

*DIA MUNDIAL DOS MATERIAIS 2009
PRÊMIO ORDEM DOS ENGENHEIROS*

FILMES FINOS & REVELAÇÃO DE IMPRESSÕES DIGITAIS LATENTES

A.S. PEIXOTO⁽¹⁾*, A.S. RAMOS⁽¹⁾

(1) Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Dept. de Eng. Mecânica,
3030-788 Coimbra, Portugal
* asofiapeixoto@gmail.com

ABSTRACT: The aim of the present work is to develop latent fingerprints, in order to guarantee the quality required for a positive identification through the correspondence of characteristic points.

The technique used for the development of fingerprints is magnetron sputtering. To promote the preferential deposition onto fingerprints ridges, the deposition parameters should be optimised.

In this study, copper and gold thin films were produced using stainless steel substrates. After optimising the deposition parameters, the influence of the fingerprints' age and donor were studied. The quality of the developed fingermarks was evaluated visually and through optical and scanning electronic microscopy observations. The morphology of the copper and gold thin films was examined by high resolution scanning electron microscopy. Using silicon substrates, a topographic analysis was carried out by tridimensional profilometry.

The preferential magnetron sputtering deposition of copper and gold thin films, 20-30 nm thick, allows latent fingerprints to be developed. The gold films are more promising, especially for detecting non-fresh fingerprints and for conserving the developed prints since, unlikely copper, they do not oxidise with time. In fact, it was possible to detect the contours of the ridges and the characteristic points in a one-month aged impression developed by gold deposition. These films present discontinuous surface and columnar cross-section morphology, while copper thin films have a more compact morphology.

Keywords: Sputtering, Fingerprints, Thin films.

RESUMO: Esta dissertação tem como objectivo revelar impressões digitais latentes, que assegurem e não comprometam a qualidade necessária para posterior identificação dos indivíduos através da correspondência de pontos característicos.

A técnica utilizada para a revelação de impressões digitais é a pulverização catódica magnetrão. Para tal, os parâmetros de deposição são optimizados de modo a que esta ocorra preferencialmente nas cristas das impressões digitais.

Neste estudo foram produzidos filmes finos de cobre e ouro utilizando substratos de aço inoxidável. Uma vez definidas as condições óptimas de deposição, foi estudada a influência de alguns factores - "idade" das impressões digitais, dador e teor sebáceo. A qualidade da revelação das impressões digitais foi avaliada visualmente e recorrendo à microscopia óptica e electrónica de varrimento. A morfologia dos filmes finos de cobre e ouro foi observada por microscopia electrónica de varrimento de alta resolução. Utilizando substratos de silício, foi efectuada uma análise topográfica por perfilometria tridimensional.

A deposição preferencial por pulverização catódica magnetrão de filmes finos de cobre e ouro, com espessuras entre 20 e 30 nm, permite revelar impressões digitais latentes. Os filmes de ouro são mais promissores, sobretudo na revelação de impressões digitais não "frescas" e na conservação das impressões reveladas pois, ao contrário do cobre, não oxidam com o tempo. De facto, foi possível detectar os contornos das cristas dermopapilares e pontos característicos numa impressão com um mês de "idade" revelada através da deposição de ouro. Estes filmes possuem uma superfície descontínua e secção transversal colunar, enquanto que os filmes finos de cobre apresentam uma morfologia mais compacta.

Palavras chave: Pulverização Catódica, Impressões Digitais, Filmes Finos.

INTRODUÇÃO

As ciências forenses e criminais desempenham uma função essencial no sistema de justiça, ao fornecer informação científica fundamental para a investigação criminal e para os tribunais. O trabalho laboratorial em ciências forenses e criminais é direccionado para o reconhecimento, identificação e avaliação de vestígios físicos, nomeadamente impressões digitais, recorrendo a um conjunto de ciências, em particular à Ciência de Materiais. Este importantíssimo campo científico, sendo o resultado da sinergia de diferentes campos do saber, representa actualmente uma área disciplinar própria, leccionada ao nível do 1º e 2º ciclo universitário nos países mais desenvolvidos. No entanto, apenas uma pequena parte de todos os vestígios digitais presentes em locais de crime é detectada, pelo que a investigação com vista a melhorar e desenvolver métodos de detecção e revelação de vestígios lofoscópicos assume um papel crucial no campo das ciências forenses. As impressões digitais denunciam a existência de cristas dermopapilares que são características únicas de cada indivíduo e não sofrem alterações ao longo da vida. Estas são “deixadas” nas superfícies devido aos resíduos (suor, gordura, aminoácidos e proteínas) presentes na pele dos dedos, ficando impressa na superfície a morfologia das cristas e sulcos, podendo ser visíveis ou invisíveis. As impressões invisíveis, designadas **impressões digitais latentes**, são as mais problemáticas uma vez que é necessário recorrer a métodos de revelação de modo a permitir a sua visualização. As linhas descritas pelas cristas dermopapilares apresentam pontos característicos que possibilitam a sua identificação por comparação com impressões digitais de indivíduos com cadastro compiladas num banco de dados digital.

A identificação através das impressões digitais continua a ser a mais utilizada para efeitos de investigação criminal. Para além do recurso a métodos ópticos, existem diversos métodos físicos, físico-químicos e químicos que permitem a revelação de impressões digitais latentes em diferentes superfícies. Devido ao elevado número de factores internos (natureza da superfície, dador, etc.) e externos (temperatura, humidade, etc.) que vão afectar a detecção e revelação de impressões digitais latentes, nenhum método é considerado ideal, pois consoante o tipo de factores presentes existem métodos mais ou menos adequados. O método ideal não existe, pelo que para cada caso é importante avaliar a situação para escolher o método ou a combinação de métodos mais promissores e consequentemente aquele ou aqueles que permitirão obter melhores resultados.

O trabalho proposto tem por objectivo a utilização da técnica de **pulverização catódica magnetron** (processo físico em fase de vapor) de modo a permitir a revelação de impressões digitais latentes através da deposição preferencial de elementos metálicos nas cristas das impressões digitais. De modo a assegurar a deposição preferencial dos elementos metálicos nas cristas das impressões digitais, os átomos deverão atingir o substrato com energia e velocidade reduzidas – átomos termalizados.

Além do propósito principal do trabalho - revelar impressões digitais latentes – o método utilizado permite que as amostras reveladas possam funcionar como base de dados, pois o próprio filme funciona como “capa” protectora impedindo a deterioração das impressões e fixando possíveis vestígios, que poderão posteriormente ser analisados. O depósito de um filme muito fino não compromete a existência de partículas reveladoras (drogas, explosivos) nas impressões digitais. Outra vantagem do método em estudo reside no facto da pulverização catódica ser uma técnica ambientalmente benigna e pouco agressiva para os utilizadores, ao contrário de outras técnicas utilizadas para a detecção e revelação de impressões digitais, tal como o método dos pós.

O trabalho de investigação decorreu no Grupo de Nanomateriais e Microfabricação do Centro de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra, cujos membros possuem uma vasta experiência na modificação de superfícies por pulverização catódica.

A primeira fase do trabalho consistiu na selecção dos alvos metálicos e dos substratos a utilizar no equipamento de pulverização catódica. Assim, com base na pesquisa bibliográfica efectuada e nos alvos disponíveis, foram seleccionados os seguintes materiais metálicos: cobre e ouro. Para substrato foi seleccionado um material metálico, uma vez que na bibliografia consultada a pesquisa sobre este tema recaiu em substratos de materiais poliméricos, e além disso, os materiais metálicos são frequentemente encontrados em locais de crime e neste tipo de superfície os métodos de detecção e revelação de impressões digitais ditos convencionais não são tão eficazes como noutras superfícies. O material metálico seleccionado foi um aço inoxidável austenítico 316 L (AISI^(a)) recozido e polido de um dos lados. Em algumas deposições também foram utilizados substratos de silício. Após a selecção dos materiais a utilizar neste estudo, filmes finos de cobre e ouro foram depositados de forma sistemática sobre substratos metálicos onde foram colocadas intencionalmente impressões digitais, com vista à optimização dos parâmetros de deposição (pressão de deposição, potência aplicada ao alvo e tempo de deposição). Feita a optimização dos parâmetros e estipuladas as condições óptimas de deposição foi estudada a influência de alguns factores na qualidade da revelação das impressões digitais: “idade” das impressões digitais, dador e teor sebáceo. Para tal, foram depositados filmes finos em substratos cujas impressões digitais não eram frescas (mais que um dia) e pertenciam a diferentes dadores.

A qualidade da revelação das impressões digitais foi avaliada visualmente e com recurso à microscopia óptica e electrónica, enquanto que a morfologia e topografia dos filmes finos de cobre e ouro foram analisadas por microscopia electrónica de varrimento e perfilometria tridimensional, respectivamente.

