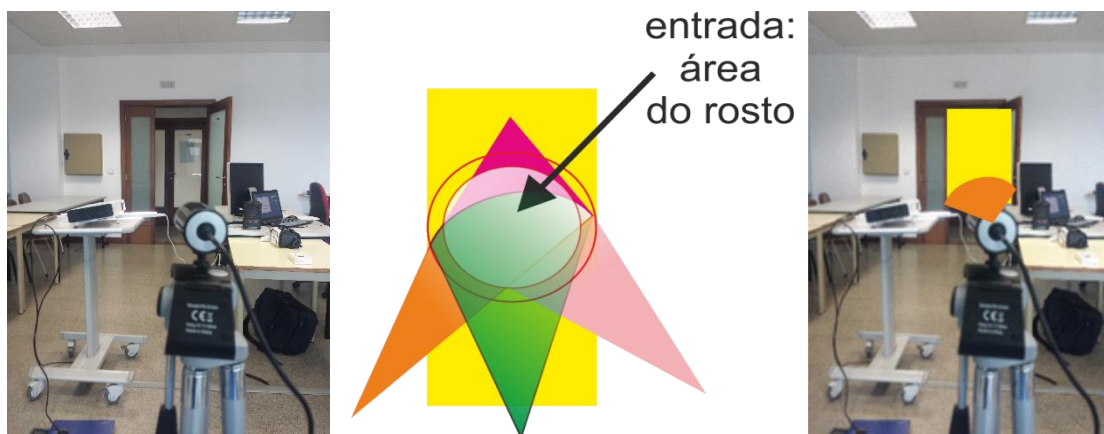


Figura 113 – Estudo do posicionamento da câmara

5.4 Métricas e avaliação

O principal objetivo SIRnat é ser capaz de adquirir os registos naturais de presença numa sala de aula de forma natural através do rosto das pessoas conhecidas ou registadas no sistema.

O SIRnat tem que conter as imagens do rosto das pessoas previamente registadas no sistema. As tecnologias biométricas são desenvolvidas para encontrar a similaridade entre um valor padrão de entrada e comparar com os valores guardados na base de dados. Difícilmente o nível de similaridade chegará a 100%.

Na sua essência a biometria possui uma grande variação intraclasse, e os padrões existentes da mesma pessoa podem variar bastante mediante a sua posição, a barba, o cabelo, os óculos, chapéus, entre outros.

Para avaliar a performance do SIRnat, adotamos alguns critérios baseados na percentagem da classificação correta, incluindo o indicador da precisão, relacionado com o processo de reconhecimento do rosto e o número de imagens reconhecidas.

5.5 Testes

A existência de problemas conhecidos que podem provocar falhas e influenciar os testes da deteção e reconhecimento natural em tempo real, estão relacionados com os tamanhos das imagens (maior ou menor), mediante a distância da captura da pessoa, às posições do rosto detetado e a iluminação.

Com isto estamos a prevenir que a pessoa que estamos a tentar detetar possua uma imagem apropriada na base de dados, que as imagens adquiridas estejam na posição frontal. O alinhamento, a inclinação ou declinação e a iluminação, são os principais fatores a ter em conta nos nossos testes.

O objetivo é testar os algoritmos de deteção e reconhecimento no sentido de melhorar a deteção do rosto, ajustando os parâmetros do algoritmo de deteção e reconhecimento do protótipo (parâmetros do classificador Haar Cascade).

Tendo isso em consideração a solução a incluir nos testes passa pelos seguintes pontos:

- Parametrização do algoritmo de detecção, modificar os valores dos parâmetros na chamada do algoritmo DetectHaarCascade;
- Parametrização do algoritmo de reconhecimento *EigenObjectRecognizer*;
- Experimentar o ficheiro Haar Cascade no objeto (rosto), que melhor se adapte às nossas necessidades.;
- Garantir uma boa qualidade da imagem, porque quanto melhor a qualidade melhor será a detecção. Para evitar ao máximo aplicar o processamento de imagem para melhorar a qualidade da imagem;
- Verificar se os rostos nas imagens são frontais com a menor rotação ou inclinação possível, porque afeta a detecção.

5.5.1 Parâmetros dos algoritmos

1. O primeiro parâmetro a aplicarmos é o classificador Haar Cascade. Escolhemos prontamente o classificador que apresenta os melhores resultados para a detecção frontal, devido a conter uma amostra mais robusta de métricas da aprendizagem do rosto, por detetar o máximo de rostos possíveis de uma só vez, ou seja, com um número baixo de falsas deteções.
Levou-nos a selecionar o classificador “haarcascade_frontalface_alt_tree.xml” na nossa implementação do SIRnat.
2. O segundo parâmetro a ser chamado pelo algoritmo DetectHaarCascade é o parâmetro *Scale Increase Rate*, que especifica como o OpenCV deve aumentar a escala nas deteções do rosto em cada passagem que faz sobre uma imagem.
Quanto maior o valor, originará com que o detetor processe mais rápido (executa menos passagens na imagem), como avança muito rapidamente entre as escalas há mais hipóteses da perda de deteções.
Normalmente por omissão no OpenCV este valor é de 1.1, isto significa que aumenta a escala com um fator de 1.1 (10%) em cada passagem que realiza. Este parâmetro tem que ter os valores definidos entre 1.1, 1.2, 1.3 ou 1.4.
Se aumentarmos este valor, significa que irá executar o menor número de passagens, assim conseguimos que seja mais rápido, embora possa falhar mais rostos. Se diminuirmos o valor, o detetor Haar realiza uma verificação mais robusta à imagem que contém o rosto, mas naturalmente irá demorar mais tempo, consumir mais energia e processamento.
3. O terceiro parâmetro é o *Minimum Neighbors Threshold*, que especifica quantos vizinhos cada retângulo candidato deverá ter para o reter. Este parâmetro afetarà a qualidade dos rostos detetados. Se o valor for elevado poderá resultar em menos deteções, mas com qualidade superior do rosto na imagem. Os valores entre 3 e 6, são os valores ideais para o parâmetro. No caso de o detetor do rosto falhar bastante, podemos diminuir o limiar para 2 ou 1. Portanto um valor elevado torna o critério de

deteção mais rigoroso e um valor mais baixo torna o critério de deteção menos rigoroso.

Pretendemos que apenas um objeto seja identificado como um rosto, caso tenha a probabilidade mais elevada de ser o objeto (o rosto no nosso caso). Os valores que iremos utilizar nos testes para o parâmetro *minimum neighbors threshold* é entre 4 e 10.

4. O quarto parâmetro do detetor é o *Canny Pruning Flag*, que tem como função ser uma variável sinalizadora. Atualmente estão disponibilizadas apenas duas opções, zero (0) ou DO_CANNY_PRUNING. Como temos a opção *Canny Pruning* implementada, o detetor irá ignorar as regiões na imagem que não são suscetíveis de conter um rosto, reduzindo a carga de processamento e possivelmente eliminando algumas falsas deteções. As regiões que serão ignoradas são identificadas através da execução do detetor de bordas (*Canny edge detector*) sobre a imagem antes da execução do detetor do rosto.
5. O quinto parâmetro é o *Minimum Detection Scale*. Este parâmetro define o tamanho mínimo possível do rosto. Caso tenha um tamanho inferior ao valor estabelecido é ignorado. Podemos explorar o ficheiro XML que estamos a aplicar e alterar a tag `<size>`. Por defeito o tamanho do detetor frontal do rosto é de 20 pixéis, exemplo `<size>20 20</size>`.
O ficheiro Cascade que estamos a implementar está parametrizado com a escala mínima de 20x20, que é a escala mínima aceitável para a deteção do rosto.
6. O sexto parâmetro é o *eigenDistanceThreshold* do algoritmo de reconhecimento. Este parâmetro do algoritmo de reconhecimento *EigenObjectRecognizer*, quanto menor for o valor mais provável será a imagem ser tratada como desconhecida ou sem rosto detetado. Se o limite for menor que zero, o algoritmo de reconhecimento examinará sempre a imagem como contendo um rosto. O valor utilizado na implementação varia aproximadamente entre os valores 1000 e os 5000.

5.6 Testes e resultados

Para a melhor perceção das capacidades reais do SIRnat proposto nesta dissertação, apresentamos a seguir o uso de algumas métricas de análise dos dados, para que sejam tiradas conclusões realistas de forma a termos uma noção mais concisa do que deve ser melhorado futuramente.

O cenário de testes que apresentamos no estudo consiste na aplicação do SIRnat em conjunto com uma câmara de alta definição ligados a um computador, para realizar o reconhecimento das imagens do rosto de alunos detetados quando entram na sala de aula e registo das presenças natural.

Considerando a operacionalidade do SIRnat com o utilizador (aluno), não existe qualquer restrição, desde que a sua postura seja naturalmente humana no processo de entrada na sala de aula.

Com o aluno registado no sistema do SIRnat e presente na captação do vídeo, damos o início ao processo de deteção e reconhecimento a partir da captura de imagens do rosto dos alunos, para posterior comparação com as imagens da base de dados.

