

Imagiologia Espetral

ANÁLISE FORENSE DE NOTAS E ESCRITA MANUAL

Filipa dos Santos Pinto

Tese submetida ao Instituto Superior de Engenharia do Porto
para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Computação e Instrumentação Médica

Orientadores

PROF. DOUTOR ANTÓNIO SOUSA
Departamento de Matemática – ISEP

PROF. DOUTOR CARLOS VINHAIS
Departamento de Física – ISEP

PROF. DOUTOR AGOSTINHO SANTOS
Delegação Norte

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Porto, 29 de Outubro de 2014

"When he wants it, wherever he touches, whatever he leaves, even without consciousness, will serve as a silent witness against him his fingerprints or his footprints, but his hair, the fibers from his clothes, the glass he breaks, the tool mark he leaves, the paint he scratches, the blood or semen he deposits or collects."
Dr. Edmond Locard, 1942

Agradecimentos

Nunca estamos sozinhos, qualquer que seja a circunstância. Existe sempre alguém que nos apoia ou que caminha ao nosso lado, mesmo quando achamos ser impossível percorrer esse caminho. Por tudo isto, quero agradecer a todas as pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho. O meu muito obrigada a todos.

O maior agradecimento é ao meu orientador, Prof. Doutor António Sousa, por todas as sugestões durante o desenvolvimento deste trabalho e por toda a sua disponibilidade.

Ao meu co-orientador, Prof. Doutor Carlos Vinhais, por me ter desafiado a fazer parte deste projeto juntamente com outros colegas e por todo o apoio e disponibilidade demonstrados.

Quero agradecer também ao Prof. Doutor Agostinho Santos por ter permitido a utilização dos recursos existentes no INMLCF, IP e pela sua disponibilidade e auxílio durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho.

E como uma tese não se faz somente a estudar e trabalhar, quero agradecer a toda a minha família, em especial aos meus pais, aos meus amigos e colegas de trabalho, pelo apoio, boa disposição e pela força e motivação nos momentos em que tinha vontade de desistir.

Ao meu melhor amigo, Miguel Caetano, um grande obrigada por tudo. Por me dar um sorriso quando tudo corria bem e por me chamar à razão quando não tinha vontade de continuar. Ao André Vilela, Catarina Duarte, Cecília Barbosa, Telmo Pereira, Hugo Trindade, Pedro Silva e Ana Joyce por estarem sempre do meu lado.

Obrigada a todos!

Resumo

A análise forense de documentos é uma das áreas das Ciências Forenses, responsável pela verificação da autenticidade dos documentos. Os documentos podem ser de diferentes tipos, sendo a *moeda* ou escrita manual as evidências forenses que mais frequentemente motivam a análise. A associação de novas tecnologias a este processo de análise permite uma melhor avaliação dessas evidências, tornando o processo mais célere.

Esta tese baseia-se na análise forense de dois tipos de documentos - notas de euro e formulários preenchidos por escrita manual. Neste trabalho pretendeu-se desenvolver técnicas de processamento e análise de imagens de evidências dos tipos referidos com vista à extração de medidas que permitam aferir da autenticidade dos mesmos.

A aquisição das imagens das notas foi realizada por imagiologia espectral, tendo-se definidas quatro modalidades de aquisição: luz visível transmitida, luz visível refletida, ultravioleta A e ultravioleta C. Para cada uma destas modalidades de aquisição, foram também definidos 2 protocolos: *frente* e *verso*. A aquisição das imagens dos documentos escritos manualmente efetuou-se através da digitalização dos mesmos com recurso a um digitalizador automático de um aparelho multifunções.

Para as imagens das notas desenvolveram-se vários algoritmos de processamento e análise de imagem, específicos para este tipo de evidências. Esses algoritmos permitem a segmentação da região de interesse da imagem, a segmentação das subregiões que contêm as marcas de segurança a avaliar bem como da extração de algumas características.

Relativamente às imagens dos documentos escritos manualmente, foram também desenvolvidos algoritmos de segmentação que permitem obter todas as subregiões de interesse dos formulários, de forma a serem analisados os vários elementos. Neste

tipo de evidências, desenvolveu-se ainda um algoritmo de análise para os elementos correspondentes à escrita de uma sequência numérica o qual permite a obtenção das imagens correspondentes aos caracteres individuais.

O trabalho desenvolvido e os resultados obtidos permitiram a definição de protocolos de aquisição de imagens destes tipos de evidências. Os algoritmos automáticos de segmentação e análise desenvolvidos ao longo deste trabalho podem ser auxiliares preciosos no processo de análise da autenticidade dos documentos, o qual, até então, é feito manualmente.

Apresentam-se ainda os resultados dos estudos feitos às diversas evidências, nomeadamente as performances dos diversos algoritmos analisados, bem como algumas das adversidades encontradas durante o processo. Apresenta-se também uma discussão da metodologia adotada e dos resultados, bem como de propostas de continuação deste trabalho, nomeadamente, a extração de características e a implementação de classificadores capazes aferir da autenticidade dos documentos.

Abstract

Forensic document analysis is one of the areas of Forensic Sciences, responsible for verifying the authenticity of documents. Documents can be of different types, being the currency or handwriting forensic evidence that most often motivates the analysis. The combination of new technologies to this process of analysis allows a better assessment of the evidence, making the process faster.

This thesis is based on forensic analysis of two kinds of documents - banknotes and forms filled in by handwriting. This work is aimed at developing techniques for processing and analyzing images of the types of evidence listed for the extraction of measures to ascertain the authenticity of this ones.

Image acquisition of the notes was made by spectral imaging, having defined four types of acquisition: visible light transmitted, reflected visible light, ultraviolet A and ultraviolet C. For each of these modes of acquisition, were also defined two protocols: *front* and *back*. Image acquisition of written documents manually was effected through the digitization of them using an automatic scanner of a multifunction device.

For images of banknotes have been developed various processing algorithms and image analysis, specific to this type of evidence. These algorithms allow the segmentation of the region of interest image segmentation of subregions that contain safety marks to assess how well the extraction of some features.

For the images of the documents written manually, have also been developed segmentation algorithms which allow to obtain all the forms subregions of interest in order to be analyzed the various elements. In such evidence, there is still developed a parsing algorithm for the writing of a corresponding number sequence elements which allows obtaining the images corresponding to individual characters.

The work and the results obtained allowed the definition of image acquisition

protocols of these types of evidence. Automatic segmentation algorithms and analysis developed throughout this work may be useful adjuncts in the analysis of the authenticity of the documents process, which, until then, is done manually.

Still presents the results of studies done on various evidence, including the performances of the various algorithms analyzed, as well as some of the hardships encountered during the process. We also present a discussion of methodology and results, as well as proposals for continuation of this work, namely, feature extraction and implementation of classifiers able to gauge the authenticity of documents.

Conteúdo

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Conteúdo	xi
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos e Motivação	2
1.3 Contribuições	3
1.4 Organização da Tese	4
2. Análise Forense de documentos	5
2.1 Ciências Forenses	5
2.2 Estado das Ciências Forenses em Portugal	7
2.3 Instituto Nacional de Medicina Legal e Ciências Forenses, I.P.	7
2.4 Notas de Euro	10
2.5 Escrita Manual	13
3. Aquisição de Imagem	21
3.1 Imagens espectrais de notas	21
3.1.1 Equipamento utilizado	21
3.1.2 <i>Software VSC Suite</i>	22
3.1.3 Notas de Euro	25
3.2 Digitalização de escrita manual	28

4. Processamento das imagens	33
4.1 Linguagem <i>Python</i>	34
4.2 Planos de cor	35
4.3 Base de Dados	36
4.4 Métodos de processamento	40
4.4.1 Imagens das notas de Euro	40
4.4.2 Imagens da escrita manual	48
5. Resultados e Discussão	59
5.1 Notas de Euro	59
5.1.1 Amostra	59
5.1.2 Processamento	61
5.2 Escrita manual	65
6. Conclusão	75
Bibliografia	81
A. Formulários de aquisição da escrita manual - segunda versão	83

Lista de Figuras

2.1	Organigrama INMLCF, IP	9
2.2	Exemplo de nota de 5€.	11
2.3	Exemplo de vários elementos de segurança contrafeitos e reais.	12
2.4	Estatísticas de contrafação.	15
2.5	Estatísticas valores totais contrafeitos por ano e por tipologia de nota.	16
2.6	Exemplo de cartão do cidadão.	17
2.7	Exemplo de assinatura recolhida.	17
2.8	Diagrama de blocos do sistema de investigação da escrita manual.	18
3.1	Equipamento utilizado para aquisição das imagens de notas.	22
3.2	Tipos de fontes luminosas disponíveis no equipamento.	23
3.3	Visão geral do <i>software VSC Suite</i>	24
3.4	Estudo de uma evidência - nota de 5€ (protocolo: frente).	26
3.5	Estudo de uma evidência - nota de 5€ (protocolo: verso).	27
3.6	Exemplo folha de aquisição circunstância 1.	30
3.7	Exemplo folha de aquisição circunstância 2.	31
3.8	Exemplo folha de aquisição circunstância 3.	32
4.1	Modelo RGB.	35
4.2	Modelos dos espaços de cor.	36
4.3	Modelo relacional da BD do módulo <i>spectral</i>	37
4.4	Diagrama do processamento das imagens.	40
4.5	Deteção de cantos pelo método de Harris.	43
4.6	Exemplo de análise da média da integração da informação.	44
4.7	Exemplo do terceiro processo de deteção de cantos.	45
4.8	Deteção de cantos por comparação com um <i>template</i>	45
4.9	Estudo do espaço e plano de cor para a medida de segurança X3.	46
4.10	Disposição das medidas de segurança da nota de 5€.	47
4.11	Reconstrução 3D de elemento de segurança das notas de euro.	48
4.12	Diagrama do processamento dos formulários.	49
4.13	Esquema de segmentação dos formulários.	50
4.14	Extração da região de interesse de uma assinatura.	51
4.15	Diagrama do processamento da sequência numérica.	52

4.16	Estudo dos planos de cor na segmentação das sequências numéricas.	53
4.17	Exemplos de sequências e respectivas projeções.	54
4.18	Matrizes dos raios de <i>kernel</i> utilizados.	54
4.19	Exemplos de sequências numéricas.	54
4.20	Saída da consola no algoritmo de análise da sequência numérica.	55
4.21	Sequência numérica com a segmentação dos algarismos.	56
4.22	Diagrama do processamento do segundo formulário desenvolvido.	56
4.23	Exemplo de segmentação do número mecanográfico.	57
5.1	Marca de água das diferentes notas de euro.	60
5.2	Estudo da nota de 5 € da primeira série.	62
5.3	Exemplo do processo de equalização da região a comparar.	63
5.4	Estudo da nota de 5 € da primeira série.	64
5.5	Estudo da nota de 10 € da primeira série.	65
5.6	Estudo da nota de 20 € da primeira série.	66
5.7	Estudo da nota de 5 € da série Europa.	67
5.8	Cabeçalho do formulário de participação.	67
5.9	Campos do formulário para aquisição da escrita manual.	68
5.10	Exemplos de regiões de interesse extraídas dos formulários.	69
5.11	Processo de segmentação de uma sequência numérica.	70
5.12	Exemplos de segmentação de sequências numéricas.	72
5.13	Exemplos de segmentação dos números mecanográficos.	73

Lista de Tabelas

2.1	Estatísticas de contrafação do Euro.	13
2.2	Estatísticas de contrafação do Euro - valores.	14
3.1	Relação entre tipo de lâmpada e iluminação emitida.	22
4.1	Tipos de notas de euro considerados.	38
4.2	Exemplo tabela <i>nota</i>	38
4.3	Exemplos de estudos da tabela <i>study</i>	39
4.4	Exemplo de tabela de especificações de cada nota.	42
4.5	Exemplo de tabela com as características dos elementos de segurança.	42
4.6	Especificações ficheiro <i>dat</i> - medidas em píxels.	50
5.1	Estatísticas dos algoritmos de segmentação das notas.	63
5.2	Estatísticas dos algoritmos de segmentação das sequências numéricas.	71

Introdução

1.1 Enquadramento

A taxa de criminalidade em geral tem vindo a aumentar nos últimos anos, podendo atribuir-se à crise económica a nível mundial ou, a nível nacional, ao aumento dos impostos, à estagnação do ordenado mínimo nacional e ao aumento do desemprego. O crime de contrafação de moeda tem aumentado significativamente, principalmente desde que foi adotada a moeda única, o que levou ao crescente aumento da preocupação das autoridades nacionais e internacionais.

A verificação inicial da veracidade de uma nota pode ser feita, de uma forma simples, em três passos: tocar, observar e inclinar [1]. Quanto ao toque do papel, podem ser vistas duas características de segurança: o papel em si (que deve ser firme e ter textura de fibra de algodão) e a impressão em relevo dos algarismos de maior dimensão e das diversas designações do Banco Central Europeu (BCE); o segundo passo é a observação em contraluz devendo ser vistas duas marcas, a primeira, a marca de água que se encontra na frente e do lado esquerdo da nota e, a segunda, o fio de segurança que se encontra a meio da nota e tem a inscrição do valor desta e o símbolo do euro. Por fim, o último passo é inclinar a nota, no sentido de verificar o holograma que deve alternar entre o valor da nota e o símbolo do euro tendo como fundo uma paleta variada de cores.

Com o objetivo de diminuir a contrafação de moeda, o BCE desenvolveu uma nova série, "Europa", com menor número de elementos de segurança que a série inicial mas os que estão presentes tornaram-se menos "falsificáveis" [2, 3, 4]. O artigo número 262 do código penal português determina que aquele que pratique contrafação de *moeda* pode ser punido com pena de prisão, que pode ir de 3 a 12

anos; quem tiver intenção de colocar essa *moeda* em circulação, de a falsificar ou mesmo de alterar o seu valor é condenado entre 2 a 8 anos de pena de prisão [5]. Analisando o Relatório Anual de Segurança Interna (RASI) de 2013 verifica-se que o crime de contrafação ou falsificação de *moeda* representa 11,7% dos crimes contra a vida em sociedade [6, 7].

Outra área da criminalidade que apresenta cada vez mais preocupação é a falsificação de documentos e de assinaturas. Segundo o artigo número 256 do código penal português, quem fabricar um documento falso, ou realizar alguma tentativa, tem uma pena que pode ser de prisão, até 3 anos, ou a uma multa [5]. No relatório anual da Associação Portuguesa de Apoio à Vítima, de entre os crimes contra a vida em sociedade, no ano de 2012 a falsificação de documentos representa 27.5% [6, 8, 9].

1.2 Objetivos e Motivação

A circulação de *moeda* contrafeita tem sido elevada nos últimos anos. Os métodos de verificação destas notas atualmente passa pelos três passos descritos anteriormente (tocar, observar e inclinar). Esta análise pode, de certa forma, ser subjetiva ou inconclusiva, caso a imitação seja muito semelhante à nota verdadeira e não permitir ao utilizador (recetor) obter uma conclusão.

A par do aumento da contrafação de *moeda* encontra-se a falsificação de documentos escritos. A nível judicial a análise destas evidências é feita visualmente e de forma manual por especialistas, no entanto, a tentativa de um autor falsificar a sua própria escrita apresenta algumas dificuldades para o especialista.

A possibilidade de analisar estas evidências a partir da aquisição das imagens por vários tipos de iluminação mostrou-se uma via favorável para esta verificação. No sentido de facilitar e diminuir a subjetividade na análise destas evidências mostrou-se útil o desenvolvimento de algoritmos que, a partir da conjugação de vários métodos permitissem segmentar as imagens, extrair características e classificar estas evidências como verdadeiras ou falsas.

Esta tese tinha dois principais objetivos: criação de um algoritmo de verificação das notas de euro e um segundo algoritmo para a verificação da autenticidade de um documento escrito.

O primeiro objetivo foi a elaboração de um algoritmo de classificação das notas de euro, que fizesse a segmentação da imagem, a localização dos elementos de segurança, a extração de características e, finalmente, a classificação dessas características para determinar se o utilizador estava perante uma evidência *verdadeira*, *suspeita* ou *falsa*.

O segundo objetivo passava também pela elaboração de um algoritmo de classificação desta vez orientado aos documentos de escrita manual. Mais uma vez o algoritmo passou pela segmentação dos formulários, segmentação dos elementos do formulário, extração de características e classificação dessas mesmas características. Neste caso a classificação seria capaz de avaliar a probabilidade de um determinado documento ter sido escrito pelo suposto autor ou se se tratava de uma imitação. No caso de se tratar de uma imitação procurar, de entre os indivíduos na base de dados, qual o que tinha as características mais semelhantes.

1.3 Contribuições

As contribuições desta tese prendem-se não só a nível prático, no estudo das evidências e no desenvolvimento do processamento de imagens destas, mas também a nível teórico com a análise de toda a bibliografia relativa aos temas aqui abordados. Desta forma, as principais contribuições atingidas com este trabalho são:

- Estudo das características das notas e de quais as modalidades, protocolos e planos de cor mais indicados para a análise das mesmas;
- Estabelecimento de critérios de segmentação da nota e das regiões de interesse das marcas de segurança;
- Um algoritmo de segmentação das notas segundo os critérios previamente estabelecidos. O algoritmo desenvolvido é composto por vários passos, no sentido de facilitar a segmentação da nota em si e das marcas de segurança;
- Criação de formulários para recolha de evidências de escrita manual. A recolha de formulários realizados em diferentes circunstâncias permite verificar quais as alterações que a escrita de uma pessoa pode sofrer;
- Estudo da metodologia de segmentação das regiões de interesse dos formulários;
- Um algoritmo para segmentação dos formulários e outro para segmentação das características da sequência numérica. Os algoritmos desenvolvidos recorrem a vários processos no sentido de permitir uma melhor separação dos algarismos das sequências numéricas.

1.4 Organização da Tese

O presente relatório está organizado da seguinte forma.

- Capítulo 2 - Análise Forense: é feita uma descrição das Ciências Forenses e do seu estado no nosso país, bem como que instituições portuguesas prestam os serviços médico-legais. São ainda apresentadas as evidências consideradas, na área da análise forense de documentos, a *moeda* Euro e a escrita manual.
- Capítulo 3 - Aquisição de imagem: é feita uma descrição do *Hardware* e *Software* utilizado para a aquisição de imagens das evidências, bem como da metodologia aplicada a cada tipo de evidência foi adquirida. São ainda apresentados alguns exemplos das imagens obtidas nas diferentes modalidades e protocolos de ambas as evidências.
- Capítulo 4 - Processamento: neste capítulo é descrito todo o modo de processamento das imagens e ainda é feita uma descrição do tipo de linguagem utilizada nos algoritmos, dos três planos de cor abordados e da estrutura da base de dados em que este trabalho se insere.
- Capítulo 5 - Resultados: mostra os testes que foram realizados durante a execução das atividades dos capítulos 3 e 4 para dar suporte aos métodos e valores utilizados. São ainda descritas algumas das dificuldades encontradas durante o processo de aquisição e desenvolvimento dos algoritmos de processamento.
- Capítulo 6 - Conclusão: apresenta-se uma análise crítica ao trabalho realizado e aos resultados obtidos. São indicados pontos menos positivos deste trabalho e são propostas vias de trabalhos futuros com base no que aqui foi desenvolvido.

Análise Forense de documentos

2.1 Ciências Forenses

As Ciências Forenses (CF) representam um conjunto de conhecimentos e técnicas que ajudam na investigação criminal. Nos últimos anos, o tema tem sido largamente abordado nas séries televisivas, uma vez que a população em geral tem mostrado um grande interesse em perceber como são estudados os casos de homicídio, suicídio, acidente e outros casos criminais. O ponto base das CF engloba um de três processos: identificação, individualização ou classificação física da evidência. Em alguns tipos de evidências, para a identificação ser feita, será ainda necessário incluir algum tipo de processamento físico e/ou químico ou testes genéticos (ao sangue, fluídos corporais), testes toxicológicos para detetar a presença de álcool, drogas de abuso, medicamentos e pesticidas, exames bioquímicos ou, ainda, exames microbiológicos.

A Medicina Legal engloba vários campos de trabalho como a avaliação do dano corporal, a patologia forense, a genética e biologia forense, a toxicologia forense, a identificação individual, o estudo das impressões digitais, criminalística, análise de documentos, geologia forense e antropologia forense. A identificação individual é utilizada para reconhecimento de corpos por identificar, que pode ser conseguida por comparação de dentição ou estudo do ADN (Ácido Desoxirribonucleico). No sentido de facilitar esta identificação, é também utilizada a antropologia forense [10, 11, 12]. Segundo Cattaneo [13], a antropologia forense é definida como "a aplicação da antropologia física ao contexto forense", isto é, trata da análise das características do ser humano, mais propriamente ao nível ósseo [14]. A avaliação das impressões digitais, um dos ramos da identificação individual, é um dos testes de identificação mais utilizados, uma vez que a evidência é estudada e classificada para posteriormente

ser comparada com impressões digitais presentes em bases de dados [15]. No campo da criminalística são incluídas as análises a evidências como terra, vidros, cabelos, fibras, sangue e outros fluídos encontrados nos cenários de crime. A análise do solo surgiu em 1929 quando Edmond Locard constatou que seria impossível um indivíduo participar numa atividade sem que provocasse alterações neste e sem que removesse partículas por contacto com a pele, tecidos, entre outros [10, 16]. Na criminalística temos um campo alargado de estudo onde se incluía a balística forense (identificação de armas de fogo, estudo da trajetória e danos causados por um dado projétil, bem como identificá-lo e ao seu invólucro).

Um outro campo da Medicina Forense é a análise de documentos e escrita manual, tema no qual se insere este trabalho. A primeira análise de documentos data de 1609, por François Demelle, sendo que a segunda dissertação que abordava esta temática terá sido publicada em 1665 por Jacques Raveneau. Apesar de existirem artigos e dissertações publicados desde o século XVII, somente em 1913 é que a análise de documentos passou a ser aceite como prova em tribunal, segundo o código dos EUA: "a escrita manual provada ou admitida de qualquer pessoa deverá ser admissível para propósitos de comparação no sentido de determinar a genuidade de outra escrita manual atribuída a essa pessoa" [17, 18].

Como em qualquer teste, também na análise de documentos existe um procedimento que deve ser seguido no sentido de chegar a um conjunto de texto que evidencie características que não sejam visíveis de imediato. Foram então estabelecidos conjuntos de tarefas com o objetivo de trabalhar os documentos para obter conclusões, esses passos são: redução de dados, apresentação de dados e conclusões [19, 20]. A redução de dados trata-se da manipulação dos dados com o objetivo de permitir que sejam estabelecidas relações entre os dados e para que possam ser obtidas conclusões reais e fidedignas. Em primeiro lugar deverá ser determinado qual a unidade a analisar (parágrafo, frase ou palavra, por exemplo) para que os dados possam ser divididos segundo esse critério de avaliação. As unidades obtidas neste passo devem ser distribuídas por grupos para posteriormente serem codificadas. O passo seguinte passa pela apresentação de dados e pela simplificação destes e da informação que contêm, por outro lado deve permitir que os dados sejam posteriormente processados e apresentados. A apresentação destes depende do tipo de avaliação a que vão ser submetidos, porém existem dois processos básicos de apresentação: em forma de matriz numérica (no caso de avaliação quantitativa) e em forma de diagrama (para avaliações qualitativas). O terceiro, e último passo da análise de documentos, são as conclusões. Obviamente que estas conclusões variam de uns trabalhos para outros,

uma vez que cada trabalho tem um objetivo de avaliação dos documentos, pode ser comparação de caligrafia, de pressão exercida na escrita, da tinta utilizada, entre outros.