O presente trabalho é composto por 3 capítulos, seguidos das principais conclusões decorrentes da investigação desenvolvida. No primeiro capítulo é efectuada uma breve revisão sobre vestígios lofoscópicos. Após uma nota histórica introdutória, é feita uma primeira abordagem às impressões

^a Do inglês, American Iron and Steel Institute

digitais incluindo algumas noções de lofoscopia. Por fim, os principais métodos de detecção e revelação utilizados nos laboratórios forenses são referenciados. No segundo capítulo são apresentados os materiais, técnicas, equipamentos e condições utilizados ao longo do trabalho. A técnica de pulverização catódica, pouco familiar entre os cientistas forenses, é sucintamente descrita. Os resultados e discussão dos mesmos constam do terceiro capítulo.

1. BREVE REVISÃO SOBRE VESTÍGIOS LOFOSCÓPICOS E SUA REVELAÇÃO

A Lofoscopia (do grego “Iophos” + “scopia” - colina + observação) tem por objecto o estudo pormenorizado dos desenhos da pele dos dedos, da palma das mãos e da planta dos pés, com o fim de identificar o indivíduo. Lofoscopia é, portanto, a Ciência que estuda a identificação do ser humano através das suas impressões dermopapilares [1]. Estes desenhos são perenes e imutáveis, isto é, permanecem invariáveis desde o sexto mês de gestação até à putrefacção da derme, não podendo ser modificados voluntariamente. Além disso, são infinitamente diversiformes, já que são característicos de cada indivíduo. Com efeito, as impressões digitais e o ADN (ácido desoxirribonucleico) são as únicas características humanas que são únicas para cada indivíduo [2].

A análise de impressões digitais continua a ser o método de eleição na identificação de indivíduos para efeitos de investigação forense e criminal. A identificação pessoal através de impressões digitais é baseada em 2 critérios [3]:

- i) Os padrões das cristas presentes nas impressões digitais diferem de indivíduo para indivíduo e ainda de dedo para dedo;
- ii) Estes padrões mantêm-se inalteráveis durante toda a vida do indivíduo.

1.1 Perspectiva Histórica [4-6]

Há muito tempo atrás que se suspeitava que a unicidade das impressões digitais poderia servir como método de identificação de indivíduos. Na antiguidade, na China e Babilónia, foram encontradas impressões digitais em placas de argila usadas como assinatura nas transacções comerciais. No século XIV, na Pérsia, os documentos ditos do governo continham impressões digitais como assinatura [2].

A partir de metade do século XIX, técnicas alternativas de identificação pessoal foram ganhando espaço entre os investigadores criminais. Entre elas uma ficaria para a história: a **impressão digital**. As marcas das mãos e dos dedos já eram utilizadas como uma espécie de assinatura, principalmente nas colónias do então vasto império britânico. Em 1858, o administrador inglês William Herschel fazia com que os seus empregados “assinassem” contratos com a marca das suas mãos molhadas em tinta. Em 1877, o microscopista americano Thomas Taylor, que trabalhava no departamento de agricultura dos Estados Unidos, sugeriu, pela primeira vez, que os traços das mãos fossem utilizados para identificar criminosos. A sua ideia foi publicada no *American Journal of Microscopy and Popular Science*, mas não obteve grande repercussão. Foi apenas em

1880 que o médico britânico Henry Faulds apresentou oficialmente um método de identificar as pessoas por meio das marcas existentes nos dedos. Publicado na revista científica inglesa *Nature*, o estudo de Faulds é considerado o marco inicial da técnica de dactiloscopia (ramo da lofoscopia que estuda as impressões dos dedos) [4]. Radicado no Japão, Faulds começou a ter interesse pelas impressões digitais por acaso. Observando cerâmicas antigas num museu de Tóquio, ele detectou marcas de dedos que ficaram impressas na superfície do pote durante milhares de anos. Comparando com as marcas deixadas pelos seus próprios dedos, Faulds percebeu que elas eram diferentes. Parecidas no conjunto, mas muito particulares nos detalhes. Assim, enviou as suas conclusões ao famoso biólogo britânico Charles Darwin, este enviou-as ao seu primo cientista Francis Galton. Foi ele quem tornou a análise das impressões uma ciência, desde que percebeu que os traços das impressões digitais possuíam características únicas em cada indivíduo, jamais se repetiam e eram mantidos inalterados durante toda a vida [4]. Além disso, Galton classificou as linhas das pontas dos dedos em três tipos básicos: arcos, laços e espirais; num sistema cujos princípios perduram até hoje.

Em 1901, o investigador inglês Edward Henry criou o departamento de identificação por impressão digital da Scotland Yard, a polícia inglesa que ficou famosa, entre outras coisas, por contar com os préstimos do fictício Sherlock Holmes, personagem de Arthur Conan Doyle que, não por acaso, andava sempre com uma lente de aumento. Foi a primeira iniciativa de se fazer um banco de dados com as impressões digitais de criminosos para serem comparadas com as marcas deixadas nos locais do crime. Os investigadores da Scotland Yard perceberam que era inevitável que os criminosos deixassem as suas marcas (vestígios lofoscópicos). Foi em 1901 que as impressões digitais foram pela primeira vez aceites como prova em tribunal, tendo sido adoptado o sistema de identificação por impressões digitais em Inglaterra e no País de Gales [5].

Em 1911, o advogado criminalista francês Edmond Locard propôs que 12 pontos característicos coincidentes bastavam para identificar uma impressão digital. Hoje, cada país adopta um número diferente de pontos para a identificação positiva [4].

Em mais de um século de uso, o método obteve sucessos históricos, mas também cometeu erros grotescos. Desde a descoberta, evoluiu muito e, hoje, diversas polícias no mundo usam um Sistema Automatizado Integrado de Identificação de Impressão digital (IAFIS^(b)). O IAFIS é composto de dois subsistemas que processam buscas, armazenam e recuperam informação das bases de dados: o subsistema de armazenamento e recuperação de imagens e o subsistema de processamento de buscas. Nos estados unidos, o FBI tem um banco digital com mais de 54 milhões de impressões digitais de pessoas com cadastro [4,6].

1.2 Impressões Digitais

Observando os dedos é visível um conjunto de “altos”, designados por cristas dermopapilares (nervuras ou linhas), que desenham diferentes padrões. A impressão digital é a repre-

^b Do inglês, Integrated Automated Fingerprint Identification System

sentação gráfica do conjunto de cristas e sulcos observados na última falange. Na figura 1.1 é apresentado o pormenor das cristas dermopapilares e a estrutura da pele. Estas cristas funcionam como antiderrapantes; se as nossas mãos (e também os pés) fossem lisos os objectos escorregavam com muito maior facilidade.

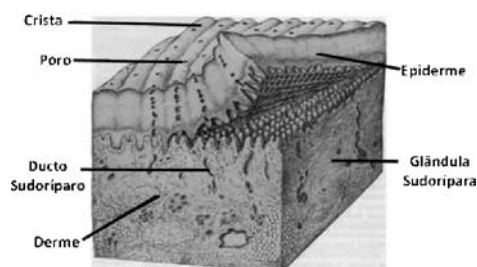


Fig. 1.1. Estrutura da pele [7].

Quando se toca numa superfície são deixados resíduos de gordura, suor, aminoácidos e proteínas. São esses resíduos que permitem obter as impressões digitais. As impressões digitais são depositadas nas superfícies de uma forma mais ou menos contínua de acordo com a morfologia das cristas e contêm uma grande variedade de químicos. A espessura dos resíduos que são depositados nas superfícies é de apenas poucos micrómetros, e após um período de 1-2 meses ocorre secagem e evaporação dos químicos presentes [8]. As impressões papilares podem ser formadas de forma distinta [3]:

- i) Impressão moldada – por decalque do dedo numa superfície macia (pomada, cera, etc.) ou assentamento numa substância que possa aderir às cristas (poeira, tinta e verniz frescos, etc.) é possível formar uma impressão;
- ii) Impressão visível – as cristas papilares de um dedo contaminado com um material colorido (tinta, sangue, poeira) têm a propriedade de se reproduzir desde que postas em contacto com uma superfície adequada;
- iii) Impressão latente – quando um dedo toca numa superfície, os poros das cristas dermopapilares depositam resíduos (segregações) de transpiração. Estes resíduos consistem maioritariamente em água (99%) e o restante em sais inorgânicos (NaCl) e substâncias orgânicas (ureia). O suor dos dedos faz com que as cristas sejam reproduzidas se forem apoiadas em superfícies aptas, resultando impressões invisíveis ou fracamente visíveis à luz directa, por não haver contraste entre a matéria das impressões e a cor do seu suporte.

