



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Ciências da Saúde

Reconhecimento Biométrico da Íris na Região de Comprimentos de Onda do Infravermelho Próximo e do Visível

Luís Lucas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Optometria em Ciências da Visão

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Paulo Torrão Fiadeiro

Co-orientador: Prof. Doutor Hugo Pedro Martins Carriço Proença

Covilhã, Outubro de 2011

Agradecimentos

Ao Prof. Paulo Fiadeiro por todos os conhecimentos transmitidos no decorrer desta dissertação e pelo tempo dispensado na concretização deste trabalho.

Ao Prof. Hugo Proença pelo apoio dado no decorrer deste trabalho.

Ao Gil Santos pela sua preciosa ajuda e disponibilidade.

À minha família, em especial os meus pais que desde sempre me apoiaram na concretização dos meus projectos pessoais e académicos.

A todos os meus amigos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse possível.

Resumo

Neste trabalho é proposta e concretizada a criação de uma base de dados com imagens da íris adquiridas e registadas de forma cooperativa em condições controladas de iluminação. A base de dados criada integra imagens da íris adquiridas simultaneamente nas regiões do visível (RGB) e infravermelho próximo (NIR) do espectro electromagnético. São ainda propostos e testados dois métodos de reconhecimento da íris com base na informação contida nos quatro canais RGB e NIR um dos métodos consiste num modelo linear cujos coeficientes foram calculados em função da base de dados criada enquanto que o outro consiste num modelo neuronal treinado com dados da mesma base de dados.

Após a segmentação e normalização das imagens das íris procede-se à optimização dos parâmetros de filtros de Gabor a aplicar às regiões visível e infravermelho próximo do espectro, obtendo a informação relativa aos quatro canais: vermelho, verde, azul (Red, Green e Blue - RGB) e ao canal do infravermelho próximo (Near Infrared - NIR). Estes filtros optimizados são usados para a codificação final das imagens segmentadas das íris a cada um dos quatro canais anteriormente referidos, o desempenho da codificação das íris é analisado em cada um destes canais em separado.

Por fim, foram criados dois modelos de reconhecimento da íris, um linear e outro utilizando redes neuronais que fundem a informação dos canais do visível RGB, ou em alternativa usam a informação associada aos quatro canais RGB e NIR.

Os resultados mostraram que o modelo que tem o melhor desempenho no reconhecimento da íris é o modelo linear em que a informação dos quatro canais RGB e NIR é usada.

Palavras-Chave

Modelos de reconhecimento da íris; Biometria; Imagens Multiespectrais;

Abstract

In this paper is proposed and implemented the creation of a database for iris images acquired and registered in a cooperative way under controlled conditions of illumination. The created database includes iris images acquired simultaneously in the regions of the visible (RGB) and near infrared (NIR) of the electromagnetic spectrum. It's also proposed and tested two methods for iris recognition with the information contained in the four acquired channels RGB and NIR. The first method is a linear model whose coefficients were calculated according to the created database while the other method consists of a neuronal model trained with the data from the same database.

After iris images segmentation and normalization the next step was the optimization of the Gabor filters parameters to be applied to corresponding segmented iris images in the visible and near infrared spectrum, obtaining the information in the four channels: red, green, blue (Red, Green and Blue - RGB) and near-infrared channel (Near infrared - NIR). These optimal filters were then used to encode the segmented images of the iris on each of the four channels mentioned above. The performance of the encoding was also analyzed in each channel separately.

Finally, two iris recognition models were built, the first was a linear model and the second uses a neural network that merge information from the visible RGB channels, or alternatively uses the information association of all of the four channels RGB and NIR.

The results show that the model that has the better performance in iris recognition is the linear model which holds the information of the four channels RGB and NIR.

Keywords

Iris recognition; Biometrics; Multispectral Images;

Índice

Capítulo 1- Introdução	1
Capítulo 2 - Anatomia da Íris	5
2.1 - A Camada Anterior da Íris_.....	5
2.2 - Estroma e Esfíncter da Íris_.....	7
2.3 - O Epitélio Anterior da Íris.....	8
2.4 - O Epitélio Posterior da Íris_.....	8
Capítulo 3 - Reconhecimento da Íris	11
Capítulo 4 - Métodos	16
4.1 - Sistema Óptico Experimental	16
4.2 - Processamento da Imagem	21
Capítulo 5 - Procedimento Experimental e Análise de Resultados	27
Capítulo 6 - Considerações Finais	27
6.1 - Conclusões.....	47
6.2 - Trabalho Futuro	47
Bibliografia.....	50
Anexos	51

Lista de Figuras

FIGURA 2.1 - REPRESENTAÇÃO DA SUPERFÍCIE E CAMADAS DA ÍRIS	6
FIGURA 2.2 - FOTOGRAFIA MICROSCOPICA DE UMA SECÇÃO TRANSVERSAL PUPILAR.....	6
FIGURA 2.3 - AS CAMADAS ANTERIORES DA ÍRIS	7
FIGURA 2.4 - REPRESENTAÇÃO DE UMA SECÇÃO DA ÍRIS	6
FIGURA 3.1 - ILUSTRAÇÃO DO PROCESSO DE NORMALIZAÇÃO DE UMA ÍRIS SEGMENTADA.....	12
FIGURA 4.1 - SISTEMA ÓPTICO EXPERIMENTAL DE AQUISIÇÃO DE IMAGEM	16
FIGURA 4.2 - FOTOGRAFIA DO SISTEMA ÓPTICO EXPERIMENTAL DE AQUISIÇÃO DE IMAGEM.	17
FIGURA 4.3 - REPRESENTAÇÃO DAS COORDENADAS DO ILUMINANTE I NO ESPAÇO DE COR CIE 1931 (X,Y).....	18
FIGURA 4.4 - REPRESENTAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA POTÊNCIA ESPECTRAL DO ILUMINANTE I	18
FIGURA 4.5 - SISTEMA ÓPTICO DA CÂMARA MULTIESPECTRAL	19
FIGURA 4.6 - EXEMPLO DE UMA AQUISIÇÃO SIMULTÂNEA	21
FIGURA 4.7 - DETECÇÃO DA PUPILA	21
FIGURE 4.8 - ADAPTAÇÃO DA ELIPSE.....	22
FIGURE 4.9 - ADAPTAÇÃO DE CIRCUNFERÊNCIA	22
FIGURA 4.10 - IMAGEM 512X126 PIXÉIS DOS CANAIS NIR E RGB NORMALIZADA	23
FIGURA 4.13 - IMAGEM 512X126 PIXÉIS DOS CANAIS R, G E B	23
FIGURA 4.14 - SEGMENTO DA IMAGEM NORMALIZADA DE 280X70 PIXÉIS	24
FIGURE 5.1 - CATEGORIZAÇÃO DA COR DA ÍRIS.....	27
FIGURA 5.2 - FOTOGRAFIA DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS USANDO O SISTEMA ÓPTICO EXPERIMENTAL..	28
FIGURA 5.3 - EXEMPLOS DE ERROS, ESTES FORAM MANUALMENTE EXCLUÍDOS DA BASE DE DADOS IMAGEM.	29
FIGURA 5.5 - FILTROS DE GABOR PARA A DECIDABILIDADE MÁXIMA NOS CANAIS R, G, B E NIR.	32
FIGURA 5.6 - FILTROS DE GABOR PARA A DECIDABILIDADE MÉDIA NOS CANAIS R, G, B E NIR	33
FIGURA 5.7 - CÓDIGO DE ÍRIS PARA UM INDIVÍDUO ALEATORIO	34
FIGURA 5.8 - CÓDIGO DE ÍRIS PARA UM INDIVÍDUO ALEATORIO	35
FIGURA 5.9 - CÓDIGO DE ÍRIS DO CANAL AZUL	37
FIGURA 5.10 - CÓDIGO DE ÍRIS DO CANAL AZUL.....	38
FIGURA 5.9 - CURVAS ROC CANAIS RGB E NIR	40
FIGURA 5.10 - CURVAS ROC CANAIS RGB E NIR.....	41
FIGURA 5.10 - CURVAS ROC MODELOS LINEARES	42
FIGURA 5.11 - CURVAS ROC MODELOS LINEARES.	43
FIGURA 5.12 - CURVAS ROC MODELOS NEURONAIS.	44
FIGURA 5.13 - CURVAS ROC MODELOS NEURONAIS.	45

Lista de Tabelas

TABELA 5.1 - OPTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS	30
TABELA 5.2 - RESULTADOS DE CADA CANAL INDIVIDUAL	36
TABELA 5.3 - CORRELAÇÃO DE CANAIS E P-VALUES.....	36
TABELA 5.4 - RESULTADOS PARA OS MODELOS LINEARES E NEURONAIS NAS SUAS DIVERSAS TIPOLOGIAS.	39

Lista de Acrónimos

PIN - Personal Number Identification

ADN - Ácido Desoxirribunucleico

NIR - Near Infrared

RGB - Visible

R - Red

G - Green

B - Blue

AUC - Area Under Curve

ROC - Receiver Operating Characteristic

PC - Personal Computer

CPU - Central Processing Unit

VSG - Visual Stimulus Generator

TIFF- Tagged Image File Format

UV -Ultravioleta

Capítulo 1- Introdução

A palavra Biometria provém do grego Bio, vida, e metrón, medida. É portanto, uma “*medida de vida*”. A Biometria é o ramo da ciência que estuda a mensuração dos seres vivos. Pode ser definida como uma medida de vida baseada nas características únicas dos indivíduos, sejam estas aspectos físicos ou comportamentais e que são únicas em cada ser.

Deste modo, tecnologias biométricas são métodos automáticos de verificação ou identificação de um indivíduo vivo baseados em características fisiológicas ou comportamentais. Actualmente existem vários sistemas de reconhecimento os mais comuns são:

- Impressão Digital: É talvez a técnica mais antiga de reconhecimento. Baseia-se no reconhecimento de pequenas diferenças ao nível da epiderme da pele, as minúcias. Não se degrada com a idade e é de difícil reprodução.
- Reconhecimento da Orelha: As orelhas têm sido usadas para reconhecimento especialmente em locais de crime onde as impressões digitais estão ausentes. No entanto, a sua singularidade tem sido questionada e uma vez que pode ser tapada é necessária a cooperação do indivíduo.
- Geometria da Mão: Baseia-se na geometria da mão, dedos, palma e até mesmo nas veias da mão. As medidas mais relevantes são o comprimento e largura do dedo assim como a sua área. Este tipo de sistemas são baratos e fáceis de usar mas requerem um grande contacto com a mão.
- Reconhecimento da Face: O reconhecimento através da geometria facial possui o mesmo princípio das outras técnicas, é capturada uma imagem por uma câmara, são registados diversos pontos delimitadores, os quais permitem definir proporções, distâncias e formas de cada elemento do rosto.
- Reconhecimento da Íris: Baseia-se na informação da íris. Esta contém informação distinta de indivíduo para indivíduo, quer na sua morfologia quer na sua reflectância espectral (visível e infravermelho próximo). É de difícil reprodução mas de fácil acesso pois não é necessário nenhum procedimento invasivo.
- Mapeamento da Retina: São analisados os vasos sanguíneos do fundo do olho, é direccionada uma luz infravermelha de baixa intensidade na parte posterior do olho, o padrão da retina é reflectido de volta para a câmara com a informação do padrão dos vasos sanguíneos. Esta técnica é um dos melhores métodos existentes para o reconhecimento biométrico, pois as taxas de erro são muito baixas. É de difícil reprodução o que constitui um dos sistemas mais seguros, no entanto é altamente cooperativo e de difícil aquisição.

- Ácido Desoxirribonucleico (ADN) é representado através de um código unidimensional, e é único para cada indivíduo. É altamente susceptível de contaminação e não permite reconhecimento em tempo real.

Nos últimos anos, a biometria tem assumido um papel importante na sociedade, cada vez mais os sistemas de protecção da informação estão direccionados para o reconhecimento cooperativo ou não cooperativo dos indivíduos, devido às vantagens que estes apresentam ao nível de segurança face aos sistemas tradicionais. Os sistemas tradicionais de segurança, têm por base um objecto físico, como um cartão ou uma chave, ou em alternativa, informação como por exemplo um PIN (*personal number identification*). Estes métodos sofrem de vários problemas uma vez que podem ser forjados, esquecidos ou adulterados. Deste modo a Biometria consegue distinguir de uma forma eficaz entre um indivíduo genuíno e um impostor sem apresentar as desvantagens dos sistemas tradicionais.

Dentro da gama de tecnologias que a Biometria apresenta, o reconhecimento da íris tem vindo a impor-se como uma das técnicas mais fiáveis, estáveis, não invasivas e de difícil adulteração.

Como referido, a íris apresenta características únicas no que toca à sua especificidade e informação contida. Até à data, a maioria dos métodos apresentados baseiam-se no reconhecimento da íris usando o espectro do infravermelho próximo.

Ao nível das ciências da saúde o reconhecimento da íris pode assumir um papel importante. Em algumas cirurgias pode ser usada para melhorar o desempenho do sistema cirúrgico.

No entanto, apesar do reconhecimento da íris ser um de grande fiabilidade, poderão existir alterações anatómicas que alterem o código da íris e consequentemente o sistema não reconheça a íris. As cirurgias oftalmológicas e patologias associadas ao segmento anterior do olho, em especial as irites e iridociclites podem comprometer o reconhecimento positivo de uma íris

Este trabalho, pretende demonstrar a importância que o reconhecimento da íris pode ter ao nível das ciências da saúde assim como para desenvolver novas técnicas de reconhecimento da íris. Deste modo, foi construído um sistema óptico experimental que permite captar imagens simultâneas na região visível e infravermelho próximo do espectro. Foi criada uma base de dados de imagens de íris sendo estas posteriormente processadas e analisadas. Criaram-se ainda dois modelos, um linear e outro tendo por base uma rede neuronal, para avaliar qual destes teria o melhor desempenho ao integrar a informação espectral mais alargada.

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos e uma secção de anexos. O capítulo 1 descreve sumariamente as tecnologias biométricas e o objectivo deste trabalho. O capítulo 2 descreve a anatomia da íris. No capítulo 3 descreve-se uma das técnicas mais usadas para o reconhecimento biométrico da íris. Segue-se o capítulo 4 onde se aborda a metodologia seguida para a elaboração da dissertação. O capítulo 5 relata o procedimento experimental assim como apresenta os resultados obtidos. Segue-se o capítulo 6 onde se

retiram conclusões e se apresenta ainda o trabalho a ser desenvolvido no futuro. A secção dos anexos contém informação adicional que por motivos de organização não se colocou no texto principal.

Capítulo 2 - Anatomia da Íris

Uma vez que este trabalho versa o reconhecimento de uma das estruturas mais visíveis do olho, a íris, faz sentido conhecê-la com alguma profundidade, deste modo, poderemos no decorrer do trabalho compreender porque é que a íris tem determinados padrões únicos assim como o motivo pelo qual estes padrões podem ser reconhecidos com a utilização de filtros específicos.

A íris é uma fina estrutura circular que se encontra localizada antes do cristalino e que é usualmente comparada ao diafragma de um sistema óptico como se mostra na figura 2.1.

No canto superior esquerdo da figura 2.1 estão representadas as zonas pupilar (A) e ciliar (B), cuja interface se designa por colarete. A figura mostra uma superfície com cor castanha com uma camada anterior densa de pigmento. A mesma íris, com ausência de pigmento, corresponde a uma superfície azul que apresenta uma camada anterior menos densa de pigmento e zonas trabeculares mais proeminentes. O bordo pupilar apresenta-se sempre bastante pigmentado como é sua característica (d). Os vasos da íris têm a sua origem no círculo maior da íris ao nível do corpo ciliar (e). Os ramos radiais das artérias e veias estendem-se para a zona pupilar. As artérias formam um círculo incompleto, o círculo menor da íris (f) do qual se estendem capilares para o bordo pupilar formando as arcadas capilares. O sector seguinte mostra a organização muscular, o esfíncter da íris (g) e os processos musculares do músculo dilatador (h). A superfície posterior da íris mostra os sulcos contrácteis (i) e as dobras estruturais de Schwalbe (j), estas também estão presentes na zona ciliar. A *pars plicata* do corpo ciliar encontra-se em (k).

O diâmetro médio de uma íris humana é de 12 mm e a sua espessura varia. É mais espessa na região do colarete, uma crista que dista aproximadamente 1.5 mm da margem pupilar. O colarete divide a íris na zona pupilar, que circunda a pupila, e a zona ciliar, que se estende do colarete até à raiz da íris. A cor destas duas zonas é frequentemente diferente. A raiz da íris tem uma espessura de aproximadamente 0.5 mm, e é a parte mais fina da íris.

A íris divide-se em quatro zonas distintas: a camada anterior, o estroma e o esfíncter, o epitélio anterior e o músculo dilatador, e o epitélio posterior, conforme se representa na figura 2.2. De notar que na figura estão representadas células “*clump*” que são densamente pigmentadas e apenas se encontram na íris como será explicado mais adiante.

2.1 - A Camada Anterior da Íris

A camada anterior é uma fina condensação do estroma. De facto, alguns autores não a consideram uma camada separada. É composta por fibroblastos, melanócitos pigmentados e por fibras de colagénio.

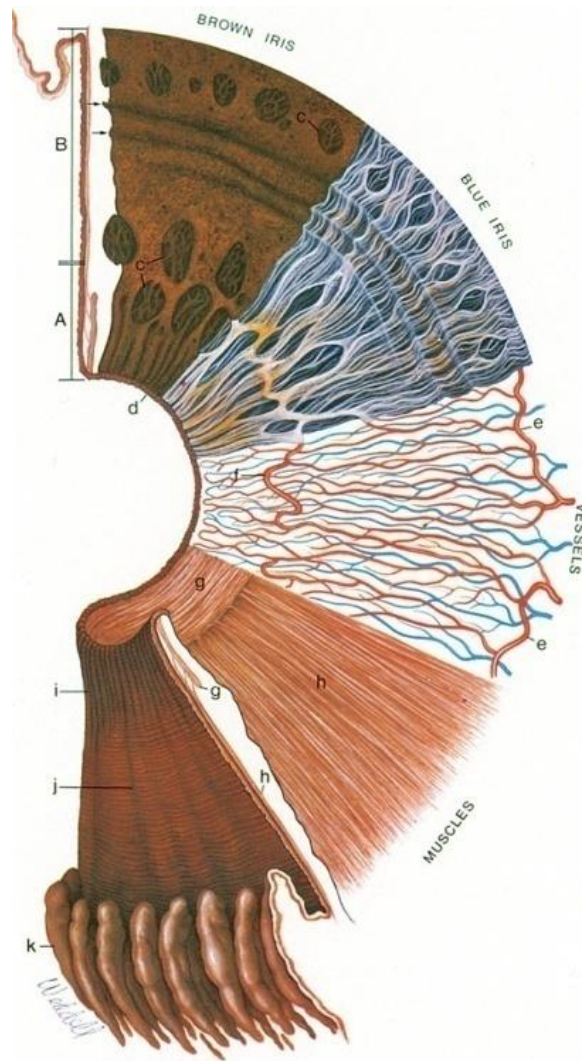


Figura 2.1 - Representação da superfície e camadas da íris.

Retirado e adaptado Hogan MJ, Alvarado JA, Weddell JE. Histology of the human eye; an atlas and textbook [by] Michael J. Hogan, Jorge A. Alvarado [and] Joan Esperson Weddell. Philadelphia,: Saunders; 1971.

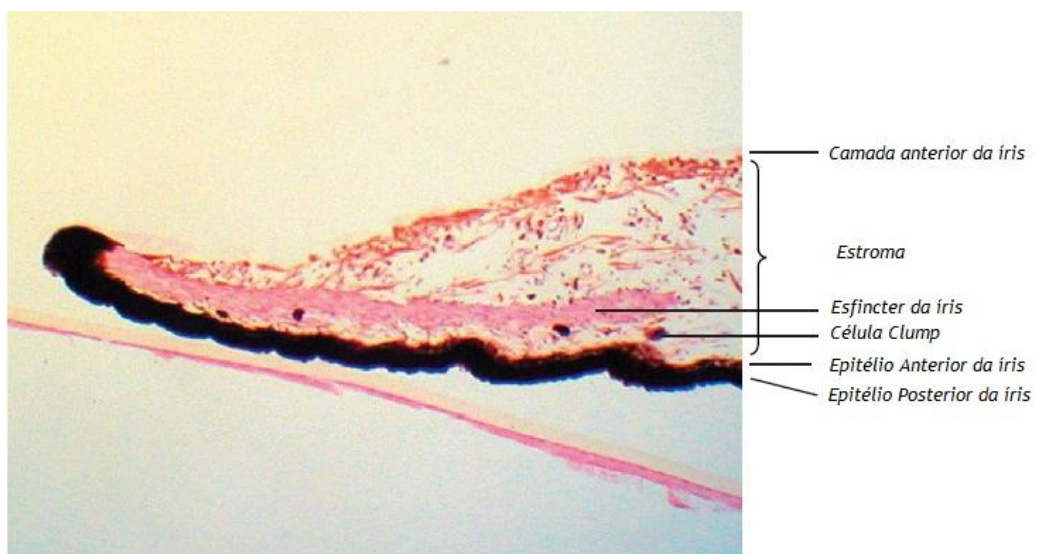


Figura 2.2 - Fotografia microscópica transversal de uma secção pupilar.

Retirado e adaptado de Remington LA, editor. Clinical Anatomy of the Visual System. 2 ed. St. Louis: Elsevier 2005.

Existe uma rede de células interligadas de modo que os fibroblastos (fibroblasts) estão à superfície e os melanócitos (melanocytes) estão por baixo, conforme representado na figura 2.3. A camada anterior da íris é coberta por uma única camada de fibroblastos (a), que comunicam entre si através dos seus longos ramos. Por baixo desta existe uma camada densa de melanócitos e alguns fibroblastos (b). O estroma da íris (c) contém capilares que podem estar muito próximos da superfície.

A espessura da camada de melanócitos pode variar ao longo da íris, com acumulações de melanócitos que podem formar massas elevadas, que são evidentes na camada anterior. A densidade e o arranjo desta rede de células diferem de íris para íris e é um dos factores que contribui para a sua cor. As fibras de colagénio estão dispostas de forma radial e são de fácil observação em íris claras.

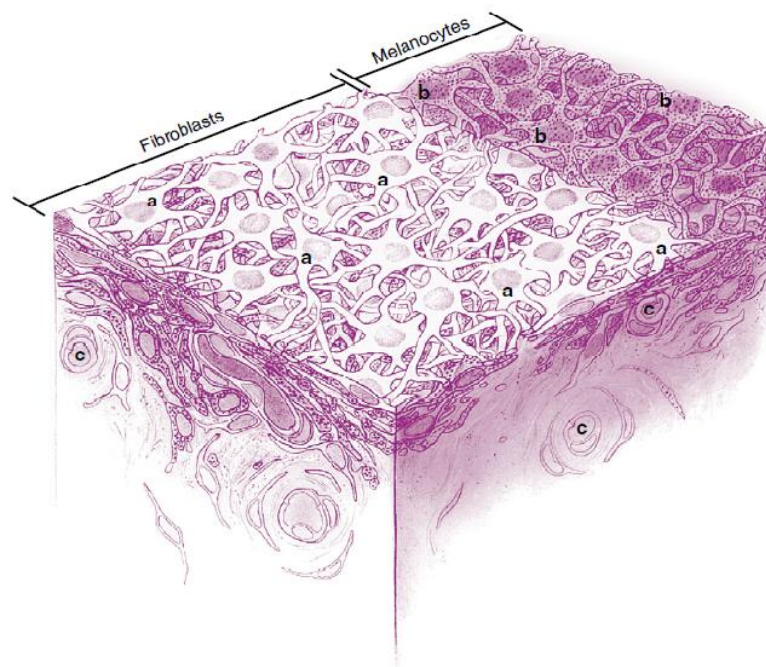


Figura 2.3 - As camadas anteriores da íris.