2.2 Estado das Ciências Forenses em Portugal

Em Portugal, o domínio das Ciências Forenses é liderado pelo Instituto Nacional de Medicina Legal e Ciências Forenses e pela Polícia Judiciária. No entanto existe uma entidade privada, o Núcleo de Ciências Forenses (sediado na cidade do Porto), que tem como objetivo peritar várias questões relacionadas com documentos e informática. A Polícia Judiciária surge da divisão de áreas da Polícia desde a Polícia Civil, criada durante o reinado de D. Luís I [21, 22]. Posteriormente, no reinado de D. Carlos I esta foi dividida em três campos:

- Polícia de Segurança Pública
- Polícia de Investigação Judiciária e Preventiva
- Polícia de Inspeção Administrativa

Posteriormente à implantação da República Portuguesa em 1918, a Polícia de Investigação Judiciária e Preventiva sofreu alterações, tendo sido constituídas a Polícia Preventiva e a Polícia de Investigação. Alguns anos depois houve uma redesignação passando a ser Polícia de Investigação Criminal, dependente da Direção-Geral de Segurança Pública. A última alteração ocorreu em 1945 com a mudança do nome para Polícia Judiciária [22, 23, 24].

2.3 Instituto Nacional de Medicina Legal e Ciências Forenses, I.P.

O Instituto Nacional de Medicina Legal e Ciências Forenses, Instituição Pública (INMLCF, IP), designação que obteve após a reestruturação dos serviços feita em 2012 (Diário da República nº 147 de 31 de julho de 2012), é um instituto público que detém autonomia administrativa e financeira, embora esteja integrado na administração indireta do Estado. O INMLCF, IP é um organismo com sede na cidade de Coimbra e que dispõe de serviços não centralizados no Porto, Coimbra e Lisboa. As respetivas delegações, respetivamente Norte, Centro e Sul, coordenam a atividade

pericial nos gabinetes médico-legais e forenses distribuídos por todo o território nacional incluindo as ilhas da Madeira e Açores [25].

A missão do INMLCF, IP centra-se na prestação de serviços periciais médico-legais e forenses, tendo também a seu cargo a coordenação científica das atividades em curso integradas na medicina e em outras áreas da ciência forense. O INMLCF, IP tem como dever, por exemplo:

- Apoiar a definição da política nacional na área da medicina legal e de outras ciências forenses.
- Cooperar com os tribunais e demais serviços e entidades que intervêm no sistema de administração da justiça, realizando os exames e as perícias médico-legais e forenses que lhe forem solicitados, nos termos da lei, bem como prestar-lhes apoio técnico e laboratorial especializado, no âmbito das suas atribuições.
- Desenvolver atividades de investigação, divulgação científica e formas de colaboração científica e pedagógica com outras instituições na área da medicina legal e de outras ciências forenses.
- Assegurar o funcionamento da Base de Dados de Perfis de ADN.

O INMLCF, IP tem a sua estrutura e serviços distribuídos como exemplifica a Figura 2.1. Os órgãos que constituem esta instituição são quatro: conselho diretivo, conselho médico-legal, comissão de ética e fiscal único. O conselho diretivo (CD) é composto pelo presidente, vice-presidente e dois vogais. Este conselho é composto, preferencialmente, por professores universitários de medicina legal ou outras ciências forenses, caso não seja possível serão escolhidos diretores de serviços médicos que detenham competências adequadas às funções que lhe irão ser atribuídas. O CD pode delegar nos elementos que o constituem a prática de atos que lhes competem e para além destas, também outras tarefas estão a seu cargo como: definir diretrizes que orientem a organização e funcionamento do instituto no sentido de realizar os objetivos, supervisionar a atividade das delegações e gabinetes médico-legais e emissão de pareceres sobre reformas no sistema médico-legal e forense. O presidente deste conselho tem ainda tarefas como a promoção da elaboração de planos de trabalho, assim como a formação técnico-científica do pessoal do INMLCF, IP e autorizar a execução de perícias fora dos gabinetes médico-legais e forenses e delegações.

O conselho médico-legal é composto pelo presidente do conselho diretivo, um representante dos conselhos disciplinares de cada uma das secções regionais da Ordem dos Médicos, dois docentes do ensino superior de cada uma das áreas científicas

(clínica cirúrgica, clínica médica, obstetrícia, ginecologia e direito) e ainda cinco docentes de outras áreas científicas (anatomia patológica, ética e/ou direito médico, ortopedia e traumatologia, neurologia ou neurocirurgia e psiquiatria). Todos estes elementos têm várias funções tais como: consultadoria técnico-científica, emissão de pareceres relativos a questões técnicas e científicas e acompanhamento e avaliação das atividades periciais desenvolvidas. Este conselho pode ainda solicitar a colaboração de outros professores de variadas disciplinas ou de outros estabelecimentos de ensino superior, assim como especialistas de reconhecido mérito.

Relativamente à comissão de ética, esta funciona como órgão de apoio aos restantes corpos sociais do INMLCF, IP. Os elementos que a constituem trabalham na promoção da reflexão e contribuem no sentido de definir diretrizes adequadas à consolidação da política de salvaguarda dos princípios éticos e deontológicos. A sua constituição é semelhante ao anterior, sendo composta pelo presidente do conselho diretivo do instituto (em sua substituição este pode eleger um outro membro do conselho diretivo), por um docente universitário de ética médica e outro de direito médico e ainda duas personalidades com mérito técnico-científico indicadas pelo conselho médico-legal, sob proposta do conselho diretivo do INMLCF, IP.

Por último, o fiscal único tem a responsabilidade de controlar a legalidade, regularidade e gestão financeira e patrimonial do instituto. Este é eleito por despacho dos membros do Governo que são responsáveis pela área das finanças e tutela de entre auditores da Comissão de Mercado de Valores Mobiliários, no entanto quando não for adequado, de entre os revisores oficiais de contas (ROC) ou sociedades de revisores oficiais de contas pertencentes à Ordem dos Revisores Oficiais de Contas. A mais importante das competências deste é o acompanhamento e controlo do cumprimento das leis e regulamentos, execução orçamental, situação económica, financeira e patrimonial e a análise da contabilidade [25, 26].

2.4 Notas de Euro

O Instituto Monetário Europeu analisou em 1994 a possibilidade de substituição das moedas nacionais por uma *moeda* única, o euro (€). Foi a 1 de janeiro de 2002 que o euro foi introduzido fisicamente no mercado europeu, uma vez que nos mercados monetários já tinha sido introduzido a 1 de janeiro de 1999. Após esta data, mais de 300 milhões de europeus iniciaram a circulação de moedas e notas de euro (ver Figura 2.2). No final de fevereiro de 2002, estas foram tornadas únicas nesses países, eliminando as que existiam anteriormente.



(a)



(b)

Fig. 2.2: Exemplo de nota de 5 € : (a) frente da nota; (b) verso da nota.

O euro foi primeiramente introduzido na Alemanha, Áustria, Bélgica, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Países Baixos, Irlanda, Itália, Luxemburgo e Portugal, tendo depois aderido a esta moeda mais 6 países em momentos diferentes (Eslovénia, Chipre, Malta, Eslováquia, Estónia e Letónia). Actualmente esta moeda tem curso legal em 18 dos 28 estados-membro da União Europeia, sendo que se prevê que ainda durante o ano de 2014 a Polónia também adira à moeda única.

Como foi dito anteriormente, o euro foi introduzido em Portugal a 1 de janeiro de 1999, tendo circulado em paralelo com o escudo (*moeda* que até então estava em vigor) até fevereiro de 2012 quando este foi retirado permanecendo somente o euro. Apesar de o prazo de troca de moedas de escudo por euros no Banco de Portugal ter terminado a 31 de dezembro de 2012, a troca de notas de escudo ainda é possível até 28 de fevereiro de 2022 [27, 28, 29, 30].

Embora o crime de contrafação de *moeda* tenha aumentado nos primeiros anos após a adoção do euro, tendo atingido o pico máximo de ocorrências (cerca de 18000) em 2010. Após esse período houve uma diminuição do número de evidências contrafeitas. No sentido de combater a contrafação, o Banco Central Europeu (BCE) juntamente com a Europol (Agência de Controlo das Leis na União Europeia), a Interpol (Organização Internacional de Polícia Criminal) e a Comissão Europeia

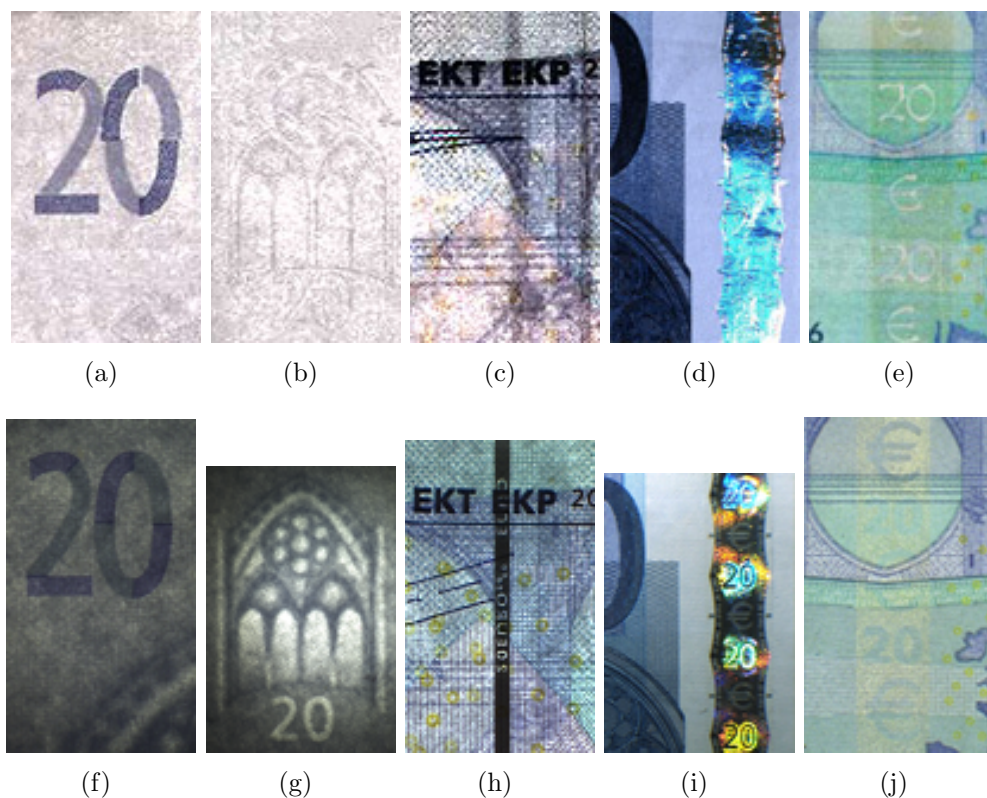


Fig. 2.3: Exemplo de vários elementos de segurança contrafeitos e reais: (a) *see-through* contrafeito; (b) marca d'água contrafeita; (c) fio de segurança contrafeito; (d) holograma contrafeito; (e) banda brilhante contrafeito; (f) *see-through* real; (g) marca d'água real; (h) fio de segurança real; (i) holograma real; (j) banda brilhante real. ¹

criou uma entidade com o objetivo de coordenar a informação sobre a contrafação. Esta entidade reporta todas as informações de que dispõe às forças policiais de cada país [31]. E, com o objetivo de permitir uma distinção entre as unidades originais e as contrafeitas, foram inseridos nas notas vários elementos de segurança. Existem disponíveis algumas imagens que servem como exemplo de elementos contrafeitos e a comparação destes com elementos verdadeiros. Como já seria de esperar, alguns elementos são mais facilmente "imitáveis" do que outros. Podem ser vistos alguns exemplos de contrafações na Figura 2.3.

O Banco de Portugal (BP), entidade central bancária da República Portuguesa, sediado em Lisboa, tem como missão a gestão de disponibilidade externa do país e a intermediação das relações monetárias internacionais do Estado; é também função

¹ Figuras da contrafação retiradas do site "20 Euro Banknote - Counterfeit money detection: know how": <http://currencyguide.eu/eur-en/20eur-en.html>.

deste a relação da estabilidade do sistema financeiro a nível nacional, entre outras. Anualmente o BP lança as estatísticas da contrafação da moeda em Portugal. No ano de 2012 foram apreendidas mais de 11000 notas dos diversos valores (5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500), sendo que destas a mais comum, e com cerca de 5800 unidades apreendidas, foi a que apresenta o valor de 50 euros. Contudo, o número de exemplares apreendidos diminuiu relativamente ao ano de 2011, onde foram registadas perto de 15000 notas contrafeitas. Nas Tabelas 2.1 e 2.2 e nas Figuras 2.4 e 2.5 podemos verificar quais as quantidades contrafeitas e a que valores correspondem, respetivamente.

Tab. 2.1: Estatísticas de contrafação do Euro.

Ano	Número de notas contrafeitas							Total/ano
	5€	10€	20€	50€	100€	200€	500€	
2002	29	60	339	3781	442	80	2	4733
2003	184	190	1643	4842	858	168	16	7901
2004	324	359	1751	3905	6514	181	10	13044
2005	211	830	2224	4733	1881	227	32	10138
2006	459	609	2959	3586	781	223	95	8712
2007	363	849	3219	3576	734	909	75	9725
2008	143	1432	4408	3948	777	515	20	11243
2009	172	511	3231	5075	951	276	254	10470
2010	141	1037	5656	9629	1051	168	435	18117
2011	130	522	5575	8524	788	81	19	15639
2012	115	564	4213	5824	524	98	38	11376
2013	67	437	3242	5807	639	167	651	11010

2.5 Escrita Manual

Em Portugal, e no sentido de melhorar a relação entre o Estado e a sociedade, em dezembro de 1996 foi promulgado o Decreto-Lei n.º 250/96 que determinava que o sistema de reconhecimento notarial por semelhança deveria ser reduzido e só se deveria recorrer a este aquando da existência de menções especiais [32]. Assim sendo, este reconhecimento passa a ser substituído pela cedência do número, data e entidade emitente do bilhete de identidade (entretanto alterado para cartão do cidadão em 2007) [33].

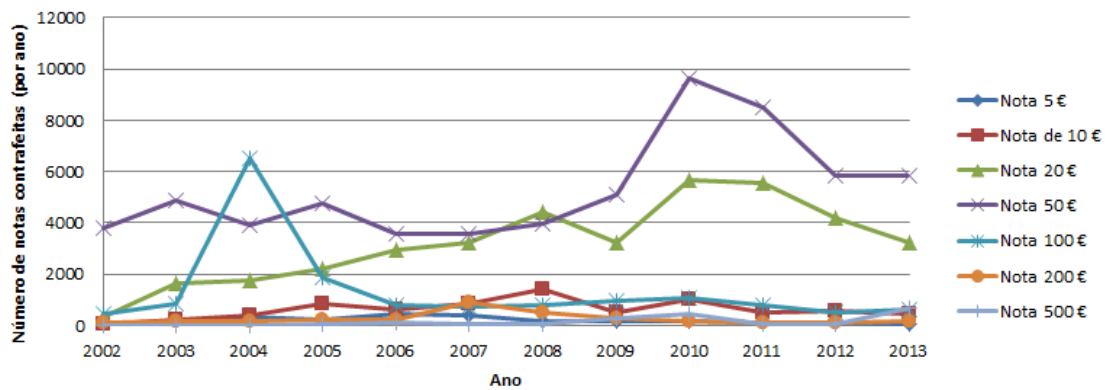
Tab. 2.2: Estatísticas de contrafação do Euro - valores.

Ano	Valor contrafeito por tipologia de nota							Total/ano
	5€	10€	20€	50€	100€	200€	500€	
2002	145	600	6780	189050	44200	16000	1000	257775
2003	920	1900	32860	242100	85800	33600	8000	405180
2004	1620	3590	35020	195250	651400	36200	5000	928080
2005	1055	8300	44480	236650	188100	45400	16000	539985
2006	2295	6090	59180	179300	78100	44600	47500	417065
2007	1815	8490	64380	178800	73400	181800	37500	546185
2008	715	14320	88160	197400	77700	103000	10000	491295
2009	860	5110	64620	253750	95100	55200	127000	601640
2010	705	1037	113120	481450	105100	33600	217500	961845
2011	650	5220	111500	426200	78800	16200	9500	648070
2012	575	5640	84260	291200	52400	19600	19000	472675
2013	335	4370	64840	290350	63900	33400	325500	782695

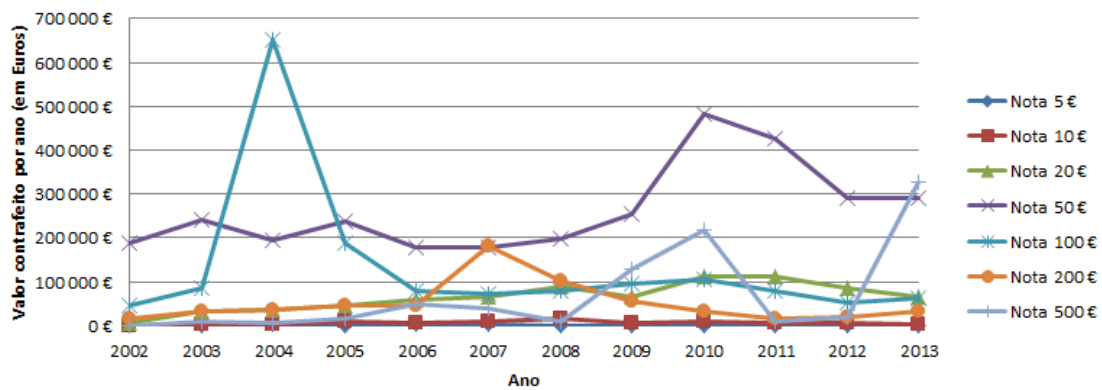
O cartão do cidadão foi introduzido no ano de 2007, segundo a Lei n.º 7/2007 de 5 de Fevereiro. Este passaria a ser o documento autêntico de cada cidadão, onde estavam presentes os dados mais relevantes como número de identificação civil, número de identificação fiscal, número de utente dos serviços de saúde e número de identificação da segurança social, como pode ser visto na Figura 2.6. Este inclui um circuito integrado que contém a maior parte dos elementos do seu titular e, para além destes, dois certificados (de autenticação segura e qualificado para assinatura eletrónica), existindo aplicações informáticas que permitem aceder às funcionalidades do cartão, à gestão de alguns dados e segurança.

A escrita é uma característica própria de cada pessoa. Quando se começa a frequentar a escola aprende-se a escrever de uma forma específica, no entanto, ao longo dos anos, cada pessoa vai alterando a sua escrita, fazendo com que a caligrafia se torne uma característica pessoal e, do ponto de vista forense, pode ser um importante elemento discriminante.

Para a realização de uma análise forense podem existir três tipos de escrita de comparação: contemporânea, espontânea ou colhida. A escrita contemporânea consiste em documentos escritos na mesma altura em que o documento que está em avaliação terá sido escrito. A escrita espontânea refere-se à escrita do dia-a-dia e usa-se em formulários, procurações, certidões, entre outros. Por último, a escrita colhida



(a)



(b)

Fig. 2.4: Estatísticas de contrafação: (a) número de notas por ano; (b) valor contrafeito por ano (valores das Tabelas 2.1 e 2.2).

trata-se da que é realizada a pedido, recolhida especificamente para utilização no exame da escrita em causa (também denominada de colheita de autógrafos), como mostra a Figura 2.7. Esta colheita deve ser realizada nas condições mais semelhantes àquelas em que o documento contestado terá sido feito, condições como o tipo de documento e o tipo de instrumento utilizado (caneta de ponta fina ou de gel, lápis ou lapiseira) e deve ser do mesmo tipo da questionada, isto é, se a questionada for com letras maiúsculas (ou minúsculas, assinaturas completas, rúbricas, algarismos) a pedida também o será. No entanto, há que salvaguardar que há diferenças na escrita quando o suspeito e/ou o autor da escrita a analisar está sob diferentes condições e estado psicológico ou ainda a diferença entre a data da escrita e a data da colheita. Uma das grandes dificuldades que ainda existe é quando a escrita é deliberadamente alterada, isto é, quando o autor faz por alterar a sua escrita e

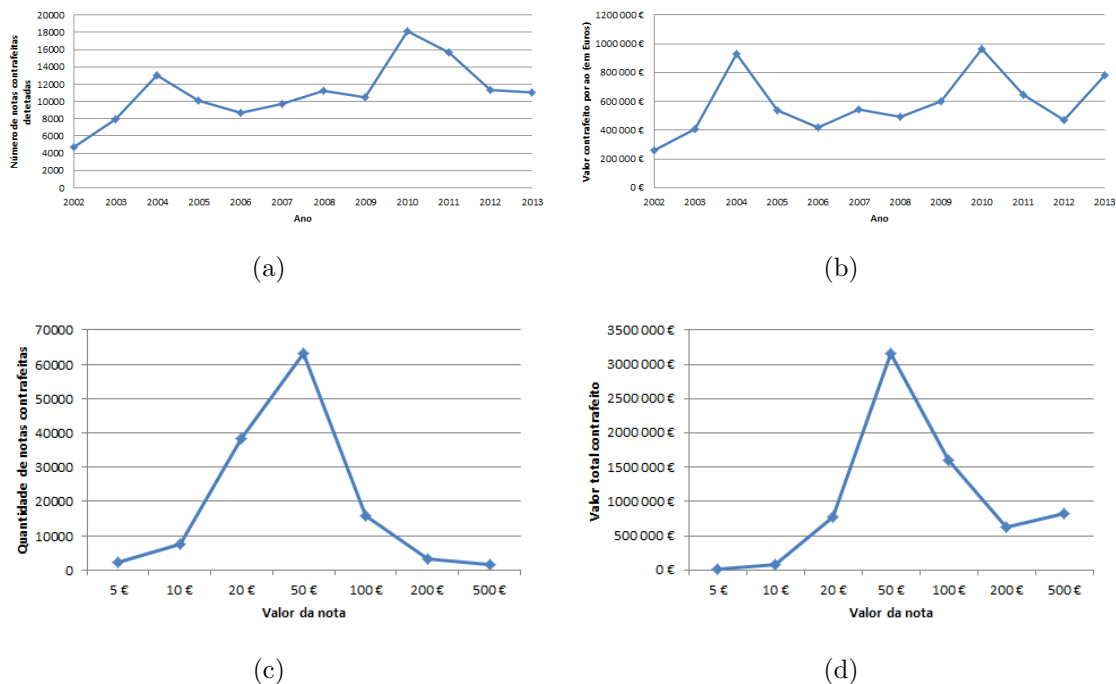


Fig. 2.5: Estatísticas dos valores totais contrafeitos: (a) total de notas por ano; (b) total de valor por ano; (c) total de evidências por tipologia de nota; (d) total de valor por tipologia de nota (valores das Tabelas 2.1 e 2.2).

características no sentido de não ser identificado e, nestes casos, podem ser tiradas conclusões e resultados erradas.