De entre os 3 tipos de impressões possíveis de encontrar em locais de crime, as marcas latentes são as mais comuns e as mais problemáticas. A aplicação de técnicas ópticas, químicas, físicas e físico-químicas é necessária para a sua visualização. Os vestígios lofoscópicos são frequentemente encontrados fragmentados, distorcidos, manchados, o que dificulta a sua visualização. Tem de se ter em conta que são muitos os factores que influenciam a qualidade da impressão digital latente (elasticidade da pele, pressão exercida, natureza da superfície, etc.), fazendo com que esta seja diferente da impressão digital padrão depositada sob condições controladas para efeitos comparativos.

Sendo os vestígios lofoscópicos latentes constituídos normalmente por uma mistura de secreções naturais de várias glândulas na pele, podem ser também muitas vezes contaminados por outras substâncias existentes no ambiente e que ficam agarradas à pele dos indivíduos [9]. Factores tais como a temperatura, a exposição à luz e à água e a humidade relativa alteram a natureza química e física de um vestígio digital [9]. Assim, a qualidade da revelação dos vestígios lofoscópicos latentes depende de vários factores: quantidade de suor, gordura, secreções presentes, natureza da superfície, temperatura, humidade, pressão exercida, etc. [10,11].

De acordo com o sistema de classificação de Edward Henry, as impressões digitais podem ser agrupadas nos 3 tipos básicos representados na figura 1.2: laços, espirais e arcos.



Fig. 1.2. Linhas padrão básicas das impressões digitais: a) Laços; b) Espiral; c) Arco [12].

Cada um destes padrões tem pontos característicos que servem para classificação e identificação das impressões digitais. Com efeito, as linhas de uma impressão digital nem sempre são contínuas nem independentes umas das outras; isto é, bifurcam, convergem, são interrompidas ou estão simplesmente reduzidas a um ponto. Estas particularidades ou acidentes morfológicos das linhas papilares, são os chamados pontos característicos, dos quais se destacam os pontos esquematizados na figura 1.3. Os padrões tipo arco não apresentam nenhum centro, nem delta, como os padrões tipo laço e espiral.

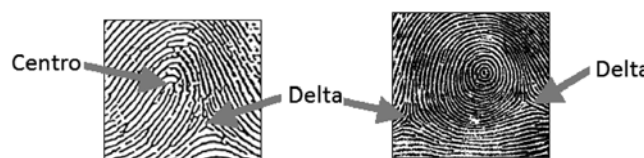


Fig. 1.3. Características típicas de impressões digitais em laço e espiral [12].

Para que uma impressão digital tenha valor identificativo, não é necessário que represente toda a superfície digital; a parte ou fragmento que for reproduzido deve apresentar um número suficiente de pontos característicos. Além dos pontos característicos de cada padrão, na identificação das impressões digitais é tido em conta o posicionamento relativo dos vários pontos característicos. Existe alguma divergência no que respeita ao número de pontos característicos coincidentes para se poder afirmar a identidade entre duas impressões. No entanto, a prática continuada ao longo de muitos anos tem demonstrado que dez coincidências sem dissemelhanças morfológicas ou topográficas são suficientes para assegurar que duas impressões digitais foram produzidas por igual região papilar de uma mesma pessoa [1]. Em Portugal, são necessários 13 pontos característicos coincidentes para identificação positiva. A forma e distribuição dos poros existentes nas cris-

tas tem igualmente valor identificativo, mas a resolução das imagens dos vestígios lofoscópicos nem sempre é adequada. Entre 20 a 40 poros coincidentes deverão ser suficientes para determinar a identidade de um indivíduo [7]. No entanto, a informação contida a este nível ainda não é considerada pelo sistema de identificação IAFIS.

Mais de 1 século depois, desde que foi adoptado o sistema de identificação legal por impressões digitais, a detecção e identificação das impressões digitais ainda continua a ser a técnica mais usada nas investigações criminais, por serem consideradas assinaturas biométricas, únicas e invariáveis, de um indivíduo.

1.3 Detecção e Revelação de Vestígios Lofoscópicos Latentes

Apesar de existirem muitos métodos usados pela polícia para detectar impressões digitais, existe um grande grupo de superfícies em que nenhum dos métodos é adequado. Para que sejam desenvolvidas novas técnicas é essencial que as propriedades físicas e químicas das impressões digitais sejam conhecidas, uma vez que, a detecção das mesmas é baseada na exploração das diferenças entre a natureza física e química das impressões digitais e as superfícies subjacentes. A preservação dos vestígios lofoscópicos latentes é crucial para o exame eficaz de objectos em, e provenientes, dos locais do crime. Isto significa que se deve ter especial cuidado no manuseamento e empacotamento desses elementos de modo a evitar danos nos vestígios lofoscópicos existentes.

Para seleccionar qual o melhor método e sequência a adoptar deve ter-se em conta, em primeiro lugar, a superfície em que vão ser revelados os vestígios lofoscópicos. Se um método falhar, outro poderá ter êxito. Quando são utilizados vários métodos deve ser seguida a sequência correcta uma vez que, se for utilizado em primeiro lugar o método errado, este poderá danificar os vestígios latentes que poderiam ter sido revelados por outro método. Os vestígios revelados devem ser fotografados ou cobertos, conforme o caso, antes do tratamento seguinte. Sempre que possível, devem ser aplicados localmente tratamentos separados. Todos os vestígios úteis devem ser fotografados depois de cada processo, uma vez que poderão ser danificados ou destruídos por um tratamento posterior [9]. Uma variedade de técnicas tem sido usada para melhorar a visibilidade das impressões digitais latentes. Para além do recurso a métodos ópticos, existem diversos métodos químicos, físico-químicos e físicos que permitem a revelação de vestígios lofoscópicos latentes. A escolha do(s) método(s) mais adequado(s) depende de vários factores, como sejam, a natureza da superfície, a presença de contaminantes e factores ambientais. Alguns destes métodos são de seguida sucintamente descritos, pondo em evidência as suas principais vantagens e desvantagens.

1.3.1 Métodos Ópticos

Exame por Fluorescência.

A fluorescência é a propriedade que alguns químicos possuem de serem capazes de absorver a luz de uma cor específica e de, em seguida, converterem alguma desta energia absorvida,

em luz de uma cor diferente de maior comprimento de onda. O tempo que medeia entre a absorção e a emissão é apenas uma fracção de segundo, de modo que quando a luz iluminante é retirada, a emissão aparentemente pára [9]. Alguns dos constituintes químicos que aparecem nas impressões digitais, bem como algum tipo de contaminação decorrente do ambiente e, subseqüentemente, depositados nas impressões digitais, “fluorescerão” com iluminação adequada [9,13]. Esta fluorescência poderá ser visível à vista ou poderá ocorrer nas gamas de infra vermelho (IV) ou ultra violeta (UV) onde são necessários outros tipos de detectores. Habitualmente, a superfície a ser examinada é iluminada com luz visível de baixo comprimento de onda (azul, verde) e/ou ultravioleta. A superfície é, então vista através de filtros que transmitem luz apenas de um comprimento de onda. Poderão ser utilizados tratamentos que façam com que as impressões digitais “fluoresçam” de uma forma mais intensa [9].

1.3.2 Métodos Químicos

Ninidrina

A ninidrina é uma substância que é apresentada sob a forma de cristais branco/esverdeado e reage com o componente dos aminoácidos presentes nos resíduos deixados pelas impressões digitais (secreção écrina), dando um produto de cor púrpura conhecido por “púrpura de Ruhemann” [8,9,11]. As reacções químicas envolvidas são complexas e, como resultado, as condições de revelação precisam de ser controladas. O método é muito eficaz para a revelação de vestígios lofoscópicos em superfícies porosas, tais como o papel [9]. A revelação com ninidrina pode ser afectada por factores como a temperatura, humidade, pressão exercida pelo dedo na superfície de contacto, tempo de contacto e quantidade de suor transferido. Actualmente existem reagentes que actuam de modo idêntico à ninidrina.

1.3.3 Métodos Físico-Químicos

Evaporação de cianoacrilato

O cianoacrilato líquido forma um vapor que reage com certos componentes de uma impressão digital. O vapor é polimerizado selectivamente nas cristas dermopapilares formando um polímero branco [9]. As impressões digitais gordurosas (com elevado componente sebáceo) parecem ser particularmente sensíveis ao vapor de cianoacrilato. Esta técnica é eficaz na maioria das superfícies não porosas, em especial as plásticas [9]. O contraste produzido por impressões digitais reveladas com esta técnica pode ser melhorado pela aplicação de um agente corante ou luminescente.