Retirado e adaptado de de Remington LA, editor. *Clinical Anatomy of the Visual System*. 2 ed. St. Louis: Elsevier 2005.

2.2 - Estroma e Esfíncter da Íris

O estroma é tecido conjuntivo que é composto por células pigmentadas e não pigmentadas, por fibras de colagénio e substância fundamental.

As células pigmentadas incluem melanócitos e células “clump”, e as células não pigmentadas são: fibroblastos, linfócitos, macrófagos, e mastócitos.

As células “clump”, são grandes, redondas, com pigmentação escura e são descritas como células da ectoderme neuronal que migraram, ou como macrófagos alterados

geralmente só se encontram na íris. As células “*clump*” estão localizadas na porção pupilar do estroma, muitas vezes perto do esfíncter da íris.

As artérias da íris são ramos de um vaso circular, o vaso maior do círculo da íris, localizado no corpo ciliar perto da raiz da íris. Os vasos da íris regra geral, seguem um padrão radial da raiz da íris para a margem da pupila. Histologicamente pensava-se que estes vasos tinham uma túnica espessa “*tunica adventitia*” e chamavam-se vasos sanguíneos espessos da íris. Esta rede de fibras de colagénio que circundam os vasos e que não fazem parte da parede vascular são o que sustentam os vasos e colocam-nos em posição protegendo-os, durante o processo de movimento da íris chamada de miose e midríase.

Existe ainda um vaso circular incompleto o vaso menor da íris que está localizado ao nível do estroma na região do colarete e é uma reminiscência do desenvolvimento embrionário. Os capilares da íris são fenestrados e fazem parte da barreira ao humor aquoso. O estroma da íris é contínuo com o estroma do corpo ciliar.

O esfíncter da íris é um músculo que está localizado no estroma e é composto por células lisas musculares unidas por junções apertadas. Como o nome indica é um músculo circular com as dimensões de 0.75 a 1 mm de diâmetro e circunda a pupila. A contracção do esfíncter causa miose e é inervado pelo sistema nervoso parassimpático.

2.3 - O Epitélio Anterior da Íris

O epitélio anterior da íris é composto por células mioepiteliais. A porção apical é epitélio de forma cúbica pigmentado unido por desmossomas e junções apertadas onde a porção basal é composta por processos musculares lisos alongados e contrácteis. As fibras musculares estendem-se para o estroma formando três a cinco camadas do músculo dilatador unidas por junções muito apertadas. O músculo dilatador da pupila está presente desde a raiz da íris até a um ponto no estroma debaixo do ponto médio do esfíncter. Perto da terminação do músculo dilatador, pequenas projecções inserem-se no estroma ao nível do esfíncter. O músculo dilatador é inervado pelo sistema nervoso autónomo simpático.

2.4 - O Epitélio Posterior da Íris

A segunda camada posterior ao estroma é o epitélio posterior da íris é uma camada muito pigmentada, com células em coluna unidas por junções e desmossomas. A íris na periferia do epitélio posterior começa a perder o seu pigmento à medida que continua a inserir-se no corpo ciliar. As camadas do epitélio posterior e anterior da íris estão colocadas apex a apex, um resultado do desenvolvimento embrionário.

As criptas de Fuchs, estão presentes em ambos os lados do colarete e ao nível da raiz da íris (criptas periféricas) como representado na figura 2.4, estas permitem a rápida entrada

e saída de humor aquoso nos espaços do estroma com a alteração de volume da íris devido à dilatação e contracção pupilar.

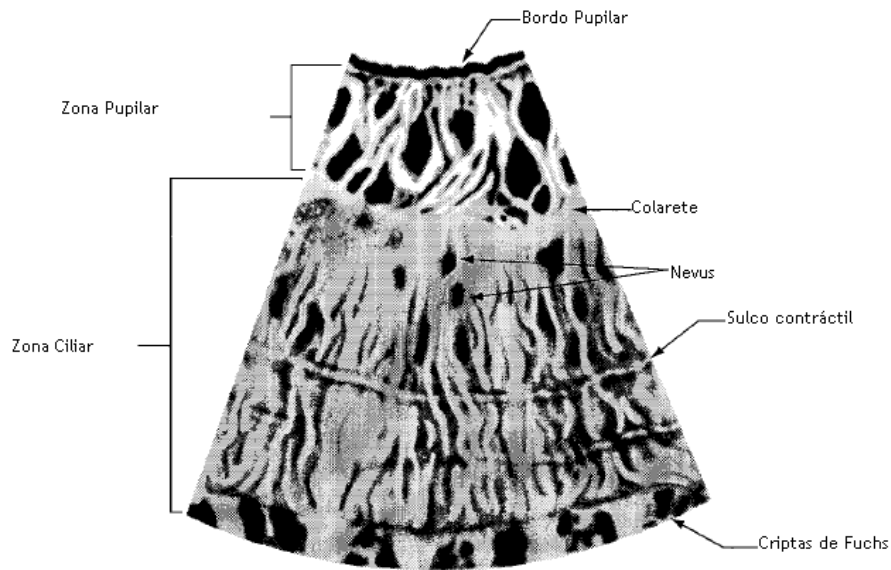


Figura 2.4 - Representação de uma secção da íris.

Retirado e adaptado de Wildes RP. Iris recognition: An emerging biometric technology. P IEEE. 1997 Sep;85(9):1348-63.

A cor da íris depende do arranjo e densidade do tecido conjuntivo dos componentes presentes na camada anterior e no estroma, assim como da densidade de melanócitos, e densidade de pigmento nos próprios melanócitos. A íris tem aparência azul pela mesma razão que o céu é azul; o comprimento de onda que é percebido resulta de dispersão da luz que é causado pelo arranjo da densidade dos tecidos conjuntivos. Outras cores são causadas pela quantidade de luz que é reflectida (não absorvida), o que depende da densidade do pigmento nos melanócitos. Se a íris for altamente pigmentada esta terá uma aparência castanho-escuro lisa e até aveludada enquanto que numa íris azul o colagénio trabecular é bastante evidente, nas outras cores, verdes cinzento depende da quantidade de pigmento presente no colagénio. Um *nevus*, é frequentemente observado na camada anterior da íris conforme esquematizado na figura 2.4, corresponde a uma área de hiperpigmentação onde existe uma acumulação de melanócitos. Apenas os albinos apresentam ausência de pigmento nas camadas da íris.

Capítulo 3 - Reconhecimento da Íris

O grande desafio que se impõe quando se quer estabelecer um processo de reconhecimento da íris é num primeiro momento a detecção das zonas que se pretendem analisar e só posteriormente é que se realiza o processamento da informação nelas contida. Deste modo, coloca-se de imediato o problema da detecção da pupila e do limbo.

Diversos autores(1-7), apresentaram vários métodos para a resolução deste problema e todos eles se baseiam na aquisição de uma imagem global do olho com uma resolução espacial variável, à qual é aplicada uma sequência de operações de forma a recolher a informação fulcral para o reconhecimento da íris. Estas imagens, em geral, são registadas na região infravermelho do espectro ou em alternativa na região visível do espectro. Essas operações dividem-se normalmente nas seguintes fases:

A segmentação da imagem: que consiste na localização e extracção do segmento da imagem que contém a íris.

Normalização: Conversão do segmento da imagem da íris para coordenadas invariáveis de um mesmo sistema.

Codificação e correspondência: Conversão dos dados associados ao segmento de imagem da íris numa estrutura de dados mais simples que facilite a pesquisa e obtenção de correspondência num curto espaço de tempo.

Apesar da região do infravermelho próximo do espectro ser a mais usada para o reconhecimento da íris, existem alguns estudos (8-13) que permitem aferir que a utilização da região do visível do espectro contém informação adicional ao reconhecimento da íris.

Dada a grande diversidade de técnicas de reconhecimento da íris apenas se irá referir aqui a que teve na base da técnica que é proposta nesta dissertação.

John G. Daugman (2, 14) defende que deverá existir um sistema de captação de imagem global da íris na região infravermelho do espectro que garanta um mínimo de 70 elementos de imagem (pixéis) ao longo do raio da íris, para que se consigam captar pormenores e padrões que permitam o seu reconhecimento. A localização e extracção do segmento da imagem da íris, é realizada com recurso a um operador matemático bidimensional de Fourier, que quando aplicado à imagem global do olho permite detectar o bordo pupilar e o bordo do limbo, ou seja, as fronteiras interior e exterior da íris.

Posteriormente, usa a mesma abordagem para detectar os contornos das pálpebras, no entanto, o operador matemático em causa é alterado para detectar contornos arqueados, em vez de circulares. O autor defende ainda que as imagens que apresentem menos de 50% da área da íris exposta devem ser rejeitadas.

Após a fase de segmentação da imagem da íris, procede-se à normalização desse segmento. O objectivo é criar um sistema de referência para as regiões da íris, não tendo em conta a constrição ou dilatação pupilar e o tamanho da imagem da íris. Deste modo, o modelo do autor(3) aplica a cada ponto da imagem segmentada da íris um par de coordenadas reais

sem dimensão que são independentes do tamanho da imagem ou dilatação pupilar, resultando numa nova imagem da íris agora de forma rectangular em que cada ponto está sujeito a um sistema de coordenadas polares, conforme se representa esquematicamente na figura 3.1.

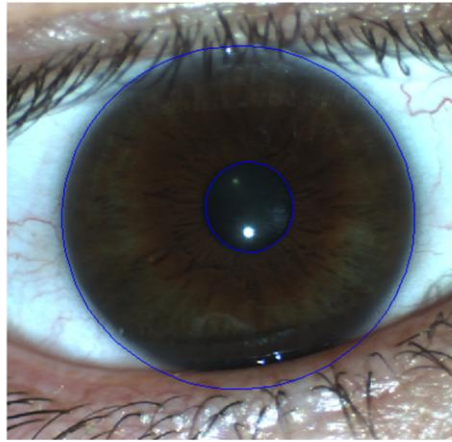


Figura 3.1 - Ilustração do processo de normalização de uma íris segmentada utilizando o modelo de Daugman.

Assim as zonas a analisar da íris deverão sempre excluir a região superior da íris onde a oclusão parcial pela pálpebra superior é comum, a região inferior da íris onde o reflexo especular no menisco lacrimal também é comum, assim como, a zona onde o reflexo especular na córnea seja evidente.

De seguida, Daugman procede à demodulação dos padrões existentes na íris aplicando filtros bidimensionais complexos de Gabor. Esta demodulação consiste na convolução matemática desses filtros de Gabor à imagem da íris devidamente segmentada e normalizada.

Como resultado desta demodulação surge um código de íris que, apesar da sua simplicidade, é capaz de representar a informação de fase (15). Este código não é mais do que a transformação da imagem resultante dessa operação de convolução numa imagem binária (0,1), onde em traços gerais os valores negativos são convertidos em 0 e os valores positivos são convertidos em 1.

A implementação desenvolvida por Daugman também determina uma máscara que indica as zonas em que a íris está afectada por ruído, isto é, por sombras palpebrais, pestanas, pestanejos, reflexões especulares, etc..., e conseqüentemente terão de ser excluídas da codificação final.

Outro aspecto importante deste método é que apenas utiliza a informação. A amplitude depende do contraste, da iluminação e do ganho da câmara e como não é discriminante será descartada.

Finalmente, Daugman define a dissimilaridade entre um conjunto de íris como sendo a distância de Hamming. Por definição a distância de Hamming entre duas codificações binárias é dada por:

$$HD = \frac{\|(código A \otimes código B) \cap máscara A \cap máscara B\|}{\|máscara A \cap máscara B\|}$$

onde *código A* e *código B* são imagens binárias do código das íris identificados por *A* e *B*, e *máscara A* e *máscara B* determinam as zonas de exclusão a serem aplicadas às imagens binárias dos códigos de íris *A* e *B*. O operador \otimes representa a operação lógica “ou exclusivo” ou “XOR” que identifica códigos binários discordantes, isto é, quando os bits dos códigos são iguais o valor lógico resultante é 0, enquanto que o valor lógico resultante é 1 sempre que os bits dos códigos sejam diferentes. O operador \cap representa a operação lógica “e” ou “AND” assegurando-se desta forma que a codificação correspondente a cada máscara é removida, não contribuindo assim para o cálculo da distância de Hamming. Uma distância de Hamming igual a zero representa uma correspondência perfeita entre os códigos das duas íris.

A *performance* deste método pode ainda ser analisada pela chamada decidabilidade que reflecte a separação entre os histogramas de classe obtidos em duas comparações de dissimilaridade realizadas dentro da mesma classe, íris da mesma pessoa e realizadas dentro de classes diferentes, íris de pessoas diferentes. Se o valor médio dessa inter-classe e intra-classe for representado por μ_{inter} e μ_{intra} e os seus desvios padrões forem designados por σ_{inter} e σ_{intra} a decidabilidade d' é definida pela seguinte equação

$$d' = \frac{|\mu_{inter} - \mu_{intra}|}{\sqrt{\frac{\sigma_{inter}^2 + \sigma_{intra}^2}{2}}}$$

Que representa a separação entre os valores médios dos dois histogramas pesado pelo valor médio dos desvios padrões.

Esta dissertação pretende propor e desenvolver uma técnica de reconhecimento da íris de forma cooperativa e em condições controladas de iluminação e aquisição de imagem, criando uma base de dados alargada com imagens da íris nas regiões do infravermelho próximo e do visível do espectro electromagnético. Desta forma, serão registadas em simultâneo as imagens dos quatro canais, em particular, o canal associado aos comprimentos de onda do infravermelho próximo NIR, o canal associado aos comprimentos de onda vermelho R, o canal associado aos comprimentos de onda verde G, o canal associado aos comprimentos de onda azul B.

Os procedimentos de Daugman (3, 16) serão aplicados aos quatro canais em estudo, passando pela otimização dos parâmetros dos filtros de Gabor, de forma a obter as distâncias de Hamming e as respectivas decidabilidades, entre outros parâmetros, em cada um dos canais em estudo.

Com estes resultados tornou-se possível a criação de modelos lineares e neuronais de reconhecimento da íris que relacionam os quatro canais associados ao infravermelho próximo e visível em conjunto (NIR+RGB). Para efeitos de comparação foram ainda criados novos modelos lineares e neuronais de reconhecimento da íris com base apenas nos canais associados aos comprimentos de onda do visível (RGB).

Capítulo 4 - Métodos

4.1 - Sistema Óptico Experimental

Para a realização deste trabalho implementou-se no Centro de Óptica da Universidade da Beira Interior, em parceria com os departamentos de Engenharia Informática e Física e com o Instituto de Telecomunicações, um sistema óptico experimental de aquisição de imagens nas regiões do espectro visível e infravermelho próximo com vista ao reconhecimento biométrico da íris do olho humano. O sistema está representado esquematicamente na figura seguinte:

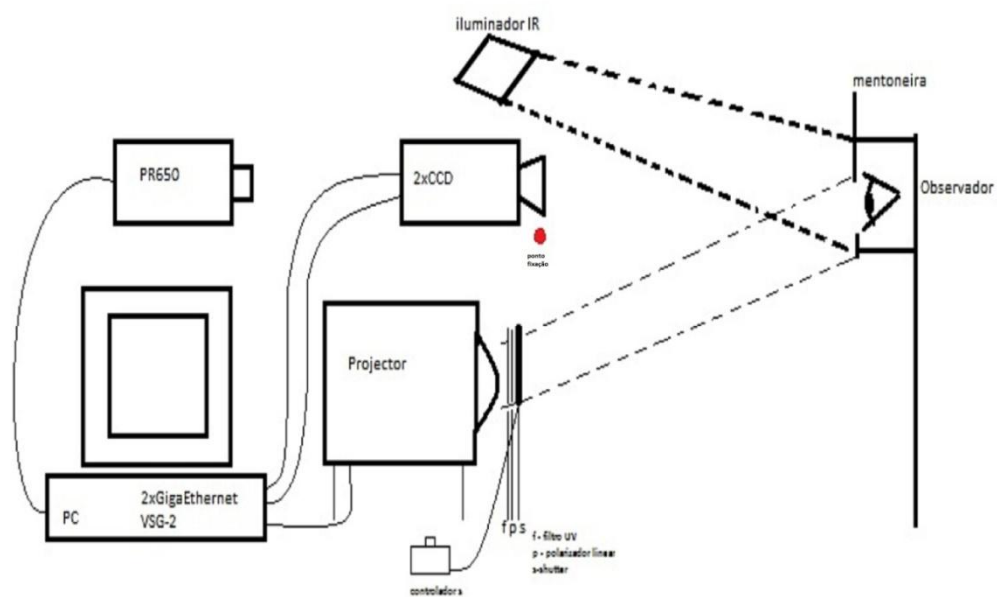


Figura 4.1 - Sistema óptico experimental de aquisição de imagem.

O sistema de aquisição é composto pelos seguintes componentes:

- ✓ Mentoneira
- ✓ Câmara CCD multiespectral (JAI AD080-GE)
- ✓ Lente objectiva HR 2/3'' F2.8/50mm
- ✓ Projector de vídeo Sanyo PLV-Z4
- ✓ Iluminador infravermelho (IR) (Raymax25 850nm)
- ✓ Espectrorradiómetro (PR-650 Photo Research inc.)
- ✓ Computador Asus Pentium CPU 3.00Ghz 2GB RAM com software *MatLab* 2010b
- ✓ Carta geradora de estímulos (VSG2/5)
- ✓ Duas placas de rede (2 GigaEthernet Asus)
- ✓ Obturador electrónico (s)
- ✓ Filtro de ultravioleta (UV) (f)

- ✓ Polarizador linear (p)
- ✓ Controlador do obturador electrónico
- ✓ Ponto de fixação, LED vermelho

O sistema foi desenhado para adquirir imagens globais do olho, na região visível e infravermelho próximo do espectro, o que permite obter a informação relativa aos três canais vermelho, verde, azul (Red, Green e Blue - RGB) e a informação relativa ao canal do infravermelho próximo (Near Infrared - NIR) todos com uma resolução espacial de 1024x768 elementos de imagem (píxeis). A aquisição de imagem é realizada, no mesmo instante de tempo em todos os canais, a uma distância aproximada de 35.6 cm (ver figura 4.2).

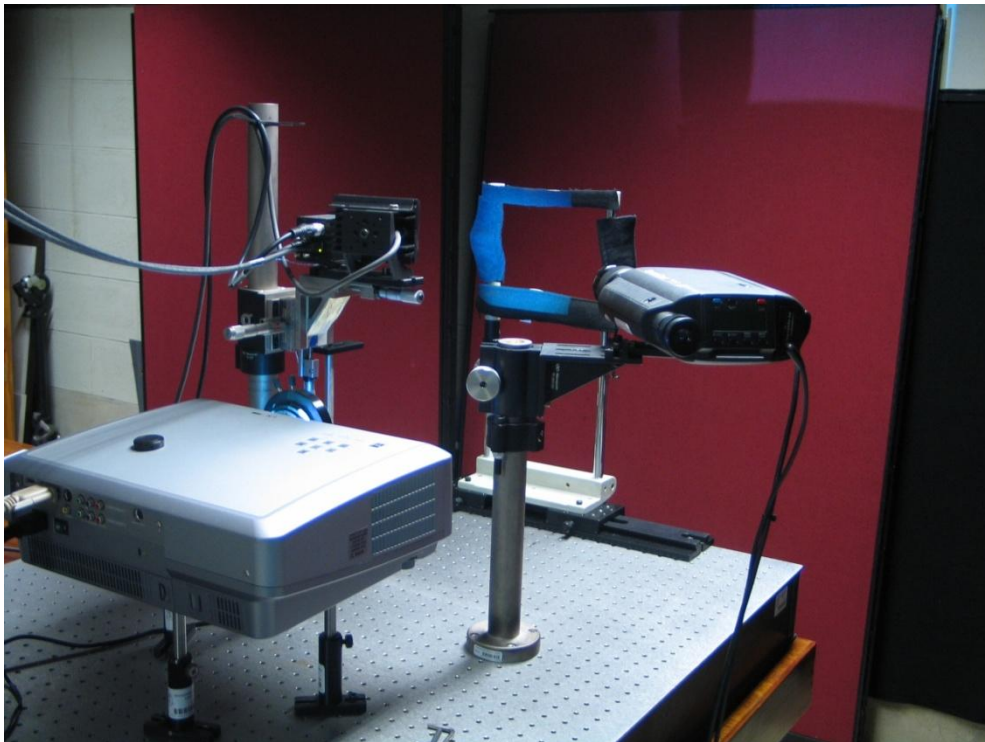


Figura 4.2 - Fotografia do sistema óptico experimental de aquisição de imagem. Note-se a posição da câmara CCD multiespectral e do iluminador IR. O espectrorradiômetro (PR-650), roda-se através de um braço mecânico para a posição onde se encontra a câmara para efectuar as medidas sucessivas.

Inicialmente usou-se o espectrorradiômetro e o videoprojector controlado através da carta geradora de estímulos para gerar um conjunto de iluminantes distribuídos ao longo do *locus plankiano* no diagrama de cromaticidades (x,y) da CIE 1931, de forma a estudar o efeito que esse conjunto de iluminantes produziria no processo de reconhecimento da íris (9). No entanto, por motivos operacionais não foi possível utilizar o espectrorradiômetro ao longo de toda a experiência, pelo que apenas foi calibrado um único iluminante *I* para toda a experiência com uma luminância de 591.7 cd/m² e cujas coordenadas (x, y) = (0.258, 0.295) se encontram representadas no diagrama da figura 4.3. Este iluminante apresenta uma temperatura de cor correlacionada CCT = 12270 K, isto é, têm o aspecto físico de uma luz de cor branca azulada (ver figura 4.3).

O videoprojector foi colocado a uma distância aproximada de 61 cm, e à frente da lente deste, foi colocado um obturador electrónico que tem uma dupla função: por um lado

serve como diafragma do sistema óptico; por outro lado limita a entrada de luz para o indivíduo, conseguindo deste modo, menos produção lacrimal e conseqüentemente melhor imagem da íris. À frente deste obturador electrónico encontra-se ainda um filtro de radiação ultravioleta (UV) e um polarizador linear. A utilização do filtro UV está de acordo com as normas internacionais de modo que o sistema experimental filtrasse a radiação UV mais energética nociva para o olho, em especial para os tecidos da córnea, cristalino e retina. A função do polarizador linear é a de diminuir efeitos da reflexão especular da luz incidente na lágrima existente no olho garantindo que a aquisição da imagem tenha menos fontes de ruído possível. Como resultado, o espectro do iluminante *I* usado na experiência tem distribuição de potência espectral representada na figura 4.4.