No sentido de ultrapassar esta questão, investigadores científicos desenvolveram métodos de medição de características, seleção de conjunto de teste e avaliação do mínimo de elementos necessários para tomar uma decisão que possa ser considerada fiável, sendo que uma das sugestões seria a criação de um algoritmo de classificação robusto que conseguisse lidar com variáveis de vários tipos. No entanto, apesar de a identificação do autor de um documento ser de extrema importância, ainda não foi publicado um número de artigos relevantes que abordem este problema. Os sistemas já existentes permitem fazer uma verificação de caligrafias semelhantes à que está a ser analisada e posteriormente é feita manualmente uma avaliação subjetiva por um especialista, baseada nas características que podem ser vistas e na experiência do perito. Esta avaliação consiste, por exemplo, na comparação de traços, letras ou nas combinações destas por vezes tendo que fazer algumas medições ainda que simples [34, 35, 36, 37].

Uma vez que os materiais de escrita muitas vezes estão deteriorados e com pouca qualidade é necessário realizar algum pré-processamento à imagem como o melho-

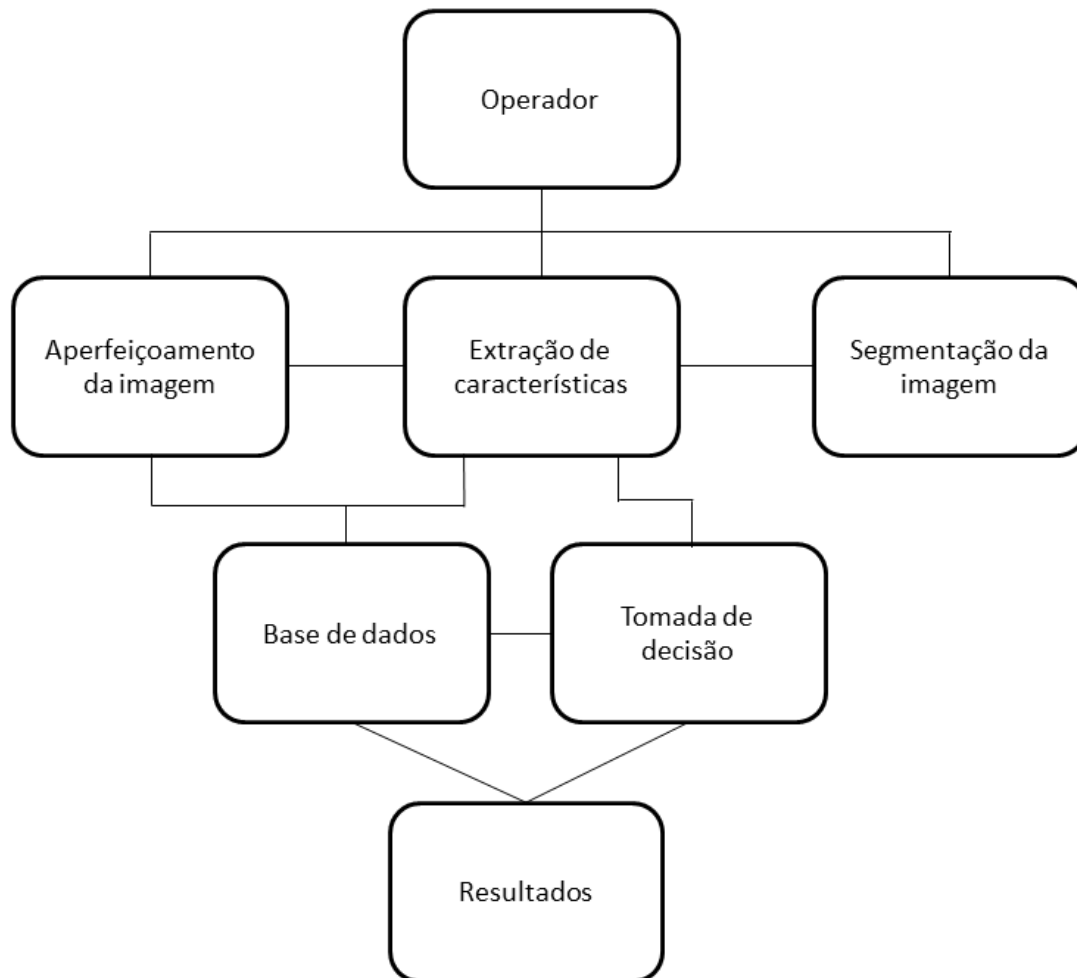


Fig. 2.8: Diagrama de blocos do sistema de investigação da escrita manual.

entre linhas, a largura e altura das letras e a distância entre letras e entre palavras. Todas estas características podem ser melhor ou pior falsificadas, no entanto há uma outra característica que não consegue ser tão facilmente falsificada, trata-se da distribuição da pressão exercida na folha durante o movimento de escrita.

A tomada de decisão será então baseada numa avaliação da similaridade entre determinados elementos e esta avaliação pode ser separada em vários patamares: no primeiro são comparados elementos básicos como traços, letras e pontuação. A segunda fase será deduzida uma percentagem de similaridade, uma vez que um determinado elemento já pode ser detetado em alguns momentos do texto. Após esta avaliação, a última etapa passa por uma avaliação geral do documento. Todo este processo está representado segundo um diagrama de blocos como pode ser verificado na Figura 2.8.

Um outro estudo realizado em 2002 por Sargur Srihari *et al* [38], foi orientado também para a individualização da escrita dos participantes e para a extração de características. As amostras recolhidas consistiam na cópia de uma carta previamente determinada, em que existiam todas as conjugações de letras que interessavam e que continha letras maiúsculas, minúsculas, todos os algarismos e alguma pontuação. A população escolhida para este estudo variava num intervalo de idades entre os 12 e os 85 anos e pertencentes a várias afinidades populacionais. Após a recolha, cada documento escrito seria digitalizado com uma resolução de 300 dpi (pontos por polegada) e a imagem guardada em escala de cinzentos (valor de cada *pixel* pode variar de 0 a 255, em que 0 é preto e 255 branco). O primeiro passo depois disto seria tornar a imagem binária, a partir de um algoritmo de binarização. Em seguida, no mesmo estudo, foi utilizado o *Adobe Photoshop* para, manualmente, fazer a extração de cada linha, palavra e caracteres.

Recentemente, na conferência *Measurement Science and Standards in Forensic Handwriting Analysis Conference and Webcast* realizada nos Estados Unidos da América a 5 de junho de 2013 foram reunidas opiniões de vários especialistas (Examinadores Forenses de Documentos - EFD) sobre qual a aparência do futuro desta área [39]. Foram vários os intervenientes tanto presencialmente como por *webcast* e como tal existiram diversos pontos de vista e diversas opiniões como:

- Futuramente deverão ser incluídas ferramentas de análise quantitativa. As estatísticas continuarão a ser importantes para os EFD e a continuação da investigação irá permitir uma melhor compreensão desta área.
- Atualmente, os EFD analisam as evidências a partir da frequência de caracte-

rísticas presentes no documento, futuramente estas características deverão ser formalizadas no sentido de haver um padrão.

Existem, no entanto, algumas barreiras aos avanços tecnológicos tais como: os programas podem não conseguir calcular com precisão as estatísticas; é necessária a existência de estudos sólidos, no entanto estes estudos têm um custo elevado e requerem um elevado nível de experiência; outro inconveniente será a existência de poucos artigos científicos relacionados com este tema, uma vez que a investigação requer tempo e dinheiro.

O capítulos que se seguem descrevem o processo realizado neste trabalho. Começou por ser feita a aquisição das imagens, posteriormente foi feito um processamento e, por fim, foram obtidos resultados. A elaboração de algoritmos de processamento de imagem robustos é importante no auxílio à identificação e prevenção da contrafação de notas e falsificação de documentos de escrita manual.

Aquisição de Imagem

Neste capítulo pretende-se estudar a viabilidade de técnicas e métodos de aquisição das imagens das notas e da digitalização dos documentos de escrita manual. Para a aquisição das notas de euro foi utilizado o equipamento *VSC6000 HS*, disponível no INMLCF, IP.

3.1 Imagens espectrais de notas

3.1.1 Equipamento utilizado

O equipamento utilizado para a recolha de dados foi o *VSC6000 HS*, Figura 3.1, composto por 3 componentes: *VSC6000* (unidade principal), um sistema de PC e o *software VSC Suite*. Este é um sistema de imagem baseado em PC que permite a análise de documentos de todos os tipos, quaisquer que seja o país, uma vez que contém uma base de dados com informações sobre alguns dos documentos principais de cada país. Para examinar um documento é necessário colocá-lo na platina sob a cúpula e a imagem é visualizada no monitor do PC. A partir do *software* instalado podemos controlar a unidade principal do VSC.

O interior do equipamento é constituído pela cúpula, platina do documento, fontes luminosas e, uma vez que algumas fontes podem ser prejudiciais à saúde humana, existem abas na frontais e laterais para proteção do utilizador e quando essas fontes estão ativadas e o utilizador abre uma das abas a fonte é desativada. Na cúpula está localizada a câmara de vídeo, as fontes de luz refletida e os filtros óticos. Existem 12 tipos de lâmpada diferentes, compreendendo os comprimentos de onda afetos à luz visível, infravermelha e ultravioleta (A, B e C), representados na Figura 3.2 e



Fig. 3.1: Equipamento utilizado para aquisição das imagens de notas.

Tab. 3.1: Relação entre tipo de lâmpada e iluminação emitida.

Tipo de lâmpada	Iluminação emitida
Lâmpada de filamento incandescente	Luz visível de banda larga e infravermelho
Tubos de descarga de vapor	UV-A, UV-B, UV-C
Díodos emissores de luz (LED)	Luz branca
Lâmpada de flash	Luz infravermelha intensa

que correspondem à emissão de diferentes tipos de iluminação (Tabela 3.1).

As fontes luminosas compreendem comprimentos de onda entre os 200 e os 1000 nm e cada uma das fontes permite a criação de um contraste e a análise de uma dada característica do documento em questão. No *software* referido anteriormente é permitido ao utilizador aplicar filtros óticos ao espectro de transmissão, tais como, filtro passa-alto, passa-baixo e passa-banda.

3.1.2 *Software VSC Suite*

Como já foi referido na secção 3.1.1, o *software* utilizado é disponibilizado pela empresa responsável pela instalação do equipamento. Para aceder ao programa é















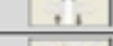




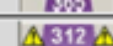

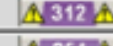

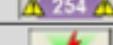


VSC®6000/HS: Fontes luminosas					
Comprimento de onda (nm)	Tipo de lâmpada	Número	Corrente eléctrica	Aspecto de controlo	Modo de iluminação
400 – 1000 Visível + IV		2	5 W		Iluminação de fundo
		4	20 W		Iluminação divergente
		2			
		4	12 W		Luz transmitida
		1	250 W		Iluminação concentrada de faixa estreita
			100 W		Iluminação spot
		1	20 W		Iluminação concentrada sintonizável
			20 W		Iluminação concentrada transmitida
400 – 700 Visível		11			Iluminação coaxial
		14			Luz difratada
		2			Luz circularmente polarizada
365 UV-A		2	9 W		Iluminação UV transmitida
		4	9 W		Iluminação ultravioleta
312 UV-B		2	8 W		Iluminação ultravioleta
254 UV-C		2	8 W		
850 – 1100 IV					Flash anti-stokes

Fig. 3.2: Tipos de fontes luminosas disponíveis no equipamento.

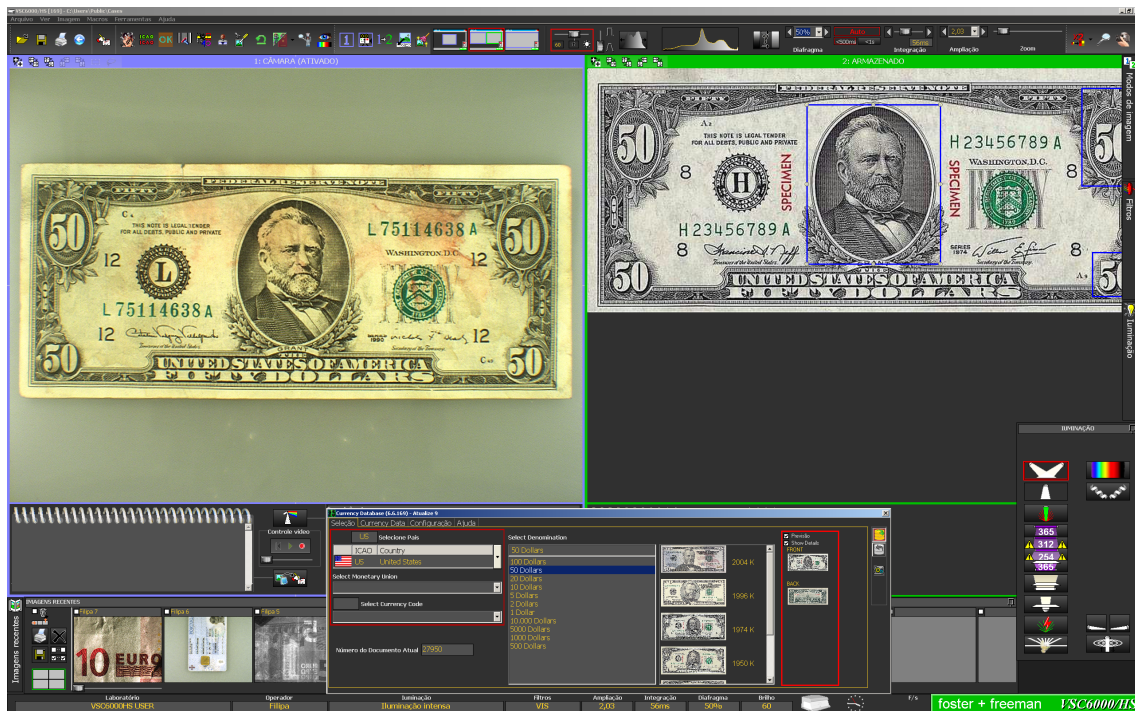


Fig. 3.3: Visão geral do *software VSC Suite*.

necessário tem um perfil de utilizador que pode ser criado na primeira entrada e ao qual está associado um armazém de imagens. Após a entrada tem-se então acesso à interface do *software*, como mostra a Figura 3.3.

Na barra superior podem ser encontrados, por esta ordem:

- Barra de ferramentas padrão:
 - Abrir imagem
 - Guardar
 - Imprimir
 - Escolher base de dados (no caso de se querer fazer uma comparação entre a imagem que se está a recolher e um exemplo)
- Modo de visualização
 - Imagem da câmara em tempo real com resolução normal
 - Imagem da câmara em tempo real e imagem armazenada
 - Imagem da câmara em tempo real com resolução máxima
- Barra de ferramentas de exposição

- Brilho
- Nitidez
- Correção gama para clarear áreas escuras
- Barra de ferramentas de zoom
 - Ampliação
 - Zoom ótico
 - *Auto Focus*

Com a conjugação de todos estes aspetos consegue-se obter a imagem que se pretende, podendo variar o tipo de iluminação, o zoom, brilho e terminar sempre com a realização de um *autofocus* no sentido de a imagem ficar com a melhor nitidez possível e com as melhores características para ser posteriormente analisada.

3.1.3 Notas de Euro

Após a pesquisa realizada sobre a contrafação do euro em Portugal e ter verificado que a maior quantidade contrafeita era relativa às notas de menor valor (apesar de uma grande parte deste valor ser em notas de 50€), decidiu-se que essas seriam as notas a analisar. As notas a recolher seriam então de 5€ (primeira série e série europa), de 10€ e de 20€. Foram então recolhidas um total 32 notas.

O primeiro passo foi registar os números de série, valor, país de origem e série de cada uma das notas, no sentido de criar uma base de dados com os objetos analisados ou a analisar e que permita fazer uma comparação aquando da existência de um *specimen* duvidoso. Cada objeto foi sujeito a uma determinada sequência de tipos de iluminação, recorrendo ao *VSC6000*. Foi inicialmente realizado um estudo sobre os tipos de luminosidade que maior importância tinham na análise das notas e, portanto, os utilizados foram: o ultravioleta A refletida (UVaR), o ultravioleta C refletida (UVcR), a luz visível transmitida (VLT) e a luz visível refletida (VLR).

Aquando da aquisição das imagens, o equipamento deve ser devidamente ligado e o *software* iniciado. Em seguida o utilizador deverá abrir a tampa frontal, colocar a nota o mais centrada possível na platina e com os lados paralelos aos lados desta e fechar novamente a tampa. O utilizador terá que selecionar na barra lateral direita a opção "Iluminação divergente"(esta é a opção na qual, por defeito, o equipamento liga no entanto convém verificar antes de adquirir a imagem), antes de guardar a imagem deverá selecionar o "*Auto Focus*", representado por um botão e, por fim,

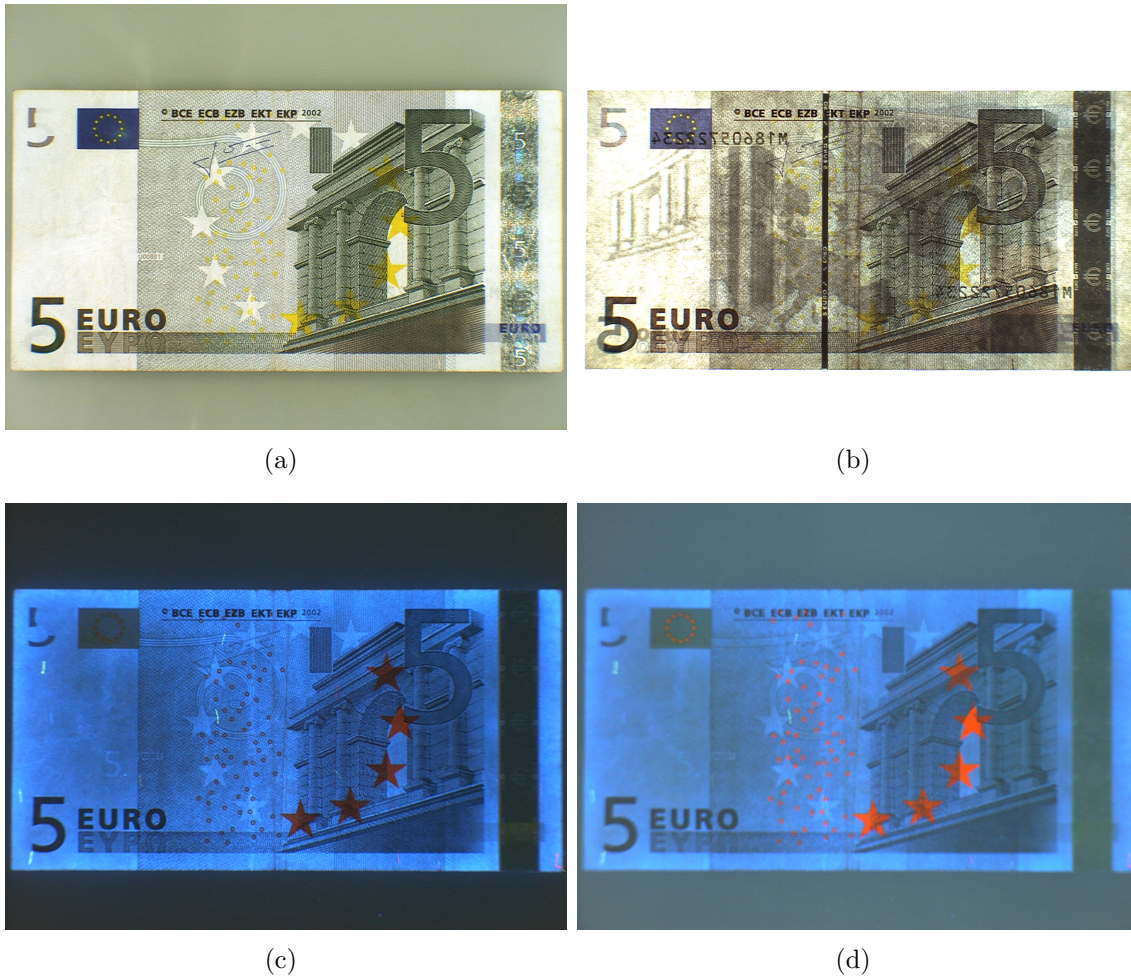


Fig. 3.4: Estudo de uma evidência - nota de 5€ (protocolo: frente): (a) luz visível refletida; (b) luz visível transmitida; (c) ultravioleta A refletida; (d) ultravioleta C refletida.

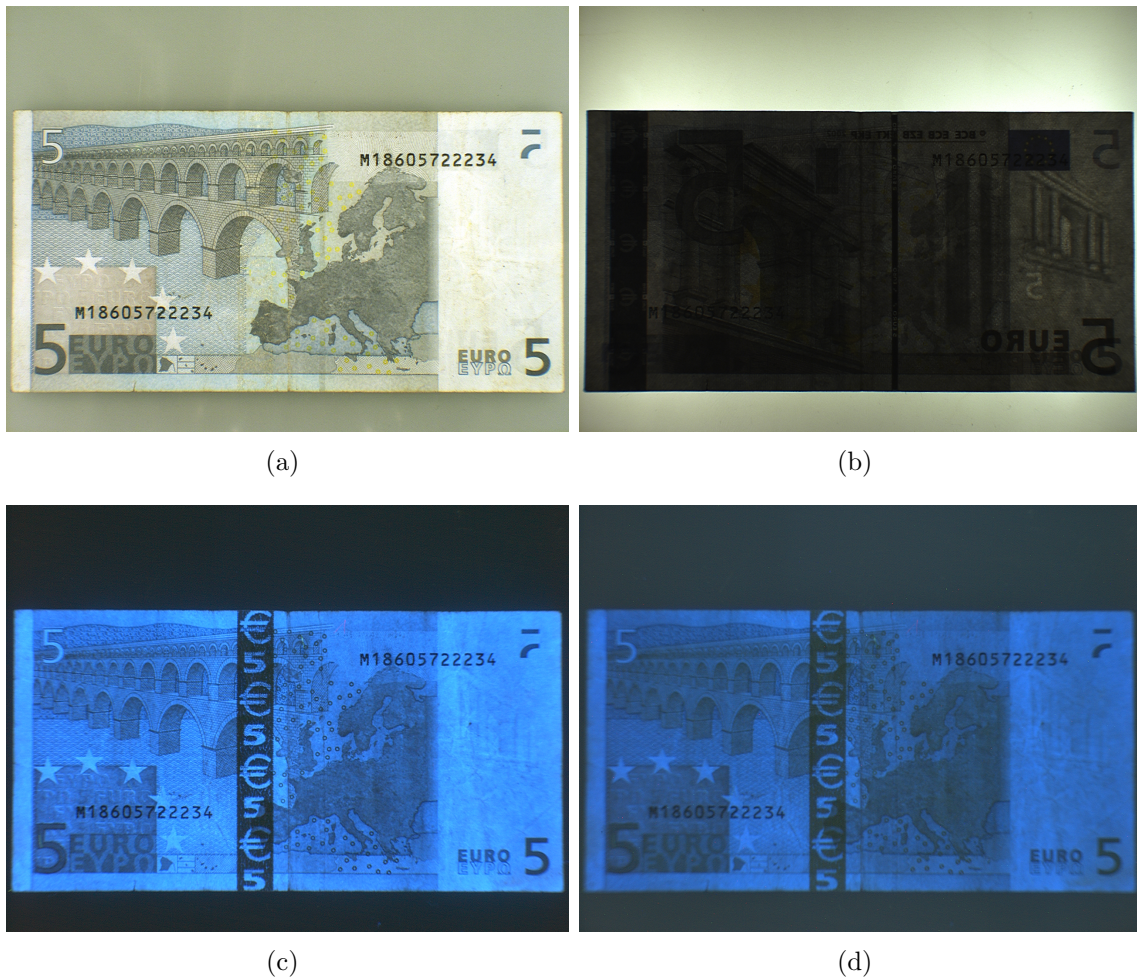


Fig. 3.5: Estudo de uma evidência - nota de 5 € (protocolo: verso): (a) luz visível refletida; (b) luz visível transmitida; (c) ultravioleta A refletida; (d) ultravioleta C refletida.

guardar então a imagem. Estes dois últimos passos deverão repetir-se após as alterações do tipo de iluminação. Depois o tipo de iluminação deverá ser alterado para "Luz transmitida", em seguida para "Iluminação ultravioleta 365nm"(UV-A) e, por último, para "Iluminação ultravioleta 254nm"(UV-C) (como se vê na Figura 3.4). Cada um destes tipos de iluminação diferentes correspondem à modalidade de aquisição da imagem. Após esta aquisição o tipo de iluminação deve ser alterado para o inicial (Iluminação divergente), para que a tampa frontal possa ser aberta e a nota deverá ser virada e o processo deverá ser repetido para o verso da nota (Figura 3.5). Para que exista uma distinção entre as imagens da frente e do verso da nota essa característica é denominada de protocolo. Para terminar o processo a tampa frontal deverá ser aberta, a nota retirada e guardada e o computador e o equipamento deverão ser desligados. O estudo dessa evidência contém então oito imagens, divididas por modalidade e protocolo.