Os resultados obtidos no presente estudo foram analisados a partir do SIRnat, juntamente com as tabelas e gráficos que apresentamos seguidamente.

As tabelas e os gráficos descrevem os testes realizados ao protótipo, o seu propósito, tipo de base de dados usada, os resultados esperados e os obtidos, e os parâmetros aplicados nos algoritmos de deteção e reconhecimento.

Desta forma passaremos à visualização da tabela 16 que apresenta o caso dos testes 1 e 2.

Tabela 16 – Caso de testes 1 e 2

Teste	1 – 2
Descrição	Desempenho da deteção e reconhecimento sobre diversos ângulos do rosto, distância e sobre as condições de iluminação. Parametrização do algoritmo <i>DetectHaarCascade</i> . Parametrização do algoritmo <i>EigenObjectRecognizer</i> .
Propósito	Avaliar os resultados obtidos da deteção e reconhecimento. Verificar como as condições de iluminação, distância e ângulos possam afetar a deteção e o reconhecimento. Testar o desempenho das métricas do classificador.
Dados de entrada	Base de dados composta por 19 pessoas, e com 10 imagens por pessoa.
Resultado esperado	O sistema irá detetar e reconhecer as 19 pessoas, em duas sequências de captura do grupo de pessoas à entrada da sala de aula.
Resultado	A câmara foi instalada num ângulo diagonal com o caminho natural de entrada dos alunos na sala de aula (ISEP, figuras 107 e 110). Numa primeira etapa foram detetados e reconhecidos 7 indivíduos, os restantes 12 não foram reconhecidos. Na segunda etapa foram detetados e reconhecidos 8 indivíduos, os restantes 11 não foram reconhecidos.
Parâmetros dos algoritmos	
1	O Classificador Haar Cascade (haarcascade_frontalface_alt_tree.xml)
2	<i>Scale Increase Rate</i> : 1.2
3	<i>Minimum Neighbors Threshold</i> : 10
4	DO_CANNY_PRUNING
5	minSize: 20x20
6	<i>eigenDistanceThreshold</i> : 5000

No gráfico representado na figura 114, podemos observar com algum detalhe os resultados obtidos relativos às pessoas detetadas no teste 1.

RESULTADOS PESSOAS DETETADAS - TESTE 1

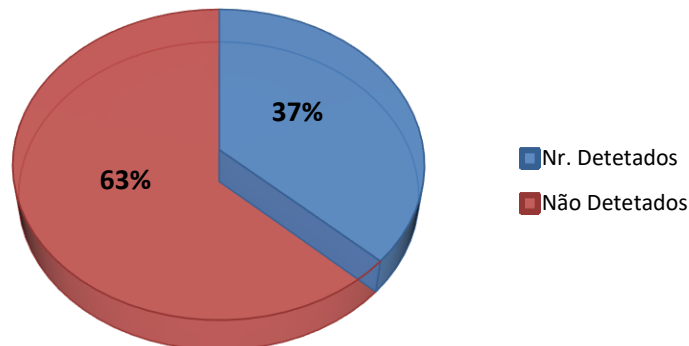


Figura 114 – Resultados da detecção no teste 1

Nesta primeira etapa de teste foram reconhecidos 7 indivíduos, os restantes 12 não foram reconhecidos numa amostra total de 19 pessoas.

Esta representação dos resultados ao nível do número de alunos detetados representa 37% da amostra total. O número de alunos não detetados rondam os 63% da amostra total, sendo uma classificação de não reconhecimento do rosto.

No gráfico representado na figura 115, observamos os resultados referentes ao número total de imagens reconhecidas pelo SIRnat, por cada pessoa no processo de detecção realizado no teste 1.

O resultado das imagens reconhecidas foram 8 que representam 4% da amostra total de 190 imagens na base de dados dos 19 indivíduos.

O valor resultante das imagens não reconhecidas foi de 182 imagens, que correspondem a 96% da amostra total de imagens dos indivíduos.

RESULTADOS IMAGENS RECONHECIDAS - TESTE 1

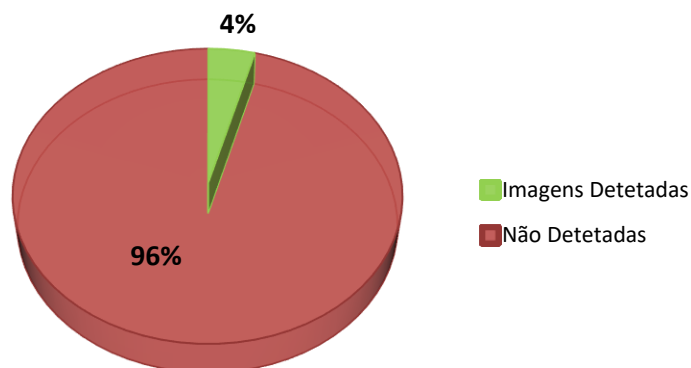


Figura 115 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 1

No gráfico representado de seguida, observamos os resultados obtidos relativos às pessoas detetadas na segunda etapa do teste 1.

Nesta etapa foram detetados 8 indivíduos, os outros 11 indivíduos não foram detetados com a amostra total de 19 pessoas.

Esta representação dos resultados ao nível do número de alunos detetados representa 42% da amostra total e quanto ao número de alunos não detetados a percentagem é de 58% da amostra total.

RESULTADOS PESSOAS DETETADAS - TESTE 2

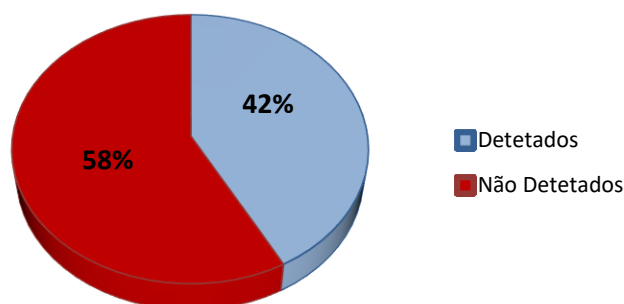


Figura 116 – Resultados da deteção no teste 1

No gráfico da figura 117, podemos ver os resultados alusivos ao número total de imagens reconhecidas pelo SIRnat, por cada deteção verdadeira na segunda etapa do teste 1.

Os resultados das imagens reconhecidas foram de 35 imagens, que representam 18% da amostra total de 190 imagens presente na base de dados dos 19 indivíduos. O valor resultante das imagens não reconhecidas foi de 155 imagens, que corresponde a 82% da amostra total de imagens dos indivíduos.

Podemos constatar que dos 8 alunos detetados, foram comparadas e reconhecidas 35 imagens da amostra total de 190 imagens que contêm o rosto na posição frontal na base de dados.

RESULTADOS IMAGENS RECONHECIDAS - TESTE 2

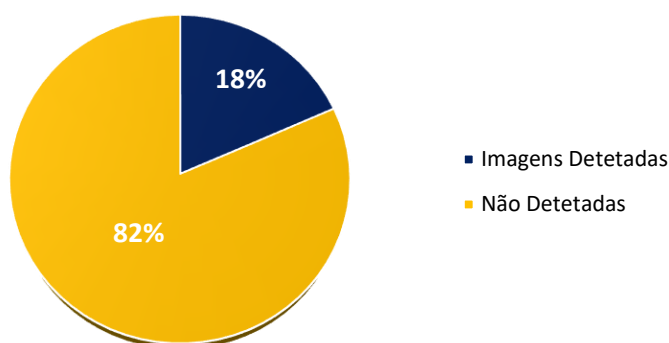


Figura 117 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 1

Ao fazermos uma reflexão sobre os resultados obtidos, verificamos que a instalação do SIRnat nos testes 1 e 2, relativamente ao ângulo de visão da câmara provocou um forte impacto na performance da deteção e reconhecimento do rosto dos alunos. As posições do rosto dos alunos não estavam alinhadas em posição frontal com a câmara.

Logicamente que a iluminação natural e artificial da sala de aula, também foram variáveis que contribuíram negativamente nos resultados conseguidos pelo SIRnat, devido ao aparecimento de sombras e brilhos nas imagens adquiridas.

A tabela 17 apresenta o caso de teste 3.