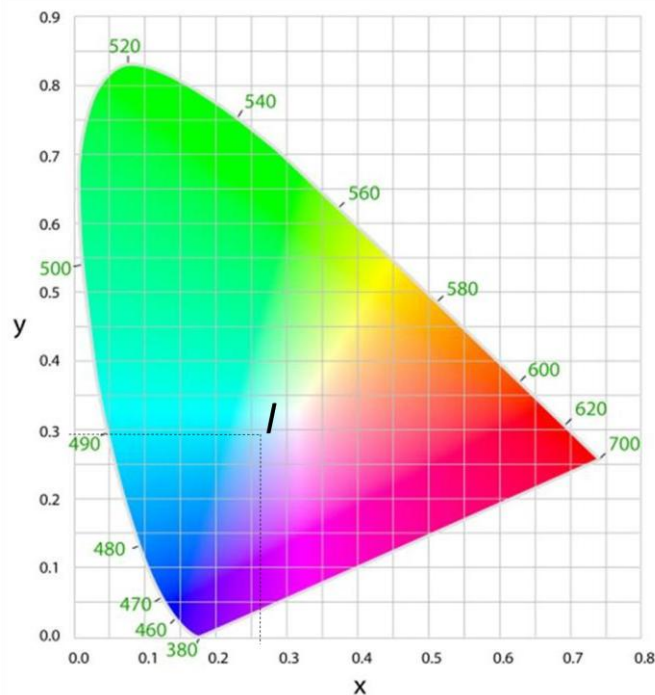


Figura 4.3 - Representação das coordenadas do iluminante *I* no espaço de cor CIE 1931 (x,y).
Retirado e adaptado de <http://webinsider.uol.com.br/2009/06/03/gama-de-cores-nos-displays-modernos/>

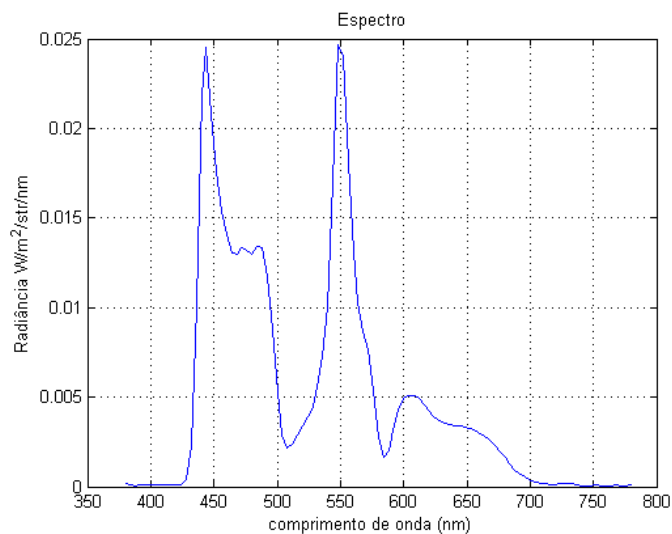


Figura 4.4 - Representação da distribuição da potência espectral do iluminante *I*.

Relativamente à região do infravermelho próximo do espectro utilizou-se um iluminador infravermelho, com o pico de emissão no comprimento de onda 850 nm. Este iluminador foi colocado a uma distância de 40 cm do olho do indivíduo e está posicionado paralelamente à câmara CCD de aquisição de imagens multiespectral.

Para que o posicionamento do indivíduo fosse constante e estável foi usada uma mentoneira de apoio. Para minimizar os movimentos oculares o indivíduo tem ainda um ponto de fixação proveniente de um pequeno LED de luz vermelha, estrategicamente colocado numa posição em que os reflexos especulares das fontes de luz visível e infravermelha fiquem localizados dentro da pupila do olho.

A aquisição das imagens realizou-se usando uma câmara CCD multiespectral de aquisição simultânea dos canais RGB e NIR. Para efeitos de criação de uma imagem está acoplada à câmara CCD multiespectral uma lente macro de HR 2/3" F2.8/50 mm. As imagens globais do olho, que apenas contêm a imagem da íris rodeada por um pouco de esclera e pálpebras, têm uma resolução espacial final de 600x600 píxeis. O sistema óptico da câmara é esquematicamente constituído pela objectiva, representada pela lente na figura 4.5 e por dois prismas cuja função é dividir os feixes de luz visível e luz infravermelha para cada um dos detectores de imagem visível e infravermelho respectivamente. Os picos de sensibilidade da câmara na região visível (RGB) e do infravermelho (NIR) do espectro electromagnético encontram-se representados na figura 4.5. A informação associada às imagens capturadas por estes detectores de imagem são enviadas para um computador através do protocolo GigE Vision usando duas cartas PCI Ethernet Gigabit.

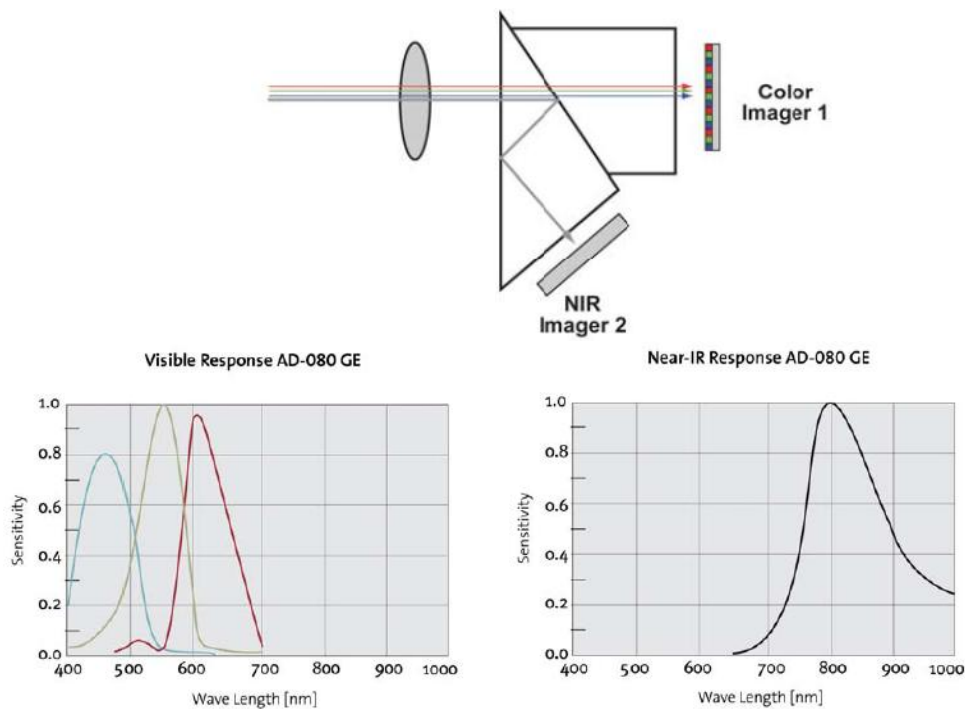


Figura 4.5 - Na figura representa-se esquematicamente a constituição do sistema óptico e os picos de sensibilidade espectral da câmara AD-080GE.

Retirado do manual de instalação da câmara JAI AD-080GE

Para controlo dos processos de aquisição e processamento de imagem foi utilizado um computador ASUS com características Pentium CPU 3.00Ghz 2GB RAM e o software *Matlab* 2010b.

O processo de aquisição de imagens da íris do olho humano é realizada usando o sistema óptico experimental atrás descrito através de um aplicativo de *software*, escrito em linguagem *Matlab*, que regista de forma cooperativa as imagens do olho de um indivíduo nas regiões do espectro visível e infravermelho próximo de acordo com a seguinte metodologia:

1. Ligação do iluminador de infravermelho.
2. Fecho do obturador electrónico e ligação do videoprojector.
3. Inicialização da carta geradora de estímulos visuais VSG2/5 por forma a gerar no videoprojector o iluminante com as características anteriormente descritas.
4. Inicialização da câmara multispectral para aquisição simultânea de imagens no infravermelho próximo e no visível.
5. Posicionamento do indivíduo na mentoneira que olha para o ponto de fixação luminoso do sistema.
6. Aquisição em tempo real de um conjunto de imagens no infravermelho para centragem na região de interesse da imagem a íris do indivíduo.
7. Abertura do obturador electrónico.
8. Aquisição sequencial em tempo real de um conjunto de imagens no infravermelho próximo e visível para a obtenção de imagens nítidas e focadas da íris do indivíduo nas duas regiões do espectro.
9. O sistema está pronto para iniciar o registo digital e simultâneo de uma sequência de imagens da íris para esse indivíduo. As imagens são guardadas no formato TIFF para processamento posterior utilizando um aplicativo de software escrito em *Matlab*, e são identificadas pela sigla do indivíduo, identificação da sessão e da região do espectro registado, assim como o número correspondente da imagem adquirida.

A aquisição das imagens da íris em simultâneo dos canais RGB apresenta a grande vantagem de existir constrição pupilar, uma vez que a íris reage à luz branca da região do espectro do visível, o que não acontece quando se usa apenas luz infravermelha. Deste modo, a área da imagem da íris é maior o que adiciona mais informação face aos sistemas convencionais. Na figura 4.6, está representada um exemplo das imagens registadas através do sistema óptico experimental no estágio do ponto 9.

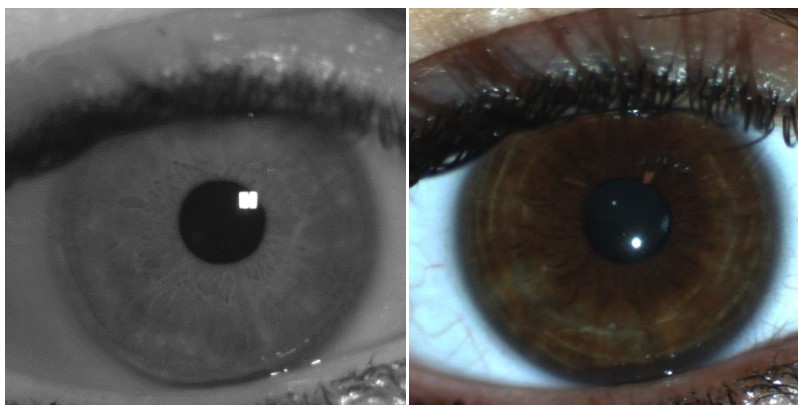


Figura 4.6 - Exemplo de uma aquisição simultânea, imagens do infravermelho próximo e do visível.

4.1 - Processamento de Dados

O processamento das imagens da íris registadas nos quatro canais RGB e NIR é feito à posteriori utilizando um conjunto de aplicativos de software escritos em linguagem *Matlab*. A partir dessas imagens é realizada a segmentação e a normalização da íris.

O processamento de imagem foi realizado usando o método definido por Daugman (2), aplicado à imagem do infravermelho próximo ambos os os, que se subdivide em 3 etapas.

1ª Etapa: Assume que a pupila está no centro da imagem assumindo que esta contém a reflexão especular, usando o canal NIR figura 4.7.

Pupil: search region

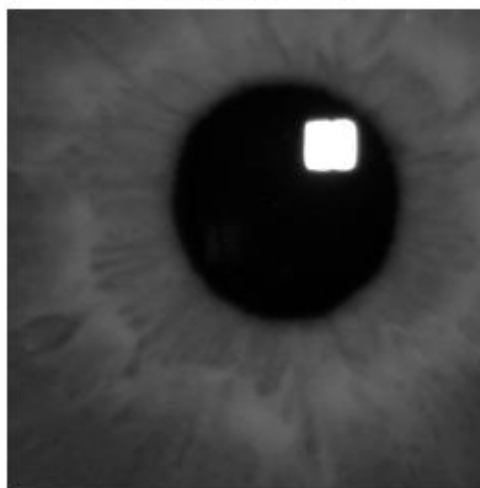


Figura 4.7 - Detecção da pupila assumindo que esta contém a reflexão especular.

2ª Etapa: Detecta o bordo pupilar aplicando a elipse que melhor se adapta ao contorno pupilar como se mostra na figura 4.8.

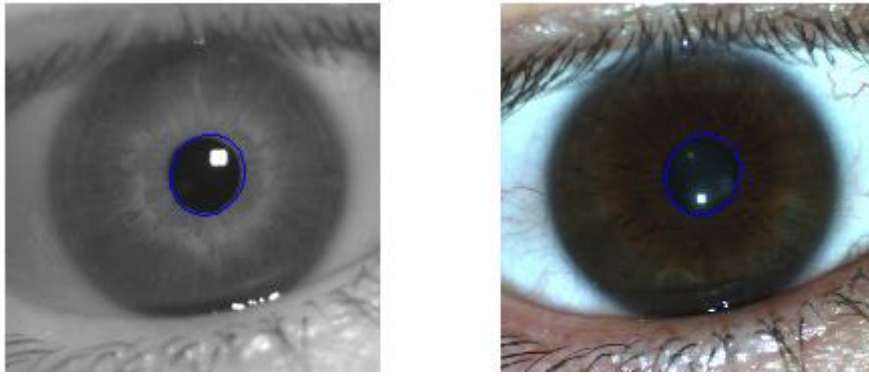


Figure 4.8 - Adaptação da melhor elipse ao bordo pupilar das imagens adquiridas no NIR e Visível.

3ª Etapa: Detecta e aplica uma circunferência ao limbo esclerocorneano, usando a imagem captada na região do visível figura 4.9.

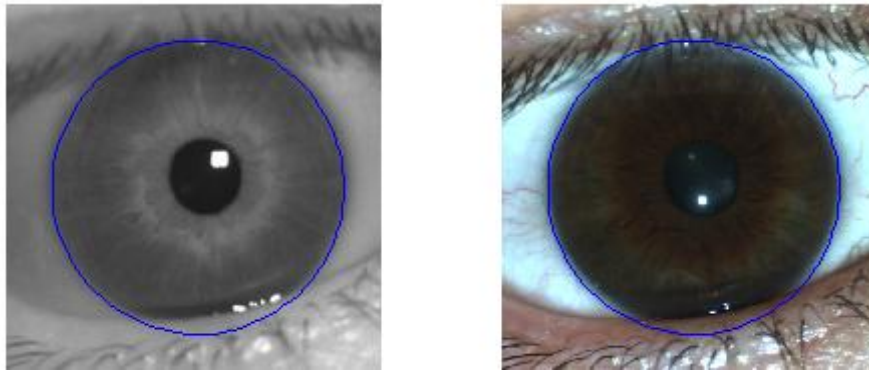


Figure 4.9 - Adaptação de circunferência ao limbo esclerocorneano.

Após as imagens serem segmentadas inicia-se a fase de normalização da imagem para o sistema de coordenadas polares em ambos os espectros, o tamanho da imagem é de 512 por 126 pixels figura 4.10. Tal como John Daugman preconiza (16) a imagem normalizada não deverá ser toda usada, pelo que se procedeu ao corte de um segmento da imagem normalizada de 70x280 pixels de modo a que o reflexo especular e as pálpebras não estivessem contidas no segmento de imagem figura 4.11.

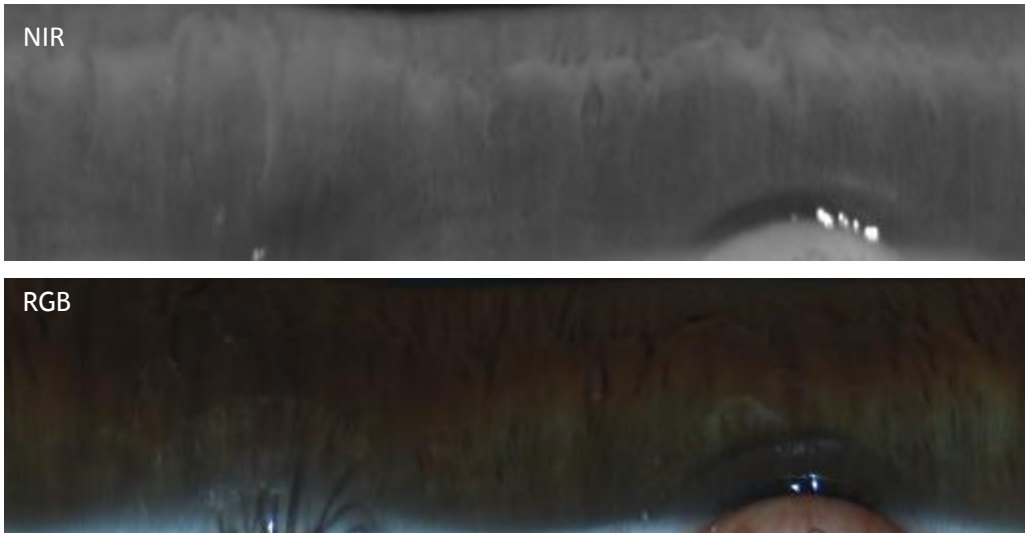


Figura 4.10 - Imagem 512x126 pixels dos canais NIR e RGB normalizada.

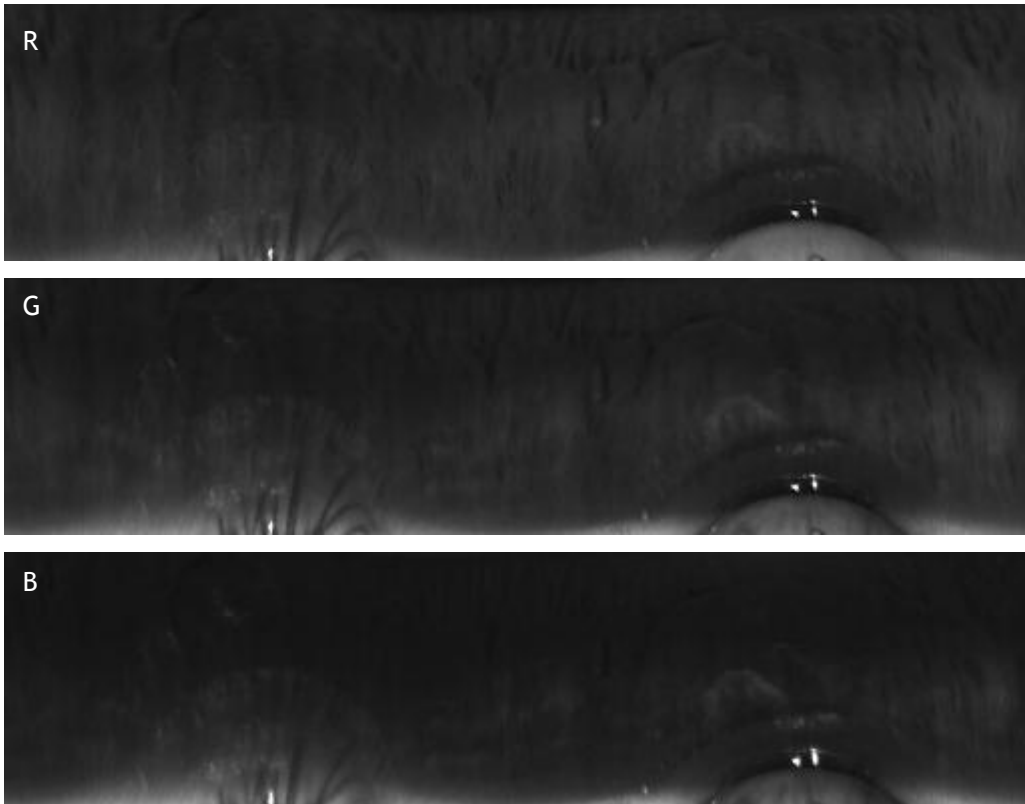


Figura 4.13 - Imagem 512x126 pixels dos canais R, G e B normalizadas respectivamente.

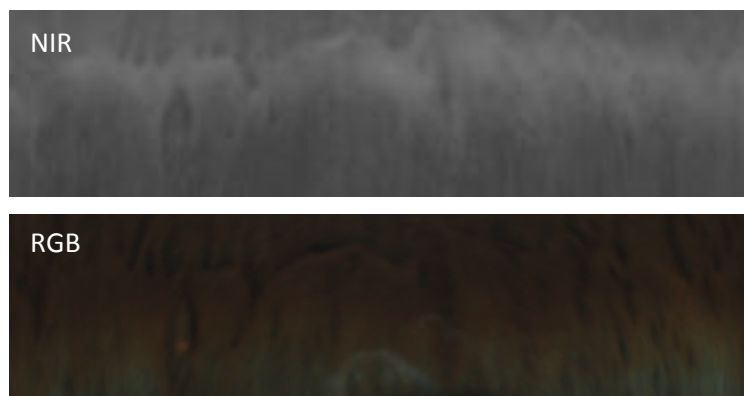


Figura 4.14 - Segmento da imagem normalizada de 280x70 pixels.

A metodologia seguida para o reconhecimento da íris consiste em criar uma base de dados com as imagens da íris segmentadas e normalizadas. As imagens foram divididas em dois grupos: grupo de treino e grupo de teste.

Com o grupo de treino procede-se à optimização dos parâmetros dos filtros de Gabor para cada canal da região do espectro visível RGB e da região do espectro infravermelho NIR. Fixados os parâmetros é realizada a codificação da íris no grupo de treino. Analisam-se os resultados separadamente para os quatro canais e posteriormente e geram-se dois modelos, um linear e outro utilizando uma rede neuronal.

O modelo linear foi definido, utilizando um aplicativo de software em linguagem *Matlab* que recebia como dados de entrada as distâncias de Hamming relativas a cada comparação, das imagens da íris codificadas do grupo de treino, com base no método dos mínimos quadrados e posteriormente aproximaram-se os dados de saída através da estimação da densidade via difusão (17), para construir dois modelos Um que fundisse toda a informação dos canais da região do espectro visível e outro que conjugasse ambas as regiões do espectro visível e infravermelho. Os modelos seriam do tipo:

$$Y = \gamma_1 R + \gamma_2 G + \gamma_3 B + \alpha_0$$

$$Y = \beta_0 NIR + \beta_1 R + \beta_2 G + \beta_3 B + \alpha_1$$

onde $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$, são os coeficientes do modelo linear RGB $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ são os coeficientes do modelo linear NIR e RGB.

O modelo não linear foi definido utilizando uma rede neuronal desenvolvida em linguagem *Matlab*. Estas redes consistem em várias camadas de neurónios que estão interligadas, produzindo funções não lineares relativas aos dados de entrada. Na rede neuronal mais simples, os dados de saída de uma das camadas são os dados de entrada de outra camada de neurónios propagando desta forma a informação através das camadas interligadas. Após o modelo que utiliza a rede neuronal ter sido construído aproximaram-se os dados de saída utilizando a estimação da densidade via difusão (17). Doravante este modelo será designado de modelo neuronal. Assim como o modelo linear também o modelo neuronal utilizou como dados de entrada, as distâncias de Hamming, dos canais associados ao espectro

do visível resultando num modelo neuronal para os canais RGB, e utilizou dados de entrada abarcando todo o espectro, isto é, visível e infravermelho próximo.

Desta forma, estes dois modelos linear e neuronal fundem a informação dos canais RGB assim como fundem a informação dos quatro canais NIR e RGB.

Após a optimização dos filtros de Gabor e a construção dos modelos no grupo de treino utiliza-se o grupo de dados de teste para a sua aplicação. Procede-se à análise de resultados.

A análise de resultados baseou-se em dois métodos, a análise da curva Receiver Operating Characteristic e a análise da área abaixo da curva (AUC).

A análise ROC (*Receiver Operating Characteristic*), é um método gráfico para a avaliação, organização e selecção de sistemas de diagnóstico ou previsão (18).

Os gráficos ROC foram originalmente utilizados em detecção de sinais, para se avaliar a qualidade de transmissão de um sinal num canal com ruído (19). Hoje em dia são usados em vários campos do conhecimento científico. Na psicologia, para se avaliar a capacidade de um indivíduo na distinção de entre um estímulo (20) e um não estímulo. Na medicina, para se analisar a qualidade de um determinado teste clínico. Na economia, onde adopta o nome de curva de Lorenz, para avaliação de desigualdade do rendimento.

O gráfico ROC é baseado na taxa de positivos verdadeiros, e na taxa de falsos positivos. Assim no eixo das abcissas está representada a taxa de falsos positivos (1-especificidade) e no eixo das ordenadas a taxa de positivos verdadeiros (sensibilidade).