3.2 Digitalização de escrita manual

A recolha de dados para a análise da escrita manual foi realizada com indivíduos de várias idades, entre os 22 e os 52 anos, sendo que 6 eram do sexo masculino e 5 do sexo feminino. Primeiramente foi requerido ao participante o preenchimento de um abaixo assinado onde assumiu ter conhecimento do trabalho em que estava a participar e autorizando a utilização dos dados fornecidos. O formulário entregue a cada participante era composto por 3 folhas em que cada uma delas se referia a uma circunstância diferente. A primeira circunstância consistia em colocar a primeira folha em cima da mesa e preencher os campos de assinatura, sequência numérica, rubrica e a cópia de uma pequena frase, como exemplifica a Figura 3.6. Em seguida, a segunda circunstância era semelhante à primeira, mas em vez de a folha ser colocada em cima da mesa, era posicionada numa capa pousada em cima de uma perna, Figura 3.7. Por último, era solicitado ao participante que escolhesse uma assinatura da folha do abaixo assinado para copiar com a melhor qualidade possível, como pode ser visto na Figura 3.8.

O passo seguinte passou pela digitalização dos documentos para posteriormente analisar. A digitalização inicialmente realizou-se numa impressora com *scanner* da marca *HP*, onde a qualidade da imagem obtida era razoável, no entanto a resolução máxima conseguida era de 200 dpi, o que poderia fazer com que a imagem perdesse informação durante o processamento. Em seguida, foi utilizado o *scanner Epson Perfection 3490 Photo* no qual existia a opção de aumentar a resolução até aos

4800 dpi. Foram testados variados valores e o que pareceu reunir a qualidade necessária foi o de 600 dpi. As três folhas de cada um dos participantes foram assim digitalizadas e guardadas numa pasta atribuída a cada pessoa e dentro desta existem três pastas, uma para cada circunstância.

Posteriormente foi feita uma nova aquisição, desta vez orientada somente aos estudantes do Instituto Superior de Engenharia do Porto, sendo que o formulário inicial sofreu algumas alterações que foram consideradas necessárias. Foram igualmente entregues 3 folhas aos participantes (ver Anexo A). A primeira trata-se de um consentimento de participação, em que são fornecidos dados como o número mecanográfico, a assinatura, sexo (feminino/masculino) e idade. A segunda incluía, tal como na versão anterior, a recolha novamente da assinatura, de sequências numéricas e a cópia de texto mas ainda mais um campo que consistia na cópia de símbolos. Por último, a terceira folha consistia na imitação de outros participantes; o indivíduo identifica o imitado pelo seu número mecanográfico e realiza pelo menos uma imitação da assinatura, de uma sequência numérica e de um texto. A digitalização destes documentos foi semelhante à anterior, com a pequena diferença que a resolução utilizada foi apenas de 300 dpi num *scanner* com alimentador automático, não havendo necessidade de uma resolução tão elevada da imagem e fazendo assim com que esta ocupasse menos de metade do espaço das anteriores. O formulário aqui descrito encontra-se em anexo, uma vez que poderá utilizado em trabalhos futuros.

Obtidas todas as imagens das notas de euro e dos documentos escritos, o passo seguinte foi o processamento das imagens, com a devida segmentação das mesmas para uma posterior análise.

PARTICIPANTE ID: <u>10</u> Sexo: <u>F</u> Idade: <u>22</u> Estatura(cm): <u>165</u>	A preencher pelo técnico: Data: <u>07/07/2014</u> Hora: <u>16:20</u> Circunstância: <u>1</u>
---	--

Assinatura
 Neste campo é pedido ao participante que assine conforme o documento de identificação.

Filipa dos Santos Pinto

Filipa dos Santos Pinto

Filipa dos Santos Pinto

Filipa dos Santos Pinto

Filipa dos Santos Pinto

Sequência Numérica:
4 8 5 1 7 0 3 6 2 9
 Neste campo é pedido ao participante que reproduza a sequência numérica acima indicada, respeitando o espaço entre os algarismos.

4 8 5 1 7 0 3 6 2 9

4 8 5 1 7 0 3 6 2 9

4 8 5 1 7 0 3 6 2 9

4 8 5 1 7 0 3 6 2 9

4 8 5 1 7 0 3 6 2 9

Rubrica

F.Pinto

F.Pinto

F.Pinto

F.Pinto

F.Pinto

Texto
 Reproduza o seguinte texto:
 "Um dia de chuva é tão belo como um dia de sol.
 Ambos existem, cada um como é."

"Um dia de chuva é tão belo como um dia de sol. Ambos existem, cada um como é."

Fig. 3.6: Exemplo folha de aquisição circunstância 1.

PARTICIPANTE ID: <u>10</u> Sexo: <u>F</u> Idade: <u>22</u> Estatura(cm): <u>165</u>		A preencher pelo técnico: Data: <u>07/01/2014</u> Hora: <u>16:20</u> Circunstância: <u>2</u>
Assinatura Neste campo é pedido ao participante que assine conforme o documento de identificação.	Sequência Numérica: 4 8 5 1 7 0 3 6 2 9 Neste campo é pedido ao participante que reproduza a sequência numérica acima indicada, respeitando o espaço entre os algarismos.	
<u>Filipa dos Santos Pinto</u>	<u>4 8 5 1 7 0 3 6 2 9</u>	
<u>Filipa dos Santos Pinto</u>	<u>4 8 5 1 7 0 3 6 2 9</u>	
<u>Filipa dos Santos Pinto</u>	<u>4 8 5 1 7 0 3 6 2 9</u>	
<u>Filipa dos Santos Pinto</u>	<u>4 8 5 1 7 0 3 6 2 9</u>	
<u>Filipa dos Santos Pinto</u>	<u>4 8 5 1 7 0 3 6 2 9</u>	
Rubrica	Texto Reproduza o seguinte texto: "Um dia de chuva é tão belo como um dia de sol. Ambos existem, cada um como é."	
<u>FPinto</u>	<u>"Um dia de chuva é tão belo como um dia de sol. Ambos existem, cada um como é."</u>	
<u>FPinto</u>		
<u>FPinto</u>		
<u>FPinto</u>		
<u>FPinto</u>		

Fig. 3.7: Exemplo folha de aquisição circunstância 2.

PARTICIPANTE ID: <u>10</u> ID escolhido: <u>5</u> Sexo: <u>F</u> Idade: <u>22</u> Estatura(cm): <u>165</u>	A preencher pelo técnico: Data: <u>07/07/2014</u> Hora: <u>16:20</u> Circunstância: <u>3</u>
--	--

Assinatura
Neste campo é pedido ao participante que copie 5 vezes uma assinatura à escolha da folha do Abaixo Assinado.

Joana Filipa Pinto e Silva

Joana Filipa Pinto e Silva

Joana Filipa Pinto e Silva

Joana Filipa Pinto e Silva

Joana Filipa Pinto e Silva

Fig. 3.8: Exemplo folha de aquisição circunstância 3.

Processamento das imagens

Após a aquisição das imagens das notas foi desenvolvido, em *Python*, um *script* que permitia selecionar as imagens de interesse, fazer a segmentação da nota e a localização das marcas de segurança consideradas. Foram testados diversos algoritmos de segmentação da imagem, no sentido de encontrar o método mais robusto para este processo.

Os elementos de segurança estão presentes em todas as notas em vários formatos. Existe, por exemplo, microimpressão, holograma, sensibilidade à luz UV, entre outras. Podem ser reconhecidas cerca de 10 marcas de segurança presentes e para este trabalho foram utilizadas as consideradas mais importantes e de mais fácil reconhecimento por parte do ser humano. Manualmente e recorrendo a um paquímetro foram registadas as coordenadas físicas de início e fim de cada uma destas marcas, para que, a partir do *template*, fosse possível encontrar essas mesmas marcas qualquer que fosse a distância do objeto à margem da imagem. Escolheram-se 9 marcas a ser reconhecidas, exceto na nota de 5€ da série europa em que um dos elementos de segurança deixou de existir e não foi considerado nenhum outro.

Tendo em conta que algumas destas marcas são melhor visíveis em planos de espaços de cor alternativos, fez-se uma análise de qual o melhor plano de cor para verificar cada um dos elementos, melhorando assim a capacidade da função de detectar e assinalar, com um retângulo vermelho, esse elemento. Para fazer essa análise converteu-se a imagem RGB nos espaços de cor HSV e Lab e obteve-se os respetivos planos de cor (3 por espaço, num total de 9 planos).

Relativamente à escrita manual foram também elaborados alguns *scripts* em *Python* no sentido de obter as regiões de interesse (*roi*) de modo a serem posteriormente extraídas características a partir das quais se possam obter classificações em

casos verdadeiros ou contrafeitos.

Como foi referido anteriormente, todos os seres humanos adquirem ao longo da vida características próprias na escrita as quais não podem ser replicadas. A inclinação da letra, a pressão exercida pela caneta (ou outro objeto de escrita), o tamanho, entre outras características por muito que possam ser semelhantes entre dois indivíduos existem sempre pontos e pormenores que são próprios de um e de outro. O objetivo do *script* desenvolvido neste trabalho é criar uma base para um trabalho futuro de classificação destas mesmas características de forma a permitir avaliar qual a probabilidade de um documento ter sido escrito por uma determinada pessoa, ressalvando sempre que nunca podemos afirmar com 100% de certeza que um documento foi ou não escrito por um determinado indivíduo.

4.1 Linguagem *Python*

O *Python* é uma linguagem de programação interpretada (não necessita de compilação, isto é, não é traduzida para uma linguagem de "máquina"), com código fonte *open – source*, ou seja, é uma ferramenta livre e que não precisa de licença paga. Em geral, as linguagens de programação têm como objetivo automatizar ações tornando assim os processos mais rápidos. No caso de uma série de ações terem de ser realizadas com maior frequência sobre uma imagem pode ser criado um *script* que processe automaticamente um conjunto de tarefas sobre a imagem em estudo, reduzindo o tempo dispendido e agilizando a operação. O *Python* permite que o *script* desenvolvido seja reduzido e de fácil leitura, para além de ficar mais organizado [40].

O ambiente de desenvolvimento de código utilizado foi o *Python(x, y)* que permite a utilização de *toolboxes* facilitando a inclusão de outros métodos não pertencentes ao módulo base do *Python* mas presentes em bibliotecas que podem ser importadas. As *toolboxes* incluídas nos *scripts* desenvolvidos foram: *OpenCV*, *numpy*, *scipy*, *matplotlib*, *MySQLdb*, *pylab*, *sympy* e *skimage*.

A escolha do ambiente *Python(x, y)* para desenvolvimento do trabalho de aquisição e processamento de imagens permite que as metodologias desenvolvidas para a prossecução deste projeto sejam implementadas de forma eficaz mas com recurso a poucas linhas de código. Fornece também ferramentas de visualização que conjugadas permitem uma melhor compreensão e avaliação dos resultados das funções disponibilizadas pelas *toolboxes*. Permite também o desenvolvimento de novas funções sempre que as disponibilizadas não executem o pretendido.

4.2 Planos de cor

Os planos ou espaços de cores são modelos matemáticos abstratos que definem a constituição das cores, geralmente formadas por três elementos (por exemplo, RGB que representa *Red Green Blue*). Cada espaço de cor é definido então pelos seus elementos, que são combinados de forma a ser obtida a cor que se deseja. Neste trabalho os espaços de cor que foram estudados para o processamento das imagens foram: RGB, HSV e Lab.

O modelo RGB, *Red Green Blue* (Vermelho, Verde, Azul) descreve as cores segundo a conjugação de três cores, como pode ser visto na Figura 4.1, em que a intensidade de cada uma delas varia entre 0 e 1, intensidades mínima e máxima respetivamente [41, 42, 43]. A luz branca será assim produzida através da coincidência das 3 cores ao mesmo tempo, que corresponde ao ponto onde os círculos se sobrepõem. A conjugação de diferentes intensidades de cada um dos componentes permite a obtenção das mais variadas cores existentes. A sobreposição destas cores principais nas intensidades máximas, geram novas cores:

- vermelho + azul = magenta
- vermelho + verde = amarelo
- azul + verde = ciano

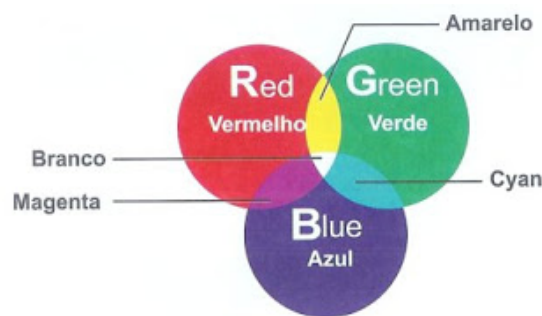


Fig. 4.1: Modelo RGB.

Já o modelo HSV (*Hue Saturation Value*) faz a conjugação entre a matiz, a saturação e a luminância [42, 43]. O modelo é representado por uma pirâmide hexagonal (Figura 4.2 (a)) em que cada um dos vértices corresponde a uma das cores do RGB (vermelho, verde, azul, ciano, amarelo e magenta). A medição da saturação é feita ao longo do eixo horizontal, enquanto que a luminância é medida

segundo o eixo vertical, que passa pelo centro da pirâmide. Quando o valor da matriz é 0 significa que a imagem está em escala de cinzas e, por outro lado, quando o valor é 1 indica que a cor está na sua máxima pureza.

O último modelo utilizado foi o Lab, em que o "L" representa a luminosidade e a e b assumem o valor de duas cores [44]. O L quando toma o valor de 0 temos preto e quando toma o valor de 1 apresenta-se um branco difuso. A componente a quando é menor do que zero tem uma cor próxima do verde e quando é maior do que zero aproxima-se do magenta, como se pode verificar na Figura 4.2 (b). Já a componente b , quando tem um valor menor do que zero, tem uma cor próxima do azul e quando assume valor maior do que zero tem uma cor próxima do amarelo.

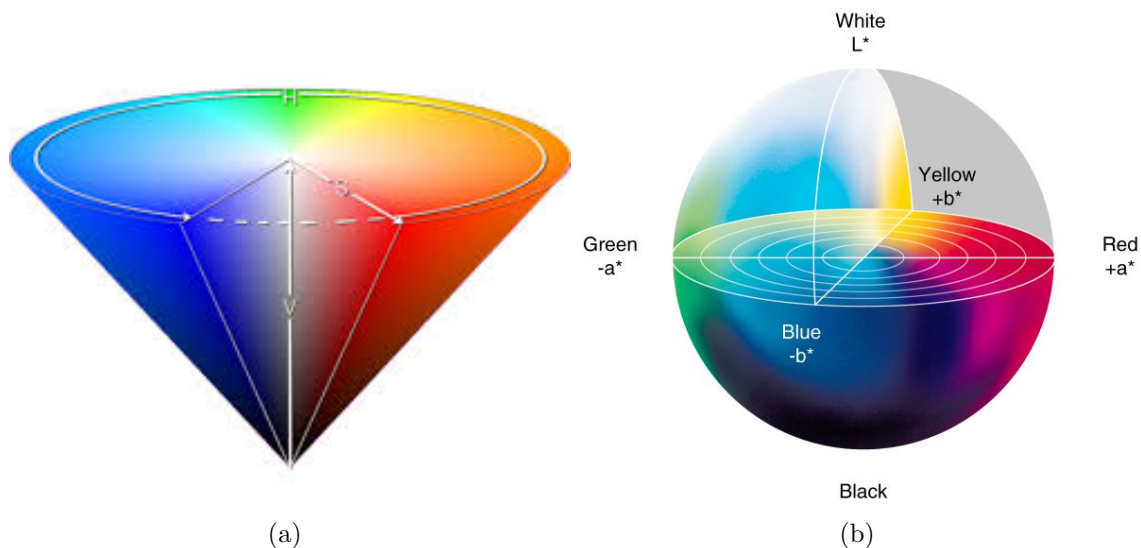


Fig. 4.2: Modelos dos espaços de cor: (a) HSV; (b) Lab.

4.3 Base de Dados

A fim de guardar as imagens adquiridas, bem como as informações associadas a estas, foi criada uma base de dados (BD). A BD foi pensada e criada de forma a englobar vários ramos da Medicina Forense e ser uma ferramenta genérica com módulos específicos para cada uma dessas áreas, incluindo ainda um módulo de base que permite a ligação entre todas as unidades.

A BD contém os módulos: balística (*ballistics*), identificação forense de ossadas (*bones*), análise espectral de notas e escrita manual (*spectral*) e reconhecimento facial (*facerec*). Este trabalho incide sobre o módulo *spectral*, em que é feita a avaliação

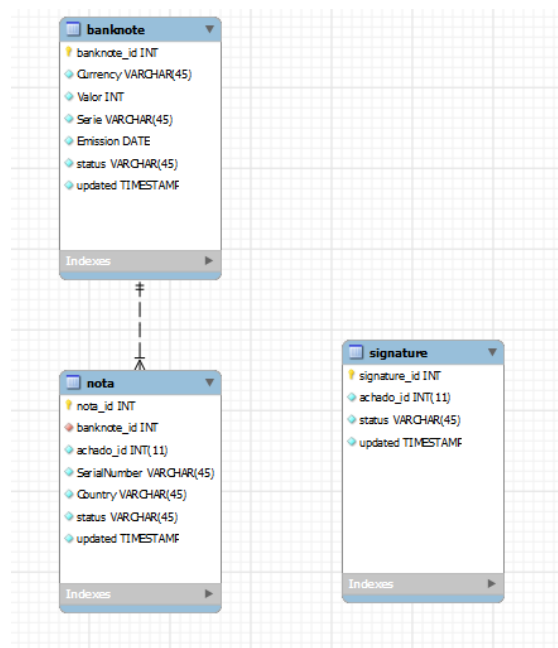


Fig. 4.3: Modelo relacional da BD do módulo *spectral*.

de notas de euro e de escrita manual. Para além disso são definidas, no módulo base, as tabelas relacionais entre utilizadores do sistema e aspetos genéricos de cada módulo.

No módulo base é permitido definir os utilizadores, bem como guardar os dados relativos a estes. As permissões dos utilizadores variam conforme o tipo de utilização que estes possam fazer da aplicação, podem ser: *admin*, *expert* ou *technic*. Ainda no módulo base são definidos os tipos de evidência e as modalidades de imagiologia afetos a todos os módulos da aplicação.

O módulo *spectral* foi criado especificamente para este trabalho. Este é composto por três tabelas (ver Figura 4.3), *banknote*, *nota* e *signature*, correspondendo cada uma a um tipo de evidência.

- *banknote*: nota de banco emitida (evidência abstrata), com os campos *banknote_id*, *Currency*, *Valor*, *Serie*, *Emission*, *status* e *updated*.
- *nota*: nota de banco que pode ser verdadeira, suspeita ou falsa (evidência concreta), com os campos *nota_id*, *banknote_id*, *Country*, *status* e *updated* (exemplo Tabela 4.2).
- *signature*: assinatura (escrita manual), com os campos *signature_id*, *status* e *updated*.

Relativamente às modalidades de imagiologia para as evidências deste módulo, foram definidos quatro tipos abaixo indicados.

- VLT: *Visible Light Transmission* (Luz Visível Transmitida).
- VLR: *Visible Light Reflected* (Luz Visível Refletida).
- UVaR: *Ultraviolet A 365nm Reflection* (Ultravioleta A 365nm Refletida).
- UVcR: *Ultraviolet C 254nm Reflection* (Ultravioleta C 254nm Refletida).

A tabela *banknote* é a primeira tabela a ser preenchida e identifica cada tipo de nota, consoante o seu valor e série. Existem 9 notas de diferentes tipologias, sendo alguns ilustrados na Tabela 4.1. Uma vez definidos os tipos de nota existentes podem ser inseridas as evidências na tabela *nota*, onde são introduzidos os seguintes campos: *nota_id* que é incrementado automaticamente, *banknote_id* referente aos valores assumidos anteriormente, *SerialNumber* que corresponde ao número de série da evidência, *Country* definindo o país que emitiu a nota, o *status* representando o estado do estudo e *updated* será a data da última atualização feita na evidência.

Tab. 4.1: Tipos de notas de euro considerados.

<i>banknote_id</i>	<i>Currency</i>	<i>Valor</i>	<i>Serie</i>
1	EUR	5	1
2	EUR	10	1
3	EUR	20	1
4	EUR	50	1
...

Tab. 4.2: Exemplo tabela *nota*.

<i>nota_id</i>	<i>banknote_id</i>	<i>SerialNumber</i>	<i>Country</i>	<i>status</i>	<i>updated</i>
1	1	M18892385032	PORTUGAL	available	NULL
5	2	M21495714142	PORTUGAL	available	NULL
11	3	P35901333883	NETHERLANDS	available	NULL
13	8	UA9062802084	FRANCE	available	NULL
...

No sentido de interligar todos os módulos e de reunir o maior número de informação possível foi criada a tabela *study*, que reúne todos os dados de cada estudo imagiológico das evidências dos vários módulos.

Tab. 4.3: Exemplos de estudos da tabela *study*.