Tabela 17 – Caso de testes 3

Teste	3
Descrição	Desempenho da deteção e reconhecimento sobre diversos ângulos do rosto, distância e sobre as condições de iluminação. Parametrização do algoritmo <i>DetectHaarCascade</i> . Parametrização do algoritmo <i>EigenObjectRecognizer</i> .
Propósito	Avaliar os resultados obtidos da deteção e reconhecimento. Verificar como as condições de iluminação, distância e ângulos possam afetar a deteção e o reconhecimento. Testar o desempenho das métricas do classificador.
Dados de entrada	Base de dados composta por 12 pessoas e 10 imagens por pessoa.
Resultado esperado	O sistema irá detetar e reconhecer as 12 pessoas, numa única captura do grupo de pessoas à entrada da sala de aula.
Resultado	A câmara foi instalada em linha reta com o percurso de entrada na sala de aula (ESMAD, figuras 108, 110 e 113). Foram detetados e reconhecidos 10 indivíduos e 2 não foram reconhecidos.
Parâmetros dos algoritmos	
1	O Classificador Haar Cascade (<i>haarcascade_frontalface_alt_tree.xml</i>)
2	<i>Scale Increase Rate: 1.2</i>
3	<i>Minimum Neighbors Threshold: 10</i>
4	DO_CANNY_PRUNING
5	minSize: 20x20
6	<i>eigenDistanceThreshold: 5000</i>

Nos gráficos representados de seguida, podemos observar com algum detalhe os resultados obtidos no teste 3 quanto às deteções e registos naturais dos alunos na entrada da sala de aula e quanto ao reconhecimento das imagens conseguido pelo SIRnat.

A figura 118 ilustramos o gráfico referente aos resultados obtidos relativos às pessoas detetadas no teste 3.

Neste teste foram detetados 10 indivíduos e não foram detetados 2 indivíduos com a amostra total de 12 pessoas.

Os resultados representam ao nível do número de alunos detetados com sucesso uma percentagem de 83% da amostra total e quanto ao número de alunos não detetados a percentagem foi de 17% da amostra total.

RESULTADOS PESSOAS DETETADAS - TESTE 3

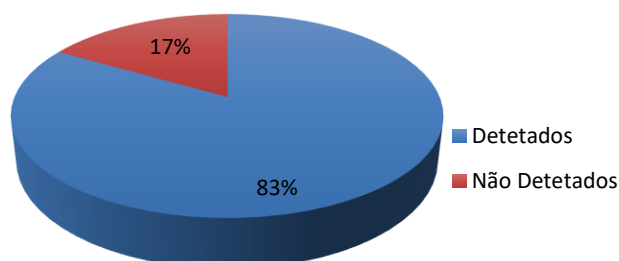


Figura 118 – Resultados da deteção no teste 3

No gráfico abaixo podemos ver os resultados relativos ao número total de imagens reconhecidas pelo SIRnat, por cada deteção verdadeira no teste 3.

Os resultados das imagens reconhecidas com sucesso foram de 65 imagens, que representam 54% da amostra total de 120 imagens presentes na base de dados dos 12 indivíduos.

O valor resultante das imagens não reconhecidas foi de 55 imagens, que corresponde a 46% da amostra total de imagens dos indivíduos na base de dados.

Podemos constatar que dos 10 alunos detetados, foram comparadas e reconhecidas 65 imagens da amostra total de 120 imagens que contêm o rosto na posição frontal na base de dados de imagens.

RESULTADOS IMAGENS RECONHECIDAS - TESTE 3

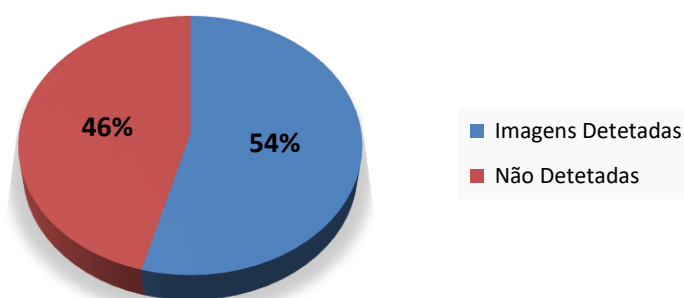


Figura 119 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 3

A título de reflexão sobre estes resultados, constatamos que a instalação do SIRnat neste teste 3, quanto ao ângulo de visão da câmara melhorou a performance da deteção e do reconhecimento do rosto dos alunos, devido à câmara ser instalada em linha reta com o rosto dos alunos. Melhorando desta forma o posicionamento do rosto dos alunos, devido a estarem com o rosto alinhado na posição frontal com o ângulo de visão da câmara.

Logicamente que a iluminação natural e artificial da sala de aula, são sempre variáveis que influenciam negativamente nos resultados conseguidos pelo SIRnat.

Devido ao aparecimento de sombras e brilhos nas imagens obtidas aquando do processo de aquisição da imagem.

Na tabela 18 apresentamos o caso de teste 4.

Tabela 18 – Caso de testes 4

Teste	4
Descrição	Desempenho da deteção e reconhecimento sobre diversos ângulos do rosto, distância e sobre as condições de iluminação. Parametrização do algoritmo <i>DetectHaarCascade</i> . Parametrização do algoritmo <i>EigenObjectRecognizer</i> .
Propósito	Avaliar os resultados obtidos da deteção e reconhecimento. Verificar como as condições de iluminação, distância e ângulos possam afetar a deteção e o reconhecimento. Testar o desempenho das métricas do classificador.
Dados de entrada	Base de dados composta por 9 pessoas e 10 imagens por pessoa.
Resultado esperado	O sistema irá detetar e reconhecer as 9 pessoas, em duas sequências de captura do grupo de pessoas.
Resultado	A câmara foi instalada em linha reta com a porta de entrada na sala de aula (ESMAD, figuras 108, 110 e 113). Foram detetados e reconhecidos os 9 indivíduos.
Parâmetros dos algoritmos	
1	O Classificador Haar Cascade (haarcascade_frontalface_alt_tree.xml)
2	<i>Scale Increase Rate</i> : 1.2
3	<i>Minimum Neighbors Threshold</i> : 10
4	DO_CANNY_PRUNING
5	minSize: 20x20
6	<i>eigenDistanceThreshold</i> : 5000

Os gráficos representados seguidamente permitem observar com mais detalhe os resultados obtidos no teste 4, nomeadamente quanto às deteções e registos naturais dos alunos no processo de entrada da sala de aula e quanto ao reconhecimento das imagens conseguido pelo SIRnat.

Na figura 120 ilustramos o gráfico referente aos resultados obtidos relativos às pessoas detetadas no teste 4.

Neste teste foram detetados todos os alunos, ou seja, os 9 indivíduos da amostra total dos 9 indivíduos.

Os resultados demonstram que ao nível do número de alunos detetados com sucesso a percentagem é de 100%.

RESULTADOS PESSOAS DETETADAS - TESTE 4

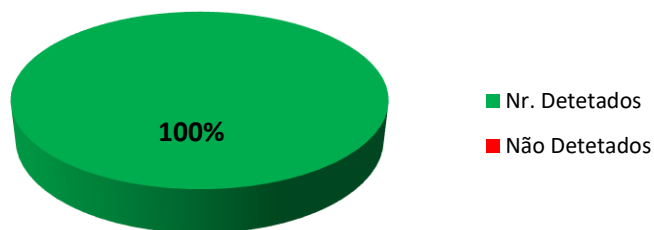


Figura 120 – Resultados da detecção no teste 4

Relativamente ao número total de imagens reconhecidas pelo SIRnat por cada detecção verdadeira no teste 4, podemos visualizar os resultados no gráfico abaixo. Os resultados das imagens reconhecidas com sucesso foram de 74 imagens, que representam 82% da amostra total de 90 imagens presentes na base de dados de imagens dos 9 indivíduos.

O valor das imagens não reconhecidas foi de 16 imagens, que corresponde a 18% da amostra total de imagens dos indivíduos na base de dados.

Como podemos constatar que dos 9 alunos detetados, foram comparadas e reconhecidas 74 imagens da amostra total de 90 imagens que contêm o rosto na posição frontal na base de dados de imagens.

RESULTADOS IMAGENS RECONHECIDAS - TESTE 4

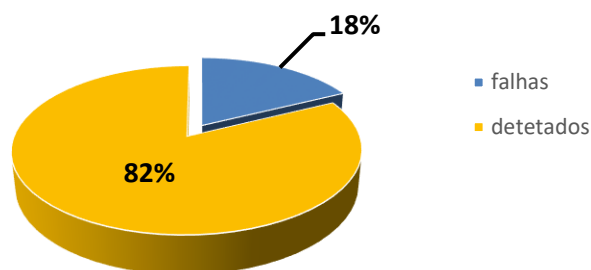


Figura 121 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 4

Podemos tecer alguns comentários sobre estes resultados, dado que na instalação do SIRnat no teste 4, o ângulo de visão da câmara aperfeiçoou o método da captura e aquisição da imagem detetada, devido à câmara estar posicionada em linha reta com a posição frontal do rosto dos alunos. Permitiu melhorar desta forma o posicionamento do rosto dos alunos, devido a estarem com o rosto alinhado na posição frontal e no ângulo correto de visão da câmara. Uma vez que o processo da detecção foi bastante eficiente o algoritmo de reconhecimento recebeu estas imagens para realizar comparação de similaridade com as registadas na base de dados de imagens.

Obviamente a iluminação natural e artificial da sala de aula, são variáveis com impacto negativo neste processo e afetam os resultados no SIRnat, devido ao aparecimento de sombras e brilhos nas imagens adquiridas no processo de aquisição da imagem.