Deposição Multimetal (MMD^(c))

O uso de ouro coloidal no domínio das ciências forenses, nomeadamente como método de detecção de impressões digitais latentes, foi introduzido por G. Saunders em 1989 [14]. Esta técnica, designada deposição multimetal, compreende dois estágios: i) imersão do objecto a tratar numa solução

^c Do Inglês, Multimetal Deposition

coloidal de ouro (componente activo); ii) reforço das impressões detectadas através do uso de um revelador físico. Posteriormente este método foi otimizado por P. Margot e seus colaboradores [14,15]. A vantagem deste método reside na sua sensibilidade, particularmente com impressões digitais “antigas”. Acresce ainda o facto de poder ser utilizado em diferentes superfícies, porosas e não porosas. No entanto, a deposição multimetal requer um elevado número de banhos e reagentes, traduzidos por um trabalho aturado e por um elevado custo. Recentemente, impressões digitais reveladas por este método têm sido observadas por microscopia electroquímica de varrimento [16,17].

1.3.4 Métodos Físicos

Revelação por Pós

O método dos pós utiliza reagentes sólidos, sob a forma de pós que aderem às substâncias transmitidas por meio das cristas dermopapilares, uma vez que estas têm propriedades de aderência superiores às da superfície que suporta os vestígios lofoscópicos [3,18]. O pó considerado ideal para a revelação de impressões digitais deve aderir unicamente aos resíduos deixados pela impressão, os quais dão informação sobre as características padrão que a identificam. Desde o início do século XX, este método tem sido muito usado na revelação de impressões digitais latentes [3]. Existem vários tipos de pós (magnéticos, fluorescentes, etc.) para a revelação de vestígios latentes, dos quais se tem destacado o pó de alumínio aplicado com uma escova fina de fibra de vidro [3,18]. Com vestígios recentes, o componente aquoso do vestígio contribui de uma forma significativa para adesão dos pós, enquanto que, com vestígios mais antigos, os pós aderem, principalmente, aos depósitos gordos do suor sebáceo. A eficácia deste método é variável, dependendo da natureza química e física do pó, do tipo de aplicador e dos cuidados e perícia do operador. A maior parte dos dados disponíveis indica que, em muitas circunstâncias os pós em flocos são mais sensíveis do que outro tipo de pós. Inicialmente a escolha dos pós e os modos de aplicação foram feitos de modo *ad hoc*. Posteriormente, foram desenvolvidos estudos com o objectivo de estabelecer o mecanismo de adesão dos pós às cristas dermopapilares, permitindo o desenvolvimento de modos de aplicação dos pós menos interactivos do que o uso de escovas convencionais [3]. Com efeito, a aplicação dos pós com escova (pincel) pode danificar mecanicamente as cristas das impressões digitais [8].

Os vestígios revelados por pós podem ser transplantados com fita adesiva transparente adequada para lamelas de vidro, para papel fotográfico contrastante com o pó utilizado ou para folhas de “mica” transparente, para posterior triagem e fotografia em instalações adequadas [9].

Deposição de Metais em Vácuo (VMD^d)

A deposição de revestimentos finos ou filmes sobre um material tem por finalidade alterar as suas propriedades superficiais. O desenvolvimento das técnicas de deposição tem

permitido que o leque de aplicação abranja áreas tão diversificadas como a indústria mecânica, a (micro)electrónica, biomedicina, e neste caso as ciências forenses. Com efeito, através da deposição em vácuo é possível revelar impressões digitais latentes. A deposição de um filme sobre a impressão digital permite igualmente fixar vestígios de explosivos ou estupefacientes que posteriormente poderão ser analisados. O uso de técnicas de espectroscopia na análise de vestígios de drogas e explosivos nas impressões digitais latentes possibilita a obtenção de informação inteligente e estilo de vida sobre o dador da impressão [19]. A detecção de impressões digitais com rastreio de explosivos ou estupefacientes constitui uma vantagem do método de deposição de metais em vácuo relativamente a outros métodos de revelação que destroem estes vestígios. Quando o objectivo é produzir filmes de reduzida espessura, sem aquecimento significativo do substrato, as técnicas de deposição em fase de vapor (PVD^e) são as mais adequadas [20]. De entre estas técnicas destacam-se a evaporação e a pulverização catódica de metais puros, cuja utilização, sobretudo da primeira, na revelação de impressões digitais tem sido referenciada na literatura [10,21-25].

Evaporação

A técnica de evaporação de metais em vácuo tem sido usada desde meados da década de 70 nos laboratórios forenses para revelação de vestígios lofoscópicos latentes em superfícies não porosas, tais como plásticos [10,21]. Esta técnica é considerada mais sensível que a evaporação de cianoacrilato, a qual é frequentemente utilizada na revelação de vestígios latentes em superfícies não porosas. A maior sensibilidade da técnica de evaporação em vácuo, face à evaporação de cianoacrilato, é especialmente evidente quando os vestígios são antigos ou tenham sido expostos a condições ambientais adversas [22-24]. A evaporação não tem sido largamente usada na detecção e revelação de vestígios lofoscópicos latentes devido aos elevados custos do equipamento e manutenção, e à necessidade de técnicos habilitados de modo a garantir o funcionamento adequado do equipamento e permitir a optimização das condições de deposição [22,23].

O método de evaporação em vácuo tem por base uma propriedade invulgar dos elementos metálicos do grupo 12 da tabela periódica: zinco, cádmio e mercúrio [24]. Em vácuo, os átomos destes metais não se depositam em superfícies não metálicas, a não ser que uma das seguintes condições ocorra [23,24]:

- i) a superfície está a temperaturas muito baixas (abaixo de -100°C);
- ii) a superfície apresenta à partida locais de nucleação de outro metal.

Assim, o método de revelação por evaporação envolve a deposição de ouro seguida da deposição de zinco (ou cádmio) sob vácuo [22-24]. Os locais de nucleação do ouro têm a forma de pequenos aglomerados (“clusters”) e são geralmente considerados os mais adequados para preparação da superfície, quando é utilizado o zinco na segunda deposição [24].

^d Do inglês, Vacuum Metal Deposition

^e Do inglês, Physical Vapour Deposition

O primeiro estágio desta técnica consiste na deposição de uma fina camada de ouro em toda a superfície à excepção das cristas das impressões digitais onde a deposição é inibida devido à presença de gordura e suor [3,8]. O ácido esteárico, um dos componentes das impressões digitais, é conhecido por inibir a condensação de ouro [8]. De seguida, é depositada uma camada mais espessa de zinco ou cádmio de modo a revelar as impressões digitais pela negativa, já que estes metais apenas crescem nos locais onde existem núcleos de ouro, ou seja, em toda a superfície excepto nas cristas das impressões digitais [22-24]. As cristas ficam transparentes enquanto o fundo da superfície, incluindo os vales entre elas, ficam cobertos por uma camada de zinco ou cádmio. A camada de ouro que é formada no primeiro estágio do processo é extremamente fina e descontínua. A estrutura e espessura do filme de ouro (o tamanho, a forma e a densidade dos “clusters” de ouro) são determinantes para o tipo de ligação do zinco à superfície e consequentemente influenciam a qualidade de revelação [23].

Pulverização Catódica

A pulverização catódica (“sputtering” em inglês) é uma técnica de deposição em fase de vapor, que ocorre a pressões mais elevadas e com velocidades atómicas inferiores quando comparada com a evaporação. Dependendo das condições de deposição adoptadas, sobretudo da pressão e da potência/corrente, os átomos ejectados do alvo podem ficar termalizados, ou seja, apresentar energia e velocidade muito baixas ao atingir o substrato.

Até ao momento a bibliografia sobre revelação de impressões digitais através da técnica de pulverização catódica é escassa. De facto, na literatura disponível apenas foi encontrado um artigo. K. Kent e M. Stoilovic [25] demonstraram que ocorre deposição preferencial nas cristas das impressões digitais utilizando a técnica de pulverização catódica em corrente contínua, embora não apresentando nenhuma explicação teórica para o sucedido. O método foi usado com sucesso na revelação de impressões digitais latentes depositando filmes metálicos sobre substratos de polietileno. Neste trabalho foram testados 4 alvos metálicos puros: cobre, zinco, platina e ouro. Para limitar ao máximo o número de variáveis, só foi usado um dador e o dedo escolhido foi o médio. As impressões digitais foram colocadas no interior de sacos (12 cm x 10 cm) de polietileno para evitar contaminação [25]. Após revelação as impressões digitais foram observadas e fotografadas.

Algumas fotografias das impressões digitais reveladas foram tiradas com uma ampliação de 50 x, para mostrar a deposição preferencial em maior detalhe. Na figura 1.4 é possível confirmar que cada um dos metais é depositado preferencialmente ao longo das cristas, de forma nem sempre homogénea e mostrando claramente os poros [25].