Alguns pontos no espaço ROC merecem destaque, o ponto (0,0) representa a estratégia para classificar um exemplo como positivo. Modelos que correspondem a esse ponto não apresentam nenhum falso positivo, mas também não conseguem classificar nenhum verdadeiro positivo. A estratégia inversa, de sempre classificar um novo exemplo como positivo, é representada pelo ponto (1,1). O ponto (0,1) representa o modelo perfeito, ou seja, todos os exemplos positivos e negativos estão correctamente classificados. O ponto (1,0) representa o modelo que faz sempre previsões erradas.

Os modelos que estão próximos da origem representam critérios de escolha estritos também se chamam modelos conservadores, ou seja, apenas fazem uma classificação positiva quando existe uma grande segurança na classificação. Deste modo, apresentam poucos erros mas também têm baixas taxas de positivos verdadeiros. Por outro lado, modelos que se aproximam do canto superior direito apresentam um critério brando, também se chamam modelos liberais, ou seja, estes predizem a classe positiva com maior frequência, de tal maneira que classificam a maioria dos exemplos positivos correctamente, mas geralmente, com altas taxas de falsos positivos.

Uma curva ROC é uma demonstração bidimensional da performance de um modelo. Para comparar modelos é necessário reduzir a curva ROC a um valor escalar. Um método comum para realizar esta redução é calcular a área abaixo da curva da curva ROC (AUC). Como a AUC é uma porção da área do quadrado unitário, espaço ROC, os seus valores variam

entre 0 e 1. Não existindo classificadores piores do que aleatórios a AUC não terá valores inferiores a 0.5.

Capítulo 5 - Procedimento Experimental e Análise de Resultados

O sistema óptico descrito no capítulo anterior foi usado para construir uma base de dados com imagens da íris de 33 indivíduos, sendo 16 de sexo feminino e 17 de sexo masculino, com idades compreendidas entre os 20 e os 50 anos. A média das idades da população observada é de 26.2 anos. Para cada indivíduo foram registadas 80 imagens em cada um dos quatro canais RGB e NIR, o que totaliza na base de dados 160 imagens por indivíduo.

A categorização da cor da íris foi realizada em 3 classes: íris clara (pouco pigmentada), íris escura (pigmentada) e íris muito escura (muito pigmentada). Às íris pouco pigmentadas corresponde uma cor predominante azul ou azul esverdeado, às pigmentadas corresponde uma cor predominante castanha ou castanho esverdeado e às íris muito pigmentada corresponde uma cor castanha escura ou muito escura. As íris dos olhos das 33 indivíduos que integram a base de dados criada no âmbito desta dissertação estão distribuídas por estas classes da seguinte forma: 10 indivíduos na classe da íris clara, 15 na classe da íris escura e 8 na classe da íris muito escura, conforme descrito no anexo A.1.

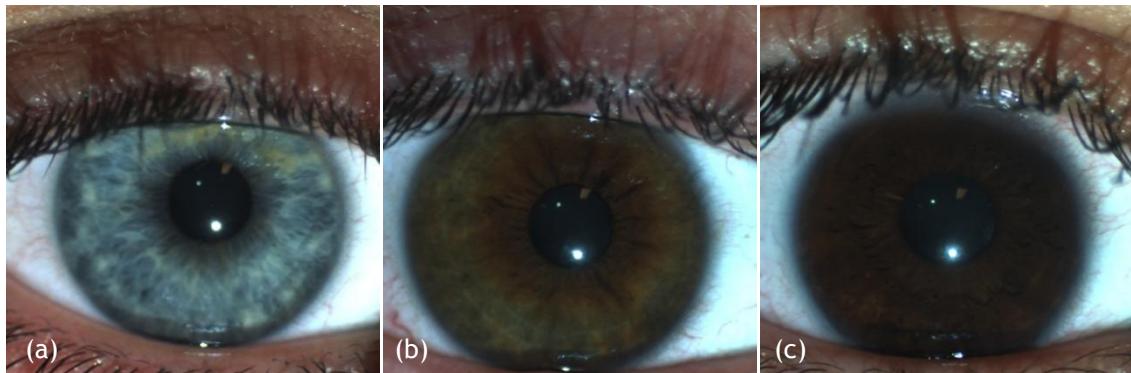


Figure 5.1 - Categorização da cor da íris. Exemplos de íris das várias classes da base de dados.
(a) íris clara; (b) íris escura; (c) íris muito escura

O registo das imagens foi realizado em duas sessões de aquisição com um intervalo mínimo de 15 dias.

O processo de aquisição e registo de imagem dividiu-se em três fases que foi precedida por uma sessão com a distribuição e leitura de um protocolo aos indivíduos onde é descrito todo o procedimento experimental, que se encontra no anexo A.1. Na primeira fase foi feita apenas centragem do olho que consistiu no posicionamento do indivíduo no sistema óptico experimental. Os indivíduos foram instruídos para que colocassem a cabeça na mentoneira fixando o ponto vermelho para efeitos de centragem da íris na imagem como exemplificado na figura 5.2. Usou-se primeiramente apenas a luz proveniente do iluminador infravermelho para a execução da centragem da íris de forma a diminuir o reflexo lacrimal, sendo a luz branca bloqueada pelo obturador electrónico.

Com recurso ao aplicativo de *software* em linguagem *Matlab* desenvolvido para o efeito, visualizou-se a pupila na imagem global e aplicaram-se correcções na câmara multiespectral movendo-a através de parafusos micrométricos que permitiam a sua deslocação paralela ao olho. Quando a pupila se encontrasse no centro da imagem global de 600x600 pixéis passa-se à fase seguinte, a focagem.



Figura 5.2 - Fotografia do processo de aquisição de imagens usando o sistema óptico experimental.

Na fase da focagem, utilizou-se ainda luz proveniente do iluminador infravermelho e a luz branca fornecida pelo videoprojector através do accionamento obturador electrónico que permite a passagem de luz. Através da visualização da imagem no monitor do PC, o utilizador aumenta ou diminui o foco da lente objectiva da câmara multiespectral, recorrendo a um parafuso micrométrico que aproxima ou afasta a lente objectiva do olho. Quando as imagens em ambos os canais RGB e NIR estiverem bem focadas passa-se à terceira e última fase.

Esta última fase integra a sessão de aquisição e registo das imagens propriamente ditas, tendo sido adquiridas e registadas 20 imagens em cada um dos quatro canais RGB e NIR. Este procedimento foi controlado através do aplicativo de *software* anteriormente referido. O processo de aquisição e registo das imagens realizou-se em cinco séries diferentes, para permitir à pessoa pestanejar e repousar alguns segundos antes do início série seguinte, permitindo assim que o menisco lacrimal acumulado fosse drenado pelas vias lacrimais aumentando deste modo o conforto do indivíduo. Por outro lado, no fim de cada série de aquisições o operador do sistema poderá sempre ver o *output* das imagens e fazer alguma correcção ao sistema caso necessário.

No entanto apesar de todas as precauções tomadas, existiram indivíduos que descolavam a cabeça da mentoneira, não fixavam o ponto de fixação, não abriam a fenda palpebral convenientemente ou pestanejavam durante as aquisições inviabilizando o seu registo e a sua conseqüente eliminação manual da base de dados. A figura 5.3 mostra alguns desses erros.



Figura 5.3 - Exemplos de erros, estes foram manualmente excluídos da base de dados imagem.

Com a base de dados das imagens da íris criada no âmbito desta dissertação foi realizado o processo de segmentação e normalização das imagens conforme descrito no capítulo 4. O conjunto das imagens das íris normalizadas obtidas nesse processo foi dividido em dois grupos, um grupo de teste e um outro grupo de treino. O grupo de treino é constituído por 5 imagens dos quatro canais RGB e NIR representativas das 1ª e 2ª sessões de aquisições o que totaliza 660 segmentos da íris normalizados. Para o grupo de teste foram escolhidas 10 imagens dos quatro canais RGB e NIR da 1ª sessão de aquisição e 10 imagens dos mesmos canais mas relativos à 2ª sessão de aquisição, o que perfaz um total de 1320 segmentos da íris normalizados. Estes segmentos de íris normalizados, para os grupos de treino e de teste, foram posteriormente limitados uma vez que se excluíram algumas imagens devido a erros detectados e que tornavam inviável a sua utilização.

A função do grupo de treino foi testar e fixar o conjunto de parâmetros dos filtros de Gabor complexos e bidimensionais, para os quatro canais RGB e NIR, em particular o tamanho bidimensional do filtro em pixéis, a frequência espacial em ciclos e a sua orientação em radianos. Fixado este conjunto de parâmetros para os filtros de Gabor estes irão ser posteriormente usados para o reconhecimento da íris no grupo de teste. Deste modo desenvolveu-se um conjunto de aplicativos em linguagem *Matlab* de forma a fazer variar os parâmetros dos filtros de Gabor no quatro canais para calcular as decidabilidades entre pares de íris contidas no grupo de treino, e que têm os segmentos de imagem normalizados. O tamanho do filtro Gabor, s variou de 11x11 pixéis até 59x59 pixéis em passos de 2 pixéis, a frequência espacial f variou -5 a 2.25 ciclos em passos de 0.25 ciclo, e a orientação t variou de 0 a π rad em passos de $\pi/8$ rad. Após o cálculo de todas as decidabilidades a optimização dos parâmetros foi encontrada recorrendo a duas abordagens.

A primeira abordagem fixa os parâmetros dos filtros de Gabor, para os quatro canais em estudo, tendo em consideração a decidabilidade máxima obtida durante o processo de varrimento de todos os valores possíveis dos seus parâmetros com o grupo de treino.

A segunda abordagem, mais complexa, faz variar o tamanho do filtro de Gabor, mantendo fixos a frequência espacial e a orientação, e calcula a média das decidabilidades. Posteriormente faz variar a frequência espacial do filtro de Gabor, mantendo agora fixos o tamanho e a orientação, e calcula novamente a média das decidabilidades. Por fim, faz variar a orientação do filtro de Gabor, mantendo fixos o tamanho e a frequência espacial, e calcula a média das decidabilidades. Os parâmetros óptimos do filtro de Gabor são determinados procurando nos três conjuntos das decidabilidades médias anteriormente calculadas para o tamanho, para a frequência espacial e para a orientação, os parâmetros que apresentam a decidabilidade média mais elevada.

Tal como já referido no capítulo 4, a imagem normalizada não deverá ser toda usada, para evitar que o ruído causado pelas pálpebras superior e inferior, pela reflexão especular na córnea ou pela reflexão especular do menisco lacrimal danifique o resultado da codificação. Deste modo, procedeu-se o tamanho do segmento da imagem normalizada foi reduzido através de um corte para uma área útil final de 70x280 píxeis removendo-se assim os reflexos especulares e as pálpebras.

A optimização dos parâmetros dos filtros de Gabor teve em conta este último aspecto analisando, a decidabilidade, caso a operação de convolução da imagem com o filtro se realizasse antes ou após o corte do segmento da imagem normalizada. A diferença reside no facto de a fronteira do corte do segmento da imagem ser preenchida por zeros caso a convolução seja realizada após o corte da imagem, ou ser preenchida com a informação existente na imagem normalizada de 128x512 píxeis e só depois se proceder ao corte do segmento da imagem para uma área útil final de 70x280 píxeis. Os resultados apresentam-se na tabela 5.1.

Ambas as situações, convolução antes do corte do segmento da imagem e convolução após o corte do segmento da imagem apresentam resultados muito semelhantes, embora a segunda situação, em termos médios, apresente maiores decidabilidades para os canais individuais. No entanto, o critério de escolha da situação a analisar não se baseou apenas na decidabilidade. Pelo facto das frequências espaciais na situação de convolução antes do corte do segmento da imagem, serem todas maiores do que as frequências espaciais da situação em que a convolução ocorre após o corte da imagem espera-se que com esses parâmetros os filtros discriminem melhor os detalhes e pormenores da íris. Deste modo os parâmetros óptimos dos filtros de Gabor, apresentados na tabela 5.1, na situação de convolução antes do corte do segmento da imagem foram os seleccionados para proceder à codificação das íris.

Tabela 5.1 - Resultado da otimização de parâmetros para tamanho do filtro frequência e orientação

Convolução antes do corte do segmento de imagem					Convolução após corte do segmento da imagem			
DECIDABILIDADE MÁXIMA								
Decidabilidade	s (pixéis)	f (ciclos)	t (rad)	Canal	Decidabilidade	s (pixéis)	f (ciclos)	t (rad)
3,674	37x37	-1,00	$3\pi/8$	NIR	3,880	39x39	-3,75	$4\pi/8$
3,675	55x55	-0,75	$5\pi/8$	R	3,502	59x59	-1,00	$4\pi/8$
3,751	55x55	-0,75	$5\pi/8$	G	3,505	41x41	-1,25	$4\pi/8$
3,206	47x47	-0,75	$5\pi/8$	B	3,442	43x43	-1,50	$4\pi/8$
3.577				Média	3.582			
MELHOR DECIDABILIDADE MÉDIA								
Decidabilidade	s (pixéis)	f (ciclos)	t (rad)	Canal	Decidabilidade	s (pixéis)	f (ciclos)	t (rad)
1,931	17x17	-0,50	$3\pi/8$	NIR	3,484	35x35	-0,75	$4\pi/8$
3,328	45x45	-0,75	$5\pi/8$	R	2,922	25x25	-1,25	$4\pi/8$
3,407	47x47	-1,00	$4\pi/8$	G	3,267	29x29	-1,25	$4\pi/8$
2,970	43x43	-1,75	$4\pi/8$	B	3,436	39x39	-2,50	$4\pi/8$
2,909				Média	3.277			

As figuras 5.5 e 5.6 representam os filtros de Gabor otimizados e seleccionados para processamento, respectivamente para a decidabilidade máxima e para a melhor decidabilidade média. Esta representação gráfica mostra a parte real, a parte imaginária e finalmente amplitude para cada um dos canais em estudo RGB e NIR.

A figura 5.7 mostra as imagens obtidas para cada um dos quatro canais de um segmento da imagem da mesma íris normalizada e os resultados da aplicação dos filtros de Gabor otimizados para a decidabilidade máxima para essa íris, na situação em que convolução é realizada antes do corte.

De forma semelhante, a figura 5.8 mostra também as imagens obtidas para cada um dos quatro canais, RGB e NIR, de um segmento da imagem da mesma íris normalizada e os resultados da aplicação dos filtros de Gabor otimizados para a melhor decidabilidade média para essa íris, na situação em que convolução é realizada antes do corte.

Nas figuras, o primeiro segmento traduz a íris através de um mapa de cor, de modo a ser mais perceptível a diferença de intensidade entre os pixéis. Deste modo as cores quentes reflectem valores próximos de 1 enquanto cores frias têm valores perto de 0.

Comparando as íris entre os canais NIR e qualquer outro canal do visível, observa-se que os valores das intensidades dos pixéis são completamente diferentes. Isto é, o NIR privilegia determinadas zonas do segmento da imagem em que os outros canais não respondem, assim como no visível para cada canal RGB existem diferenças na intensidade dos pixéis. Este facto deve-se à reflectância variável que as íris apresentam para comprimentos de onda diferentes.

No segundo e terceiro segmentos apresenta-se os resultados da aplicação do filtro de Gabor otimizado, na sua parte real e na sua parte imaginária, respectivamente. Note-se que no caso da decidibilidade máxima apesar do canal vermelho e verde partilharem o mesmo filtro de Gabor, com os mesmos parâmetros, o resultado do código da íris apresenta diferenças.

Após a optimização dos parâmetros dos filtros de Gabor para os segmentos de imagem de íris, procedeu-se no conjunto de treino à construção de dois modelos lineares um que fundisse toda a informação dos canais RGB e NIR, e outro que apenas fundisse a informação dos canais RGB. Estes modelos foram construídos com base no método dos mínimos quadrados recorrendo a um aplicativo de software em linguagem *Matlab*. A representação matemática destes modelos encontra-se no anexo A.11.

Para além dos modelos lineares também foram criados dois modelos neuronais de reconhecimento da íris, treinando redes neuronais por estimação da densidade via difusão (17), que fundissem, um toda a informação dos canais NIR e RGB e o outro apenas a informação dos canais RGB. Para a criação destes modelos neuronais foram utilizadas três camadas diferentes de unidades de processamento, uma camada de entrada, uma camada de processamento a uma última camada de saída.

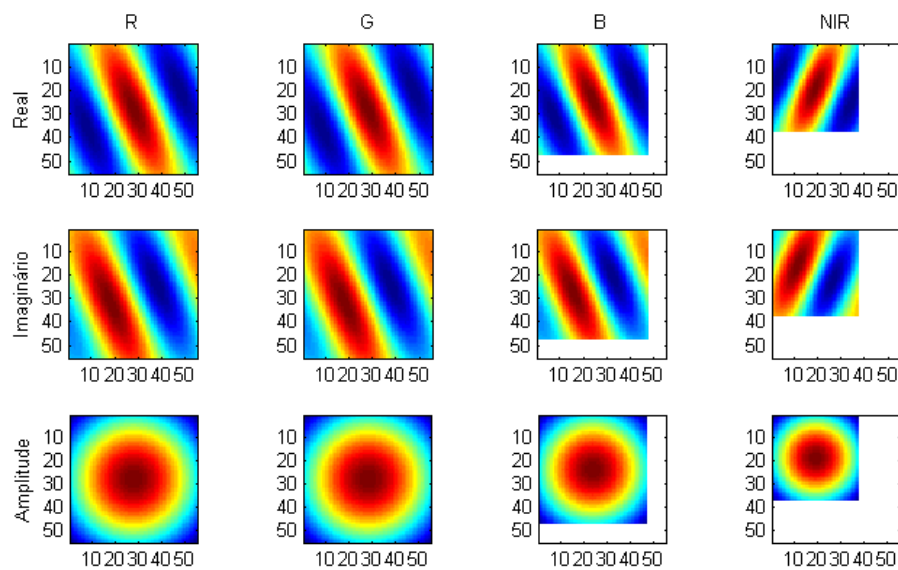


Figura 5.5 - Filtros de Gabor otimizados para a decidibilidade máxima nos canais RGB e NIR respectivamente tendo em conta a decidibilidade máxima.

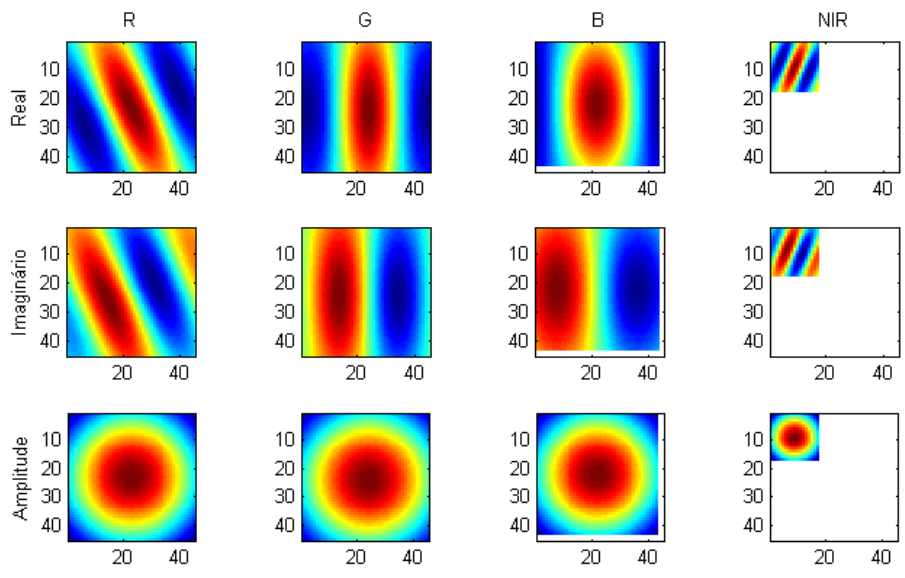


Figura 5.6 - Filtros de Gabor otimizados para a decidabilidade média nos canais RGB e NIR respectivamente tendo em conta a decidabilidade média.

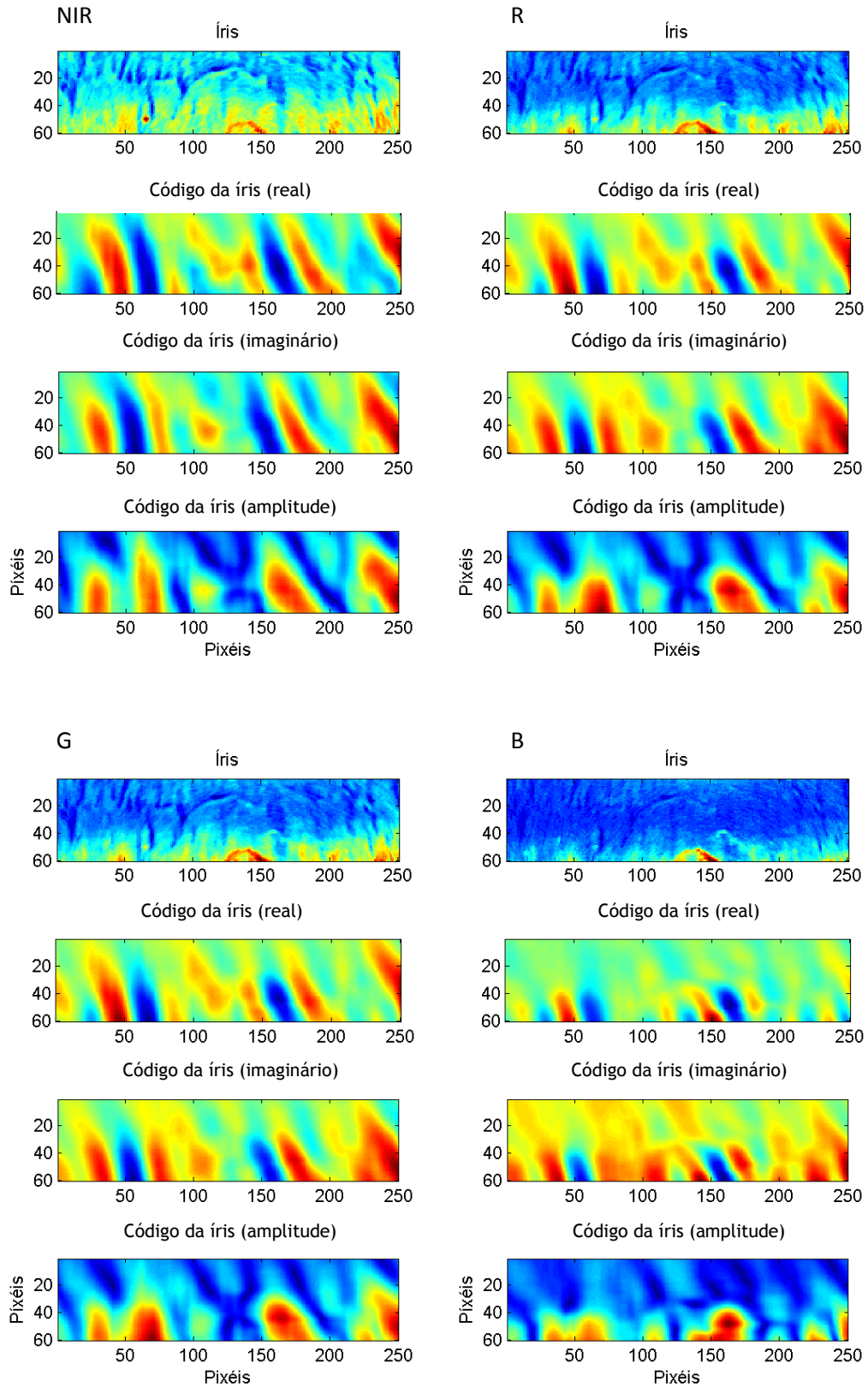


Figura 5.7 - Código de uma íris do grupo de treino escolhida aleatoriamente para a decidabilidade máxima. Os canais analisados, em cima, NIR e R em baixo G e B respectivamente