Na tabela 19 apresentamos o caso de teste 5.

Tabela 19 – Caso de testes 5

Teste	5 – 5.1 – 5.2 – 5.3
Descrição	Desempenho da detecção e reconhecimento sobre diversos ângulos do rosto, distância e sobre as condições de iluminação. Parametrização do algoritmo <i>DetectHaarCascade</i> . Parametrização do algoritmo <i>EigenObjectRecognizer</i> .
Propósito	Avaliar os resultados obtidos da detecção e reconhecimento. Verificar como as condições de iluminação, distância e ângulos possam afetar a detecção e o reconhecimento. Testar o desempenho das métricas do classificador.
Dados de entrada	Base de dados composta por 12 pessoas e com 10 imagens por pessoa.
Resultado esperado	O sistema irá detetar e reconhecer as 12 pessoas, em duas sequências de captura do grupo de pessoas.
Resultado	A câmara foi instalada em linha reta com a porta de entrada na sala de aula (ESMAD, figuras 108, 110 e 113). Testes 5: foram detetados e reconhecidos 3 indivíduos e 9 não foram reconhecidos. Testes 5.1: foram detetados e reconhecidos 10 indivíduos e 2 não foram reconhecidos. Testes 5.2: foram detetados e reconhecidos 0 indivíduos e 12 não foram reconhecidos. Testes 5.3: foram detetados e reconhecidos 0 indivíduos e 12 não foram reconhecidos.
Teste 5	Parâmetros dos algoritmos
1	O Classificador Haar Cascade (haarcascade_frontalface_alt_tree.xml)
2	<i>Scale Increase Rate</i> : 1.2
3	<i>Minimum Neighbors Threshold</i> : 10
4	DO_CANNY_PRUNING
5	minSize: 20x20
6	<i>eigenDistanceThreshold</i> : 5000
Teste 5.1	Parâmetros dos algoritmos
1	O Classificador Haar Cascade (haarcascade_frontalface_alt_tree.xml)
2	<i>Scale Increase Rate</i> : 1.3
3	<i>Minimum Neighbors Threshold</i> : 5
4	DO_CANNY_PRUNING
5	minSize: 20x20
6	<i>eigenDistanceThreshold</i> : 4000
Teste 5.2	Parâmetros dos algoritmos
1	O Classificador Haar Cascade (haarcascade_frontalface_alt_tree.xml)
2	<i>Scale Increase Rate</i> : 1.4
3	<i>Minimum Neighbors Threshold</i> : 6
4	DO_CANNY_PRUNING
5	minSize: 20x20
6	<i>eigenDistanceThreshold</i> : 3000
Teste 5.3	Parâmetros dos algoritmos

1	O Classificador Haar Cascade (haarcascade_frontalface_alt_tree.xml)
2	Scale Increase Rate: 1.1
3	Minimum Neighbors Threshold: 4
4	DO_CANNY_PRUNING
5	minSize: 20x20
6	eigenDistanceThreshold: 2000

De acordo com os resultados conseguidos no teste 5 e através dos gráficos representados nas figuras 122 e 123, pretendemos observar com mais detalhe os resultados do teste 5, nomeadamente quanto às deteções e registos naturais dos alunos na entrada da sala de aula e quanto ao reconhecimento das imagens conseguido pelo SIRnat.

Na figura 122, expomos o gráfico referente aos resultados obtidos relativos às pessoas detetadas no teste 5. Onde foram detetados 3 indivíduos, representando ao ponto de vista do número de alunos detetados a percentagem de 25% dos 12 indivíduos da amostra total.

RESULTADOS PESSOAS DETETADAS - TESTE 5

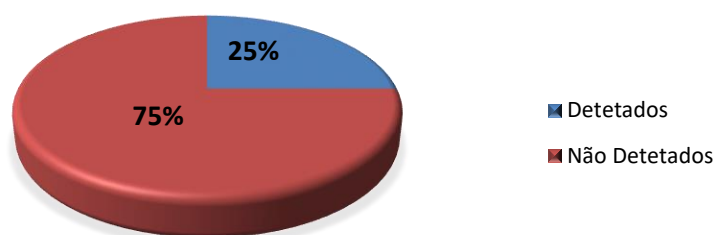


Figura 122 – Resultados da deteção no teste 5

Quanto ao número total de imagens reconhecidas pelo SIRnat por cada deteção verdadeira no teste 5, podemos visualizar os resultados no gráfico abaixo. Os resultados das imagens reconhecidas com sucesso foram de 37 imagens, que representam 31% da amostra total de 120 imagens presentes na base de dados de imagens dos 12 indivíduos. O valor das imagens não reconhecidas foi de 83 imagens, que corresponde a 69% da amostra total de imagens dos indivíduos na base de dados. Podemos constatar que dos 3 alunos detetados, foram comparadas e reconhecidas 37 imagens da amostra total de 120 imagens que contêm o rosto na posição frontal na base de dados de imagens.

RESULTADOS IMAGENS RECONHECIDAS - TESTE 5

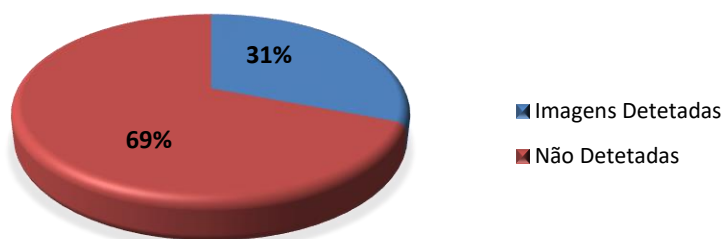


Figura 123 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 5

Nos gráficos representados de seguida, podemos observar com algum detalhe os resultados obtidos no teste 5.1, ao que se refere às deteções e registos naturais dos alunos na entrada da sala de aula e pelo reconhecimento das imagens obtido pelo SIRnat.

De acordo com a figura 124, mostramos o gráfico alusivo aos resultados das pessoas detetadas no processo de entrada na sala de aula.

Neste teste 5.1 foram detetados 10 indivíduos e não detetados 2 indivíduos numa amostra de 12 pessoas.

Os resultados representam ao nível do número de alunos detetados com sucesso uma percentagem de 83% e dos alunos não detetados a percentagem de 17% da amostra total.

RESULTADOS PESSOAS DETETADAS - TESTE 5.1

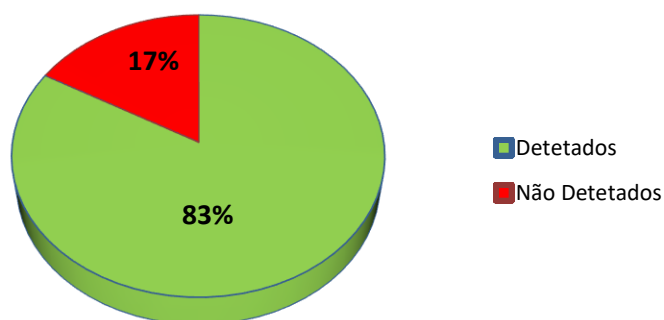


Figura 124 – Resultados da deteção no teste 5.1

Em concordância com a figura 125, do gráfico que exibimos de forma a podermos verificar o número total de imagens reconhecidas pelo SIRnat, por cada deteção verdadeira no teste 5.1. Os resultados das imagens reconhecidas com sucesso foram 33 imagens, que representam 27% da amostra total das 120 imagens, dos 12 indivíduos presentes na base de dados de imagens.

O valor resultante das imagens não reconhecidas foi de 87 imagens, que corresponde a 73% da amostra total de imagens dos indivíduos na base de dados de imagens.

Podemos constatar que dos 10 alunos detetados, foram comparadas e reconhecidas 33 imagens da amostra total de 120 imagens que contêm o rosto na posição frontal na base de dados de imagens.

RESULTADOS IMAGENS RECONHECIDAS - TESTE 5.1

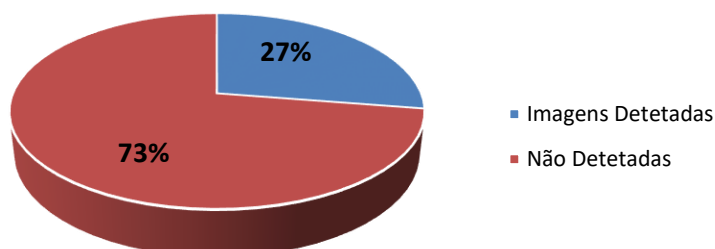


Figura 125 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 5.1

Os resultados da detecção e reconhecimento realizado pelo SIRnat nos testes 5.2 e 5.3, demonstraram resultados muito aquém do esperado, porque o detetor não detetou nenhum rosto e por esse razão impossibilitou o reconhecimento.

Esta situação foi devido às parametrizações dos algoritmos de detecção e reconhecimento definidos para estes testes, conforme pudemos ver anteriormente na tabela 19 e no subcapítulo 5.5.1, a razão de não ter sido detetado nenhum dos alunos presentes na sala de aula.