A comparação entre as revelações utilizando filmes produzidos a partir dos 4 alvos permitiu concluir que a platina e o ouro apresentavam melhores resultados face ao cobre e ao zinco, embora todos eles possibilitassem a revelação de impressões digitais “frescas” (recentes). Seguidamente, foram estudadas impressões com 1 mês utilizando filmes de ouro e platina, apresentando os últimos melhores resultados [25].

Por último, a deposição de filmes de platina foi comparada com um dos métodos mais comuns: evaporação de cianoacrilato, para a revelação de impressões digitais com 1 ano de idade. Mais uma vez, a revelação através da deposição de um filme fino de platina se revelou mais eficaz. Este resultado foi justificado pelo facto de na pulverização catódica as impressões digitais serem reveladas por átomos de platina, ao invés da evaporação de cianoacrilato que revela as mesmas através de moléculas de cianoacrilato. Tendo os átomos de platina dimensões muito inferiores quando comparados com as moléculas de cianoacrilato é esperado que consigam detectar quantidades inferiores de resíduos e segregações [25]. Apesar dos resultados apresentados serem promissores e ao contrário do que era proposto, até à data este trabalho não teve continuidade.

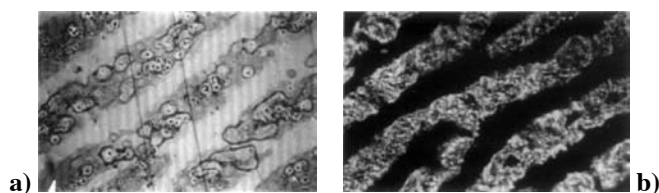


Fig. 1.4. Fotografias de impressões digitais reveladas utilizando: a) cobre; b) ouro [25].

Apesar de todas as técnicas existentes, subsiste a necessidade de serem desenvolvidos novos e mais eficientes métodos de detecção de impressões digitais latentes [26]. Neste contexto, recentemente têm surgido na literatura referências ao uso de nanopartículas na detecção e revelação de vestígios lofoscópicos latentes [2,26-29]. As nanopartículas têm dimensões muito inferiores às partículas convencionais usadas na detecção de impressões digitais, as quais têm tamanhos da ordem de 1-10 μm [26]. Com efeito, o actual desenvolvimento dos nanomateriais e nanotecnologias tem também repercussões no campo das ciências forenses e, no futuro, poderá contribuir de forma decisiva na detecção de vestígios lofoscópicos. Contudo, a implementação de técnicas com base em nanotecnologia na resolução de casos forenses rotineiros requer ainda mais pesquisa e investigação. De salientar que o desenvolvimento de nanomateriais levanta muitas questões ainda por responder e preocupações quanto às suas consequências para o ambiente e saúde humana.

Na literatura recente, tem sido feita referência ao uso de nanopartículas de ouro, prata, óxidos de zinco e titânio, selênio de cádmio e sulfureto de zinco utilizando diferentes abordagens, das quais se destacam a deposição multimetal e a observação directa com luz ultravioleta [26-29].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais utilizados, assim como as técnicas e os procedimentos experimentais referentes à deposição e à caracterização dos filmes finos utilizados na revelação de vestígios lofoscópicos.

2.1 Materiais

Na técnica de pulverização catódica é designado por alvo o material a partir do qual vai ser depositado um filme sobre uma fase condensada que fisicamente o vai suportar e que é designado por substrato [30]. O alvo e o substrato funcionam como eléctrodo negativo e positivo, respectivamente.

2.1.1 Alvos

Na deposição dos filmes finos foram usados alvos metálicos puros, de cobre (pureza 99,95%) e de ouro (pureza 99,95%), ambos com um diâmetro de 50 mm. Para cada alvo houve necessidade de seleccionar as condições de deposição mais adequadas.

2.1.2 Substratos

Neste trabalho foram utilizados 2 tipos de substrato, aço inoxidável 316L (AISI^(f)) e silício. O aço foi utilizado como substrato na revelação de impressões digitais, já que em superfícies metálicas os resultados da revelação de vestígios lofoscópicos por técnicas mais convencionais nem sempre são satisfatórios [9]. A composição química do aço 316L em peso é Fe/ Cr 18/ Ni 10/ Mo 3 e este foi fornecido pela Goodfellow, em lâminas com dimensões de 90 x 210 mm, com uma espessura de 0,9 mm. O aço já estava recozido e polido numa das faces. O silício foi usado como substrato na optimização dos parâmetros de deposição e de modo a permitir a utilização de algumas técnicas de caracterização, para as quais a rugosidade do aço era demasiado elevada.

Todos os substratos (aço e silício) foram limpos em banhos de ultra-sons, sucessivamente em acetona e álcool, e posteriormente secos em corrente de ar quente. Em alguns substratos de silício foi colocada uma gota de nitreto de boro no centro dos mesmos, permitindo posteriormente, após o seu destacamento, medir o degrau causado pelo filme depositado e assim avaliar a sua espessura.

2.2 Método de Deposição: Pulverização Catódica

A pulverização catódica é um dos métodos mais comumente utilizados para a deposição de filmes finos. Esta popularidade é devida à simplicidade, versatilidade e flexibilidade que envolvem este processo físico em fase de vapor. As primeiras referências a esta técnica datam de 1852, quando Grove observou a deposição de metal pulverizado a partir de um cátodo onde estava aplicada uma descarga incandescente; sendo utilizada pela primeira vez no ano de 1877 no revestimento de espelhos [31]. Desde então, a pulverização catódica tem sofrido alterações. Esta evolução está relacionada com o desenvolvimento do equipamento de vácuo [32]. Esta técnica é ambientalmente benigna, de fraco impacto ambiental, não necessitando do uso de reagentes químicos nocivos.

O processo de pulverização catódica compreende três estágios:

- i) Criação de uma fase gasosa;

- ii) Transporte das espécies a depositar para o substrato;

- iii) Deposição e crescimento do filme no substrato.

Como consequência do bombardeamento de um alvo com iões energéticos (figura 2.1) podem ocorrer os seguintes efeitos [33-35]:

- i) O ião é reflectido e neutralizado no processo;
- ii) São emitidos electrões secundários devido ao impacto;
- iii) O ião arranca átomos do alvo.

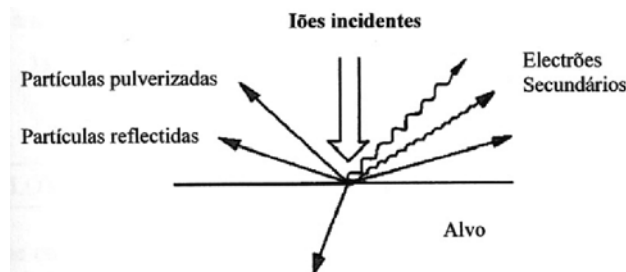


Fig. 2.1. Interações iões/superfície na superfície do alvo [35].

Os átomos na fase de vapor são condensados na superfície do substrato formando as chamadas ilhas de átomos, figura 2.2. Com a continuação da deposição, as ilhas são desenvolvidas lateralmente levando a uma distribuição uniforme do material por toda a superfície do substrato.

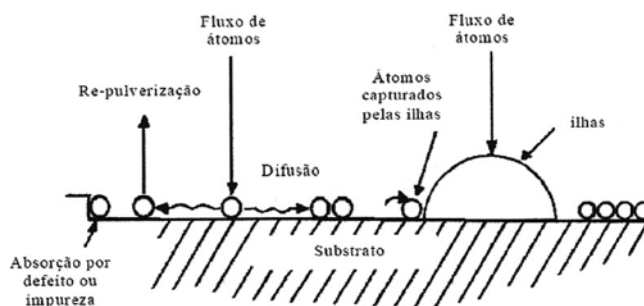


Fig. 2.2. Interações na superfície do substrato [35].

No presente trabalho a deposição dos filmes finos foi feita por pulverização catódica utilizando corrente contínua e recorrendo a um campo magnético aplicado ao cátodo (alvo) - pulverização catódica magnetron. A função do campo magnético é promover o uso eficiente dos electrões, de forma a produzir uma maior ionização. O campo magnético é aplicado em concertação com o campo eléctrico de modo a criar trajectórias obrigatórias para os electrões, promovendo, assim, um maior número de colisões. Neste processo, o plasma está confinado à região em frente ao alvo e os electrões ficam retidos próximo da superfície que os emite. A principal desvantagem do modo magnetron é a desigual erosão do alvo, devido à concentração do plasma na zona que engloba a trajectória dos electrões. O desgaste do alvo decorre, preferencialmente, na zona onde se faz sentir a influência do campo magnético, o que impede a utilização efectiva do alvo, podendo encarecer significativamente o processo se o alvo não for recuperável ou reciclável [35].