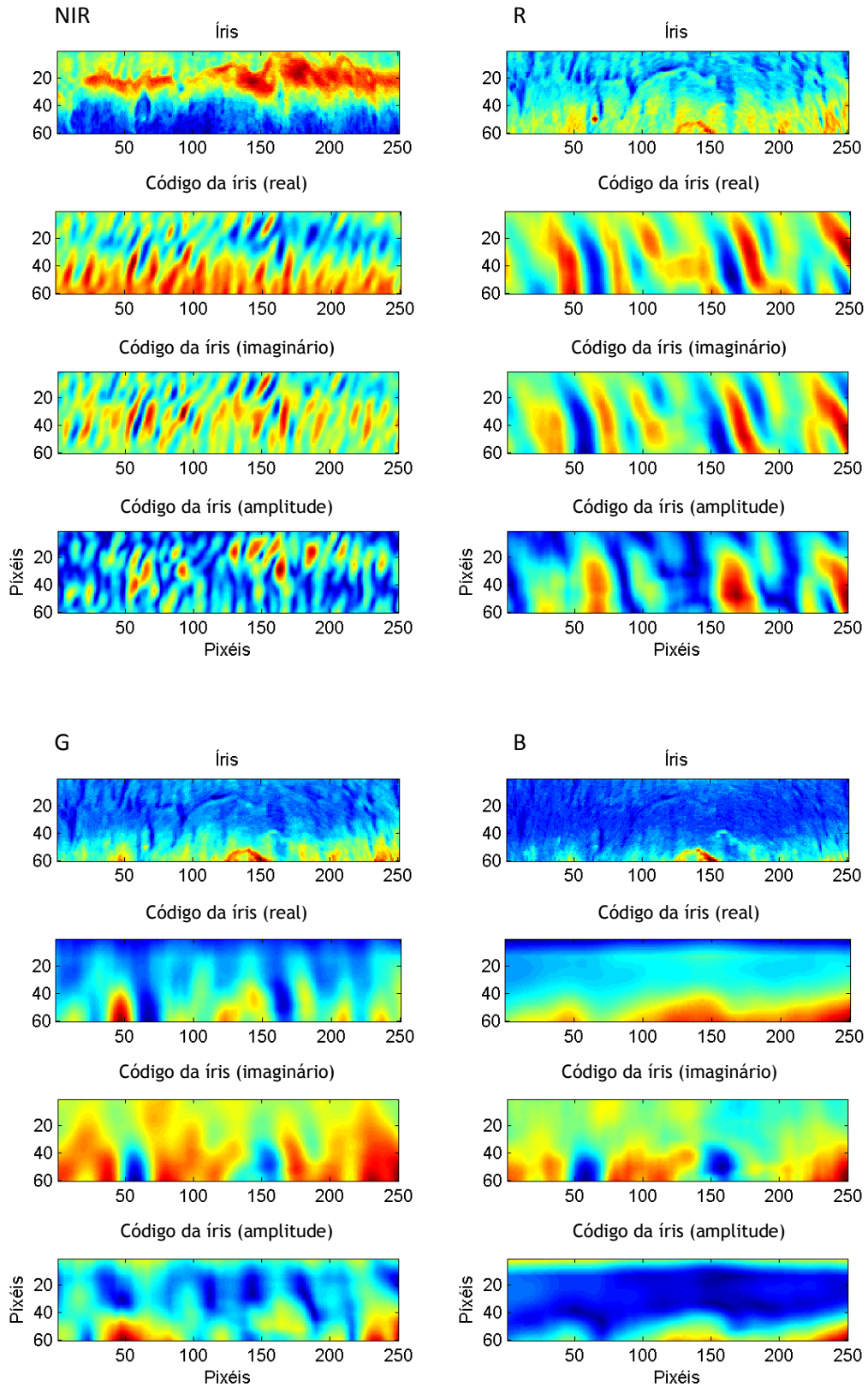


Figura 5.8 - Código de uma íris do grupo de treino escolhida aleatoriamente para a decidabilidade média. Os canais analisados, em cima, NIR e R em baixo G e B respectivamente

Após otimização dos parâmetros dos filtros e construção dos modelos estes foram aplicados ao conjunto de dados de teste. Os resultados espelham-se nas curvas ROC que se apresentam nas figuras 5.10 e 5.11 para a decidabilidade máxima e nas figuras 5.12 e 5.13 para a decidabilidade média assim como cálculo da decidabilidade e da area under curve como mostra tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Tabela de resultados para cada canal individual nas situações de decidabilidade máxima e média

Decidabilidade Máxima	Area Under Curve	Canais	Decidabilidade Média	Area Under Curve
4,110	0,989	NIR	2,159	0,924
3,754	0,988	R	3,658	0,986
3,828	0,989	G	3,696	0,985
3,350	0,982	B	3,116	0,975

O canal que apresenta pior desempenho é o canal azul, em ambas as análises. Também no grupo de treino o canal azul apresentava sempre pior performance. Este resultado já era esperado tendo em consideração o trabalho (8). Por outro lado, o canal do NIR é aquele que apresenta o melhor resultado tendo em conta o cálculo da decidabilidade e a area under curve mas apenas na situação da decidabilidade máxima, na situação da decidabilidade média o NIR é o canal que apresenta piores resultados face a qualquer outro canal.

Os restantes canais apresentam areas under curve semelhantes, no entanto, a decidabilidade apresenta-se ligeiramente mais baixa do que no canal do NIR. Deste modo, e uma vez que os resultados apresentam valores bastante semelhantes calculou-se a correlação entre todos os canais, para aferir as relações existente entre as diversas situações possíveis como mostra a tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Tabela de correlação entre os canais individuais e respectivos p-values.

Decidabilidade Máxima					Decidabilidade Média			
	NIR	R	G	B	NIR	R	G	B
NIR	1	0,46	0,38	0,28	1	0,48	0,43	0,43
R	0,46	1	0,85	0,62	0,48	1	0,72	0,46
G	0,38	0,85	1	0,86	0,43	0,72	1	0,72
B	0,28	0,62	0,86	1	0,43	0,62	0,72	1
p-value								
NIR	1	0	0	0	1	0	0	0
R	0	1	0	0	0	1	0	0
G	0	0	1	0	0	0	1	0
B	0	0	0	1	0	0	0	1

Como se vê na tabela, os canais que correspondem a comprimentos de onda mais próximos no espectro do visível apresentam correlações mais altas, no entanto, o *p-value* não apresenta nenhuma evidência de significância estatística, pelo que se conclui que os dados de cada canal não se apresentam correlacionados.

A título de exemplo, as figuras 5.9 e 5.10 mostram a aplicação dos filtros de Gabor, antes da sua binarização, tendo em conta a decidabilidade máxima figura 5.9 e decidabilidade média figura 5.10, para o par de íris que obtiveram uma maior distância de Hamming, isto é, o par de íris que apresenta uma maior dissimilaridade para o canal azul da região visível do espectro, os restantes canais R, G, e NIR encontram-se na secção de anexos A.4 a A.10. Analisando na figura 5.9 as partes reais dos filtros de Gabor, as zonas a vermelho em que a intensidade dos pixéis indicam ter valores próximos de 1 à esquerda, são pixéis que na figura da direita apresentam valores próximos de 0. Deste modo, a distância de Hamming calculada terá de ser grande.

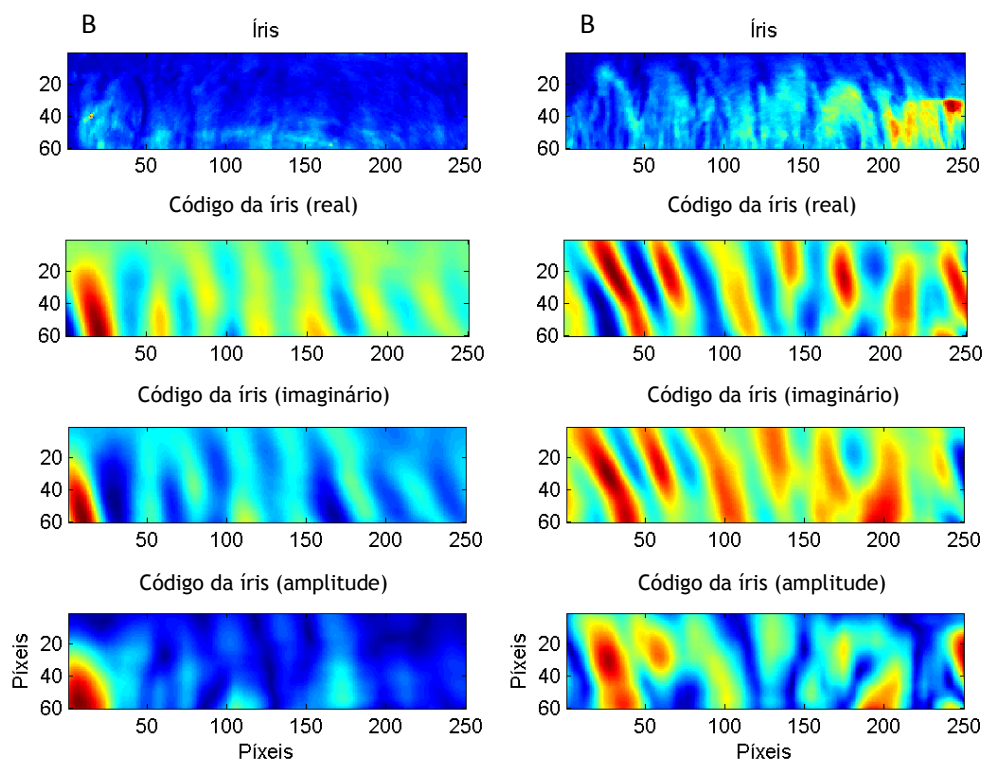


Figura 5.9 - Código de íris para o canal B em dois indivíduos diferentes que obtiveram a maior distância de Hamming, tendo em conta a decidabilidade Máxima.

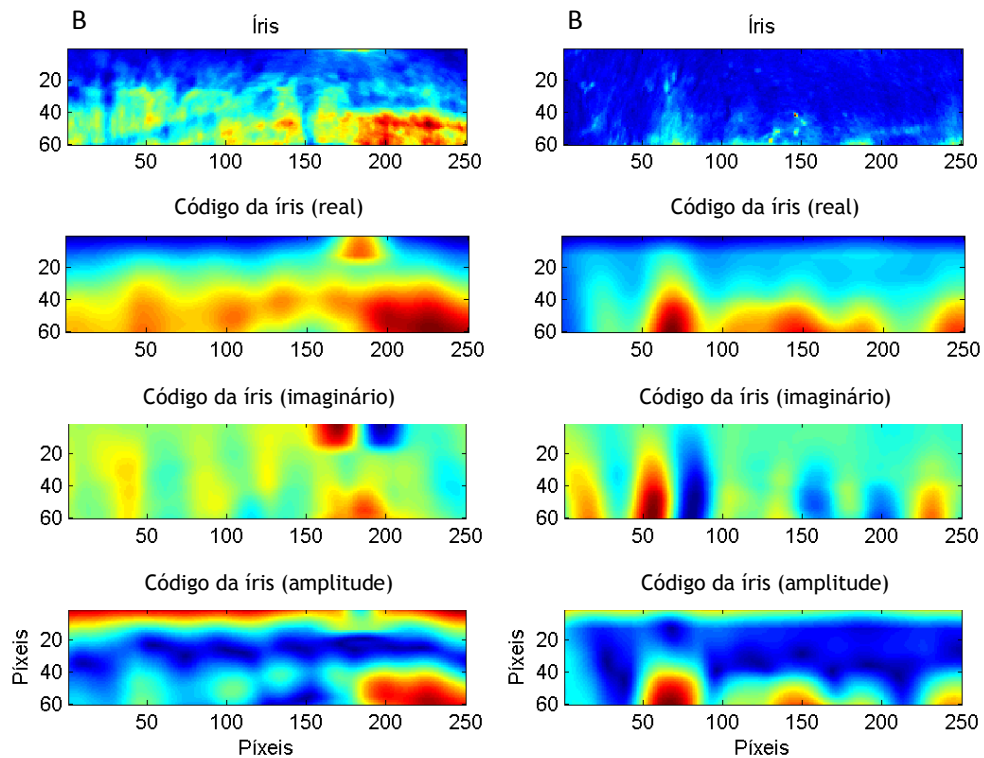


Figura 5.10 - Código de íris para o canal B em dois indivíduos diferentes que obtiveram a maior distância de Hamming, tendo em conta a decidabilidade Média.

Após a análise individual dos canais RGB e NIR, procedemos à aplicação dos modelos lineares e neuronais ao conjunto de dados de teste. Testaram-se várias tipologias para este último modelo nas suas duas vertentes, decidabilidade máxima e decidabilidade média. As tipologias testadas consistiram na alteração das unidades de processamento da 2ª camada mantendo as camadas de entrada e de saída. Deste modo, a camada de entrada foi testada com o mesmo número de neurónios que as variáveis a testar, isto é, três neurónios para os canais R G e B, e quatro neurónios para os canais NIR, R G e B. Os neurónios da segunda camada variaram entre o número de neurónios da primeira camada e o dobro ou metade destes. Por último, a camada de saída manteve para todas as tipologias testadas um neurónio. A tabela resume as tipologias usadas para o modelo neuronal. O modelo que demonstrou melhor desempenho, isto é, o modelo que apresentou melhor AUC foi o modelo de tipologia 421 para os quatro canais NIR+RGB e no modelo neuronal para os canais da região do visível do espectro foi o modelo 331. Os resultados demonstraram que o melhor modelo para os canais NIR e RGB é o modelo que apresentou tipologia 421, relativamente ao modelo que usa a informação dos canais RGB, a tipologia que tem melhor performance é a 331, como se mostra na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Tabela de resultados para os modelos lineares e neuronais nas suas diversas tipologias.

Area Under Curve Decidabilidade máxima			
	Linear	Tipologia	Neuronal
NIR+RGB	0,995	421	0,988
		441	0,960
		461	0,977
		481	0,986
RGB	0,990	311	0,990
		331	0,990
		361	0,980
Area Under Curve Decidabilidade média			
	Linear	Tipologia	Neuronal
NIR+RGB	0,989	421	0,991
		441	0,991
		461	0,972
		481	0,985
RGB	0,989	311	0,988
		331	0,990
		361	0,983

Na tabela encontram-se os resultados da aplicação ao conjunto de teste dos modelos gerados. Note-se que o modelo linear apresenta uma area under curve assim como uma curva ROC, representada na figura 5.18 para a decidabilidade máxima, melhor do que o modelo neuronal para as mesmas condições. Seria de esperar que o modelo neuronal tivesse melhores resultados uma vez que aprende com os seus erros e poderia ter construído um modelo não linear que se aproximasse do ponto ideal de (1,1). No entanto, ao analisarmos a curva ROC a intersecção com o eixo das ordenadas ocorre muito abaixo do que seria esperado. O mesmo acontece para a decidabilidade média representado na figura 5.19. A razão para esta discrepância pode prender-se com o facto de os dados não serem suficientes para a rede neuronal dar uma resposta satisfatória. Deste modo, se analisarmos as funções densidade probabilidade representadas nas figuras A.12 a A.15, na secção de anexos, observa-se que a distribuição não assume a forma típica de uma função normal o que reforça a ideia de que os dados poderão ser insuficientes.

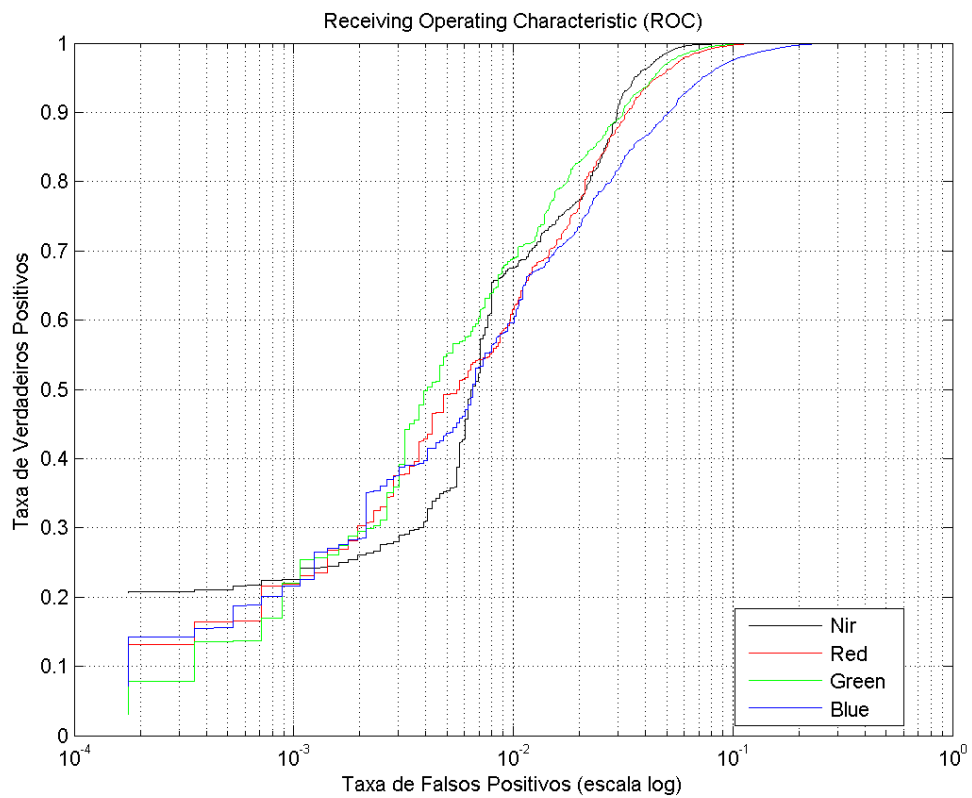
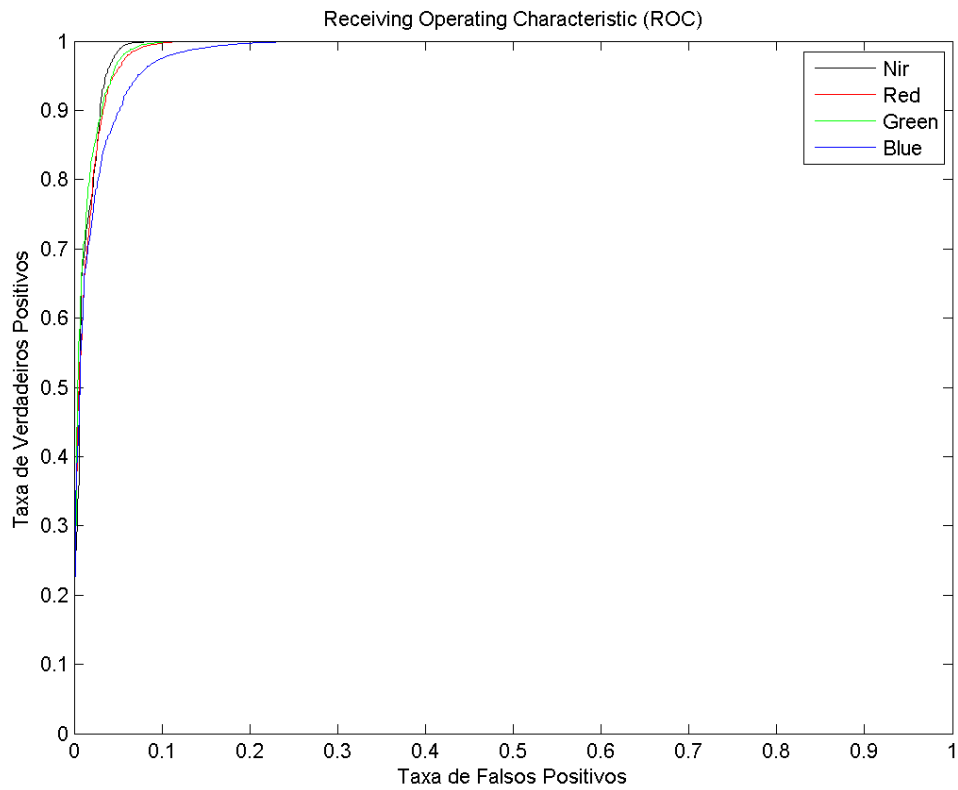


Figura 5.9 - Curvas ROC para a decidibilidade máxima para cada canal em separado, (em cima) escala unitária, (em baixo) escala logarítmica no eixo das abcissas.

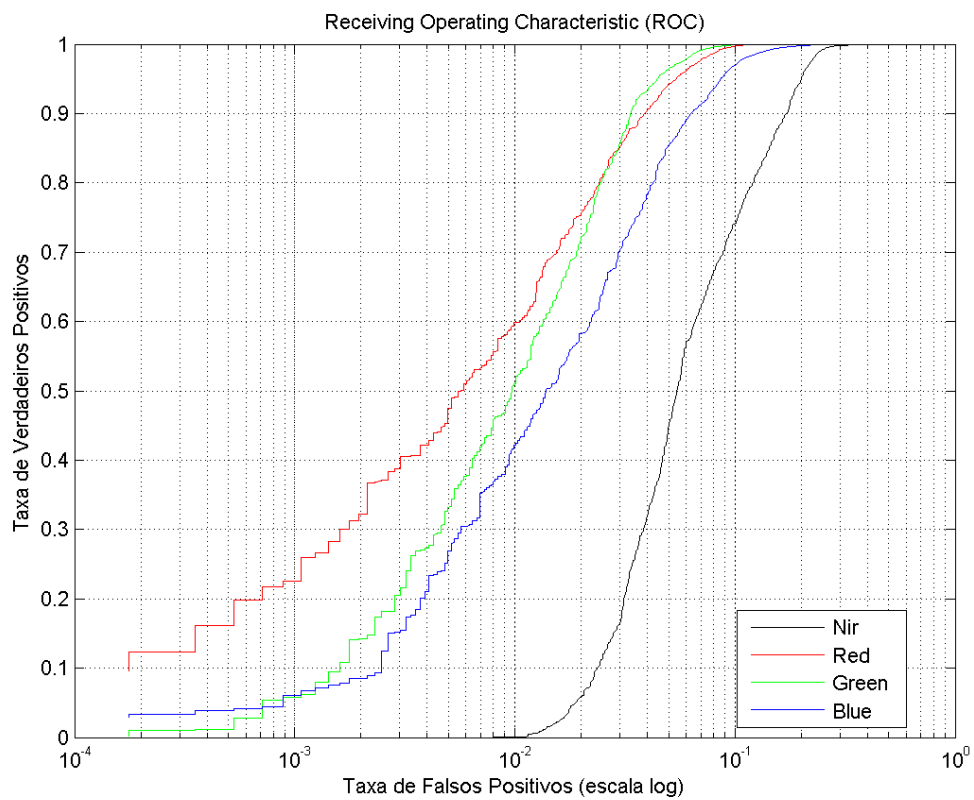
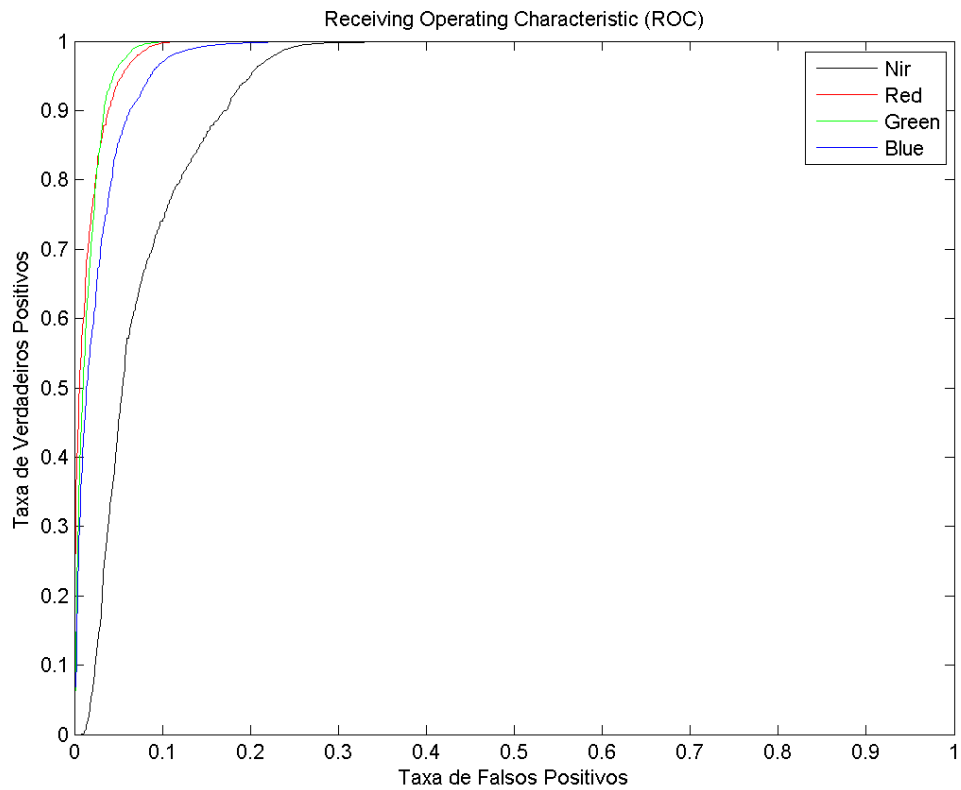


Figura 5.10 - Curvas ROC para a melhor decidabilidade média para cada canal em separado, (em cima) escala unitária, (em baixo) escala logaritmica no eixo das abcissas.