De seguida iremos apresentar na tabela 20 o caso de testes 6.

Tabela 20 – Caso de testes 6

Teste	6 – 6.1 – 6.2 – 6.3
Descrição	Desempenho da detecção e reconhecimento sobre diversos ângulos do rosto, distância e sobre as condições de iluminação. Parametrização do algoritmo <i>DetectHaarCascade</i> . Parametrização do algoritmo <i>EigenObjectRecognizer</i> .
Propósito	Avaliar os resultados obtidos da detecção e reconhecimento. Verificar como as condições de iluminação, distância e ângulos possam afetar a detecção e o reconhecimento. Testar o desempenho das métricas do classificador.
Dados de entrada	Base de dados composta por 9 pessoas e 10 imagens por pessoa.
Resultado esperado	O sistema irá detetar e reconhecer as 9 pessoas. O sistema irá detetar e reconhecer as 9 pessoas, na captura de um agrupamento de pessoas.
Resultado	A câmara foi instalada em linha reta com a porta de entrada na sala de aula (ESMAD, ver as figuras 108, 110 e 113). Testes 6: dividido em duas fases, na primeira fase foram detetados e reconhecidos 8 indivíduos e 1 não reconhecido. A segunda fase do teste 6, consistiu numa entrada em grupo das pessoas na sala e foram detetados e reconhecidos 2 indivíduos e 7 não foram

	reconhecidos. Testes 6.1: foram detetados e reconhecidos 8 indivíduos e 1 não foi reconhecido. Testes 6.2: foram detetados e reconhecidos 2 indivíduos e 7 não foram reconhecidos. Testes 6.3: foram detetados e reconhecidos 0 indivíduos e 9 não foram reconhecidos.
Teste 6	Parâmetros dos algoritmos
1	O Classificador Haar Cascade (haarcascade_frontalface_alt_tree.xml)
2	<i>Scale Increase Rate: 1.2</i>
3	<i>Minimum Neighbors Threshold: 10</i>
4	DO_CANNY_PRUNING
5	minSize: 20x20
6	<i>eigenDistanceThreshold: 5000</i>
Teste 6.1	Parâmetros dos algoritmos
1	O Classificador Haar Cascade (haarcascade_frontalface_alt_tree.xml)
2	<i>Scale Increase Rate: 1.3</i>
3	<i>Minimum Neighbors Threshold: 5</i>
4	DO_CANNY_PRUNING
5	minSize: 20x20
6	<i>eigenDistanceThreshold: 4000</i>
Teste 6.2	Parâmetros dos algoritmos
1	O Classificador Haar Cascade (haarcascade_frontalface_alt_tree.xml)
2	<i>Scale Increase Rate: 1.4</i>
3	<i>Minimum Neighbors Threshold: 6</i>
4	DO_CANNY_PRUNING
5	minSize: 20x20
6	<i>eigenDistanceThreshold: 3000</i>
Teste 6.3	Parâmetros dos algoritmos
1	O Classificador Haar Cascade (haarcascade_frontalface_alt_tree.xml)
2	<i>Scale Increase Rate: 1.1</i>
3	<i>Minimum Neighbors Threshold: 4</i>
4	DO_CANNY_PRUNING
5	minSize: 20x20
6	<i>eigenDistanceThreshold: 2000</i>

No gráfico que apresentamos na figura 126, podemos verificar os resultados relativos ao processo de deteção realizado no teste 6. Os resultados do número de pessoas detetadas pelo SIRnat, foram de 8 pessoas que representam 89% da amostra total composta por 9 indivíduos. E apenas não realizou o reconhecimento de 1 pessoa, que corresponde a 11% da amostra total.

Os resultados representam ao nível do número de alunos detetados com sucesso uma percentagem de 89% e dos alunos não detetados a percentagem de 11% da amostra total de 9 indivíduos.

RESULTADOS PESSOAS DETETADAS - TESTE 6

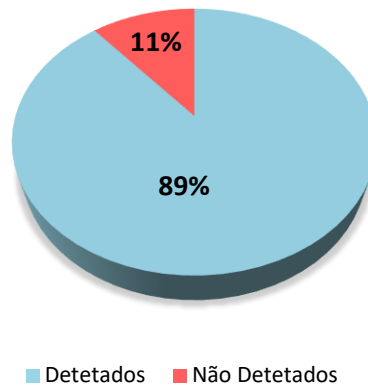


Figura 126 – Resultados da detecção no teste 6

Em conformidade com a figura 127, onde podemos verificar o número total de imagens reconhecidas pelo SIRnat, por cada detecção bem sucedida no teste 6. Os resultados das imagens reconhecidas com sucesso foram 48 imagens, que representam 53% da amostra total das 90 imagens, dos 9 indivíduos presentes na base de dados de imagens. O valor resultante das imagens não reconhecidas foi de 42 imagens, que corresponde a 47% da amostra total de imagens dos indivíduos na base de dados de imagens. Podemos constatar que dos 9 alunos detetados, foram comparadas e reconhecidas 48 imagens da amostra total de 90 imagens que contêm o rosto na posição frontal na base de dados de imagens.

RESULTADOS IMAGENS RECONHECIDAS - TESTE 6

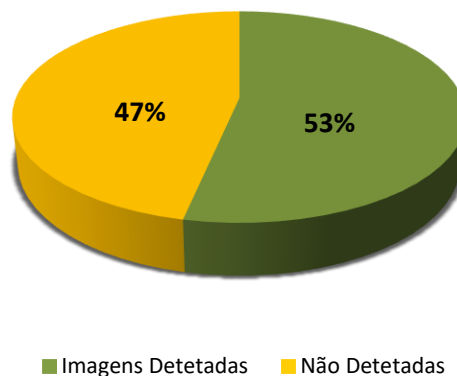


Figura 127 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 6

O teste 6 equacionou outra apreciação, que consistiu na observação de hábitos mais naturais possíveis no ato da entrada dos alunos na sala de aula, ou seja, um agrupamento das pessoas num curto espaço e de tempo.

Segundo os resultados visíveis no gráfico apresentado na figura 128, verificamos que os resultados referentes ao processo de detecção da segunda etapa do teste 6, foram de 2

peças que representam 22% da amostra total composta por 9 indivíduos e não foram reconhecidas 7 pessoas, que corresponde a 78% da amostra total.

Os resultados representam ao nível do número de alunos detetados com sucesso uma percentagem de 22% e dos alunos não detetados a percentagem de 78% da amostra total de 9 indivíduos. Estes resultados devem-se ao facto do processo natural da entrada dos indivíduos na sala de aula em aglomerado ou agrupamento, causando obstruções à captura do rosto.

RESULTADOS PESSOAS DETETADAS - TESTE 6

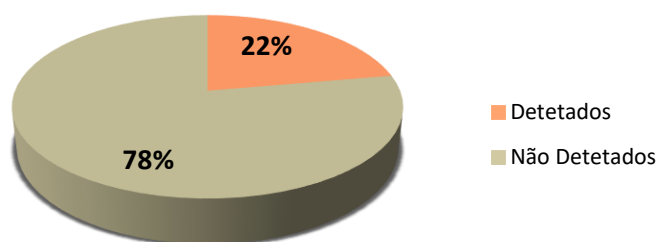


Figura 128 – Resultados da detecção em grupo no teste 6

Pelo gráfico disponibilizado na figura 129, podemos verificar o número total de imagens reconhecidas pelo SIRnat, por cada detecção com sucesso desta segunda etapa do teste 6.

Os resultados das imagens reconhecidas com sucesso foram apenas 5 imagens, que representam 6% da amostra total das 90 imagens, dos 9 indivíduos presentes na base de dados de imagens. O valor resultante das imagens não reconhecidas foi de 85 imagens, que corresponde a 94% da amostra total de imagens dos indivíduos na base de dados de imagens. Podemos constatar que dos 2 alunos detetados, apenas foram comparadas e reconhecidas 5 imagens da amostra total de 90 imagens que contêm o rosto na posição frontal na base de dados de imagens.

RESULTADOS IMAGENS RECONHECIDAS - TESTE 6

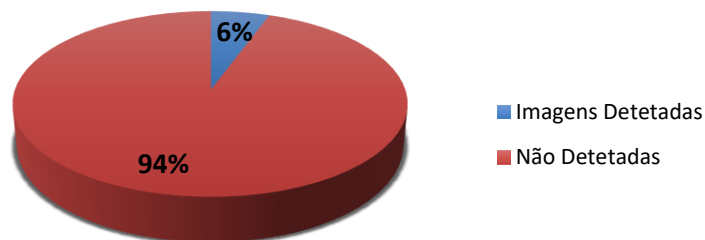


Figura 129 – Resultados de imagens reconhecidas em grupo no teste 6

No gráfico seguinte podemos verificar os resultados do processo de detecção realizado no teste 6.1. Os resultados do número de pessoas detetadas pelo SIRnat, foram de 8 pessoas que

representam 89% da amostra total composta pelos 9 indivíduos e que apenas não realizou o reconhecimento de 1 pessoa, que corresponde a 11% da amostra total. Os resultados representam ao nível do número de alunos detetados com sucesso, uma percentagem de 89% e dos alunos não detetados a percentagem de 11% da amostra total de 9 indivíduos.