<i>study_id</i>	<i>EvidenceType</i>	<i>EvidenceID</i>	<i>BodyPart</i>	<i>Modality</i>	<i>Protocol</i>	<i>StudyStatus</i>	<i>updated</i>
0	nota	1	evidence	VLT	frente	requested	NULL
0	nota	1	evidence	VLT	verso	uploaded	NULL
0	nota	1	evidence	UVaR	frente	rejected	NULL
0	nota	1	evidence	UVaR	verso	available	NULL

A tabela *study* (Tabela 4.3) engloba vários campos como: *study_id*, *EvidenceType*, *EvidenceID*, *BodyPart*, *Modality*, *Protocol*, *StudyStatus* e *updated*. O campo *study_id*, como o nome sugere, indica qual o número de identificação do estudo. O *EvidenceType* refere-se ao tipo de evidência, isto é, neste campo distingue-se a que módulo pertence uma determinada evidência e o *EvidenceID* trata-se do número de identificação da evidência na tabela do módulo respetivo. A *BodyPart* pode ser a evidência em si ou uma parte desta. A *Modality* refere-se ao tipo de modalidade com que a evidência foi adquirida, no caso deste trabalho os tipos de modalidade são os acima referidos (VLT, VLR, UVaR e UVcR) e o *Protocol* pode assumir o valor de frente ou verso. Quanto ao *StudyStatus* pode ter vários valores: *requested*, *uploaded*, *rejected* ou *available*. Por fim, o campo *updated* tem a data da última atualização de cada evidência.

- *requested*: estudo foi requerido pelo *expert*
- *uploaded*: estudo foi executado e enviado para aprovação pelo *technic*
- *rejected*: estudo enviado foi rejeitado pelo *expert*
- *available*: estudo enviado foi aceite pelo *expert*

A sequência de campos desta tabela permite chegar à imagem que cada linha representa, isto é, foi criada uma sequência de pastas que permite que, concatenando

os campos da linha, se obtém o caminho para a pasta que contém a imagem a que se pretende ter acesso, sendo que a sequência será, por exemplo:

```
"EvidenceType\EvidenceID\BodyPart\Modality\Protocol"  
(exemplo: "nota\1\evidence\UVaR\verso")
```

Optou-se por esta estrutura das pastas que continham as imagens de uma evidência e, por isso, também a respeitar pelo preenchimento dos campos da BD porque estabeleceu-se de início que os algoritmos colocavam junto às evidências os resultados dos respetivos processamentos, permitindo assim uma fácil avaliação destes.

4.4 Métodos de processamento

4.4.1 Imagens das notas de Euro

O processamento das imagens seguiu o procedimento indicado no diagrama da Figura 4.4.



Fig. 4.4: Diagrama do processamento das imagens.

Inicialmente foram processadas as imagens das notas, uma vez que foram as primeiras evidências a ser adquiridas. O primeiro passo foi o desenvolvimento de um algoritmo simples que permitisse aceder às imagens que se desejasse ver, por exemplo, podiam ser apresentadas somente as imagens das notas de 5 € ou somente as de 10 €, por outro lado podiam simplesmente ser mostradas as imagens de todas as modalidades e protocolos da frente de todas as notas ou só uma modalidade ou um protocolo. Este passo era necessário para definição das modalidades e protocolos mais adequados para as primeiras metodologias a desenvolver pois haviam 8 imagens RGB disponíveis para cada evidência.

Em seguida implementou-se a metodologia indicada no diagrama da Figura 4.4 que se processa por fases.

1. A primeira fase lê a informação respeitante ao tipo de evidência na BD.

2. Na segunda fase carrega-se a imagem respeitante à modalidade e protocolo definida para a segmentação.
3. Na fase seguinte procede-se à segmentação da região de interesse da imagem, onde deve constar apenas a nota.
4. Após a segmentação, nesta quarta fase, para cada elemento de segurança, lidos na primeira fase, vai-se carregar a imagem na modalidade e protocolo definido para essa característica e localizar a região de interesse que contém esse elemento de segurança.
5. Após localização de cada região de interesse, correspondente a cada elemento de segurança, procede-se à extração de características desse elemento.
6. Finalmente, as características extraídas dos elementos de segurança dão entrada num classificador que procede à discriminação entre verdadeira e falsa.

Na primeira fase para além de ser consultada a informação respeitante na tabela *banknote* para aquele tipo de evidência, acedia ainda a um ficheiro de dados onde obtinha informações sobre a sua tipologia de nota (ver tabelas 4.4 e 4.5). Este ficheiro inclui dados específicos como a identificação (*ID*) dessa nota, um ponto de observações que contém o valor desta, a largura e altura da nota pretendida e ainda especificações sobre os elementos de segurança como:

- característica
- designação
- posição física inicial (eixo horizontal e vertical)
- posição física final (eixo horizontal e vertical)
- modalidade em que essa característica é mais visível
- protocolo (se o elemento é visível na frente ou no verso da nota)
- espaço de cor - informação sobre qual o espaço de cor mais adequado para verificar o elemento
- plano de cor - dentro do espaço de cor qual o melhor plano para fazer a verificação

Tab. 4.4: Exemplo de tabela de especificações de cada nota (medidas em mm - milímetros).

<i>banknote_id</i>	1
observações	5.00 €
largura	120
altura	62

Tab. 4.5: Exemplo de tabela com as características dos elementos de segurança.

Característica	Designação	<i>x_inicial</i>	<i>y_inicial</i>	<i>x_final</i>	<i>y_final</i>	Modalidade	Frente/Verso	Espaço de cor	Plano de cor
X1	marca de água	0	15.5	27.7	44.65	VLT	frente	RGB	B
X3	bandeira	12.7	0	30.6	17.2	UVaR	frente	HSV	S
X5	fio segurança	50.95	0	54.25	62	VLT	frente	Lab	L
X6	fio segurança	63.55	0	69.4	62	VLT	verso	Lab	L

Na segunda fase é carregada a imagem e visualizada toda a informação respeitante à evidência em estudo.

Para implementar a segmentação (terceira fase da metodologia) foram testadas várias abordagens. Neste passo pretende-se a deteção dos cantos da nota de forma a obter a região de interesse (*roi*), que corresponde ao retângulo envolvente de toda a imagem da nota.

Para a obtenção da *roi*, para além das habituais técnicas de *threshold*, foram realizados vários testes com o objetivo de verificar qual o melhor processo de obtenção da região. As metodologias analisadas foram:

- deteção de cantos
- por projeção da informação sobre a horizontal e vertical
- por deteção de contornos seguida de deteção de linhas
- comparação por *template matching*.

A deteção de cantos baseou-se no método de Harris [45] uma vez que parecia ser a opção mais viável, no entanto foi descartada por não detetar somente os cantos

da nota, ou seja, todos os cruzamentos de duas linhas eram considerados cantos e como algumas notas já estavam usadas, os seus cantos já não correspondiam ao cruzamento de duas linhas perpendiculares entre si. Sobre a mesma evidência apresentada na Figura 3.4 foi aplicado este método, tendo-se obtidos resultados como os apresentados na Figura 4.5 (a). Como se pode verificar, os cantos da nota não são sequer detetados por este método na Figura 4.5 (b).



Fig. 4.5: Detecção de cantos pelo método de Harris: (a) exemplo em que deteta os cantos; (b) exemplo em que falha deteção.

Procurou-se de seguida um método que fosse mais robusto pois este falhava em alguns casos, tais como o mostrado na Figura 4.5 (a).

Outro método testado baseou-se na projeção sobre a horizontal e vertical da informação relativa à intensidade dos pixels da imagem. Utilizou-se para isso a análise da média da intensidade da informação projetada sobre as direções referidas, quer da imagem original quer da imagem obtida após uma filtragem de um operador de derivada direcional. O procedimento adotado para este processo foi:

- selecionar um plano de cor no espaço RGB
- filtragem de mediana com matriz de 9x9
- filtragem de derivada direcional na horizontal ou vertical, com o filtro derivada de dimensão 0,5% do tamanho da imagem (equação 4.1)
- cálculo da média da informação projetada na vertical ou horizontal
- divisão da imagem em 10 partes na horizontal e 3 na vertical para pesquisa dos máximos

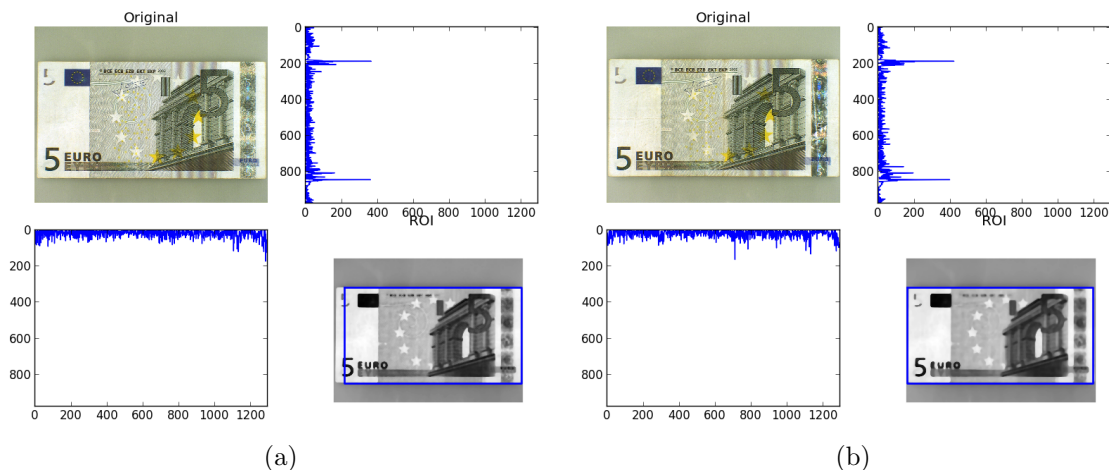


Fig. 4.6: Exemplo de análise da média da integração da informação.

- obtenção das coordenadas dos cantos da nota

$$\begin{bmatrix}
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
 -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
 -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
 -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
 -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1
 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Tal como pode ser visto na Figura 4.6 (a) no histograma que se localiza na parte superior direita verificam-se dois picos, que correspondem ao início e fim da nota no eixo vertical. Em baixo à esquerda, podemos ver o histograma do eixo horizontal, que o máximo à esquerda não corresponde ao início da nota, fazendo com que a região de interesse não seja corretamente segmentada.

O terceiro processo para deteção da *roi* baseou-se no filtro de deteção de contornos seguido de um detetor de linhas baseado no algoritmo EM em vez do habitual baseado na transformada de *Hough*. Este é um método estatístico que permite encontrar também os declives e ordenadas na origem das retas que delimitam a nota. Verificou-se que não era funcional para todas as imagens, tal como se pode ver na Figura 4.7.

Por fim, recorreu-se à comparação da região do *template*, correspondente aos cantos da nota, com toda a imagem retornando os melhores resultados de locali-



Fig. 4.7: Exemplo do terceiro processo de detecção de cantos: (a) acerta nos 4 cantos da nota; (b) falha superior a 15 píxels na detecção de um dos cantos.

zação dos cantos, a partir do valor ótimo. Nesta implementação existem vários métodos possíveis para a obtenção de resultados, dependendo de diferentes formas de comparação entre a imagem e o *template*. Por fim, o melhor resultado, isto é, a localização do canto da nota pode ser obtido a partir do mínimo ou do máximo global, dependendo do método utilizado. Para *template* usaram-se os cantos, com as dimensões 400×400 píxels (cerca de 4×4 cm), de uma nota considerada modelo para a tipologia em estudo. A Figura 4.8 mostra um exemplo do método aplicado sobre a evidência da Figura 3.4.



Fig. 4.8: Detecção de cantos por comparação com um *template*.

Após avaliar os vários métodos de segmentação da imagem aqui propostos, determinou-se que o que permitia a obtenção de melhores resultados, percorrendo todas as imagens e sem que houvesse perda de informação, era, este último, o de

comparação da imagem com o *template*.

A fase seguinte é a extração de características das medidas de segurança de cada tipo de nota. A entrada desta função requer somente um *ID* de uma nota e a partir deste dado faz uma pesquisa sobre esse tipo de nota e quais as suas características e quais as particularidades de cada medida de segurança, descritas no ficheiro *ROI*, exemplificado nas tabelas 4.4 e 4.5. Uma vez que as medidas que constam nas tabelas se encontram em milímetros e a imagem se encontra em pixéis, é necessário escalar a imagem e determinar qual o valor de pixéis por milímetro para que as medidas de segurança possam ser encontradas nas imagens. Em seguida cada medida é localizada na modalidade e protocolo que mais se adequa, tal como está descrito na tabela 4.5 que, por exemplo, o fio de segurança se encontra com maior precisão no espaço de cor Lab e no plano "L". Na Figura 4.9 é apresentado um estudo do espaço e plano mais adequados a utilizar na deteção da medida X3, a bandeira, que como pode ser observado esta tem uma maior definição no plano "H" do espaço HSV e portanto estes foram os dados registados no ficheiro auxiliar.

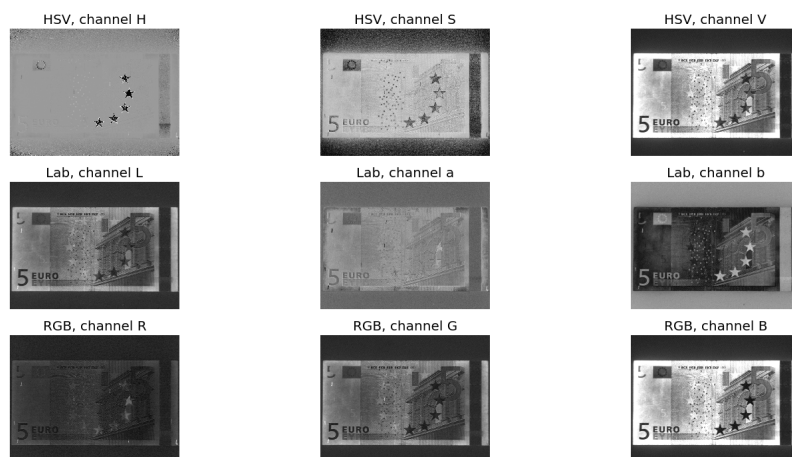


Fig. 4.9: Estudo do espaço e plano de cor para a medida de segurança X3 (bandeira).

No final deste estudo obtém-se uma sequência das imagens das várias modalidades e dos dois protocolos com as devidas medidas de segurança assinaladas na modalidade e protocolo em que devem ser analisadas, como se pode ver na Figura 4.10. Como se pode verificar, nem todas as medidas de segurança estão corretamente assinaladas, uma vez que é utilizado o método de comparação por *template* para encontrar as medidas na imagem do estudo considerando as mesmas no respetivo *template*. Deve ter-se em conta que há medidas que são visíveis nos dois protocolos

(frente e verso), tais como o fio de segurança, a marca de água e a sobreposição de valor e que é igualmente importante a presença destas nas duas imagens uma vez que são as que têm maior relevância.

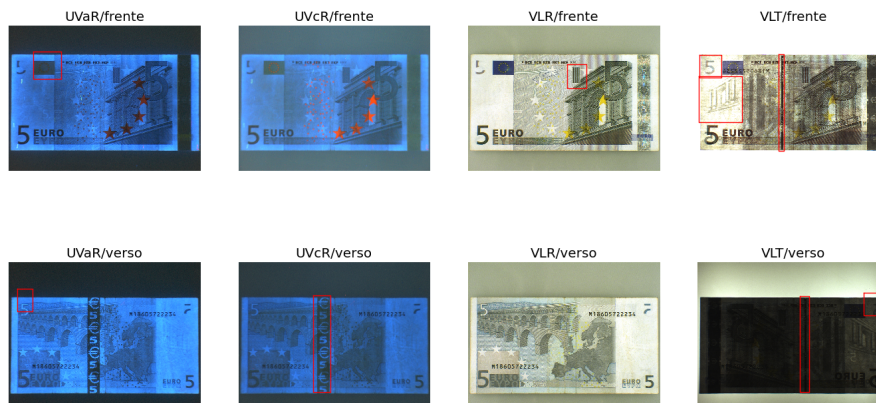


Fig. 4.10: Disposição das medidas de segurança da nota de 5€ obtida a partir do algoritmo final.

Todo este processo de desenvolvimento dos métodos de obtenção de melhores resultados foram morosos, fazendo com que os passos 5 e 6 do diagrama da Figura 4.4 não tivessem sido desenvolvidos. Uma vez que foi inviável a obtenção, ainda que por um curto espaço de tempo, de evidências contrafeitas para aquisição de imagens e posterior processamento, a extração de características não fazia sentido desenvolver, visto que haviam apenas evidências verdadeiras para classificar, impossibilitando a obtenção de resultados credíveis em situação de existência de possíveis falsas. Iriam ser obtidos intervalos de variação das características apenas para as notas verdadeiras, não sabendo quais os valores que as notas contrafeitas tomariam para a mesma característica e, portanto, impedindo a continuação do processo de classificação uma vez que não era possível saber se aquela característica permitia a distinção entre evidências verdadeiras e falsas. Assim sendo, sem a extração de características de elementos de ambas as classes, não se prosseguiu com a construção de um classificador.

Uma outra via de apreciação destas evidências poderá ser por meio da análise da imagem a 3 dimensões (3D). A título de exemplo, a Figura 4.11 mostra a reconstrução 3D da imagem da superfície da nota. Esta foi obtida a partir de microscópio ótico, recorrendo à modalidade *MultiFocus*, fazendo varrimentos entre -0.5 mm até

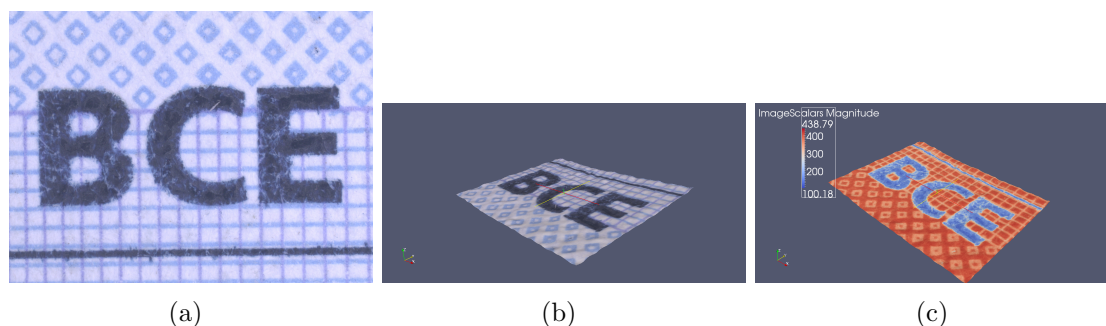


Fig. 4.11: Reconstrução 3D de elemento de segurança das notas de euro: (a) projeção a duas dimensões; (b) construção imagem 3D; (c) mapa de profundidade.

0.5 mm, permitindo a reconstrução da superfície da nota numa imagem. As diferentes profundidades da superfície da nota pode ser visualizada no mapa de cores presente na imagem da Figura 4.11.

Este eventualmente será um meio de verificação da textura do papel, de controlo do relevo presente em alguns elementos das notas ou mesmo de comparação da distribuição de elementos num determinado ponto de impressão da mesma. Por exemplo, nas notas de 5€ da série Europa existe um elemento de segurança que corresponde ao valor da nota que quando se muda a inclinação desta, a cor alterna de verde escuro para verde esmeralda ou vice-versa. Neste elemento a concentração de verde no papel pode ser variável entre as diversas notas verdadeiras e, esta pigmentação podendo ser quantificada, poderiam ser determinados intervalos de valores para estas, no entanto não havendo possibilidade de ter acesso a notas contrafeitas é impossível determinar se pode ser um elemento de diferenciação entre as evidências verdadeiras e falsas.

A análise 3D da imagem das notas pode ser uma outra vertente de análise e classificação de notas de euro usando as ferramentas de microscopia ótica, aliadas com outros métodos como o desenvolvido neste trabalho.

4.4.2 Imagens da escrita manual

O processamento das imagens dos formulários seguiu o procedimento presente no diagrama da Figura 4.12.

O processo de análise da escrita manual começou por ter como objetivo a segmentação da imagem e, com isso, fazer a separação das assinaturas e das sequências numéricas individualmente. Como os formulários foram definidos geometricamente com dimensões rígidas, o primeiro passo consistiu em determinar a posição do pixel



Fig. 4.12: Diagrama do processamento dos formulários.

inicial (x_0 e y_0) da primeira *roi* do formulário, a largura e a altura do retângulo a segmentar e a tolerância do espaçamento entre as diversas *rois* (*gap*) sendo criado um ficheiro do tipo *dat* com essas especificações, como se mostra na Tabela 4.6. A partir destas medidas foi possível obter as 10 *rois* correspondentes a:

- 5 exemplares de assinatura;
- 5 cópias da sequência numérica.

O resultado final da segmentação das assinaturas, regiões delimitadas pelos retângulos vermelhos, e das sequências numéricas, retângulos a verde, está ilustrado na Figura 4.13 para uma evidência. Para implementar a metodologia proposta no diagrama da Figura 4.12 e no sentido de automatizar este processo foi criado um *script* para auxiliar na segmentação das assinaturas. O *script* elaborado permite ao utilizador definir a posição do píxel inicial (canto superior esquerdo da primeira *roi* - assinaturas) e controlar as medidas de recorte da imagem de cada elemento de modo a corresponder apenas às *rois*. Na Figura 4.14 mostra-se o resultado obtido para um destes formulários. A ferramenta tem a facilidade de permitir alterar esse ponto inicial nos eixos horizontal e vertical, bem como ajustar a altura e largura padrão das regiões de interesse (previamente definida) e o *gap* em ambos os eixos, tendo de imediato acesso visual aos resultados. No final procedeu-se à gravação para uso futuro destes parâmetros associados às localizações das *rois* no ficheiro auxiliar de cada imagem. As imagens resultantes desta segmentação são também gravadas por ordem do operador nas pastas "assinatura" e "sequencia", respetivamente, e dentro destas divididos em pastas numeradas de 1 a 5, tal como protocolado na gestão definida para a BD *spectral*.

Para analisar a sequência numérica foi estabelecida uma metodologia de análise com o objetivo de extrair características para a sua classificação. Pretendia-se com isto analisar a sequência numérica e verificar se correspondia a uma escrita do autor a quem é atribuída ou a uma falsificação e, nesse caso, se haveria alguém que pudesse ter uma escrita equivalente, podendo porventura ser o autor daquela falsificação. Para isso desenvolveu-se um algoritmo, cujo diagrama está representado na Figura 4.15, que trata as imagens resultantes da segmentação anterior.

Tab. 4.6: Especificações ficheiro *dat* - medidas em píxels.

x0	562
y0	1462
largura	1849
altura	342
gapX	0
gapY	0

<p>Assinatura Neste campo é pedido ao participante que assine conforme o documento de identificação.</p>	<p>Sequência Numérica: 4 8 5 1 7 0 3 6 2 9 Neste campo é pedido ao participante que reproduza a sequência numérica acima indicada, respeitando o espaço entre os algarismos.</p>
<p>Filipa dos Santos Pinto</p>	<p>4 8 5 1 7 0 3 6 2 9</p>
<p>Filipa dos Santos Pinto</p>	<p>4 8 5 1 7 0 3 6 2 9</p>
<p>Filipa dos Santos Pinto</p>	<p>4 8 5 1 7 0 3 6 2 9</p>
<p>Filipa dos Santos Pinto</p>	<p>4 8 5 1 7 0 3 6 2 9</p>
<p>Filipa dos Santos Pinto</p>	<p>4 8 5 1 7 0 3 6 2 9</p>

Fig. 4.13: Esquema de segmentação dos formulários.