A pulverização catódica é uma técnica de deposição em vácuo que pode ser realizada a pressões relativamente elevadas

^f Do inglês, American Iron and Steel Institute

e com átomos termalizados, ao contrário do que sucede na evaporação. Dependendo das condições de deposição os átomos ejetados do alvo vão sofrer colisões até chegar ao substrato, podendo ou não ficar termalizados (muito baixa energia e velocidade) na chegada ao substrato [20].

Neste estudo, para que ocorresse deposição preferencial dos elementos metálicos nas cristas das impressões digitais foram aplicadas condições de vácuo de modo a que os átomos atingissem o substrato com a mínima energia e velocidade, vindos de diferentes direcções.

2.2.1 Equipamento

Após a selecção dos materiais a utilizar, os filmes foram depositados sobre os respectivos substratos por pulverização catódica magnetrão. Foi usado um equipamento da marca Edwards Coating System (figura 2.3).

O sistema de deposição utilizado é formado por três partes fundamentais; o equipamento de vácuo, a câmara de deposição e o equipamento auxiliar. O equipamento de vácuo é constituído por uma bomba primária modelo E2M 1,5 da Edwards e por uma bomba turbomolecular modelo EXT 70 da Edwards. A câmara de deposição é constituída por um cilindro de vidro assente numa base de alumínio, em que o topo é amovível, onde está presente um magnetrão circular que permite a fixação de um alvo. O magnetrão é arrefecido por água, garantindo o arrefecimento do alvo durante o processo de pulverização. A câmara de deposição possui várias entradas de forma a permitir a admissão dos gases durante a deposição. O equipamento auxiliar é constituído por uma fonte de alimentação modelo PFG 1500 DC- Generator da Huttinger, material de controlo de pressão e válvulas reguladoras.



Fig. 2.3. Equipamento de pulverização catódica.

2.2.2 Procedimento

Antes de iniciar qualquer descarga a câmara de deposição é evacuada até uma pressão da ordem de 10^{-3} Pa. Os substratos são colocados no interior da câmara de modo a que a distância interelectrodos seja 10 cm.

Deposições para Avaliação de Espessura

Após a limpeza dos alvos, a etapa seguinte deste trabalho consistiu na deposição para avaliação de espessura. Assim,

foram depositados filmes finos por pulverização catódica magnetrão, fazendo variar os seguintes parâmetros: a potência (P), a pressão de deposição (P_{dep}) e o tempo. As condições de deposição estão reunidas na tabela II.1. Nesta fase foram utilizados tempos de deposição mais elevados de modo a permitir a avaliação das espessuras por perfilometria.

Tabela II.1 Condições de deposição para avaliação de espessura.

Alvo	$P_{inicial}$ (Pa)	P_{dep} (Pa)	Densidade de Potência ($W.cm^{-2}$)	Tempo (min)
Cu	6×10^{-3}	2-6	5,1 – 7,6	10
Au	6×10^{-3}	4-6	5,1 – 7,6	2

Deposições para Revelação de Impressões Digitais

Como já foi dito anteriormente, todos os substratos foram limpos em banhos de ultra-sons, sucessivamente em acetona e álcool, e secos em corrente de ar quente. De seguida, foi “colocada” intencionalmente uma impressão digital em cada substrato.

Foram feitas várias deposições para a optimização do processo de deposição. Mais uma vez, foram depositados filmes finos por pulverização catódica magnetrão, fazendo variar os seguintes parâmetros: a potência (P), a pressão de deposição (P_{dep}) e o tempo. A todas as amostras foi feita uma observação visual recorrendo ao microscópio óptico e posteriormente foram tiradas fotografias.

A influência da “idade” e dador das impressões digitais na qualidade da revelação foi estudada. É de realçar que existem algumas condições e factores adversos que são difíceis de controlar e reproduzir, tais como, a quantidade de gordura e água, a presença de impurezas, a força imprimida na impressão digital, etc [3]. De modo a perceber a influência da “idade” foram reveladas impressões digitais “frescas” e com vários dias, desde 1 até 30 dias; ou seja, alguns substratos após a limpeza e colocação da impressão digital foram guardados durante o tempo estipulado para posterior deposição nas condições definidas como ideais para cada um dos alvos. Quanto ao dador foram escolhidos: dadores I e II do sexo feminino e dadores III e IV do sexo masculino. Os dedos escolhidos para a recolha das impressões digitais foram o indicador e o polegar, dando mais ênfase ao primeiro. Para posterior efeito comparativo foram recolhidas em papel impressões digitais dos vários dadores utilizando tinta para marcadores. Alguns exemplos destas impressões são apresentados na figura 2.4.



Fig. 2.4. Impressão digital do indicador e polegar a) do dador I e b) do dador III.

Durante este trabalho foram realizadas mais de 100 deposições de filmes finos, entre o alvo de cobre e ouro. Nestas deposições são incluídas deposições para optimização dos parâmetros, avaliação de espessura e deposições para revelação de impressões digitais.

2.3 Métodos de caracterização

Para conhecer e compreender o comportamento dos filmes finos foram utilizadas diferentes técnicas de caracterização. É de ter em conta que para o presente trabalho o principal objectivo é ver se as impressões digitais colocadas intencionalmente nos substratos são ou não reveladas através da deposição preferencial de filmes finos. Assim, é dada maior relevância às técnicas de observação visual e microscópica, em detrimento de outras técnicas.

Seguidamente são descritas de modo sucinto as técnicas utilizadas na caracterização dos filmes finos. Além disso, são também referidos os equipamentos e as condições de operação adoptadas neste estudo.

2.3.1 Perfilometria

O recurso a esta técnica teve por objectivo numa fase inicial avaliar a espessura de filmes finos de cobre e ouro, e posteriormente estudar a topografia de algumas amostras com impressões digitais.

Espessura

De entre as técnicas para a determinação da espessura de revestimentos, a apalpação mecânica ou laser com recurso a um rugosímetro é muito utilizada devido à sua simplicidade e relativa precisão. A determinação da espessura é efectuada por medição da altura de um degrau criado intencionalmente entre o filme e o substrato. A medição da rugosidade é feita por uma cabeça mecânica (de diamante), ou óptica (LASER), que se desloca na superfície em análise, ao longo de um comprimento pré-estabelecido, registando a altura a que se encontra em cada momento do percurso.

Para a determinação da espessura dos filmes de cobre e ouro foi utilizada uma cabeça laser do rugosímetro Perthen S4P (figura 2.5) e definido um percurso de 5,6 mm. Todos os filmes para avaliação de espessura, Cu e Au, foram depositados sob substratos de silício monocristalino, por se tratar de um material com uma rugosidade muito baixa e opticamente plano, permitindo a obtenção de um degrau de fácil leitura. Esse degrau foi provocado intencionalmente com a colocação de uma gota de nitreto de boro devido à sua fácil remoção em banho de acetona. Contudo, o equipamento não é sensível a espessuras da ordem dos nanómetros, pelo que para este efeito foram utilizados maiores tempos de deposição (tabela II.1).

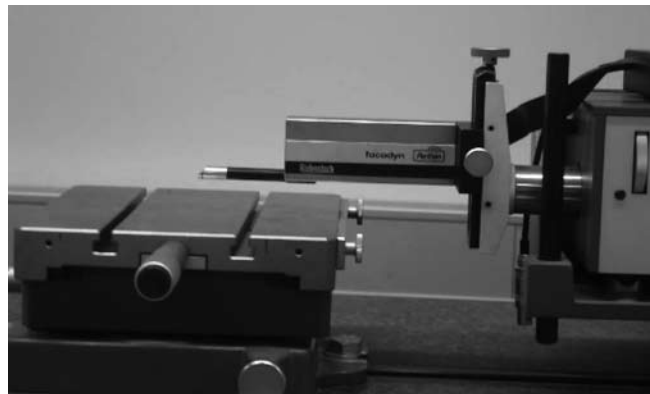


Fig. 2.5. Rugosímetro Perthen S4P.

Topografia

A perfilometria 3D ao permitir mapear topografias de superfícies tridimensionais pode por em evidência as impressões digitais ao reconstituir os picos e vales que a constituem.

O rugosímetro “Rodenstock RM600-3D” (figura 2.6) utilizado permite mapear topografias com base num sensor óptico com laser infravermelho de focagem dinâmica. O ponto de focagem tem um diâmetro de aproximadamente 2 μm . Este equipamento gera um ficheiro com os dados da topografia que depois são tratados num programa de AFM^(*) “Gwyddion[®]” que permite melhorar as potencialidades de representação gráfica e obter o volume removido na placa.