RESULTADOS PESSOAS DETETADAS - TESTE 6.1



Figura 130 – Resultados da deteção no teste 6.1

Através da figura 131 verificamos que o número total de imagens reconhecidas pelo SIRnat, por cada deteção com sucesso no teste 6.1.

O resultado das imagens reconhecidas com sucesso foi de 41 imagens, que representam 46% da amostra total das 90 imagens, dos 9 indivíduos presentes na base de dados de imagens. O valor resultante das imagens não reconhecidas foi de 49 imagens, que corresponde a 54% da amostra total de 90 imagens dos 9 indivíduos na base de dados de imagens.

Podemos constatar que dos 9 alunos detetados, foram comparadas e reconhecidas 41 imagens da amostra total de 90 imagens que contêm o rosto na posição frontal na base de dados de imagens.

RESULTADOS IMAGENS RECONHECIDAS - TESTE 6.1

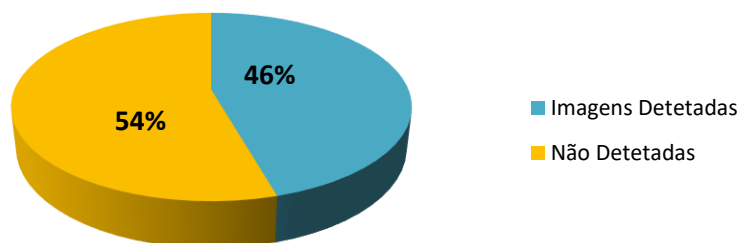


Figura 131 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 6.1

Os resultados obtidos na deteção e reconhecimento do teste 6.2, está representado na figura 132, onde verificamos que foram detetados 2 indivíduos com uma percentagem de 22% dos 9

indivíduos da amostra. Relativamente aos não detetados o valor foi de 7 indivíduos correspondendo a 78% da amostra total dos 9 indivíduos.

RESULTADOS PESSOAS DETETADAS - TESTE 6.2

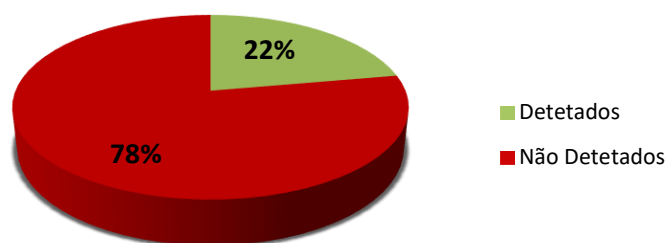


Figura 132 – Resultados da deteção no teste 6.2

Conforme podemos constatar pela visualização do gráfico disponibilizado na figura 133, o número total de imagens reconhecidas pelo SIRnat, por cada deteção com sucesso do teste 6.2, foram reconhecidas com sucesso apenas 4 imagens, que representam 4% da amostra total das 90 imagens dos 9 indivíduos presentes na base de dados de imagens. O valor das imagens não reconhecidas foi de 86 imagens, que corresponde a 96% da amostra total de imagens dos 90 indivíduos na base de dados de imagens.

Podemos constatar que as imagens dos 2 indivíduos detetados, foram comparadas e consequentemente reconhecidas por 4 imagens da amostra total.

RESULTADOS IMAGENS RECONHECIDAS - TESTE 6.2

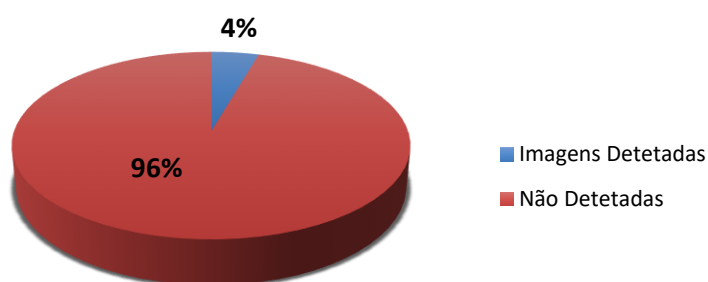


Figura 133 – Resultados de imagens reconhecidas no teste 6.2

Os resultados da deteção e reconhecimento realizado pelo SIRnat no teste 6.3, apresentaram resultados muito aquém dos esperados, porque o detetor não detetou nenhum rosto e por esse razão impossibilitou o reconhecimento.

Esta situação foi devido às parametrizações dos algoritmos de deteção e reconhecimento definidos para este teste, conforme podemos ver anteriormente na tabela 20 e no subcapítulo

5.5.1 e pela influência da iluminação adicional da luz instalada na sala de aula, conforme verificamos nas figuras 108 e 112 anteriormente.

Em forma de conclusão e análise aos resultados alcançados nos testes, teceremos alguns comentários nomeadamente aos dois principais algoritmos implementados no SIRnat, com o objetivo de medição dos limites e a capacidade do SIRnat por forma a podermos introduzir algumas melhorias. O desempenho em tempo real do SIRnat, sob o sistema de hardware, ficou provado ser aceitável nas condições testadas.

Perante os testes realizados ao SIRnat, ficou confirmado que se o rosto da pessoa não estiver corretamente alinhado na posição frontal com a câmara, componente de captura, o rosto não será detetado e muito menos reconhecido. Verificamos outra variável com relevo no processo de deteção, a iluminação do meio ambiente da sala de aula, devido à criação de sombras e brilhos nas imagens.

Avaliamos ao longo dos testes que a iluminação era um fator importante e quando existia mais iluminação no ambiente e sendo direcionado para o rosto da pessoa, os resultados pioravam substancialmente. Sendo o processo mais rápido e mais preciso, sem a iluminação que instalamos adicionalmente, apontada diretamente para o rosto da pessoa.

É importante realçar que a sala de aula apresentou bons resultados nestes testes quando se manteve o ambiente igual e inalterável ao da fase de registo das pessoas na base de dados de imagens, com iluminação adequada ao ambiente, sendo a iluminação habitual das salas de aula.

O algoritmo desenvolvido e implementado no SIRnat, apresenta grande sensibilidade à iluminação, o que implica o aparecimento de sombras ou demasiado brilho nas imagens.

Outro fator deve-se à forma com que o rosto está posicionado na imagem, o que justifica a necessidade de as imagens guardadas na base de dados de imagens, estarem na posição frontal e com o mesmo tamanho.

Os resultados obtidos pelo uso do SIRnat superaram as expectativas quanto à distância do processo de deteção e reconhecimento com sucesso. A performance de reconhecimento do SIRnat nas distâncias entre 1 e 5 metros, podem ser consideradas as posições ideais de reconhecimento. As medidas relacionadas com a distância ideal de reconhecimento, podem apresentar resultados suscetíveis a erros durante o processo de reconhecimento. Isto porque envolve as características dos equipamentos de *hardware* utilizados.

Por fim observamos que as avaliações das deteções e reconhecimento do SIRnat foram assertivas no contexto de um ambiente natural e à qual não sofreu alterações.

Concluimos através dos resultados conseguidos pelo SIRnat, que o algoritmo desenvolvido por Viola Jones apesar de ostentar uma implementação simples e compreensível, consegue obter bons resultados no reconhecimento do rosto humano, mesmo quando estes apresentam alguma variação nas suas expressões (sorrir, piscar ou fechar os olhos, mão na boca ou no queixo), com pouca rotação do rosto e sem qualquer tipo de obstrução.

6 Conclusões e trabalho futuro

*“Sessenta anos atrás, eu sabia tudo.
Hoje sei que nada sei.
A educação é a descoberta progressiva
da nossa ignorância”.*

Will Durant

Ao longo do presente estudo, implementámos uma solução capaz, de forma natural, identificar pessoas através do reconhecimento do seu rosto.

Partimos com um pressuposto que este tipo de solução poderia contribuir, por exemplo, para apoio às telefonistas das grandes organizações como uma Câmara Municipal ou uma Instituição de Ensino Superior, proporcionando-lhe uma informação em tempo real sobre se uma determinada pessoa estaria ou não na organização.

Dada a impossibilidade de testar esta solução num ambiente de grandes dimensões, avançamos para um protótipo controlado, num ambiente mais pequeno que deveria estar alicerçado nos pressupostos identificados.

Foi nessa altura que optamos por testar o sistema numa sala de aula tradicional, originando o SIRnat.

O SIRnat deveria ser capaz de gerar uma base de dados de rostos (de alunos e docentes) e de os reconhecer, criando uma lista de presenças à medida que estes iam entrando na sala de aula.

Desta maneira o SIRnat permitiria migrar os sistemas convencionais atualmente implementados nas organizações para o controlo de ponto e assiduidade e progredirem para um sistema de reconhecimento e registos natural como o SIRnat.