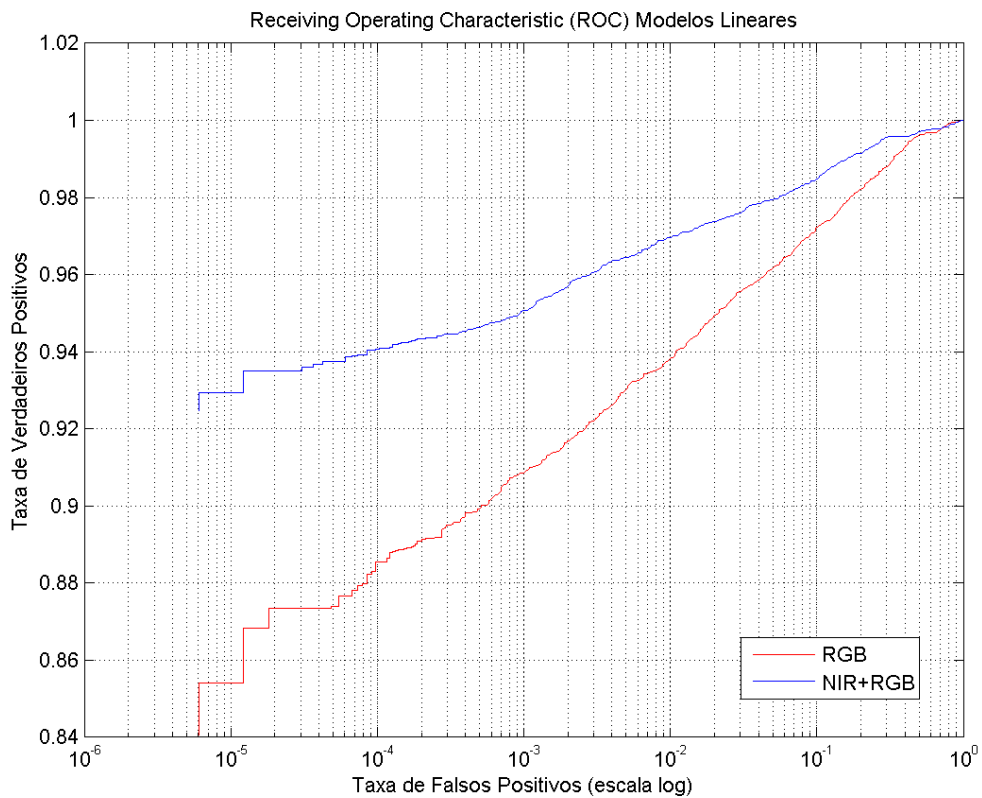
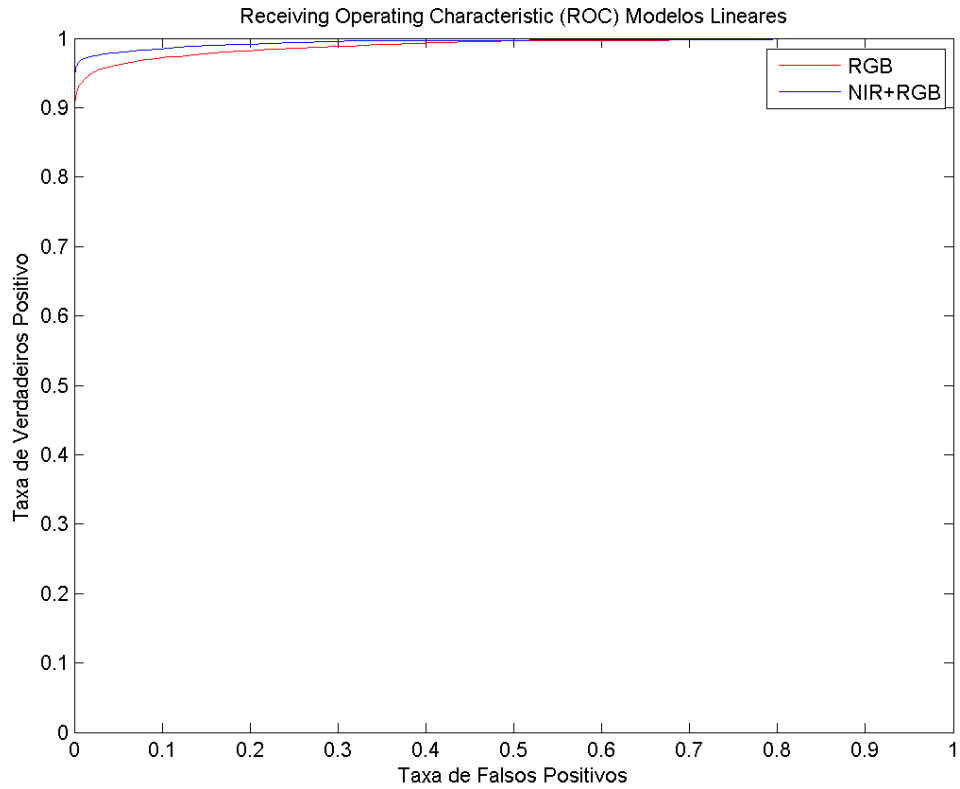


Figura 5.10 - Curvas ROC para a decidibilidade máxima para os modelo lineares que usam a informação da região do espectro visível designado por RGB e a informação do espectro visível e infravermelho próximo designado por NIR+RGB. Apresenta-se (em cima) escala unitária, (em baixo) escala logarítmica no eixo das abcissas.

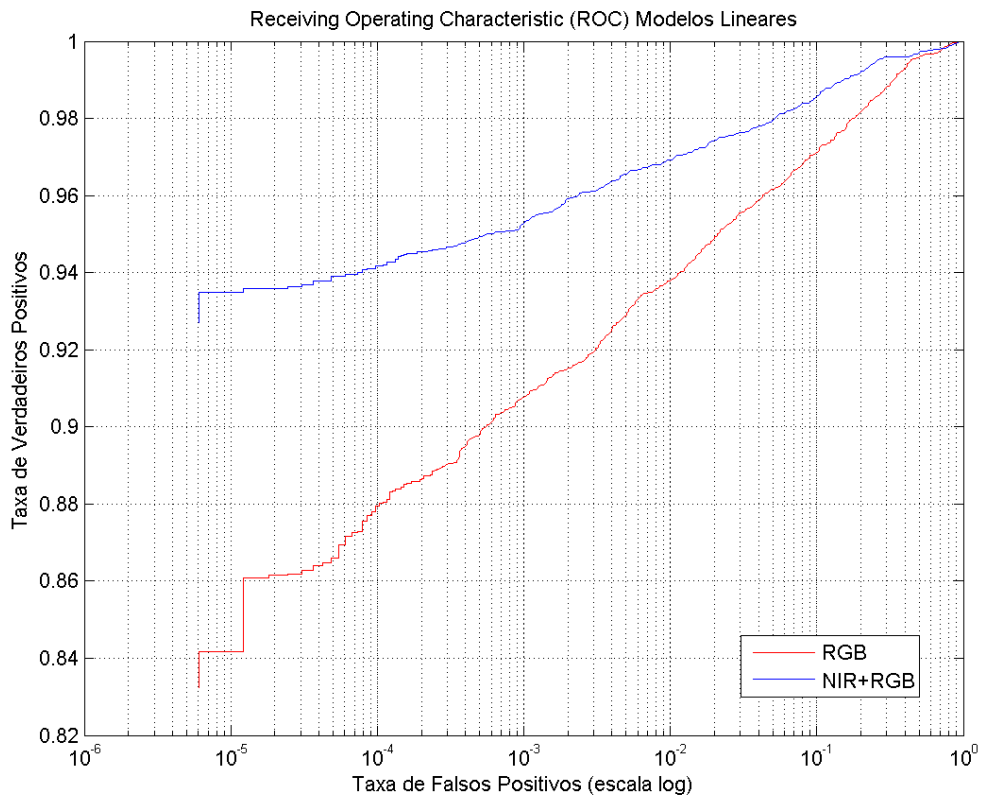
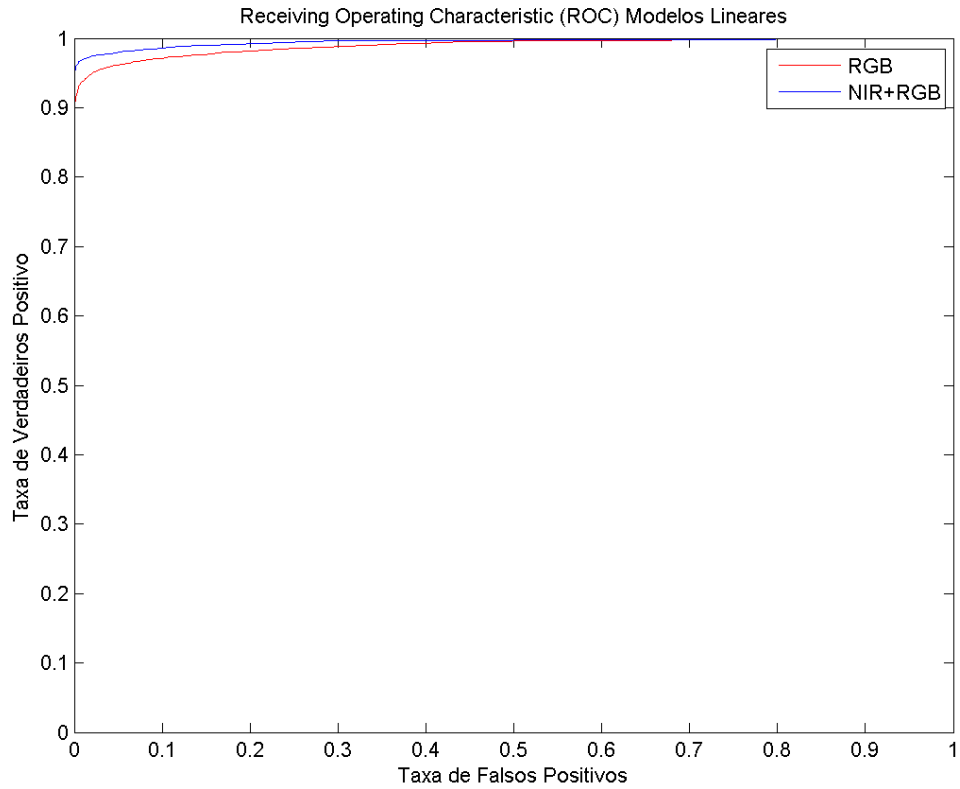


Figura 5.11 - Curvas ROC considerando a melhor decidabilidade média para os modelos lineares que usam a informação da região do espectro visível designado por RGB e a informação do espectro visível e infravermelho próximo designado por NIR+RGB. Apresenta-se (em cima) escala unitária, (em baixo) escala logarítmica no eixo das abcissas.

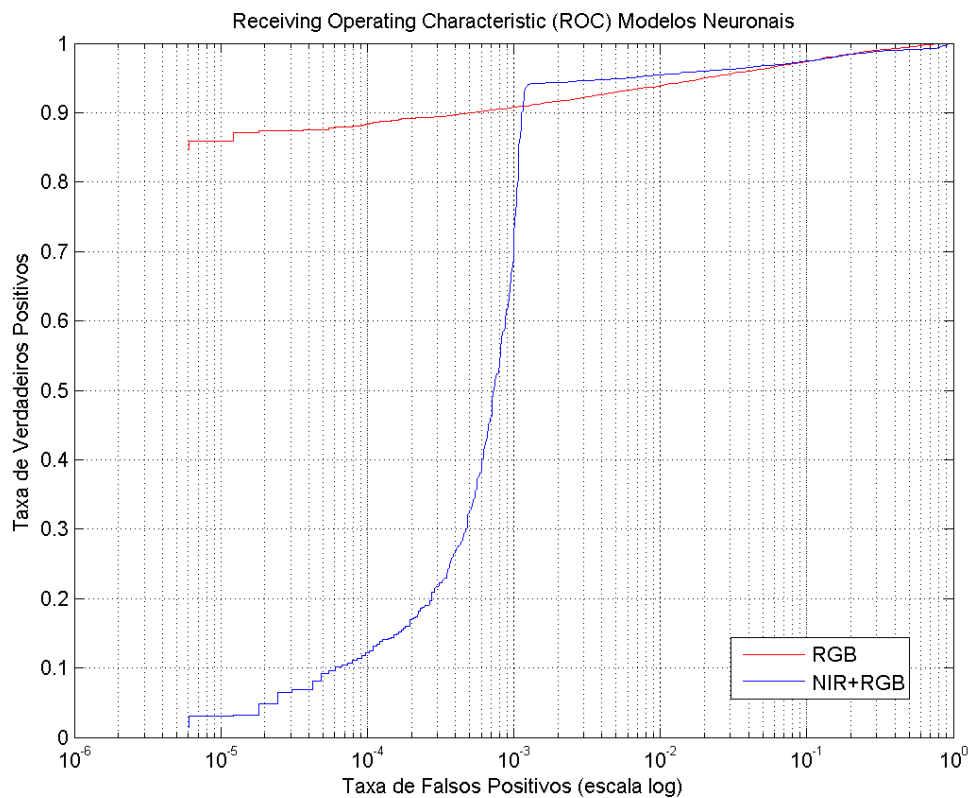
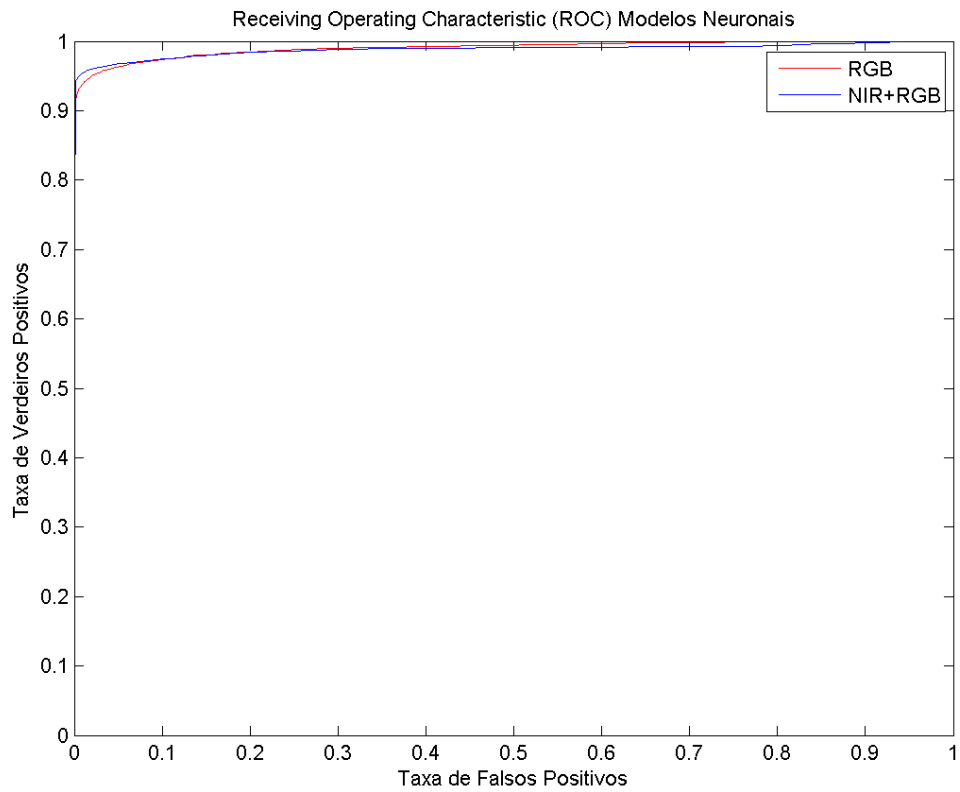


Figura 5.12 - Curvas ROC considerando a decidabilidade máxima para os modelos neuronais que usam a informação da região do espectro visível designado por RGB e a informação do espectro visível e infravermelho próximo designado por NIR+RGB. Apresenta-se (em cima) escala unitária, (em baixo) escala logarítmica no eixo das abcissas.

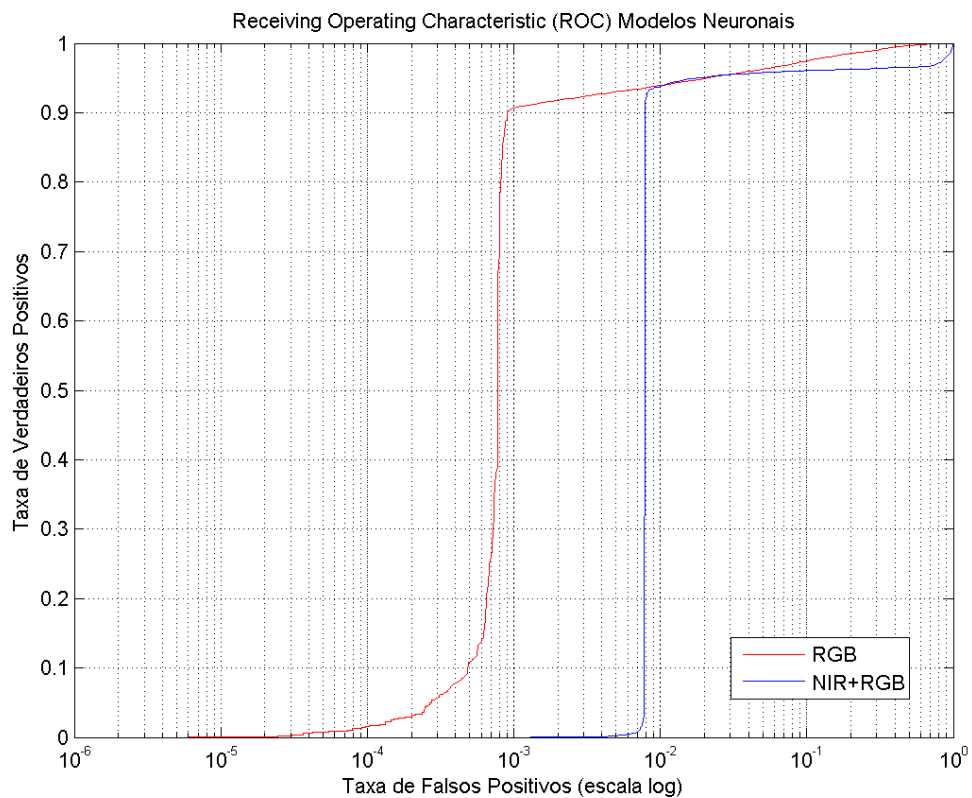
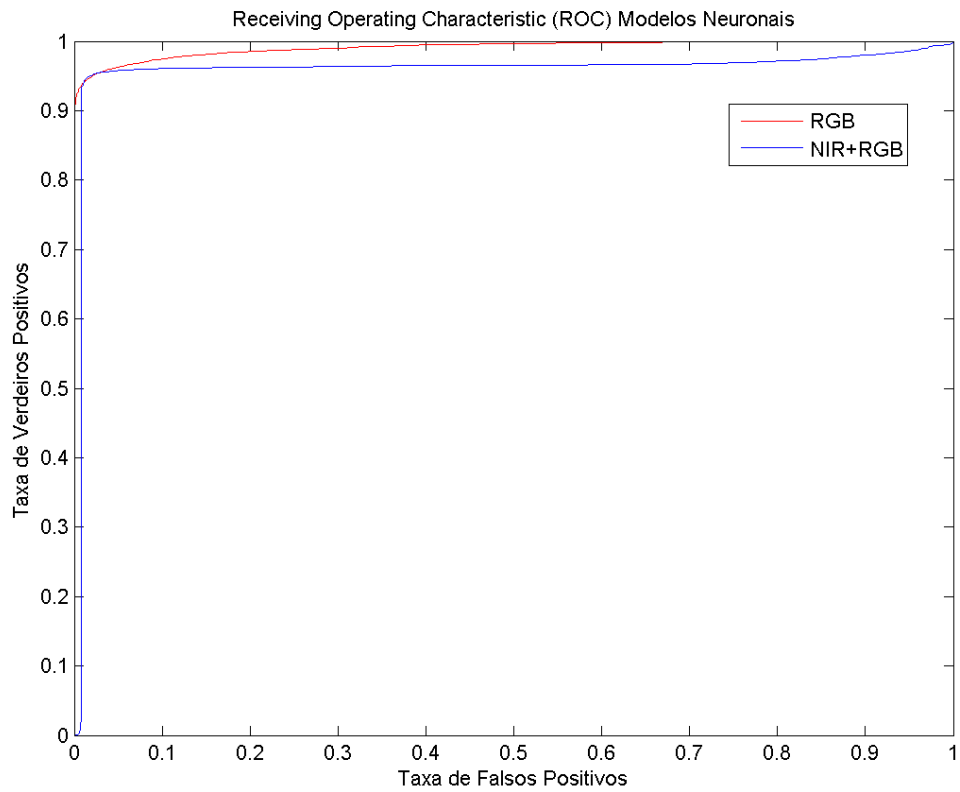


Figura 5.13 - Curvas ROC considerando a melhor decidabilidade média para os modelos neuronais que usam a informação da região do espectro visível designado por RGB e a informação do espectro visível e infravermelho próximo designado por NIR+RGB. Apresenta-se (em cima) escala unitária, (em baixo) escala logarítmica no eixo das abcissas.

6 - Considerações Finais

6.1-Conclusões

Este trabalho contribuiu para o desenvolvimento dos sistemas de reconhecimento da íris, em particular na utilização estendida aos quatro canais RGB e NIR.