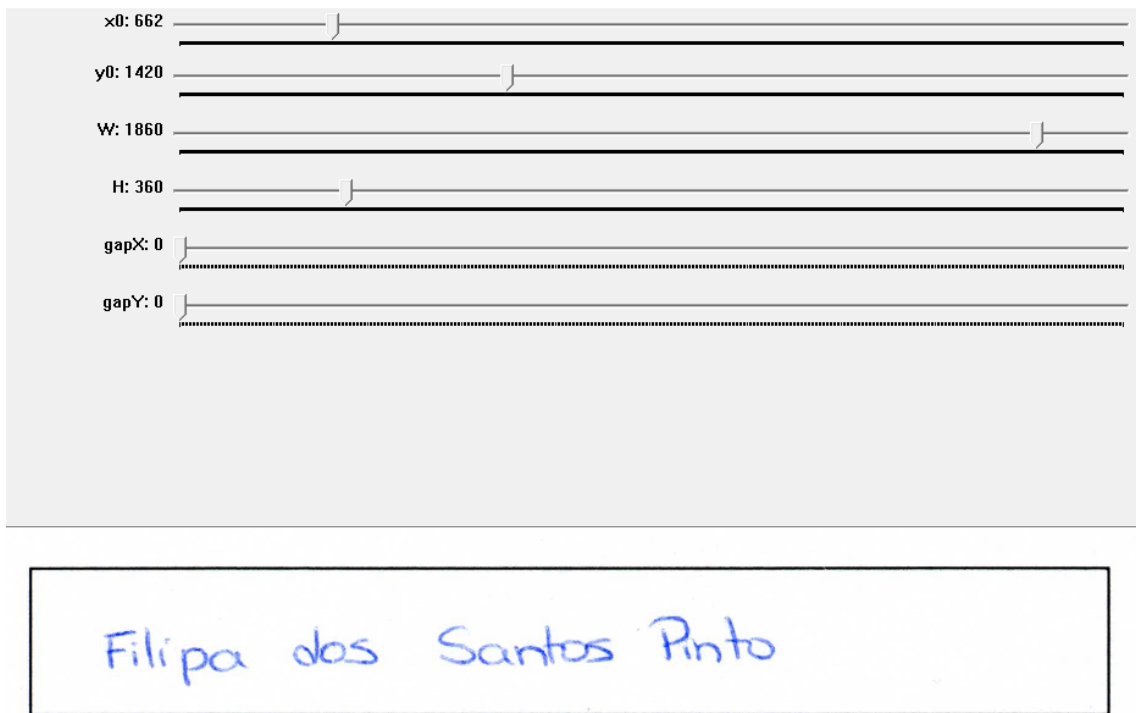


Fig. 4.14: Extração da região de interesse de uma assinatura.

Uma análise prévia a estas imagens baseada na transformação do espaço de cor RGB para HSV e Lab mostrou que havia planos de cor nestes espaços que permitiam a obtenção do fundo (formulário vazio) e a eliminação do fundo (escrita manual) concluindo-se que seria importante a conversão em espaços de cor alternativos ao RGB, como se pode verificar na Figura 4.16.

A imagem de uma sequência numérica é lida do disco e o primeiro passo é a redução para metade do tamanho, em altura e largura. Posteriormente é feita a transformação do espaço RGB para Lab permitindo a eliminação do fundo da imagem ao usar apenas o plano "a". É então feita uma suavização da imagem e é mostrado ao utilizador qual o aspeto que esta apresenta, demonstrado na Figura ??.

No sentido de individualizar os algarismos da sequência foram feitas duas tentativas para eliminar ruídos e espaços entre os traços que compõem um algarismo. Em primeiro lugar, e antes dos testes, foi realizada uma binarização da imagem removendo os píxels com os valores mais baixos (ruído). Como mostra a Figura 4.17, em seguida foi testada a projeção vertical mas ainda assim eram obtidos mais do que 10 objetos ou então objetos maiores do que a largura de um algarismo uma vez que alguns dos participantes aquando da escrita recorrente de uma determinada sequência, uniam certos algarismos e, portanto, não era possível individualizar os

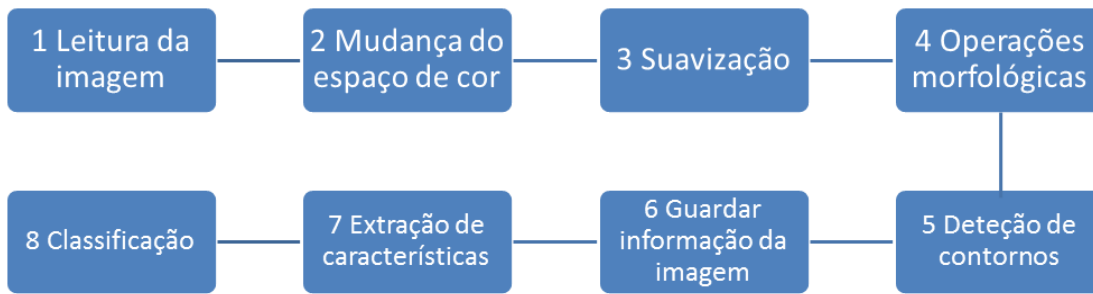


Fig. 4.15: Diagrama do processamento da sequência numérica.

mesmos.

Tendo tido este obstáculo na segmentação dos algarismos foi testada uma outra técnica para redução do ruído entre estes, que consistia na aplicação de operações morfológicas: erosão e dilatação. A erosão é um processo que faz crescer o fundo, isto é, que corrói os limites dos objetos, utilizando uma máscara designada de elemento estruturante e havendo um píxel preto (0) todos os píxels da imagem localizados dentro da máscara são processados como fundo ou não fundo, de acordo com o elemento estruturante. A operação de dilatação é o processo exatamente oposto ao da erosão, neste caso basta um elemento na imagem ser de valor 1 (branco) que todos os píxels sob a máscara tomam esse valor, este processo faz então com que haja um aumento da região branca da imagem. Os testes passaram por alternar entre estas duas operações, sendo que o melhor resultado se obteve com a sequência: dilatação, erosão e dilatação. No caso da primeira dilatação, o elemento estruturante utilizado é matriz de 3x3 para crescer toda a região branca de igual forma. Depois é aplicada a erosão com uma máscara de uma única linha e duas colunas (2x1). E, por fim, a segunda operação de dilatação tem uma máscara correspondente a uma coluna com duas linhas (1x2) (ver Figura 4.18).

O passo seguinte é a detecção dos algarismos presentes na imagem, para isso é utilizada uma função de pesquisa de contornos que retorna o número de contornos encontrados na imagem. Visto que alguns dos participantes inconscientemente ligaram dois ou mais objetos (ver Figura 4.19), o número retornado por esta função pode não ser o real, não só por este motivo mas também pela existência de algum ruído. Como se pode verificar, cada pessoa faz uma utilização diferente do espaço que é fornecido, uma vez que não é dada nenhuma indicação de qual a forma correta de escrita.

É novamente feita uma contagem do número de objetos (retângulos) e os dados sobre estes são gravados num ficheiro do tipo *dat*. Depois deste processo as imagens

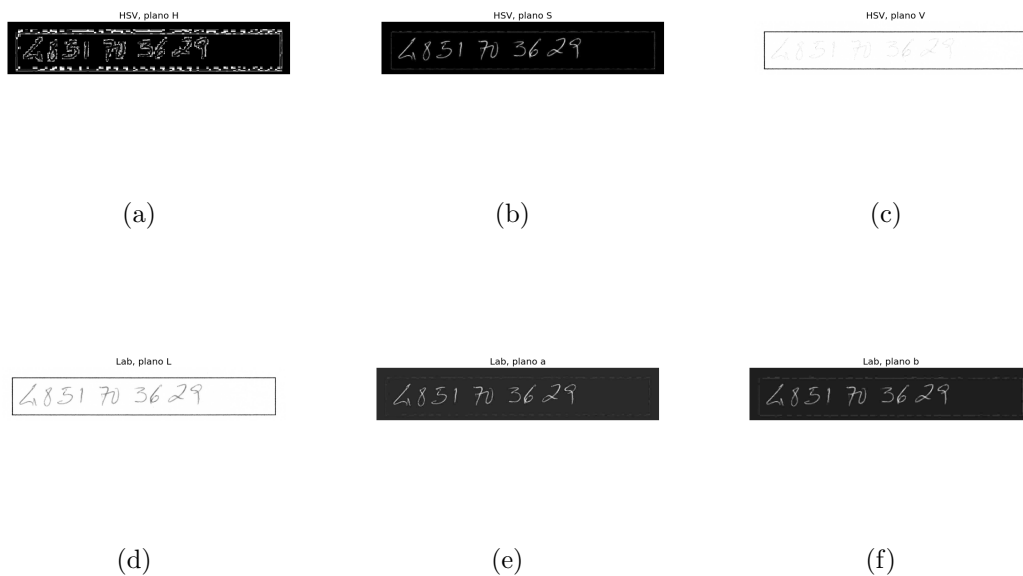


Fig. 4.16: Estudo dos planos de cor na segmentação das sequências numéricas: (a) espaço HSV, plano H; (b) espaço HSV, plano S; (c) espaço HSV, plano V; (d) espaço Lab, plano L; (e) espaço Lab, plano a; (f) espaço Lab, plano b.

são redimensionadas para serem apresentadas, posteriormente, ao utilizador. Na consola é apresentada uma mensagem de final do processo e são apresentados dados como: número de estudos, nome do algoritmo, modo de execução, data e hora de início e fim, tempo de execução e, por fim, o número de ciclos que executou, conforme ilustra a Figura 4.20. Como se pode verificar na figura o tempo de execução foi de pouco mais de 4 segundos, sendo que o *script* foi processado por um computador portátil da marca *Sony* com as seguintes características:

- Processador: Intel CORE i5 2410M
- Memória RAM: 4 GB
- Sistema operativo: Windows 7 Home Premium

A execução deste processo manualmente demoraria muito mais do que 4.53 segundos e a segmentação não seria a mais correta uma vez que dependeria da interpretação de cada um dos técnicos e poderiam não ficar todas as *rois* igualmente segmentadas, sendo o *script* muito mais eficaz na execução desta ação.

O passo que se segue é a seleção da imagem da sequência no espaço RGB. Ao mesmo tempo é feita a leitura do ficheiro que contém os dados sobre os retângulos

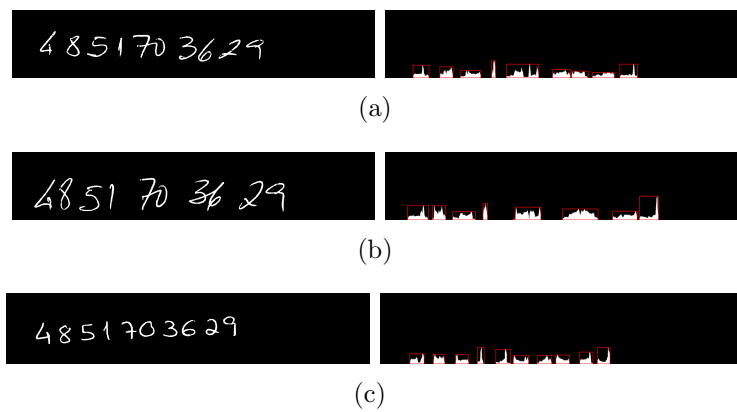


Fig. 4.17: Exemplos de seqüências numéricas e das respectivas projeções no eixo vertical.

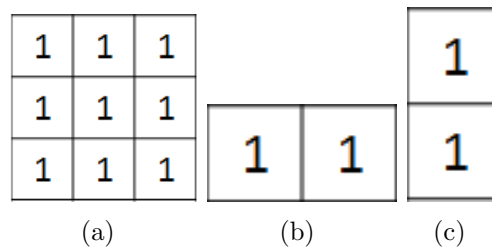


Fig. 4.18: Matrizes dos raios de *kernel* utilizados: (a) matriz 3x3; (b) matriz 2x1; (c) matriz 1x2.

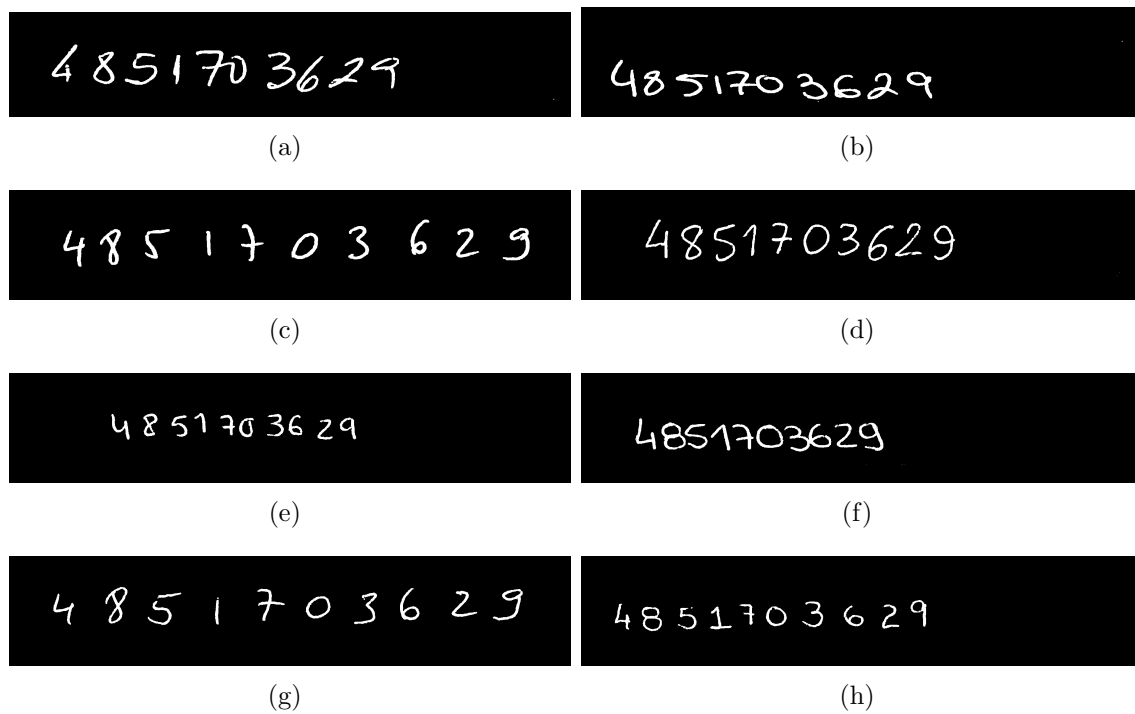
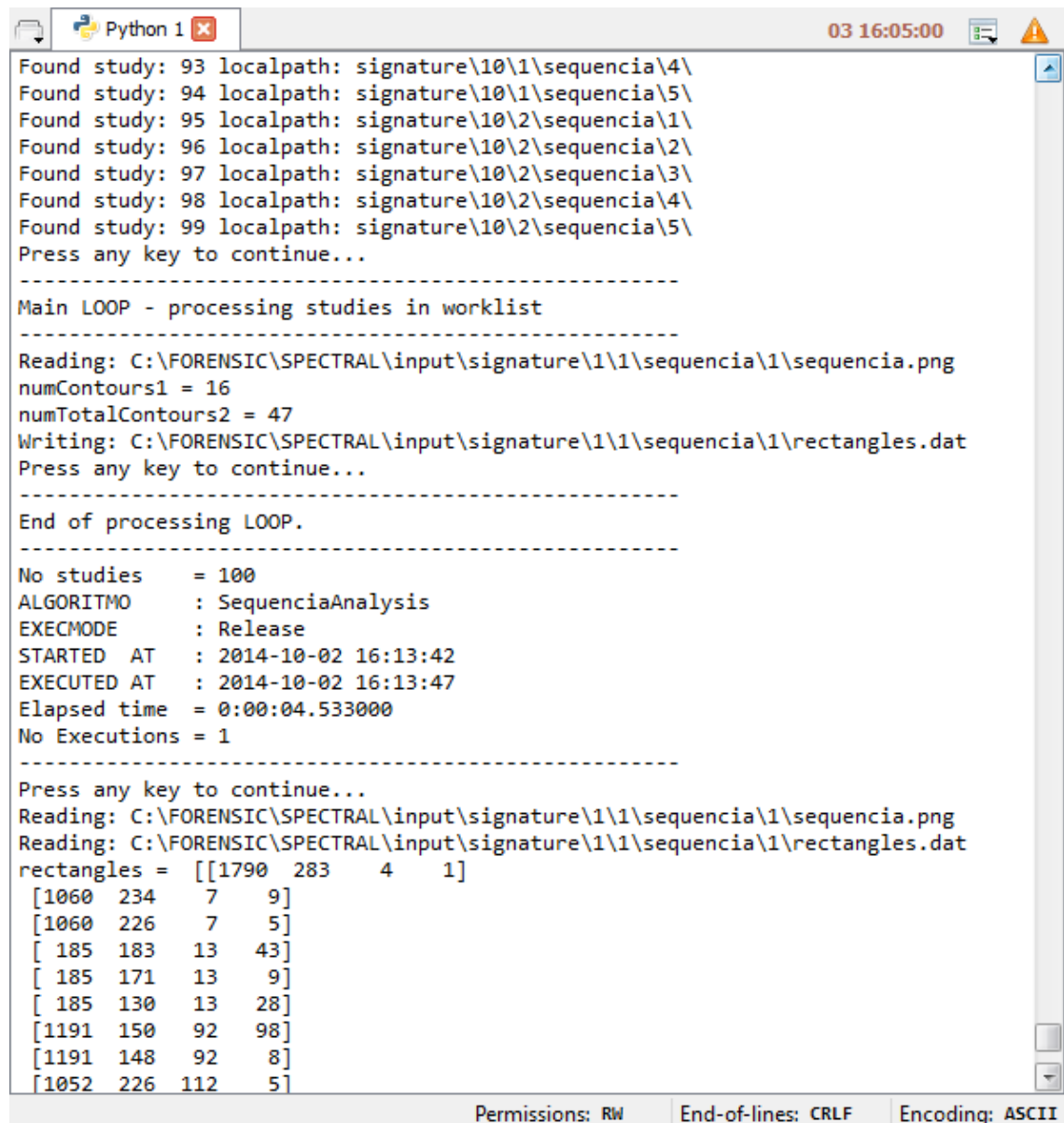


Fig. 4.19: Exemplos de seqüências numéricas.



```
Python 1 03 16:05:00
Found study: 93 localpath: signature\10\1\sequencia\4\
Found study: 94 localpath: signature\10\1\sequencia\5\
Found study: 95 localpath: signature\10\2\sequencia\1\
Found study: 96 localpath: signature\10\2\sequencia\2\
Found study: 97 localpath: signature\10\2\sequencia\3\
Found study: 98 localpath: signature\10\2\sequencia\4\
Found study: 99 localpath: signature\10\2\sequencia\5\
Press any key to continue...

-----
Main LOOP - processing studies in worklist
-----
Reading: C:\FORENSIC\SPECTRAL\input\signature\1\1\sequencia\1\sequencia.png
numContours1 = 16
numTotalContours2 = 47
Writing: C:\FORENSIC\SPECTRAL\input\signature\1\1\sequencia\1\rectangles.dat
Press any key to continue...

-----
End of processing LOOP.
-----
No studies      = 100
ALGORITMO      : SequenciaAnalysis
EXECMODE       : Release
STARTED AT    : 2014-10-02 16:13:42
EXECUTED AT   : 2014-10-02 16:13:47
Elapsed time   = 0:00:04.533000
No Executions  = 1

-----
Press any key to continue...
Reading: C:\FORENSIC\SPECTRAL\input\signature\1\1\sequencia\1\sequencia.png
Reading: C:\FORENSIC\SPECTRAL\input\signature\1\1\sequencia\1\rectangles.dat
rectangles = [[1790 283  4  1]
[1060 234  7  9]
[1060 226  7  5]
[ 185 183 13 43]
[ 185 171 13  9]
[ 185 130 13 28]
[1191 150 92 98]
[1191 148 92  8]
[1052 226 112  5]
```

Fig. 4.20: Saída da consola no algoritmo de análise da sequência numérica.

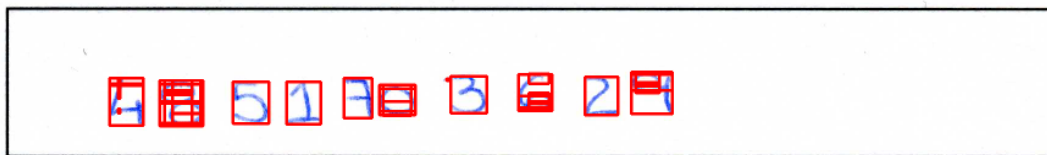


Fig. 4.21: Sequência numérica com a segmentação dos algarismos.

e é criada uma variável com as coordenadas destes. O último processo passa por desenhar os retângulos na imagem inicial para análise visual dos resultados de segmentação. Posteriormente a imagem é redimensionada e apresentada ao utilizador, como mostra a Figura 4.21. Como se pode verificar, o algoritmo ainda é pouco robusto, uma vez que alguns algarismos tem mais do que um retângulo. Isto acontece porque há falhas ou menor intensidade do risco da caneta, o que faz o algoritmo considerar mais um objeto e daí fazer a divisão como é o caso de algarismos como o "0", "6", "8" e "9".

Tal como foi descrito na secção 3.2 foi constituído um segundo formulário para aquisição de evidências de escrita manual. Para estas evidências foi criado um novo *script* de segmentação que segue os passos do diagrama da Figura 4.22 e que permite a segmentação automática das regiões de interesse nas imagens, diretamente a partir da digitalização das mesmas através de um *scanner*.

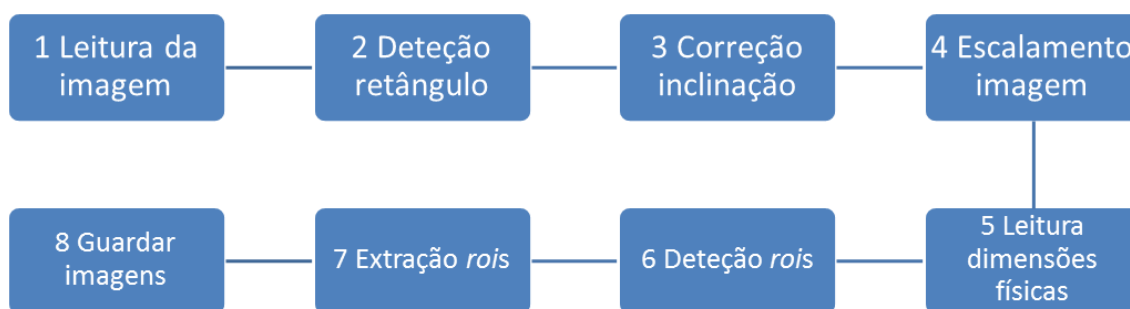


Fig. 4.22: Diagrama do processamento do segundo formulário desenvolvido.