Esta seria a solução natural para os problemas que são humanamente habituais (esquecimentos, perdas, furtos, entre outros) no contexto das marcações físicas que aferem a presença das pessoas em determinado local e incluindo as técnicas biométricas. Numa organização que recorra a uma técnica biométrica para controlar os registos de presenças ou outro tipo de situação, não fica imune aos esquecimentos de marcações por parte das pessoas e além das ausências que poderão ocorrer em determinados períodos e sem que exista qualquer conhecimento dessa situação. Pois com o SIRnat em funcionamento numa organização, situações destas jamais aconteceriam.

6.1 Conclusões

Com a implementação do SIRnat, podemos concluir que fomos capazes de implementar um protótipo funcional para a deteção e reconhecimento em tempo real para o registo natural de

presenças, que captura, deteta, processa e reconhece o rosto humano através de uma imagem previamente adquirida pelo SIRnat.

A partir das características do rosto reconhecidas na imagem, foi disponibilizada uma lista de presenças (em formato .xml) das pessoas (alunos e docentes) em sala de aula associando a hora e a data da entrada e da saída.

A pesquisa realizada tornou possível a aplicação e a utilização de técnicas de deteção e reconhecimento do rosto, aplicada na implementação do protótipo SIRnat para registo natural das presenças na sala de aula.

Todavia o SIRnat apresentou alta sensibilidade no tratamento das imagens em condições de iluminação não controladas.

Outro ponto de relevar é perante a análise realizada, que está relacionado com o tempo consumido pela pessoa a ser registada no SIRnat, com uma variação média entre 1 a 2 segundos, compreende o momento da passagem da pessoa na área da captura da câmara e à apresentação da informação no ecrã. Neste caso não parece que seja necessário realizar uma reflexão da possível redução ao tempo, mas caso haja uma redução ao tempo da análise dos resultados originaria melhorias no indicador de performance do SIRnat.

Foram apresentados métodos e técnicas para o tratamento de problemas encontrados no processo de reconhecimento do rosto. A utilização do algoritmo Viola Jones apresentou ser muito robusto no tratamento das diferentes imagens, em várias posições e profundidades do rosto humano.

Relativamente à funcionalidade do SIRnat, foram verificadas algumas limitações, tais como os óculos, cabelo a obstruir o rosto, que provavelmente irão afetar a performance do SIRnat, dificultando a deteção nessa parte do rosto durante o processo e inviabilizando o reconhecimento.

Nesta dissertação foram estudadas métricas para avaliar o resultado dos algoritmos de classificação e técnicas de extração da informação. De acordo com o desempenho dos parâmetros implementados nos algoritmos de deteção e de reconhecimento, verificamos que a avaliação consistiu na precisão e na sensibilidade dos parâmetros.

Os sistemas no âmbito de deteção e reconhecimento do rosto são interessantes para a investigação e desenvolvimento, pois promovem a evolução deste tipo de tecnologias.

Recentemente esta tecnologia era uma inovação tecnológica, mas pouco fiável. Atualmente esta tecnologia possui fiabilidade e muitas organizações utilizam-na principalmente para controlo de ponto. Isto permite constatar que as técnicas de reconhecimento do rosto estão muito perto do ideal e a curto prazo de tempo teremos a propagação no mercado de produtos que envolvem o reconhecimento e registo natural do rosto e de outros objetos não ligados à biometria.

A solução proposta nesta dissertação demonstrou ser muito viável, de baixo custo, simples de utilizar e de instalar, a portabilidade do SIRnat permite ao utilizador diversificar a sua utilização. A interface gráfica é prática e intuitiva, dado aumentar o grau de precisão e correção das análises no processo de reconhecimento. A maioria dos testes realizados tiveram resultados razoáveis, conforme demonstrado no capítulo anterior de testes e resultados conseguidos, o que valida a viabilidade de uso do SIRnat, com a ressalva das variações da

iluminação. O conceito do SIRnat está relacionado com o próprio ser humano tal como ele é, no seu registo natural.

6.2 Trabalho futuro

Numa futura implementação de melhoria ao SIRnat recomendaríamos, os seguintes melhoramentos:

- Considerar os problemas de iluminação, rotação e inclinação;
- Eliminar ruídos e sombras da imagem (filtro *Gaussian*), através da técnica de pré-processamento da imagem e dos classificadores, poderemos demonstrar melhorias no processo de reconhecimento;
- Possibilidade de ajustar os parâmetros de sensibilidade aos valores de *Minimum Neighbors Threshold* e *Scales Increase Rate*, a poderem ser ajustados através da interface do protótipo pelo utilizador;
- Melhorar a capacidade de o SIRnat detetar e reconhecer o rosto, entre as distâncias de 1 metro a 5 metros;
- A redução no intervalo de tempo consumido no processo de reconhecimento resultando na melhoria de performance dos resultados;
- O aumento da robustez do SIRnat em relação ao tratamento da posição do rosto;
- Capacidade de ultrapassar os fatores de iluminação que interferem no processo, possivelmente com o recurso a câmaras com outras características, tais como uma câmara de infravermelhos de alta definição, que permita por exemplo melhorar a identificação do utilizador num ambiente com pouca iluminação
- Atualização do sistema ao que diz respeito à base de dados das pessoas, ao podermos adicionar novas imagens do rosto através do componente (interface) principal;
- Ligação TCP/IP às câmaras de vídeo, tornando qualquer câmara com esta ligação acessível ao sistema e reconsiderar a área da instalação;

Pretendemos avançar para uma fase de divulgação do presente estudo em conferências relacionadas com o tema através da escrita e apresentação de artigos sobre o mesmo.

Referências

- [1] Garima Rani e Anshuman Saurabh. An overview of biometric techniques. Em *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, volume 1. JETIR, 2014.
- [2] Anil K Jain, Arun Ross, and Salil Prabhakar. An introduction to biometric recognition. *Circuits and Systems for Video Technology*, IEEE Transactions on, 14(1):4–20, 2004.
- [3] Sharath Pankanti, Ruud M. Bolle, and Abhishek Jain. Biometrics: The future of identification. *Computer*, 33(2):46–49, 2000.
- [4] Project FP7-610713(PCAS), a Collaborative Project: Personalized Centralized Authentication System, 2014. Disponível em: <https://www.pcas-project.eu/images/Deliverables/PCAS-D3.1.pdf>, consultado a janeiro 2016.
- [5] Anil K Jain, Patrick Flynn, e Arun A. Ross. *Handbook of biometrics*. Springer Science & Business Media, 2007.
- [6] Adrian Pocovnicu. Biometric security for cell phones. *Informatica Economica*, 13(1):57–63, 2009.
- [7] Harbi AlMahafzah e Maen Zaid AlRwashdeh. A survey of multibiometric systems, 2012.
- [8] Anil Jain, Karthik Nandakumar, e Arun Ross. Score normalization in multimodal biometric systems. *Pattern recognition*, 38(12):2270–2285, 2005.
- [9] Olzak, T. (2011). *Practical Application of Biometrics*. Disponível em: <http://bit.ly/2dmGK0g>, consultado a janeiro 2016.
- [10] Kollreider, K. et al., 2007. Real-Time Face Detection and Motion Analysis With Application in “Liveness” Assessment. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 2(3), pp.548-558.
- [11] Aleix M Martínez e Avinash C Kak. Pca versus Ida. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Transactions on, 23(2):228–233, 2001.
- [12] Boechat G., 2008. Dissertação de Mestrado-Proposta de um modelo de arquitetura biométrica para identificação pessoal com estudo da dinâmica da digitação, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Brasil.
- [13] M. Almeida e H. Bento. Reconhecimento de padrões através de eigenfaces. Disponível em: bit.ly/1oefhNI, consultado em janeiro 2016.
- [14] Timo Ojala, Matti Pietikäinen, e David Harwood. A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions. *Pattern recognition*, 29(1):51–59, 1996.
- [15] Caifeng Shan, Shaogang Gong, e Peter W McOwan. Facial expression recognition based on local binary patterns: A comprehensive study. *Image and Vision Computing*, 27(6):803–816, 2009.
- [16] Sarabjit Singh, Amritpal Kaur, Taqdir. A Face Recognition Technique using Local Binary Pattern Method. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*. Vol. 4, Issue 3, March 2015
- [17] ACSIJ Advances in Computer Science: an International Journal, Vol. 2, Issue 5, No.6, November 2013. ISSN: 2322-5157, www.ACSIJ.org.

- [18] Learning OpenCV by Gary Bradski and Adrian Kaehler, September 2008: First Edition, O'Reilly Media, Inc.
- [19] Flores A., Christiansen E., Kriegman D., Belongie S., "Camera distance from face images", International Symposium on Visual Computing (ISVC), Crete, July, 2013.
- [20] Clevertom S, Daiana M, Fabiana O, Julio F, Leandro F, Pedro S, Ernani. A Segurança Através da Biometria, maio 2007. Associação Educacional Dom Bosco (AEDB).
- [21] Tiago Ferreira, Sistema de Controlo de Acessos e Ponto Integrado Betronic, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, jul. 2008.
- [22] Henrique Santos, 2013. Tecnologias Biométricas: aplicação no controlo de acesso a sistemas de informação, Universidade do Minho.
- [23] Advances in Biometrics: International Conference, ICB 2007, Seoul, Korea, August 27-29, 2007, Proceedings.
- [24] T. Ahonen, A. Hadid, and M. Pietikainen. Face description with local binary patterns: Application to face recognition. IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence, 28:2037–2041, 2006.