Assim, demonstrou-se utilizando uma base de dados de imagens de íris adquiridas de forma cooperativa contendo imagens registadas em simultâneo nos canais RGB e NIR que a fusão dos canais associados aos comprimentos de onda da região visível do espectro contribuem de uma forma significativa para o melhoramento do desempenho dos sistemas de reconhecimento da íris.

Analisando os canais individuais NIR, R G e B na situação em que a decidabilidade é máxima o canal NIR apresenta o melhor desempenho, no entanto, tendo em conta a melhor decidabilidade média este apresenta o pior desempenho. Como esperado, o canal associado ao comprimento de onda azul apresenta um pior desempenho face a todos os outros canais exceptuando a situação em que se analisa a melhor decidabilidade média.

Estes quatro canais NIR, R G e B não apresentam correlação com evidência estatística significativa o que implica que transportam informação espectral diferente.

A fusão dos canais RGB associados à região do espectro do visível supera em termos de *area under curve* e sensibilidade (taxa de verdadeiros positivos) o canal mais usado nas técnicas convencionais, o NIR. De igual modo ao fundir-se toda a informação dos quatro canais associados à região do espectro do visível e do infravermelho próximo, a sensibilidade e a *area under curve* assumem resultados superiores.

Os modelos construídos com base na rede neuronal não obtiveram um bom desempenho, com níveis de sensibilidade muito baixos provavelmente devido à escassez de dados, portanto não se pode concluir nada relativamente a estes modelos.

6.2-Trabalho Futuro

Para incrementar a contribuição dada por esta dissertação propõe-se em termos de trabalho futuro o seguinte:

- Ampliação da base de dados de modo a poder testar modelos neuronais de reconhecimento da íris e retirar conclusões válidas.
- Disponibilização da base de dados criada para estudar outras formas de segmentação, normalização e codificação da íris nos canais RGB e NIR.
- Aprofundar o método em que a convolução ocorre após o corte do segmento da imagem normalizada da íris e comparar os resultados obtidos deste trabalho com esta outra abordagem, que por motivos de tempo não foi realizada no âmbito desta dissertação.

- Utilização do sistema óptico experimental para a criação de uma nova base de dados utilizando uma gama de iluminantes mais ampla uma vez que a íris apresenta comportamentos diferentes conforme o iluminante usado(9).
- Estudo das alterações do código da íris em indivíduos sujeitos a intervenções cirúrgicas ao pólo anterior do olho, nomeadamente em cirurgia às cataratas e refractiva.
- Avaliação do reconhecimento biométrico da íris como método de verificação não invasivo às cirurgias realizadas ao pólo anterior do olho.
- Estudo sobre os efeitos que uma lente de contacto cosmética pode ter ao nível dos sistemas de reconhecimento da íris.

Bibliografia

1. Wildes RP. Iris recognition: An emerging biometric technology. *P IEEE*. 1997 Sep;85(9):1348-63.
2. Daugman J. How iris recognition works. *IEEE T Circ Syst Vid*. 2004 Jan;14(1):21-30.
3. Daugman JG. High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence. *IEEE T Pattern Anal*. 1993 Nov;15(11):1148-61.
4. Ma L, Tan T, Wang YH, Zhang DX. Personal identification based on iris texture analysis. *IEEE T Pattern Anal*. 2003 Dec;25(12):1519-33.
5. Monro DM, Rakshit S, Zhang D. DCT-based iris recognition. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. 2007 Apr;29(4):586-95.
6. Proenca H, Alexandre LA. A method for the identification of inaccuracies in pupil segmentation. *First International Conference on Availability, Reliability and Security, Proceedings*. 2006:224-8.
7. Yu L, Zhang D, Wang KQ. The relative distance of key point based iris recognition. *Pattern Recogn*. 2007 Feb;40(2):423-30.
8. Boyce C, Ross A, Monaco M, Hornak L, Li X, editors. *Multispectral iris analysis: A preliminary study*. *Computer Vision and Pattern Recognition 2006*.
9. Santos G, Bernardo MV, Proenca H, Fiadeiro PT. *Iris Recognition: Preliminary Assessment about the Discriminating Capacity of Visible Wavelength Data*. 2009.
10. Krichen E, Chenafa M, Garcia-Salicetti S, Dorizzi B. Color-based iris verification. *Advances in Biometrics, Proceedings*. 2007;4642:997-1005.
11. Al-Qunaieer FS, Ghouti L. Color Iris Recognition Using Hypercomplex Gabor Wavelets. *2009 Symposium on Bio-Inspired Learning and Intelligent Systems for Security (Bliss 2009)*. 2009:18-9.
12. Ghouti L, Al-Qunaieer FS. Color Iris Recognition Using Quaternion Phase Correlation. *2009 Symposium on Bio-Inspired Learning and Intelligent Systems for Security (Bliss 2009)*. 2009:20-5.
13. Demirel H, Anbarjafari G. Iris Recognition System Using Combined Colour Statistics. *Ispit: 8th IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*. 2008:175-9.
14. Daugman J. New methods in iris recognition. *IEEE T Syst Man Cy B*. 2007 Oct;37(5):1167-75.
15. Proenca H, Alexandre LA. Iris recognition: A method to increase the robustness to noisy imaging environments through the selection of the higher discriminating features. *Iccima 2007: International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, Vol Iii, Proceedings*. 2007:301-7.
16. Daugman J. How iris recognition works. *IEEE Image Proc*. 2002:33-6.
17. Botev ZI, Grotowski JF, Kroese DP. Kernel Density Estimation Via Diffusion. *Ann Stat*. 2010 Oct;38(5):2916-57.
18. Bradley AP. The use of the area under the roc curve in the evaluation of machine learning algorithms. *Pattern Recogn*. 1997 Jul;30(7):1145-59.
19. Laming D. Signal-Detection Theory and Roc Analysis - Egan, Jp. *Psychometrika*. 1978;43(1):141-2.
20. Creelman CD. Signal detection theory and ROC analysis in psychology and diagnostics: Collected papers. *Contemp Psychol*. 1998 Dec;43(12):840-1.

Anexos

A.1 Tabela de indivíduos

Código	Sexo	Idade	Classes de Íris
O1	f	25	Escura
O2	f	21	Muito Escura
O3	f	21	Escura
O4	f	21	Escura
O5	m	29	Clara
O6	f	25	Escura
O7	f	22	Clara
O8	m	30	Muito Escura
O9	m	26	Muito Escura
O10	f	23	Muito Escura
O11	m	25	Escura
O12	f	24	Escura
O13	f	24	Escura
O14	f	40	Escura
O15	f	33	Clara
O16	m	33	Clara
O17	m	30	Muito Escura
O18	f	22	Muito Escura
O19	f	22	Escura
O20	f	22	Clara
O21	m	22	Clara
O22	f	22	Escura
O23	m	25	Muito Escura
O24	m	23	Escura
O25	m	22	Muito Escura
O26	m	22	Clara
O27	m	24	Clara
O28	f	24	Clara
O29	m	27	Clara
O30	m	25	Clara
O31	m	32	Escura
O32	m	31	Escura
O33	m	50	Escura

A.2 - Protocolo para o indivíduo

Universidade da Beira Interior

Criação de Base de Dados para Reconhecimento Biométrico da Íris na Região de Comprimentos de Onda do Infravermelho Próximo e do Visível

Abril 2011

Protocolo para o indivíduo

O presente protocolo pretende explicar quais os passos da aquisição de imagens para a criação de uma base de dados que será usada no reconhecimento biométrico da íris na região de comprimentos de onda do infravermelho próximo e do visível.

O indivíduo deverá colocar-se na mentoneira tentando manter uma posição fixa da cabeça.

O olho direito do indivíduo deverá fixar o ponto de fixação (LED vermelho) que lhe é apresentado.

Seguir-se-ão duas fases: a fase da centragem e a fase da focagem. Nestas o indivíduo deverá olhar para o ponto de fixação.

Posteriormente adquirem-se as imagens, é muito importante que o indivíduo esteja a fixar o ponto determinado para o efeito, sem pestanejar. A fase de aquisição de imagens é subdividida em 5 onde o examinador dará oportunidade para o indivíduo pestanejar e fechar o olho.

Em todas as fases o indivíduo não deverá falar.

Em nome da equipa de investigação, obrigado pela sua colaboração e compreensão

Centro de Óptica

A.3 - Modelos lineares

Os coeficientes obtidos para o modelo linear para os canais NIR e RGB pode ser representado pelas seguintes equações:

$$Y = -3.27 NIR - 0.51 R - 4.07 G + 0.77 B + 1.69$$

Modelo linear considerando os parâmetros dos filtros que obtiveram a decidabilidade máxima

$$Y = 0.57 NIR - 4.05 R - 0.6845G - 3.29 B + 1.66$$

Modelo linear considerando os parâmetros dos filtros que obtiveram a melhor decidabilidade média

O modelo linear para os canais RGB pode ser representado pelas seguintes equações:

$$Y = -2.83R - 4.40G + 0.66B + 1.66$$

Modelo linear considerando os parâmetros dos filtros que obtiveram a decidabilidade máxima

$$Y = -3.16R - 2.7792G - 0.99B + 1.68$$

Modelo linear considerando os parâmetros dos filtros que obtiveram a melhor decidabilidade média

A.4 - Aplicação Filtros Gabor para canal NIR

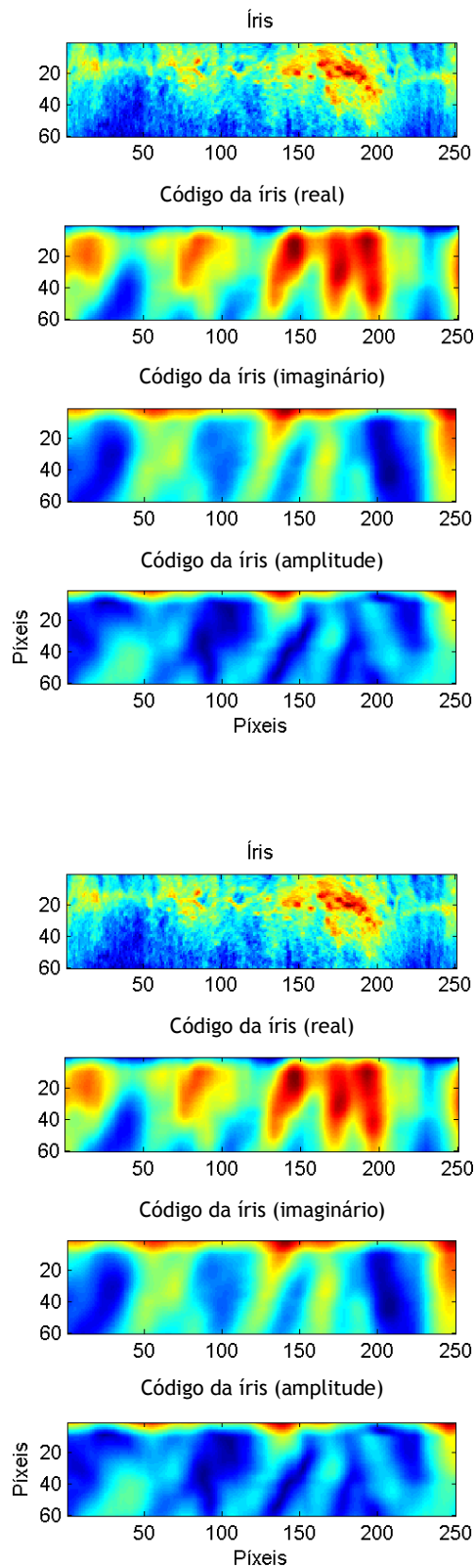


Figura A.1 - Código de íris, para o canal NIR em dois indivíduos diferentes que obtiveram a maior distância de Hamming, tendo em conta a decidabilidade Máxima.

A.5 - Aplicação Filtros Gabor para canal R

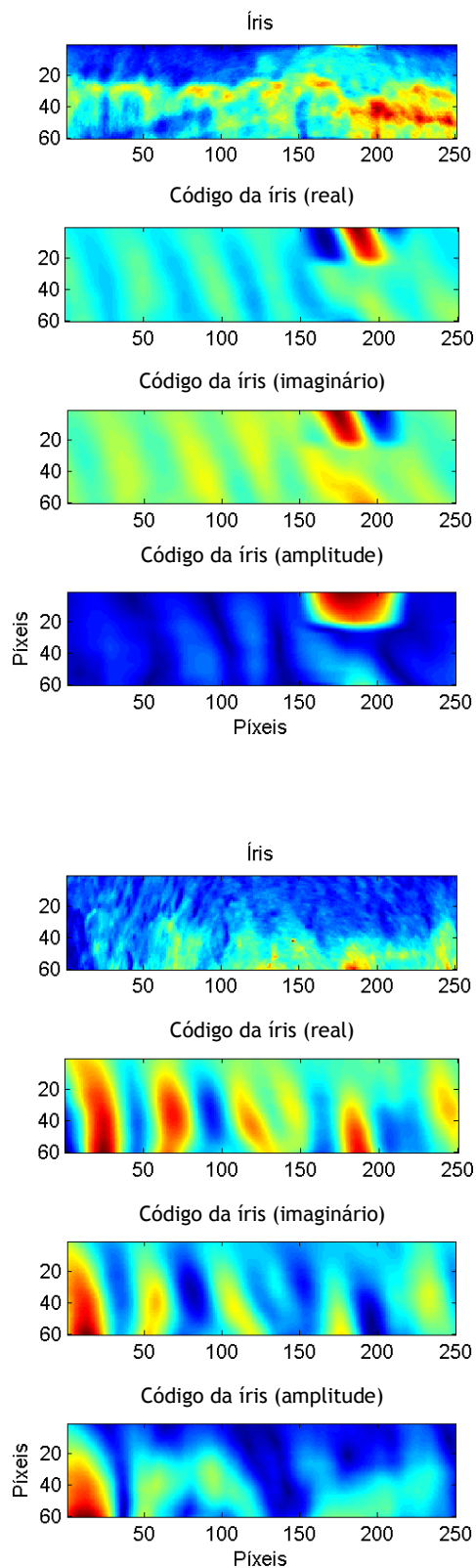


Figura A.2 - Código de íris, para o canal R em dois indivíduos diferentes que obtiveram a maior distância de Hamming, tendo em conta a decidabilidade Máxima.

A.6 - Aplicação Filtros Gabor para canal G

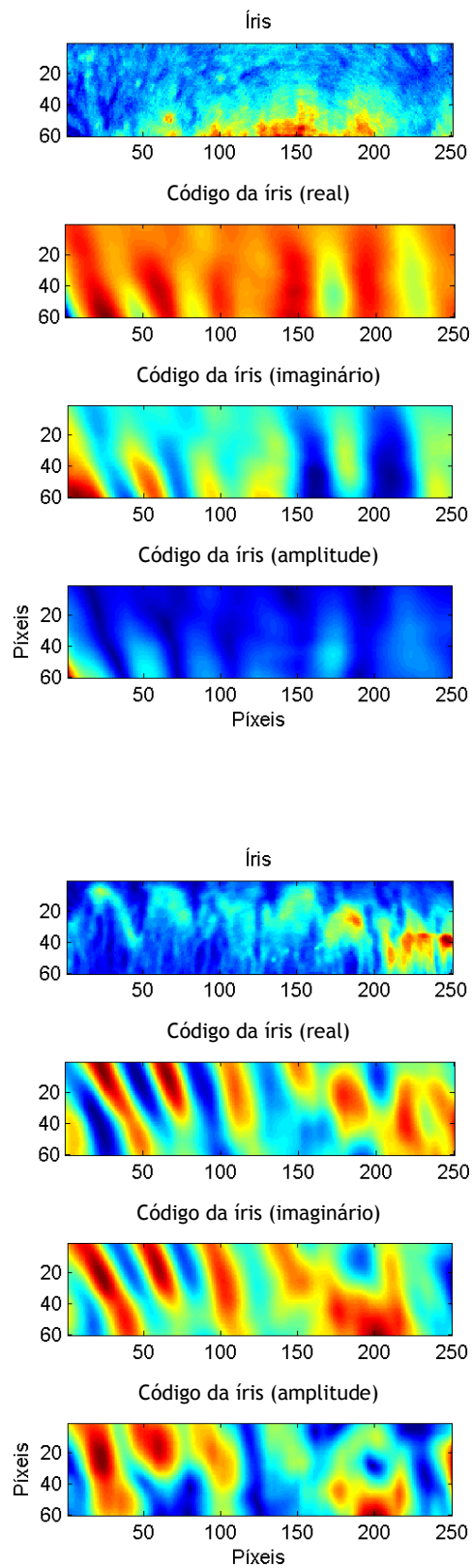


Figura A-3 - Código de íris, para o canal G em dois indivíduos diferentes que obtiveram a maior distância de Hamming, tendo em conta a decidabilidade Máxima.

A.7 - Aplicação Filtros Gabor para canal B

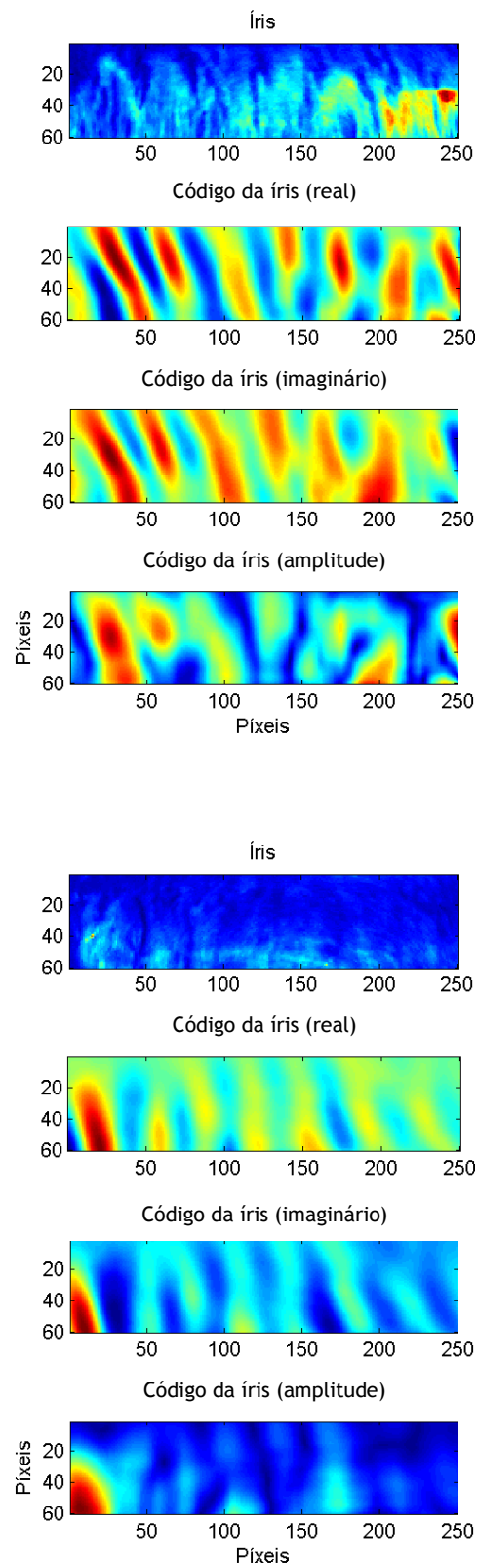


Figura A.4 - Código de íris para o canal B em dois indivíduos diferentes que obtiveram a maior distância de Hamming, tendo em conta a decidabilidade Máxima.

A.8 - Aplicação Filtros Gabor para canal NIR

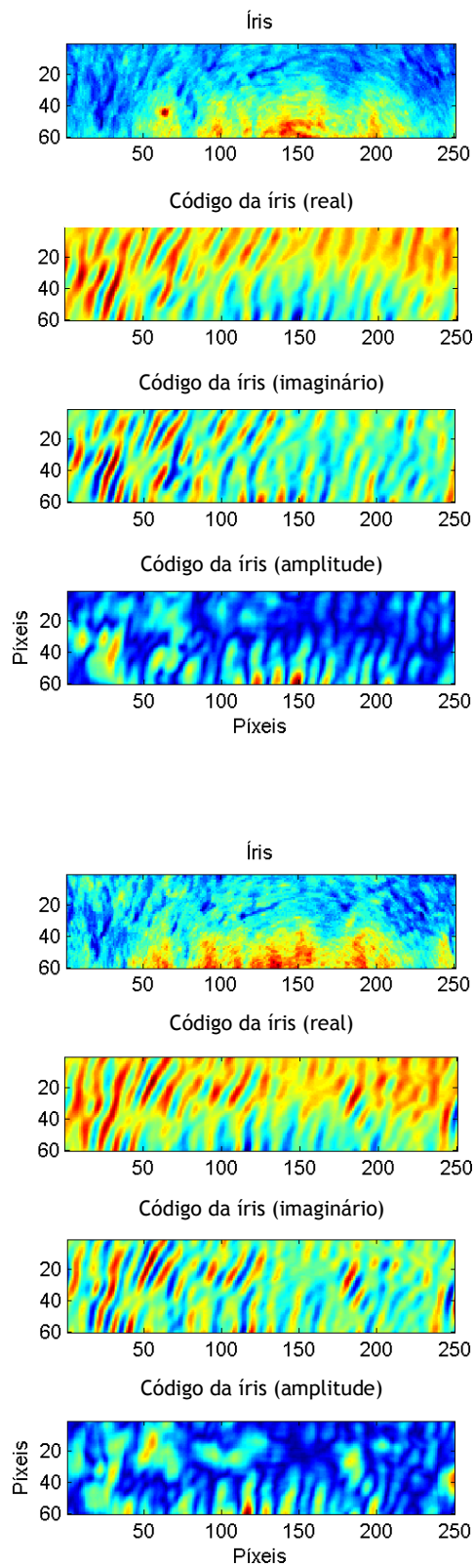
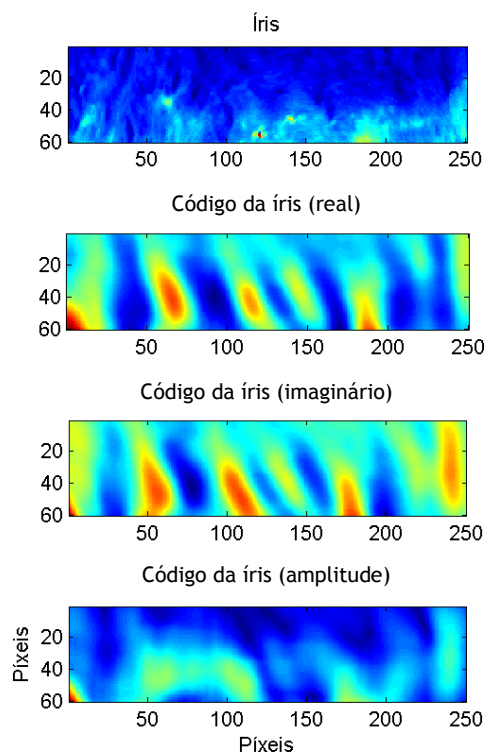
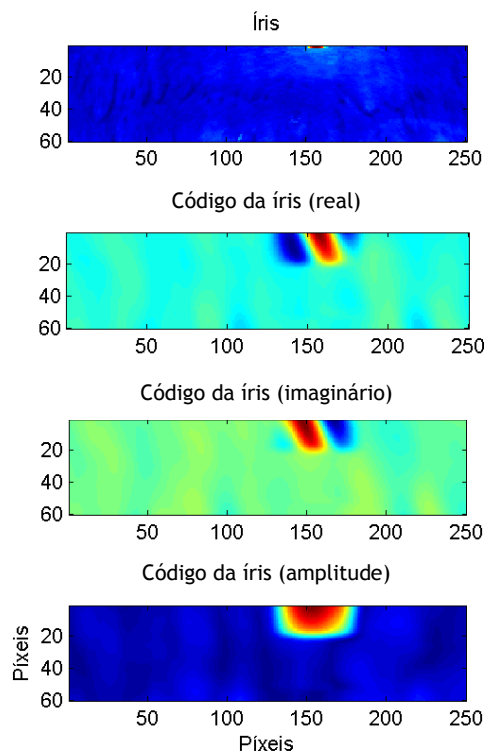


Figura A.5 - Código de íris, para o canal NIR em dois indivíduos diferentes que obtiveram a maior distância de Hamming, tendo em conta a decidibilidade Média.