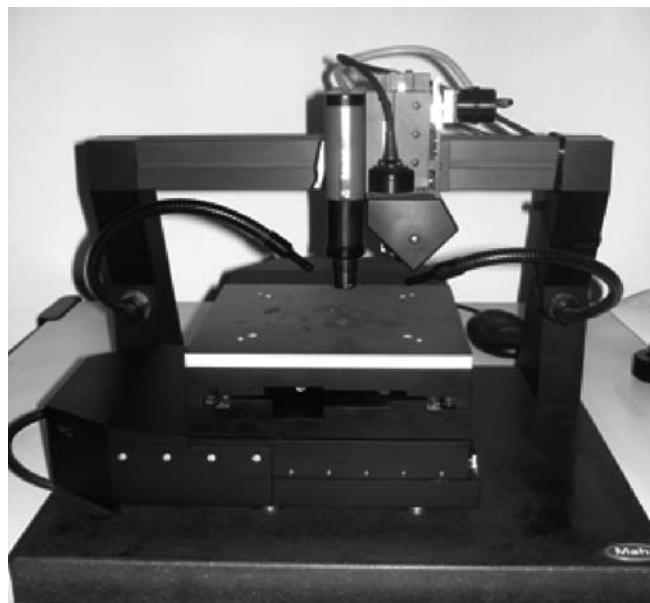


Fig. 2.6. Rugosímetro laser 3D.

2.3.2 Microscopia Óptica

As amostras em estudo foram observadas por microscopia óptica. O microscópio óptico composto permite ampliações de 1000x e uma resolução de 0,2 μm [36]. O microscópio óptico utilizado é da marca NIKON (figura 7), ao qual foi acoplado uma máquina fotográfica MPEGMovie, Digital still camera DSC-550, Cyber-shot com 2,1 Mega Pixels.

* Do inglês, Atomic Force Microscopy



Fig. 2.7. Microscópio Óptico.

2.3.3 Microscopia Electrónica de Varrimento

O microscópio electrónico de varrimento (SEM - “*Scanning Electron Microscope*”) faz o varrimento da superfície de uma amostra por um feixe de electrões finamente focado, modulando o brilho em cada ponto da imagem obtida num monitor de visualização, pelo sinal emitido pela amostra. Este sinal pode ser proveniente da emissão de electrões secundários, como resultado da interacção entre os electrões incidentes e as orbitais dos átomos constituintes da amostra, ou de electrões retrodifundidos. É obtida deste modo uma correspondência entre a imagem e a região observada da amostra, dependendo a natureza da informação contida na imagem, do tipo de electrões emitidos e do detector utilizado [36].

A morfologia superficial e em secção transversal dos filmes de cobre e ouro foi analisada num SEM de alta resolução com emissão de campo. Para a observação em secção transversal, o conjunto substrato/filme foi cortado pelo lado não revestido e partido por impacto para permitir a observação da superfície de fractura. O microscópio utilizado foi um FEI QUANTA 400 F (figura 2.8) que em condições ideais possui uma resolução de 1.2 nm, ao qual foi aplicada uma tensão de 15 kV.



Fig. 2.8. Microscópio Electrónico de Varrimento de Alta Resolução.

Algumas superfícies revestidas sobre as quais foram colocadas previamente impressões digitais foram observadas num microscópio Philips, modelo XL30 (figura 2.9), utilizando uma tensão de aceleração do feixe electrónico de 20 kV.



Fig. 2.9. Microscópio Electrónico de Varrimento.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados, analisados e interpretados os resultados experimentais decorrentes do trabalho de investigação realizado.

3.1 Deposições para Avaliação de Espessura

Sabendo que para ter sucesso na revelação das impressões digitais a espessura dos filmes finos teria de ser muito pequena, e que a técnica de perfilometria não permitia a avaliação de espessuras tão baixas foram feitas deposições com tempos mais elevados do que o pretendido para posteriormente ser feita uma extrapolação dos resultados. Assim, através dos perfis dos filmes de cobre e ouro com tempos de deposição de 10 e 2 minutos, respectivamente, foram determinadas as espessuras para diferentes condições de deposição (Tabela III.1). O tempo de deposição foi mantido sempre constante para cada um dos alvos, fazendo variar ou a pressão de deposição ou a potência aplicada no alvo. Para um dado tempo e potência, com o aumento da pressão de deposição a espessura dos filmes finos diminui. Tal como expectável, com o aumento da potência aplicada ao alvo, para tempos e pressões de deposição constantes, a espessura aumentou.

Tabela III.1 Espessura dos filmes finos de cobre e ouro.

Filme	P_{dep} (Pa)	Densidade de Potência (W.cm ⁻²)	Espessura (nm)
Cu	2	5,1	300
	4	5,1	140
	2	7,6	500
	6	7,6	240
Au	4	5,1	90
	4	7,6	180

3.2 Deposições para Revelação de Impressões Digitais

Como foi referido no capítulo II, foram feitas várias deposições para a optimização do processo de deposição por pulverização catódica magnetrão, variando os seguintes parâmetros de deposição: a potência aplicada ao alvo (P), a pressão de deposição (P_{dep}) e o tempo de deposição (t). Após cada deposição, foi feita uma observação visual à vista desarmada e com o microscópio óptico. Com base nessa observação, as amostras foram analisadas e conforme os resultados foram separadas pelos tipos de revelação que apresentavam: pouco visíveis e nítidas (má revelação), visíveis e nítidas (boa revelação).

A nomenclatura escolhida para a identificação de cada uma das amostras foi do tipo DID-X-Y-Z: Deposição de Impressão Digital-número da deposição (X = 1, 2, ...)-dedo da impressão (Y = I (indicador) ou Y = P (polegar))-identificação do dador (Z = I, II, III ou IV). Os critérios tidos em conta na avaliação da qualidade da revelação das impressões digitais foram a nitidez e definição das cristas. Tal como referido no capítulo 1, para que a identificação da impressão digital seja positiva é necessário que haja correspondência, dos pontos característicos e das distâncias relativas dos mesmos, entre

o vestígio digital latente revelado e a impressão digital padrão [1]. Todas as revelações que não permitiram visualizar convenientemente e com algum detalhe as cristas e pontos característicos tiveram avaliação negativa em relação à qualidade da revelação. Pelo contrário, as revelações cujas amostras tinham uma boa definição e nitidez, foram consideradas promissoras e com boa qualidade de revelação.

3.2.1 Otimização das Condições de Deposição

Foi com base nos tipos de revelação apresentados (má qualidade e boa qualidade) que os parâmetros de deposição foram otimizados. Para ser identificada a influência de cada um dos parâmetros de deposição na qualidade de revelação, a cada deposição foram fixados alguns parâmetros e alterado apenas um dos parâmetros. A otimização das condições de deposição foi efectuada tendo sempre em conta a necessidade de ter átomos termalizados na chegada ao substrato; pelo que a pressão de deposição foi a maior possível desde que a estabilidade do plasma fosse assegurada [25].

Filmes finos de cobre

Tempo de deposição

Inicialmente, para os revestimentos de cobre, foram definidas condições de pressão de deposição e potência aplicada ao alvo, e de modo a perceber qual o melhor tempo para essas condições foi alterado o tempo em cada deposição. Assim, para valores de densidade de potência de $5,1 \text{ W.cm}^{-2}$ e pressões de deposição de 4 Pa, o tempo variou entre 1 e 5 minutos. Após observação das amostras o tempo escolhido como óptimo foi 1 min. Algumas amostras com tempo de deposição superior a 1 min revelaram as impressões digitais mas apresentavam má definição e nitidez, tornando difícil se não mesmo impossível a identificação do dador através da correspondência dos pontos característicos. Na figura 3.1 é feita uma comparação entre duas amostras, a primeira fotografia é exemplo de uma boa revelação e a segunda é considerada uma má revelação.

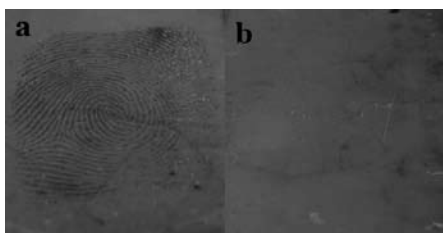


Fig. 3.1. Fotografias das amostras: a) DID-8-I-I ($t=1\text{min}$); b) DID-9-I-I ($t=5\text{min}$).

Na figura 3.2 são apresentadas duas amostras preparadas com uma pressão de deposição de 4 Pa e densidade de potência $7,6 \text{ W.cm}^{-2}$, o tempo de deposição para uma amostra foi 1 min e para a outra 2,5 min. Mais uma vez, apenas na deposição efectuada durante 1 min foi possível revelar com sucesso a impressão digital latente. No geral, as amostras revestidas com cobre utilizando tempos de deposição superiores apresentavam uma tonalidade mais “avermelhada” do que as com tempos de deposição inferiores, as quais apresentavam uma

tonalidade mais “acobreada”, como é o caso das amostras presentes nas figuras 3.1 e 3.2.