Após a leitura da imagem é feita a deteção do retângulo exterior do formulário através de um algoritmo de crescimento de regiões com semente próxima do canto superior esquerdo. Após esta segmentação, o interior do retângulo fica a branco sendo a informação projetada sobre a horizontal e determinado o máximo dessa projeção. De seguida são testadas várias rotações à imagem original entre -2° e 2° no sentido de encontrar o ângulo cujo máximo da projeção tem maior valor.

Encontrado este ângulo de projeção máxima corrige-se a inclinação da imagem. No passo seguinte procede-se ao escalamento das dimensões da imagem para 10 píxels por milímetro.

Em seguida são detetadas as *rois* dos campos a partir de um algoritmo de crescimento de região, com a semente baseada nos valores previamente definidos aquando da construção do formulário. Esta semente corresponde à posição física do canto superior esquerdo de cada *roi* com tolerância de 5 mm em cada direção. A imagem é convertida para o espaço HSV e é escolhido o plano "V" para a continuação do processo, tal como já se tinha feito no processamento dos primeiros formulários. Por fim, faz-se a extração das regiões e as imagens destas são gravadas.

Posteriormente utilizou-se o diagrama da Figura 4.15 para segmentar os algarismos das imagens do campo número mecanográfico da folha de imitações, ver Figura 4.23. Mais uma vez verificou-se que o algoritmo deve ser refinado no sentido de conseguir detetar todos os algarismos presentes na imagem de forma individual para serem depois extraídas características e feita uma classificação.

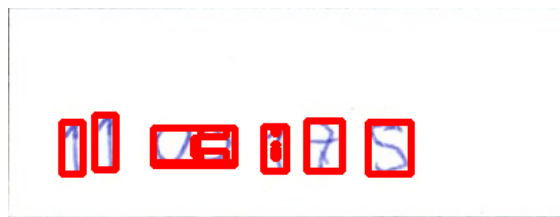


Fig. 4.23: Exemplo de segmentação do número mecanográfico de um participante imitado.

A delimitação dos algarismos foi o ponto do diagrama da Figura 4.15 em que este trabalho terminou, permitindo que este processo seja continuado futuramente. A segmentação dos objetos não dava um objeto único para cada algarismo e, portanto, o algoritmo teria de ser afinado. Esta ocorrência era evidente para certos autores das sequências enquanto que para outros havia a segmentação correta de todos os algarismos, sugerindo poder ser uma marca pessoal do autor. A determinação de outras características a extrair poderiam ser, por exemplo, a área do retângulo ocupada pela sequência, a inclinação dos caracteres ou a linha de base. A posterior classificação teria como função atribuir a sequência adquirida a um indivíduo e mostrar em que grau esta corresponderia à escrita desse mesmo indivíduo, caso não houvesse correspondência procurar, de entre os outros indivíduos da BD, qual a mais semelhante, isto é, qual o autor mais provável daquela sequência.

Resultados e Discussão

5.1 Notas de Euro

Como foi descrito no capítulo anterior, várias técnicas e métodos de processamento das imagens das notas foram testados. Foi necessário escolher qual a abordagem mais adequada para a análise dos elementos de segurança. Existem cerca de 13 elementos de segurança diferentes e foram escolhidos os 9 elementos considerados mais importantes para análise neste trabalho. Alguns destes elementos foram já apresentados na Figura [2.3](#).

5.1.1 Amostra

A amostra de evidências contidas na BD foi composta por 32 notas de euro:

- Primeira Série:
 - 10 notas de 5€
 - 10 notas de 10€
 - 2 notas de 20€
- Segunda Série - Série Europa:
 - 10 notas de 5€

A primeira decisão a tomar na abordagem a adotar sobre os elementos de segurança basearam-se em diferentes possibilidades: 1) comparação entre os resultados obtidos com as diferentes evidências; 2) estudo das várias marcas de uma só nota; 3) paralelismo entre a evidência física e um exemplo *verdadeiro* e outro *falso*.

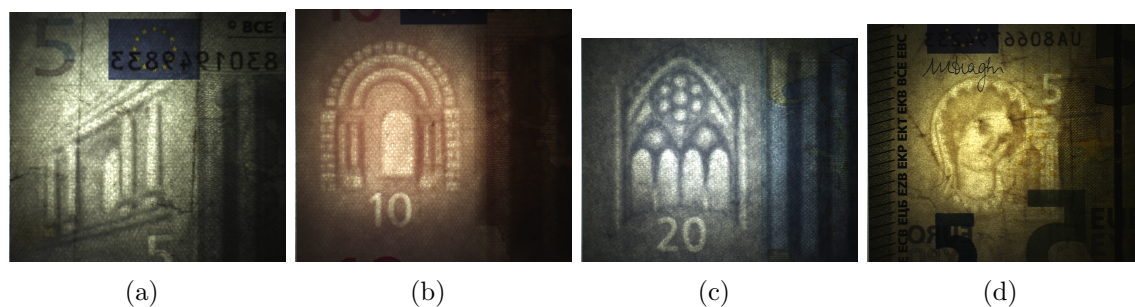


Fig. 5.1: Marca de água das diferentes notas de euro: (a) nota de 5€ - primeira série; (b) nota de 10€ - primeira série; (c) nota de 20€ - primeira série; (d) nota de 5€ - série Europa.

O paralelismo entre evidências pareceu ser o tipo de análise mais interessante, permitindo uma maior ajuda à sociedade. No entanto, as notas que são denunciadas e comprovadas como contrafeitas são entregues pela polícia ao Banco de Portugal ou diretamente neste. O Banco de Portugal é a entidade que trata da confirmação da veracidade ou não da mesma. É de ressaltar que a contrafação e colocação em circulação de dinheiro (nota ou moeda) constitui um crime, punível por lei. Existe, por isso, uma vasta quantidade de informação sobre as formas práticas e fáceis de detetar se uma nota é falsa. Torna-se assim difícil de obter notas contrafeitas para realizar uma comparação das características de umas e de outras.

Uma vez escolhido o tipo de análise a realizar a estas evidências, surgiu uma outra questão que se tratava de saber quais as modalidades de imagiologia mais adequadas para a análise de cada medida de segurança. Tal como referido na secção 3.1.3, todas as medidas de segurança tiveram que ser analisadas para que pudessemos ter a melhor qualidade de imagem de cada uma destas. Foram então determinadas as 4 modalidades (descritas na secção 4.3) com dois protocolos, *frente* e *verso*. A marca de água é única para cada tipologia de nota; das tipologias analisadas. Este elemento de segurança é o que muda realmente de formato, tal como mostra a Figura 5.1.

Posteriormente, durante a aquisição existiu o problema do aquecimento da platina que fazia com que a nota começasse a ficar ligeiramente deformada, piorando o estado da imagem. Para combater esta questão foram testados vários métodos para segurar os cantos das notas com os designados "pisa papéis" mas era perdida informação. Depois foi testado com uma película transparente, no entanto problema da deformação da nota mantinha-se uma vez que era uma película fina. Por fim, e o processo utilizado posteriormente durante todo o processo de aquisição, passou pela colocação de uma folha de acetato. Esta era incolor e com uma gramagem

superior à película anterior, não afetando a qualidade da imagem, nem alterando as características dos elementos de segurança. Resolvidas todas estas questões foram adquiridas todas as imagens do estudo (exemplificado nas Figuras 3.4 e 3.5) de cada uma das evidências para serem posteriormente processadas.

5.1.2 Processamento

Durante o processamento da imagem foi necessário compreender qual o melhor método para obter as imagens dos elementos de segurança com a melhor qualidade possível. Isto era importante, uma vez que quanto melhor a informação mais fácil se torna identificar se a evidência será *verdadeira* ou *falsa*, daí terem sido estudados vários espaços de cor. Cada espaço de cor tem três planos, que podem corresponder a cores ou a características da imagem, como foi explicado na secção de planos de cor (secção 4.2).

Quando todos os planos foram testados e se verificou qual a melhor correspondência para cada elemento de segurança, criou-se uma tabela (Tabela 4.5). A tabela foi preenchida com a designação dos elementos, localização física, espaços e planos de cor adequados para a análise. O algoritmo ia ao ficheiro auxiliar consultar a informação de uma determinada tipologia de nota quando realizasse o estudo. É de referir que o mesmo elemento nem sempre tem a melhor imagem no mesmo espaço e plano de cor nas notas dos diferentes valores.

O estudo final permite a verificação dos elementos de segurança considerados mais importantes e permite um seguimento do trabalho no sentido de criar um classificador das características para que possa ser obtida uma probabilidade de a evidência ser verdadeira ou falsa, dependendo do grau de semelhança entre as várias características.

Na nota de 5 € da primeira série, Figura 5.2, é feito em primeiro lugar a mudança de plano de cor, de acordo com o registado no ficheiro para aquela tipologia de nota. Apesar de o algoritmo de segmentação das regiões correspondentes às marcas de segurança funcionar quando as imagens das notas tinham luminosidades parecidas, havia algumas aquisições em que o algoritmo falhava por haver uma grande variação de luminosidade entre a evidência e o *template*. No sentido de colmatar este problema foi desenvolvido um método de equalização entre a evidência e a imagem do *template*, a partir da comparação dos histogramas respetivos[ref]. A Figura 5.3 ilustra este processo para uma evidência, mostrando a imagem de entrada (esquerda), a imagem do *template* que lhe corresponde (ao centro) e o resultado da equalização

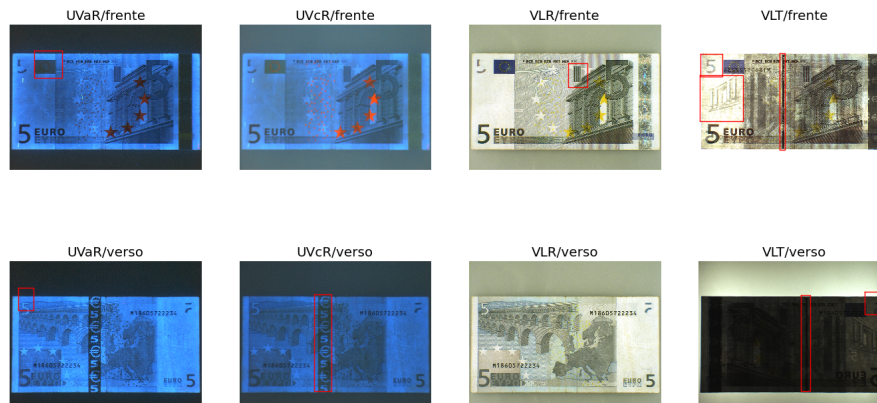


Fig. 5.2: Estudo da nota de 5€ da primeira série.

(direita). Depois é obtida a informação da posição de cada uma das características e as imagens são apresentadas com os devidos elementos de segurança que contém.

Os algoritmos de segmentação testados nas notas tiveram o desempenho listado na Tabela 5.1. Nesta tabela apresenta-se apenas os resultados para os métodos por detecção de cantos, por *template* e por análise da média da integração da informação para os planos de cor que apresentavam maior contraste entre a nota e o fundo. Como se poder constatar, o método que permitiu obter melhores resultados foi por *template* que funcionou em todos os elementos da BD quando usado o plano de cor verde ("G" do RGB) da modalidade VLR e no protocolo frente. Para todos os métodos foram testados outras modalidades, protocolos e planos. Para a elaboração destas probabilidades foram testados os métodos para todas as imagens da modalidade e protocolo definidos. Em cada teste foi verificada a posição do canto detetada pelo método. Caso este se encontrasse a uma distância máxima de 15 pixels relativamente ao canto da nota na imagem era considerado um caso positivo. Para cada nota eram avaliados os 4 cantos, sendo que os valores registados eram:

- 0:nenhum canto encontrado
- 0.25:1 canto encontrado
- 0.5:2 cantos encontrados
- 0.75:3 cantos encontrados
- 1:4 cantos encontrados.

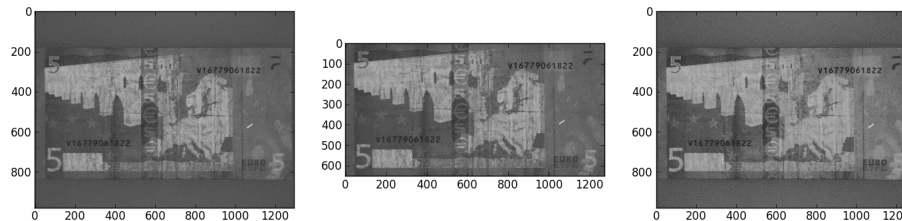


Fig. 5.3: Exemplo do processo de equalização da região a comparar.

No final foram somados os resultados de todas as evidências para cada um dos testes. Cada um dos valores resultantes foi dividido por 32 (número total de evidências) e, para obter a percentagem, esse valor foi multiplicado por 100.

Tab. 5.1: Estatísticas dos algoritmos de segmentação das notas.

Método	Modalidade	Protocolo	Probabilidade
método de Harris	VLT	frente	96,1%
por <i>template</i>	VLR	frente	100%
método EM	VLR	frente	24,2%

Para a metodologia de segmentação selecionada, segmentação por *template* aplicou-se de seguida o *script* de segmentação dos elementos de segurança das notas. Foi usado um algoritmo semelhante ao de *template*, constatando-se novamente que este era robusto o suficiente para detetar em todos os elementos as *rois* das respetivas notas. Na Tabela 4.5 onde constam as caracterizações das *roi* das marcas de segurança. Nas figuras seguintes (Figuras 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7) apresentam-se os resultados para a segmentação das notas de 5 € (primeira série e série Europa), 10 € e 20 €, ou seja, todas as notas da amostra escolhida para este trabalho.

A partir das Figuras 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7 concluiu-se que cada elemento de segurança tem melhor visibilidade numa determinada modalidade. Estes estudos foram feitos e resumidos numa tabela para cada tipologia de nota, exemplificado na Tabela 4.5.

A marca de água, visível a olho nu em contraluz, mostrou-se mais evidente na modalidade VLT e na frente da nota. Também a sobreposição de valor se visualizou

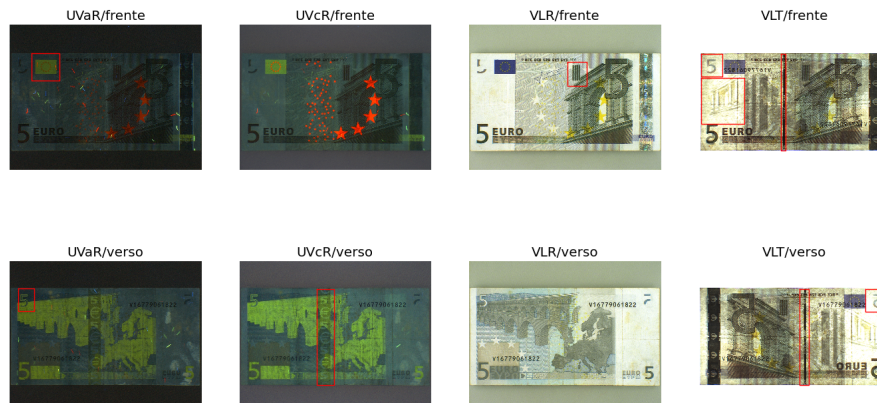


Fig. 5.4: Estudo da nota de 5€ da primeira série.

na mesma modalidade e protocolo que a marca de água. No entanto, este elemento é visível tanto na frente como no verso da nota, mantendo no verso a modalidade escolhida anteriormente, a VLT.

Ainda na modalidade VLT foram considerados mais 2 elementos de segurança. Estes dois elementos correspondem ao fio de segurança que é visível na frente e no verso das notas. Porém, como este não se encontra no centro da nota, tem coordenadas diferentes e, assim sendo, foi dividido em dois elementos.

Quanto ao elemento correspondente à imagem da bandeira da União Europeia foi verificado que este era visível na frente da nota com a modalidade UVaR. Este elemento corresponde a uma propriedade ultravioleta (UV), tal como um outro elemento designado exatamente por propriedade UV. Este é visível no verso da nota na mesma modalidade. No entanto, este elemento foi retirado das notas na série Europa, não fazendo parte do estudo destas.

Na modalidade VLR tem apenas um elemento de segurança presente denominado por micro impressão. Este representa uma impressão feita em relevo das designações de BCE nas diversas línguas.

Por último, considerou-se a banda brilhante do verso das notas um elemento importante. Esta banda apenas é visível perante a iluminação ultravioleta. Nas notas de 5€ da primeira série esta marca é evidente na modalidade UVcR, no entanto nas restantes tipologias mostrou-se mais fácil de verificar na modalidade UVaR.

Relativamente às notas de 5€ da série Europa, alguns dos elementos inicialmente



Fig. 5.5: Estudo da nota de 10€ da primeira série.

incorporados nas notas foram retirados desta nova série. Esses elementos são a sobreposição de valor e a propriedade UV. Por outro lado foram incluídos 2 novos elementos. Na frente da nota, na modalidade UVcR foi possível identificar o símbolo do euro a cor verde (Figura 5.7). No verso foi alterada a propriedade UV, que deixou de ser representada pelo mapa da Europa e passou a estar presente no número de série da nota.

5.2 Escrita manual

O processo de análise da escrita manual apresentou-se mais complexo do que o esperado, visto que, como já foi dito anteriormente, existem características próprias de cada pessoa na forma de escrever. Para além disso a atitude de escrever numa situação normal do dia-a-dia ou para um teste ou exame é diferente e provoca alterações na escrita, não a nível das características essenciais mas no traço utilizado.

A primeira dificuldade encontrada foi determinar quais os campos que seriam inseridos no formulário de participação. Como ainda não tinha sido determinado se a análise à escrita seria a letras ou algarismos incluiu-se os dois tipos de campos. O formulário foi desenvolvido incluindo 3 circunstâncias diferentes e duas destas compostas por 4 partes e a terceira por um único teste. A primeira e segunda circunstâncias variavam apenas na posição de escrita, a primeira em cima de uma mesa e a segunda com a folha em cima da perna. Os campos que estas continham era: assinatura, sequência numérica, rubrica e texto. Já a terceira consistia em cinco



Fig. 5.6: Estudo da nota de 20€ da primeira série.

tentativas de imitação da assinatura de um outro participante.

As participações implicavam uma identificação do indivíduo que incluía um ID (número de identificação presente na folha de consentimento), sexo (F/M), idade e estatura, como se verifica na Figura 5.8. Depois cada um dos campos tinha 5 repetições, com exceção do elemento texto cuja reprodução foi pedida uma única vez, ver Figura 5.9.

Em seguida foi necessário segmentar cada um dos retângulos preenchidos, isto é, cada um destes correspondia a uma *roi* e para isso foi criado um *script* que permitisse automaticamente fazer essa segmentação. Foi criado então o ficheiro "*config_crop*", um ficheiro de dados que contém as coordenadas do canto superior esquerdo da primeira *roi*, largura, altura e o *gap* nos eixos horizontal e vertical.

Para a segmentação de uma imagem, as posições de corte podem ser alteradas pelo utilizador, de forma a melhorar a qualidade da região a segmentar. Estas alterações puderam ser feitas a partir de uma janela apresentada ao utilizador, contendo as barras de alteração e a *roi* obtida segundo os valores indicados (Figura 4.14). Numa segunda janela são representados os segmentos da imagem que vão ser extraídos, tanto nas assinaturas como na sequência numérica. As imagens das *rois* são gravadas cada uma na sua respetiva pasta, as assinaturas na pasta "assinatura" que contém pastas numeradas de 1 a 5, para cada uma das experiências. O mesmo acontece com as sequências numéricas, que na pasta "sequencia" estão incluídas 5 pastas numeradas onde são gravadas as respetivas imagens. Na Figura 5.10 podem ser vistos exemplos das *roi* de cada um dos campos.



Fig. 5.7: Estudo da nota de 5€ da série Europa.

<p>PARTICIPANTE ID: <u>10</u> Sexo: <u>F</u> Idade: <u>22</u> Estatura(cm): <u>165</u></p>	<p>A preencher pelo técnico: Data: <u>07/07/2014</u> Hora: <u>16:20</u> Circunstância: <u>1</u></p>
---	--

Fig. 5.8: Cabeçalho do formulário de participação.

O passo seguinte passou pela análise da sequência numérica. Como já foi descrito na secção 4.4.2, a imagem é redimensionada para ser transformada para o plano "a" do espaço Lab e é suavizada para ser apresentada ao utilizador. É então feita a contagem do número de objetos presentes na imagem para que possa a imagem inicial ter os algarismos segmentados. Como se pode ver na Figura 4.21 (e), foram contabilizados pela função do *OpenCV* mais objetos do que o número real de algarismos, isto pode dever-se a vários aspetos, entre eles, falhas na tinta da caneta e o próprio formato do algarismo. Na Figura 4.21 foram representados os passos por que passaram as imagens das sequências numéricas.

No entanto, o dado mais importante é a projeção no eixo horizontal, que é o que nos permite verificar se os objetos estão realmente separados ou não. O desempenho deste algoritmo de segmentação está apresentado na Tabela 5.2. Nesta tabela são apresentados três resultados diferentes. O primeiro é relativo aos resultados obtidos na totalidade das sequências numéricas (100 sequências). O segundo e terceiro resultados referem-se, respetivamente, às sequências da primeira e segunda circunstância. Para o cálculo destas probabilidades foi usado um método semelhante ao realizado

<p>Assinatura Neste campo é pedido ao participante que assine conforme o documento de identificação.</p>	<p>Sequência Numérica: 4 8 5 1 7 0 3 6 2 9 Neste campo é pedido ao participante que reproduza a sequência numérica acima indicada, respeitando o espaço entre os algarismos.</p>
Filipa dos Santos Pinto	4 8 5 1 7 0 3 6 2 9
Filipa dos Santos Pinto	4 8 5 1 7 0 3 6 2 9
Filipa dos Santos Pinto	4 8 5 1 7 0 3 6 2 9
Filipa dos Santos Pinto	4 8 5 1 7 0 3 6 2 9
Filipa dos Santos Pinto	4 8 5 1 7 0 3 6 2 9
(a)	(b)
<p>Rubrica</p>	<p>Texto Reproduza o seguinte texto: "Um dia de chuva é tão belo como um dia de sol. Ambos existem, cada um como é."</p>
FPinto	<p>"Um dia de chuva é tão belo como um dia de sol. Ambos existem, cada um como é."</p>
FPinto	
FPinto	
FPinto	
FPinto	
(c)	(d)

Fig. 5.9: Campos do formulário para aquisição da escrita manual: (a) assinatura; (b) sequência numérica; (c) rubrica; (d) texto.