A.9 - Aplicação Filtros Gabor para canal R



A.6 - Código de íris, para o canal R em dois indivíduos diferentes que obtiveram a maior distância de Hamming, tendo em conta a decidabilidade Média.

A.10 - Aplicação Filtros Gabor para canal G

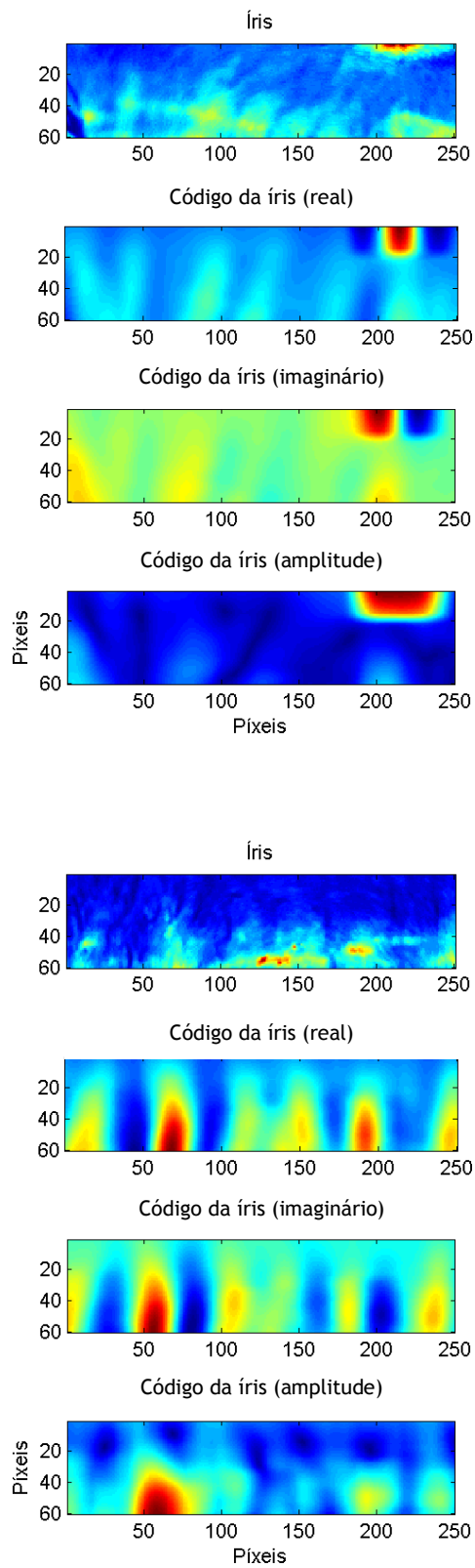
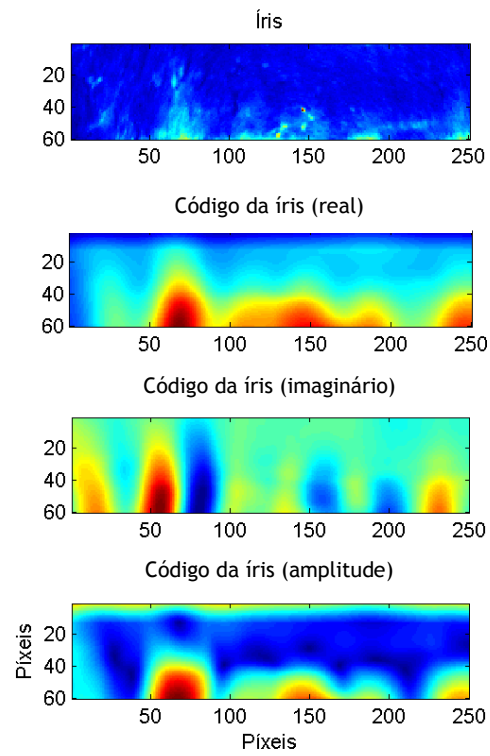
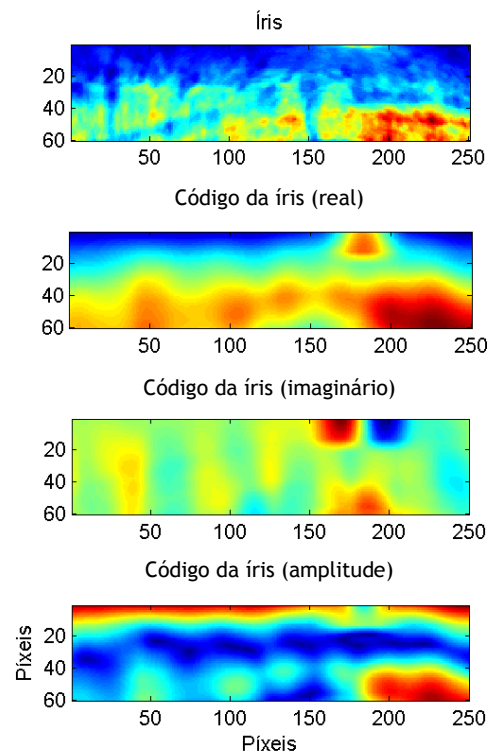


Figura A.7 - Código de íris, para o canal G em dois indivíduos diferentes que obtiveram a maior distância de Hamming, tendo em conta a decidabilidade Média.

A.11 - Aplicação Filtros Gabor para canal B



A.8 - Código de íris para o canal B em dois indivíduos diferentes que obtiveram a maior distância de Hamming, tendo em conta a decidibilidade Média.

A.12 - Funções Densidade e Distribuição de Probabilidade

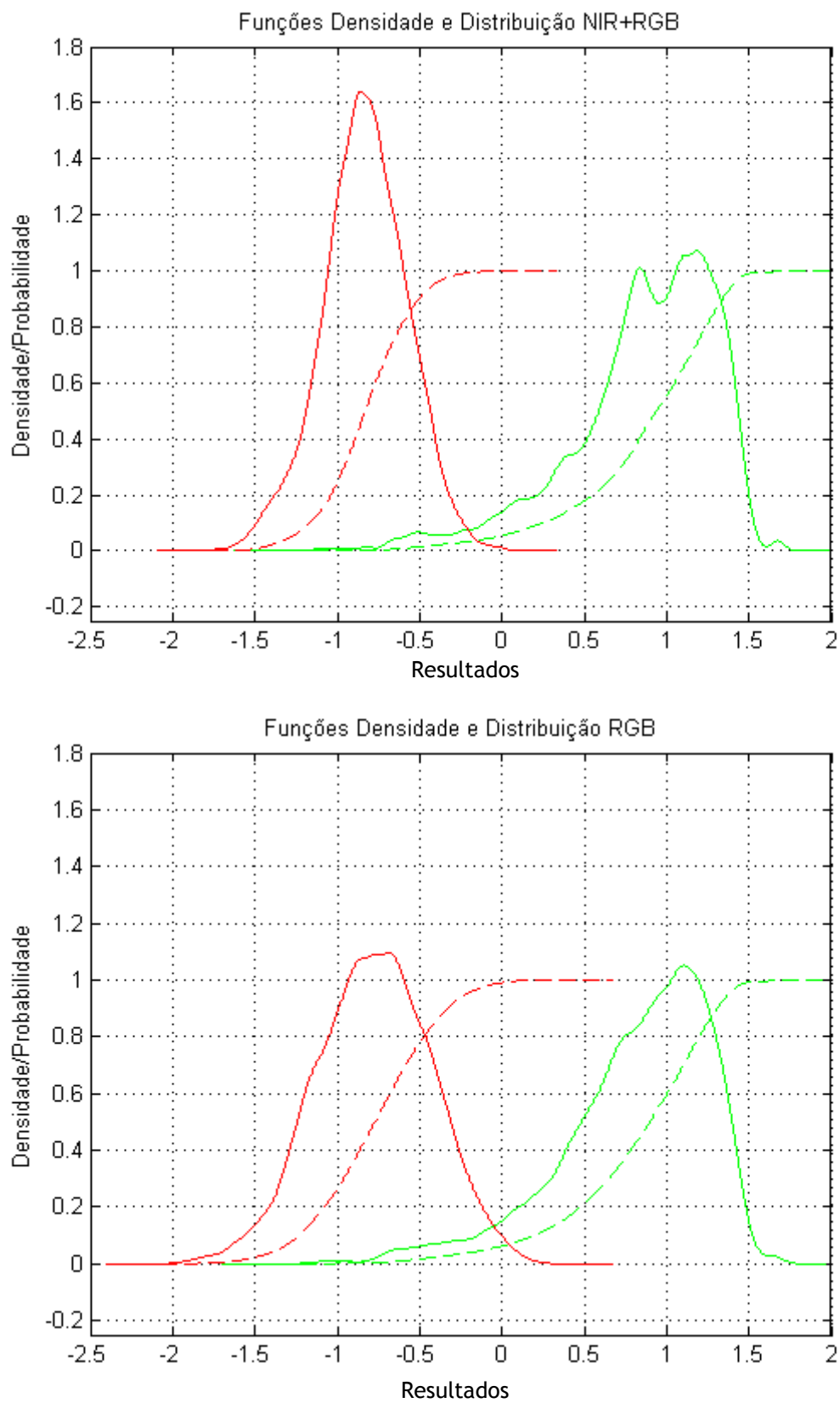


Figura A.11 - Funções densidade e distribuição de probabilidade para os modelos lineares dos canais NIR+RGB e RGB respectivamente tendo em conta a decibilidade máxima.

A.13 - Funções Densidade e Distribuição de Probabilidade

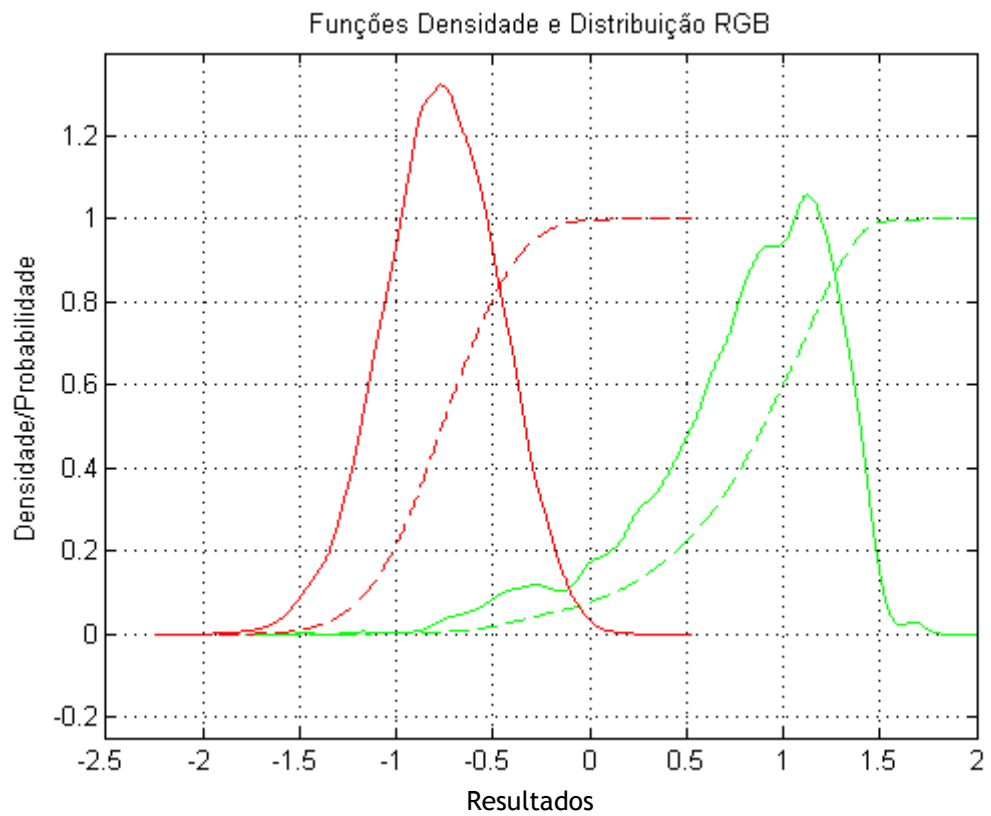
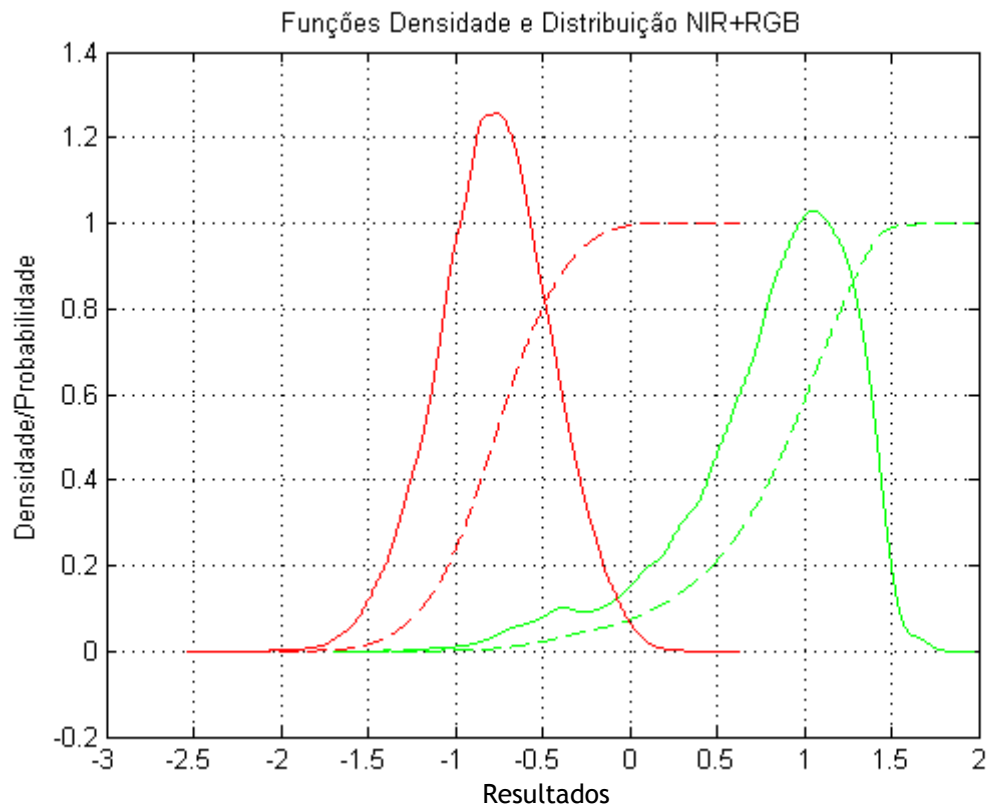


Figura A.12 - Funções densidade e distribuição de probabilidade para os modelos lineares dos canais NIR+RGB e RGB respectivamente tendo em conta a decidabilidade média.

A.14 - Funções Densidade e Distribuição de Probabilidade

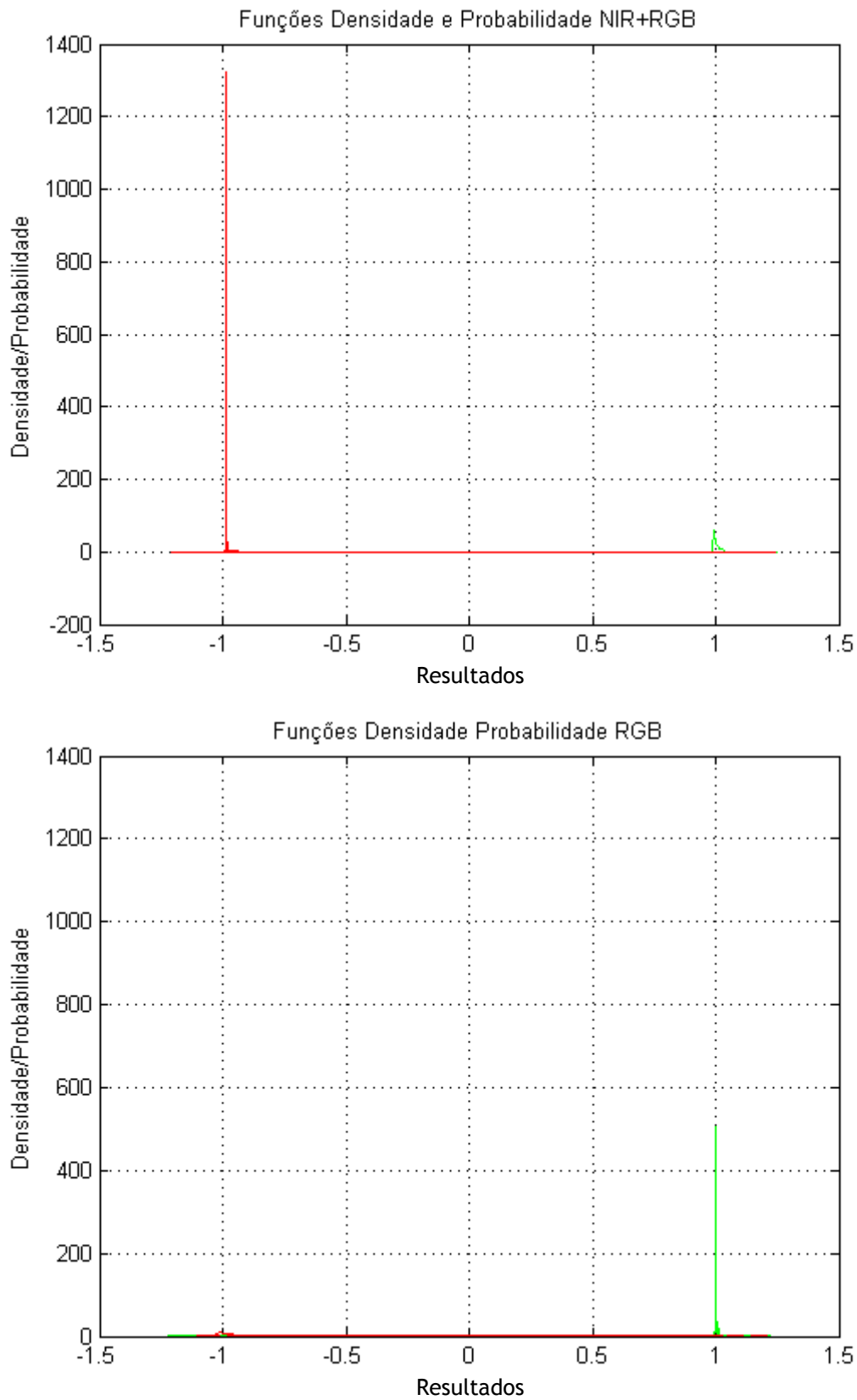


Figura A.13 - Funções densidade e distribuição de probabilidade para os modelos neuronais dos canais NIR+RGB e RGB respectivamente tendo em conta a decibilidade máxima.

A.15 - Funções Densidade e Distribuição de Probabilidade

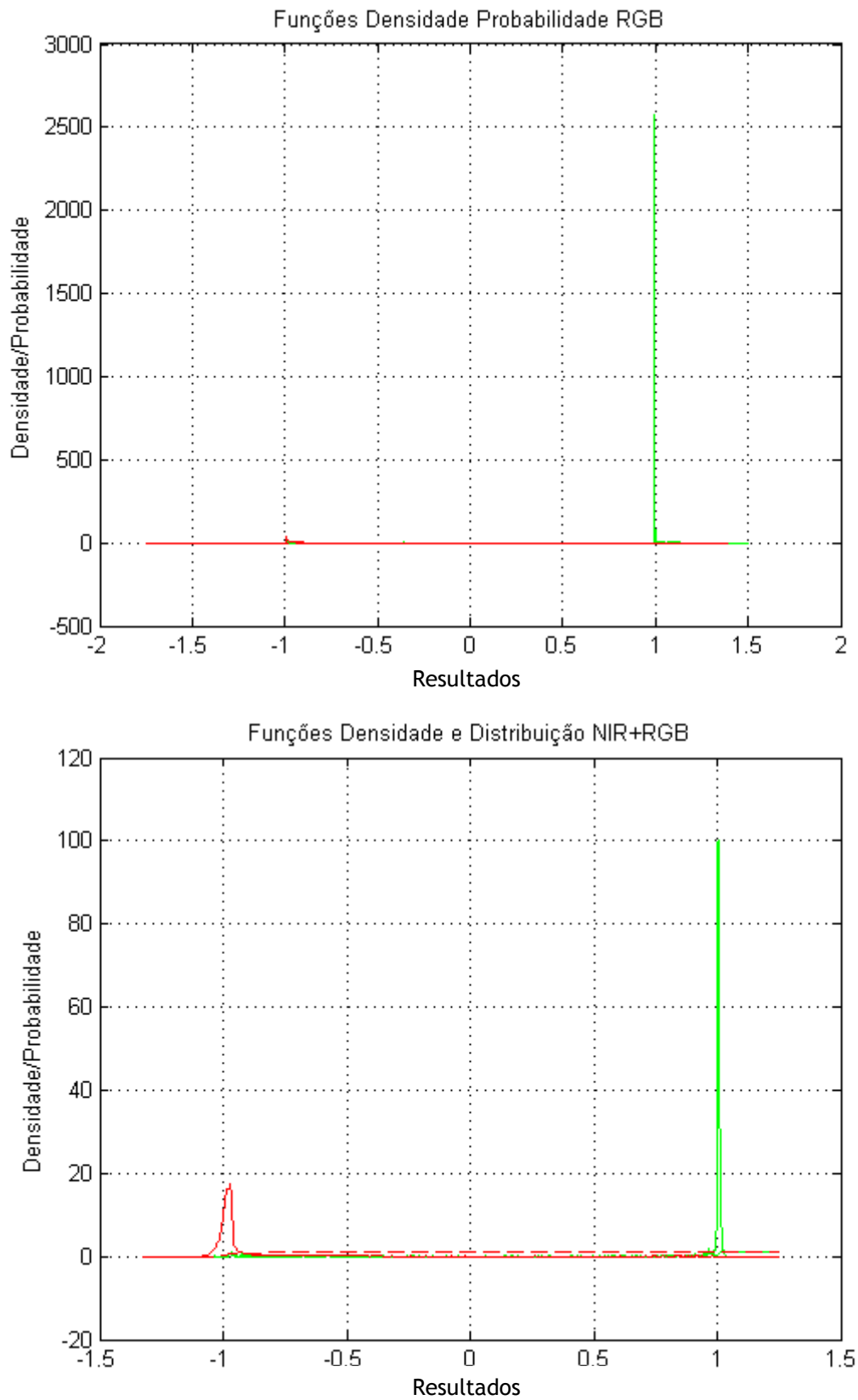


Figura A.14 - Funções densidade e distribuição de probabilidade para os modelos neuronais dos canais NIR+RGB e RGB respectivamente tendo em conta a decibilidade média.