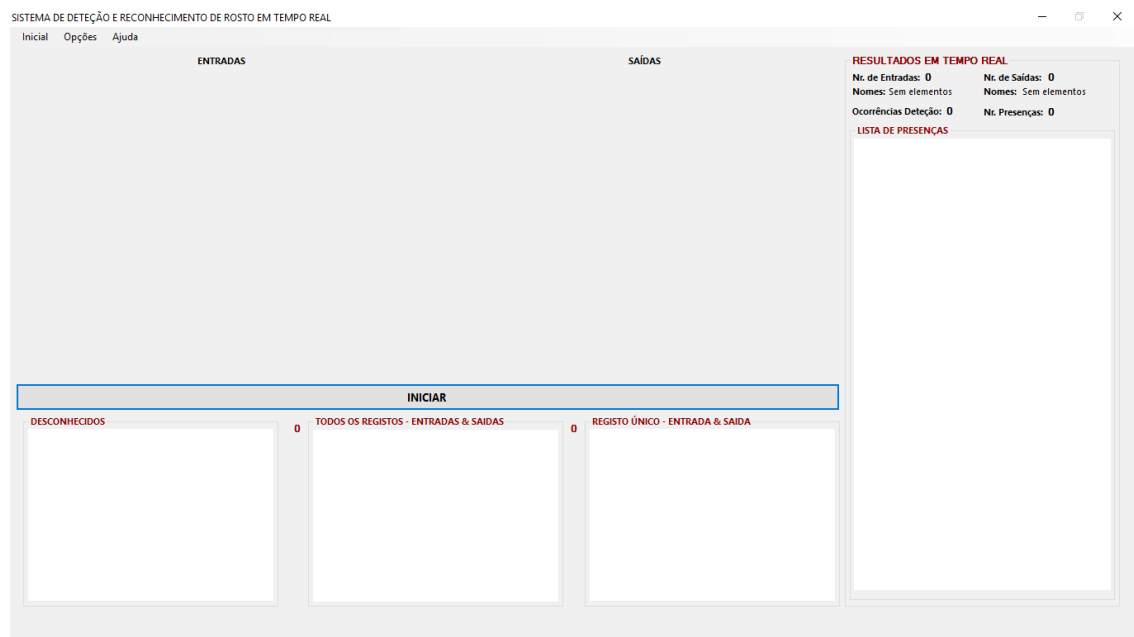
7 ANEXOS

7.1 Anexo 1: Diagrama de Classes

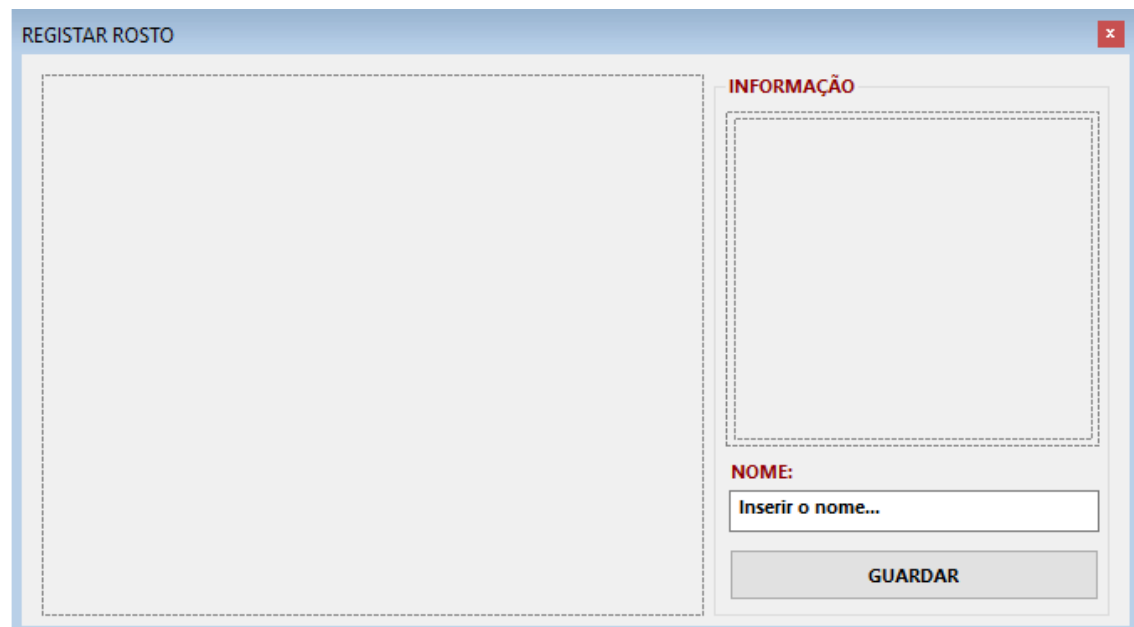
The image displays three screenshots of the Visual Studio Class Browser, showing the structure of three classes: FormPrincipal, FormAprendizagem, and Classifier_Train.

- FormPrincipal:** This class contains a large number of fields, including UI controls like buttons (e.g., buttonStart, buttonToolTip), labels (e.g., label1 through label8), and various menu items. It also includes a 'Methods' section with numerous event handlers and utility methods.
- FormAprendizagem:** This class contains fields for data and UI elements, such as 'ADD_ALL', 'ADD_BTN', 'components', 'ContTrain', and 'timer1'. Its 'Methods' section includes click events for buttons and methods for data management and UI updates.
- Classifier_Train:** This class is an abstract class (indicated by a hollow circle icon) that implements the IDisposable interface. It defines fields like '_IsTrained', 'ContTrain', and 'Eigen_Distance'. Its 'Properties' section includes 'Get_Eigen_Distance', 'Get_Eigen_Label', 'Get_Error', 'IsTrained', and 'Set_Eigen_Threshold'. The 'Methods' section includes 'Classifier_Train (+ 1 overload)', 'Dispose', 'Load_Eigen_Recogniser', 'LoadTrainingData', 'Recognise', and 'Save_Eigen_Recogniser'.

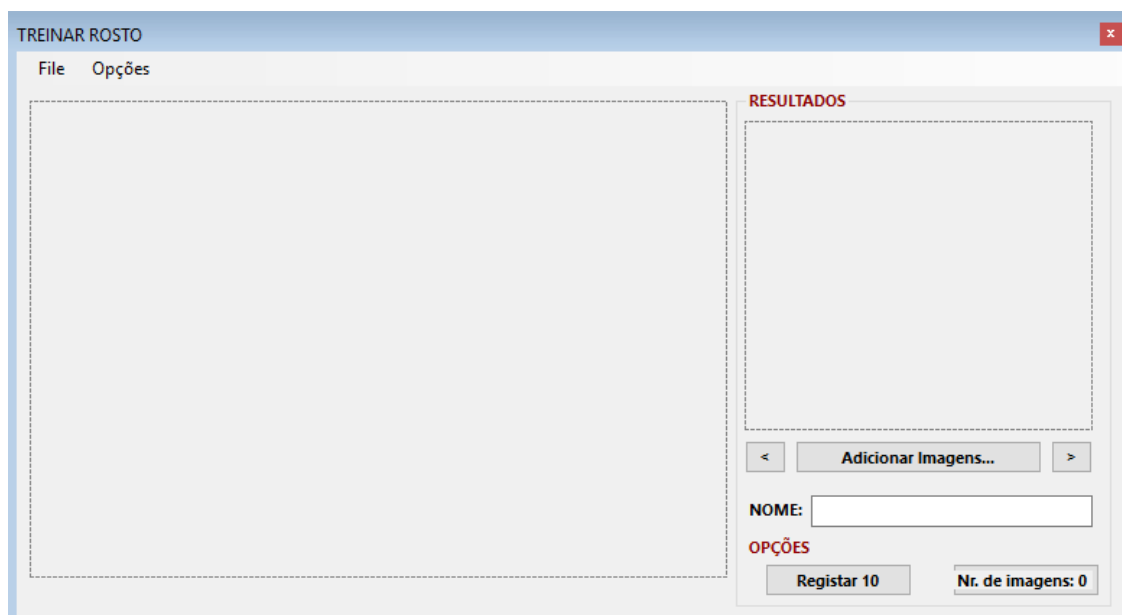
7.2 Anexo 2: Interface principal do SIRnat



7.3 Anexo 3: Interface de registo



7.4 Anexo 4: Interface de registo e aprendizagem



7.5 Anexo 5: Interface Sobre



7.6 Anexo 6: Menu de Seleção