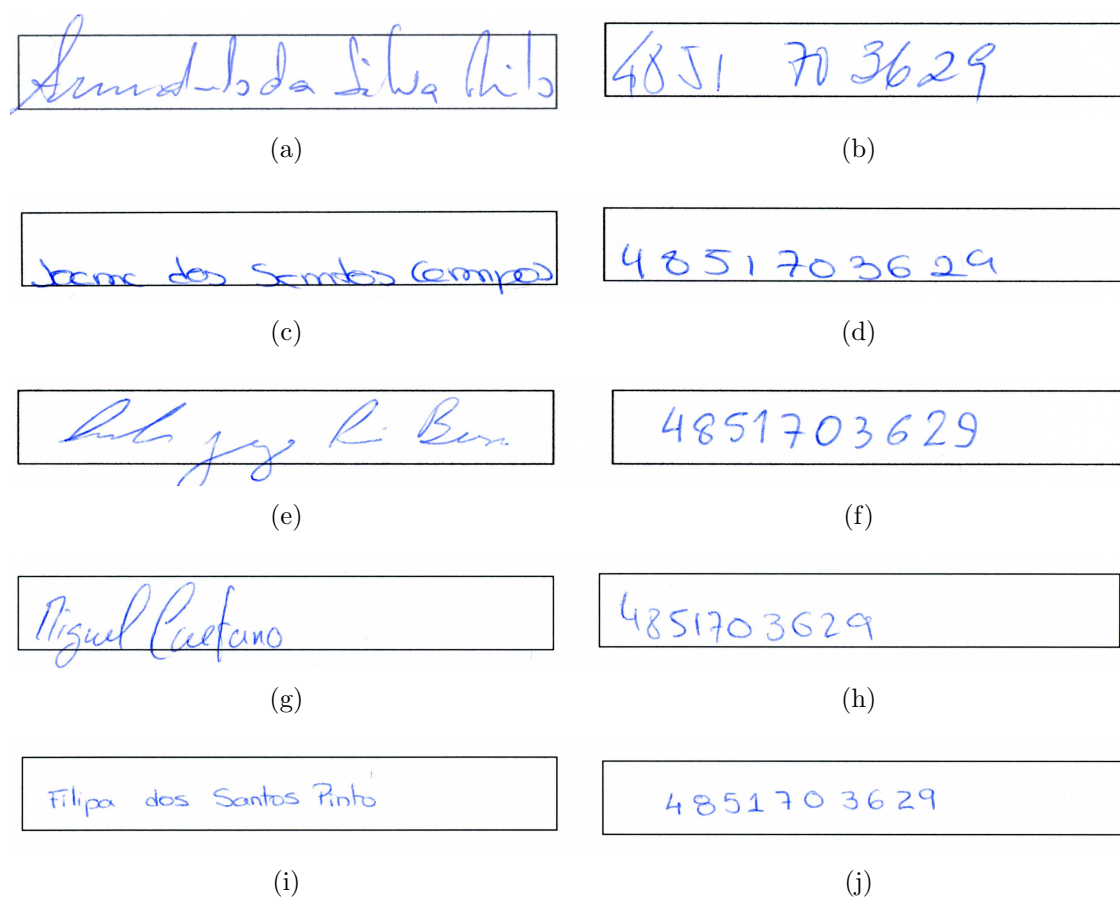


Fig. 5.10: Exemplos de regiões de interesse extraídas dos formulários de diversos participantes.

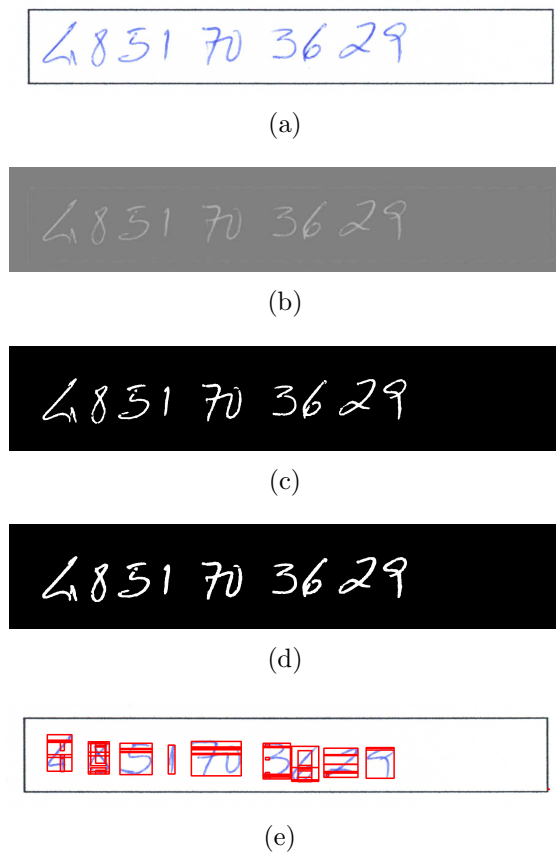


Fig. 5.11: Processo de segmentação de uma sequência numérica: (a) imagem inicial; (b), canal a do espaço Lab; (c) resultado da suavização binarizado; (d) sequência após realizações de operações morfológicas; (e) resultado final da detecção de objetos.

nas notas. Sendo que o objetivo era a segmentação de 10 algarismos, a escala utilizada foi de 0 a 1. Nesta escala, o passo utilizado foi de 0.1, correspondendo esse valor à detecção de cada um dos algarismos. Após a análise de todas as evidências, foram considerados os 3 conjuntos apresentados na Tabela 5.2. Para a totalidade das evidências foram somados os 100 valores e obteve-se a probabilidade de obter os 10 algarismos em todas as imagens. O segundo resultado consistiu na soma dos valores obtidos para a primeira circunstância. Dividiu-se o valor total por 50 (número de evidências) e, em seguida, multiplicou-se por 100. Para o terceiro resultados os passos foram exatamente iguais aos do segundo, no entanto foram somados os valores relativos à segunda circunstância.

Tab. 5.2: Estatísticas dos algoritmos de segmentação das sequências numéricas.

Circunstância	Número evidências	Probabilidade
Total	100	96,5%
Circunstância 1	50	97,6%
Circunstância 2	50	95,4%

Em seguida são apresentados resultados de diferentes sequências numéricas em diferentes situações. Em algumas evidências foram encontrados casos em que dois ou mais algarismos que não são separados pela segmentação, sequências que ocupam toda a área do retângulo envolvente e outras que ocupam só uma parte do espaço. As imagens da Figura 5.12 mostram exemplos desses resultados.

Como se pode verificar na Figura 5.12 (b), os algarismos "7" e "0" não foram separados com a segmentação. No entanto existem outras características que podem ser observadas nas sequências numéricas. Na imagem (a) da mesma figura, o participante começou a sequência junto à margem esquerda da delimitação do campo, não utilizando a totalidade do espaço. Por outro lado, na imagem (c) verificou-se que foi usada uma maior área do retângulo. A distribuição dos algarismos foi feita por toda a largura do campo e o tamanho da letra foi maior, sendo uma característica do próprio participante.

Ainda na Figura 5.12 na imagem (d), o efeito da digitalização criou um ruído fazendo com que um objeto fosse encontrado fora da área do campo. Futuramente poderá ser criada uma solução que permita eliminar os ruídos causados pela digitalização dos documentos escritos.

A criação de algoritmos que quantifiquem estas diferenças na escrita dos diversos participantes permitirá chegar a muitos outros aspetos da escrita. Alguns desses

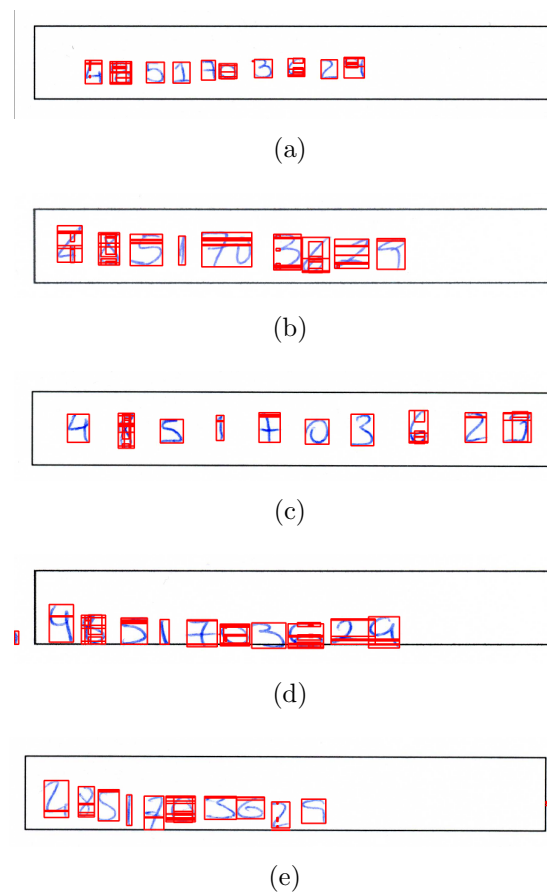


Fig. 5.12: Exemplos de segmentação de seqüências numéricas.

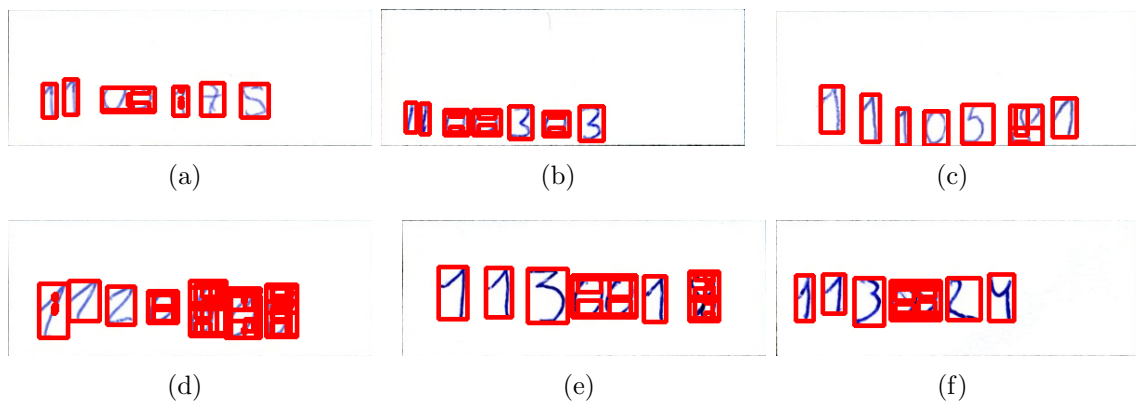


Fig. 5.13: Exemplos de segmentação dos números mecanográficos.

aspectos são a inclinação, a altura e largura dos elementos da escrita, já referidos na secção 2.5 mas não explorados nesta tese.

Quanto às imagens obtidas pelo segundo tipo de formulário, esta segmentação foi realizada somente para a folha das imitações e para o campo da primeira coluna referente ao número mecanográfico do indivíduo imitado. Os resultados obtidos foram os apresentados na Figura 5.13. Como se pode verificar o algoritmo ainda deve ser reajustado de forma a conseguir fazer a segmentação de todos os algarismos, para seguidamente ser feita uma avaliação das características destes, sendo este um possível seguimento deste trabalho.

Conclusão

As novas tecnologias têm uma elevada importância no avanço do processamento de imagem e na classificação de características. Estas podem ser aplicadas em áreas muito vastas, inclusivamente na análise forense de documentos, de ossadas, na balística, no reconhecimento facial, na identificação de pegadas, entre outros. A aplicação de técnicas de processamento e análise de imagem em estudos de documentos forenses, como notas e escrita manual, mostrou-se útil, permitindo a correlação entre imagens padrão (*template*) e as evidências em estudo. No sentido de iniciar um processo de automatização do processo de classificação das evidências, tornou-se pertinente o desenvolvimento desta dissertação. Uma vez que a verificação da veracidade das evidências aqui consideradas atualmente é realizada manualmente por especialistas, o que pode levar a considerações incorretas devido a alguma subjetividade existente em tudo que é feito pelo operador humano.

Neste trabalho foram desenvolvidos algoritmos para processamento de imagens obtidas a partir de várias modalidades, dependendo do tipo de evidência em estudo. Quanto aos algoritmos desenvolvidos para o processamento de imagens de notas estes terminam na apresentação de um estudo completo com as respetivas características de segurança assinaladas. Para obter este resultado foi necessário converter as imagens originais para outros espaços de cor mais adequados para a análise e recorrer a ficheiros auxiliares de dados, com informações complementares para segmentar as imagens. Inicialmente foram realizados testes aos espaços de cor para cada modalidade de imagem, no sentido de fornecer a melhor qualidade de informação ao utilizador. Em seguida recorreu-se ao algoritmo *template matching* para obter a *roi* desejada e, posteriormente, à extração de características e à demonstração de qual deve ser o seu aspeto e localização. Futuramente, poderão ser

construídos classificadores com o objetivo de determinar um grau de probabilidade de a nota ser verdadeira ou falsa, ajudando assim na decisão mais concreta e correta do especialista.

Quanto ao processamento das evidências da escrita manual, este apresentou maior dificuldade uma vez que pode ser abordado por várias vertentes e com diferentes objetivos. O primeiro passo do processamento passou pela segmentação da imagem, isto é, na divisão da imagem nas várias evidências que esta continha, tanto assinaturas como sequências numéricas. O primeiro algoritmo a ser desenvolvido permite ao utilizador reajustar a posição e tamanho do retângulo afeto a cada uma das assinaturas presentes no formulário, guardando a imagem resultante. Posteriormente, enveredou-se pelo processamento das imagens relativas às sequências numéricas. Foi necessário no início redimensionar a imagem para que pudesse ser apresentada ao utilizador durante o processo. Em seguida, realizou-se novamente as transformações nos espaços de cor de maneira a facilitar a análise de outras evidências do mesmo tipo. O passo seguinte passou pela individualização dos algarismos, recorrendo-se a operações morfológicas de dilatação e erosão para reduzir o ruído e aumentar o grau de proximidade entre os traços pertencentes a cada um dos algarismos. Seria neste momento necessário fazer a contagem do número de objetos e as quatro coordenadas dos vértices dos retângulos que os contém foram gravados num ficheiro junto a cada uma das imagens das sequências. Por último, o algoritmo representava na imagem inicial todos estes retângulos considerados na contagem feita anteriormente. Este processo ainda é pouco robusto e não permite a obtenção de cada um dos objetos individualmente. Alguns dos algarismos são segmentados corretamente, no entanto, os restantes ainda são subdivididos em várias partes. O trabalho futuro poderá passar por um melhoramento deste algoritmo e pela criação, tal como no caso anterior, de um classificador. Classificador este que permita avaliar qual a probabilidade de se tratar de um determinado algarismo ou, num processo mais complexo, perceber se foi algum dos participantes registados que o reproduziu, recorrendo à extração de características com capacidade discriminativa.

Futuramente, a continuação deste trabalho poderá passar por um melhoramento dos algoritmos no sentido de os tornar mais autónomos e menos sensíveis às imagens das evidências. Podem ser testados outros processos de deteção de cantos possivelmente mais eficazes ou, no caso das sequências numéricas, um método de obtenção de cada um dos algarismos individualmente recorrendo igualmente a operações morfológicas ou a outro tipo de função ou operação. Num nível seguinte será possível a construção de um classificador para cada um dos temas aqui abordados com o

objetivo de obter probabilidades e/ou estatísticas de cada uma das características presentes nas evidências consideradas neste trabalho. Por outro lado, as assinaturas foram recolhidas e não tiveram qualquer intervenção nesta dissertação. No entanto, o material recolhido pode ser utilizado para um processo de extração de características da caligrafia do utilizador e comparar as evidências imitadas com as reais de cada um dos participantes e tentar perceber qual a probabilidade de ter sido um destes a fazer a imitação.

Em conclusão, os métodos aqui propostos pretendem ser o princípio de um auxílio na verificação de notas referentes a valor monetário e de escrita manual, uma vez que atualmente estes processos são manuais e dependem das considerações de cada um dos especialistas. O método de aquisição das imagens ainda é um pouco complexo, implicando a presença de um técnico junto do equipamento de aquisição de imagens para colocar a nota na platina ou a folha do formulário no *scanner* e escolher as modalidades de aquisição que, apesar de já estarem determinadas, é necessário interagir com o *software* dos equipamentos. Na minha opinião, é um ponto positivo a simplicidade dos métodos de estudo das evidências, visto que permite que qualquer pessoa possa recorrer a este para avaliar uma determinada evidência que seja de origem duvidosa.

Bibliografia

- [1] B. C. Europeu, “Fique a conhecer a nova nota de 5 euros,” 2013.
- [2] B. C. Europeu, “Ficha informativo - a nova nota de 10 euros,” novembro 2013.
- [3] E. C. Bank, “The euro banknotes: developments and future challenges.” *Monthly Bulletin*, agosto 2005.
- [4] A. Bruna, G. Farinella, G. Guarnera, and S. Battiato, “Forgery detection and value identification of euro banknotes,” *Sensors*, vol. 13, pp. 2515–2529, 2013.
- [5] M. da Justiça, *Código Penal Português*. Almedina, 2007.
- [6] A. da República, “Decreto-lei n. 48/95 artigo 256 - falsificação de documento,” *Diário da República*, 1995.
- [7] M. da Administração Interna, “Relatório anual de segurança interna 2013,” tech. rep., Governo Português, 2014.
- [8] A. P. de Apoio à Vítima, “Estatísticas apav relatório anual 2012.” 2012.
- [9] A. da República, “Supremo tribunal de justiça assento n.º 8/2000,” *Diário da República*, pp. 2309–2311, 2000.
- [10] J. Siegel, G. Knupfer, and P. Saukko, *Encyclopedia of Forensic Sciences*, vol. 3. Elsevier, 2000.
- [11] Y. Vermynen, “The role of the forensic expert in criminal procedures according to belgian law,” *Forensic Science International*, maio 2010.
- [12] J. Siegel, G. Knupfer, and P. Saukko, “Encyclopedia of forensic sciences,” *Elsevier*, vol. 2, 2013.
- [13] C. Cattaneo, “Forensic anthropology: developments of a classical discipline in the new millennium,” *Forensic Science International*, pp. 185–193, julho 2006.

- [14] E. F. Kranioti and R. R. Paine, “Forensic anthropology in europe: an assessment of current status and application,” *Journal of Anthropological Sciences*, vol. 89, pp. 71–92, 2011.
- [15] L. M. Wilson-Wilde, J. Brandi, and S. J. Gutowski, “The future of forensic science standards,” *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, setembro 2011.
- [16] A. Jackson and J. Jackson, *Forensic science*. Pearson, 3 ed., 2011.
- [17] K. Inman and N. Rudin, *Principles and Practice of Criminalistics: The Profession of Forensic Science*. Protocols in Forensic Science Series, 2000.
- [18] J. Levinson, *Questioned Documents: A Lawyer’s Handbook*. Academic Press, 2001.
- [19] M. B. Miles and A. M. Huberman, *Qualitative Data ANalysis*. SAGE Publications, 1994.
- [20] S. S. Calado and S. C. R. Ferreira, “Análise de documentos: Método de recolha e análise de dados.” 2005.
- [21] G. L. Duarte, “O papel da ciência forense na investigação dos crimes de homicídio,” Master’s thesis, Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, 2009.
- [22] A. da República, “Decreto-lei n. 35:042,” *Diário do Governo*, vol. 233, pp. 839–850, outubro 1945.
- [23] A. da República, “Decreto-lei n. 275-a/2000,” *Diário da República*, novembro 2000.
- [24] A. da República, “Lei n. 37/2008 de 6 de agosto,” *Diário da República*, vol. 151, pp. 5281–5289, agosto 2008.
- [25] A. da República, “Decreto-lei n. 166/2012 de 31 de julho,” *Diário da República*, vol. 147, pp. 3951–3957, julho 2012.
- [26] A. da República, “Decreto-lei n. 5/2012,” *Diário da República*, vol. 12, pp. 196–210, janeiro 2012.
- [27] M. Obstfeld, “A strategy for launching the euro,” *European Economic Review*, vol. 42, pp. 975–1007, 1998.
- [28] F. Columba, “The speed of euro adoption,” *Journal of International Money and Finance*, vol. 27, pp. 249–259, 2008.
- [29] G. Bekaert, C. Harvey, C. Lundblad, and S. Siegel, “The european union, the euro, and equity market integration,” *Journal of Financial Economics*, vol. 109, pp. 583–603, 2013.

- [30] M. J. Pinho, “E se portugal não tivesse aderido à união económica e monetária?,” Master’s thesis, Universidade do Minho, setembro 2010.
- [31] R. Beaupain and A. Durré, “Central bank reserves and interbank market liquidity in the euro area,” *Journal of Financial Intermediation*, vol. 22, pp. 259–284, 2013.
- [32] A. da República, “Decreto-lei n. 250/96 de 24 de dezembro,” *Diário da República*, pp. 4598–4600, dezembro 1996.
- [33] A. da República, “Lei n. 7/2007 de 5 de fevereiro,” *Diário da República*, pp. 940–948, fevereiro 2007.
- [34] G. Gluhchev, “Handwriting forensic investigations,” *International Journal - Information Theories and Applications*, vol. 11, pp. 42–46, 2004.
- [35] L. de Exame de Documentos e Escrita Manual, *Procedimentos a adotar em Exames Periciais de Documentos e Escrita Manual*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [36] A. Pimentel, “O método da análise documental: seu uso numa pesquisa historiográfica,” *Cadernos de Pesquisa*, vol. 114, pp. 179–195, novembro 2001.
- [37] A. Jain, F. Griess, and S. Connell, “On-line signature verification,” *Pattern Recognition*, vol. 35, pp. 2963–2972, 2002.
- [38] S. N. Srihari, S.-H. Cha, H. Arora, and S. Lee, “Individuality of handwriting,” *Journal of Forensic Sciences*, vol. 47, pp. 1–17, julho 2002.
- [39] N. I. of Standards and Technology, “Measurement science and standards in forensic handwriting analysis conference and webcast,” *Forensic Sciences*, p. 5, junho 2013.
- [40] U. F. Fluminense, *Tutorial de Introdução ao Python*, janeiro 2011.
- [41] J. M. B. Lopes, “Cor e luz,” 2003. Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa.
- [42] J. Barbosa and A. Sousa, “Luz e cor,” 2004. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [43] E. Sebem, “Transformações no espaço de cores,” 2008. Colégio Politécnico da UFSM.
- [44] HunterLab, “Measuring color using hunter l, a, b versus cie 1976 l*a*b,” 2012.
- [45] Vários, *The OpenCV Tutorials*, 2.4.9.0 ed., abril 2014.

Apêndice **A**

Formulários de aquisição da escrita
manual - segunda versão

Elementos do Participante Escrita Manual/ <i>Handwriting</i>		NUM. MEC.	DATA Registo: / /
(espaço reservado)			
Símbolo a copiar	Símbolo (<i>Handwriting</i>)	Assinatura (<i>Handwriting</i>)	
# ? &			
@ @ @			
$\pi \theta \lambda$			
$\Pi \Theta \Lambda$			
0,4 %			
Sequencia a copiar	Sequencia (<i>Handwriting</i>)		
4 8 5 1 7 0 3 6 2 9			
9 2 6 3 0 7 1 5 8 4			
9 4 8 5 1 7 0 3 6 2			
0 3 5 1 2 4 6 7 8 9			
1 3 5 7 9 2 4 6 8 0			
Texto a copiar	Texto (<i>Handwriting</i>)		
A sorte está lançada.			
The die is cast.			
Alea iacta est.			

Elementos Imitados Escrita Manual/ <i>Handwriting</i>		DATA início: / /	DATA fim: / /
(espaço reservado)			
NUM. MEC. do IMITADO	Assinatura IMITADA <i>(Handwriting)</i>	NUM. MEC. do IMITADOR	
NUM. MEC. do IMITADO	Sequencia IMITADA <i>(Handwriting)</i>	NUM. MEC. do IMITADOR	
NUM. MEC. do IMITADO	Texto IMITADO <i>(Handwriting)</i>	NUM. MEC. do IMITADOR	