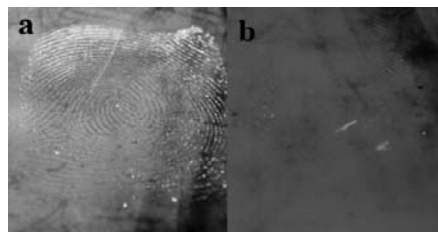


Fig. 3.2. Fotografia das amostras: a) DID-12-I-I ($t=1\text{min}$); b) DID-1-I-I ($t=2,5\text{min}$)

Densidade de Potência

Fazendo uma análise entre a figura 3.1 a) e a figura 3.2 a) é visível a diferença de cor entre as amostras para o mesmo tempo e pressão de deposição e variando a densidade de potência.

No geral, as amostras com valores de densidade de potência superiores apresentaram uma tonalidade mais avermelhada, tal como as amostras com tempos de deposição superiores, já que ambos os casos se traduzem numa maior espessura dos filmes finos depositados. Nos filmes de cobre, é notória uma alteração na tonalidade consoante a sua espessura. Para o tempo (1 min) definido anteriormente como tempo óptimo de deposição e para uma pressão de deposição 4 Pa, os valores de densidade de potência foram $5,1 \text{ W.cm}^{-2}$ e $7,6 \text{ W.cm}^{-2}$. Em ambas as amostras (figura 3.3) foi conseguida a revelação dos vestígios latentes, sendo visível a diferença de tonalidade entre as duas. A amostra DID-13-I-I apresentava uma revelação com qualidade superior, assim o valor considerado óptimo para a densidade de potência foi de $5,1 \text{ W.cm}^{-2}$.

Pressão de deposição

Não foram efectuadas deposições, com o alvo de cobre, para valores de pressão de deposição superiores a 4 Pa, pois para as condições óptimas de deposição definidas, ocorria um fenómeno (plasma atrás do alvo) que não permitia a deposição de filme quando a pressão de deposição era aumentada. Assim, de modo a garantir a estabilidade do plasma nas condições testadas para o alvo de cobre, a pressão de deposição estava limitada a 4 Pa.

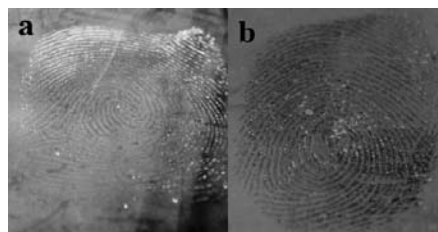


Fig. 3.3. Fotografias das amostras: a) DID-12-I-I (Dens.P= $7,6 \text{ W.cm}^{-2}$); b) DID-13-I-I (Dens.P= $5,1 \text{ W.cm}^{-2}$)

A primeira ilação a apontar, é que foi possível revelar impressões digitais presentes em substratos metálicos através da deposição preferencial de filmes finos de cobre utilizando a pulverização catódica magnetron. O aspecto e qualidade dos filmes finos são influenciados pelas condições de deposição

utilizadas: pressão de deposição, densidade de potência e tempo de deposição. Para tempos de deposição superiores a 1 min as revelações apresentaram pouca nitidez e tonalidades “avermelhadas”, tornando difícil e em alguns casos impossível a identificação pelas impressões digitais. Já as revelações com tempos inferiores não apresentavam as cristas muito definidas relativamente aos vales e restante superfície do substrato, e algumas amostras nem pareciam revestidas. Com o aumento do tempo de deposição a tonalidade dos filmes finos passava de acobreado para avermelhado. A densidade de potência teve um efeito similar ao tempo de deposição, quando foi aumentada de $5,1 \text{ W.cm}^{-2}$ para $7,6 \text{ W.cm}^{-2}$ originou amostras avermelhadas, quase com um aspecto oxidado.

Filmes finos de ouro

Uma vez que o cobre e o ouro têm taxas de ejeção similares, e para efeitos comparativos, a densidade de potência nunca foi alterada nas deposições dos filmes de ouro, tendo sido sempre utilizado um valor de $5,1 \text{ W.cm}^{-2}$.

Tempo de deposição

Numa primeira fase, para os revestimentos de ouro, foram fixadas as condições de pressão de deposição e potência aplicada ao alvo. De modo a perceber qual o tempo óptimo para essas condições foi alterado o tempo em cada deposição. Assim, para valores de densidade de potência de $5,1 \text{ W.cm}^{-2}$ e pressões de deposição de 8 Pa, o tempo variou entre 0,25 e 1 minutos. As amostras com tempo de deposição igual ou superior a 1 min revelaram as impressões digitais mas apresentavam má definição e nitidez (figura 3.4). Do mesmo modo, no filme depositado durante 0,25 min as cristas da impressão digital não são nítidas como no caso dos filmes depositados com tempos intermédios (0,5 e 0,75 min).

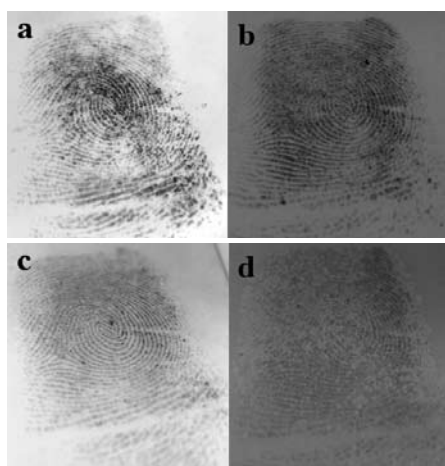


Fig. 3.4. Fotografias das amostras: a)DID-71-I-I ($t=0,25$ min); b)DID-80-I-I ($t=0,5$ min); c)DID-75-I-I ($t=0,75$ min); d)DID-79-I-I ($t=1$ min).

De acordo com as fotografias da figura 3.4 foi escolhido como tempo óptimo 0,75 min, pois a amostra DID-75-I-I revelou com maior sucesso os vestígios digitais (maior definição e clareza das cristas). O factor tempo não foi tão determinante como no caso dos filmes de cobre, pois embora as amostras apresentem aspectos diferentes, em todos os casos com as condições de deposição definidas ($P_{\text{dep}}=8 \text{ Pa}$; Dens.P= $5,1 \text{ W.cm}^{-2}$) as impressões digitais latentes foram reveladas.

Pressão de deposição

Após encontrado o tempo óptimo de deposição, foram fixadas novamente condições de deposição, a potência aplicada ao alvo e o tempo de deposição. Nesta fase foi estudada a influência da pressão de deposição, fazendo-a variar entre 4 e 10 Pa. Para todas estas deposições foi utilizada uma densidade de potência de $5,1 \text{ W.cm}^{-2}$ e tempo de deposição igual a 0,75 min. Os resultados foram melhores para valores de pressão de deposição mais elevados, assim o valor de pressão de deposição óptimo definido foi 10 Pa (figura 3.5).

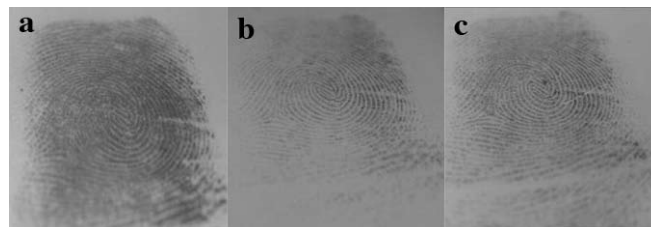


Fig. 3.5. Fotografias das amostras: a)DID-75-I-I ($P_{\text{dep}}=4 \text{ Pa}$); b)DID-76-I-I ($P_{\text{dep}}=8 \text{ Pa}$); c)DID-83-I-I ($P_{\text{dep}}=10 \text{ Pa}$)

Tal como nas deposições de filmes finos de cobre, a revelação de impressões digitais através da deposição de filmes finos de ouro foi possível e, neste caso, com melhores resultados e mais promissores. Nos filmes finos de ouro, a alteração dos parâmetros de deposição influenciou a qualidade das revelações, mas de uma maneira mais subtil quando comparados com os filmes finos de cobre. Durante as deposições para optimização de parâmetros a grande maioria das amostras foi revelada sem grandes perdas de nitidez e definição com a variação das condições de deposição.

Com base na observação visual das amostras revestidas, foram estabelecidas como condições de deposição ideais para a revelação de impressões digitais, as condições apresentadas na tabela III.2.

Tabela III.2 Condições de deposição optimizadas para os filmes de Cu e Au.

Alvo	P_{inicial} (Pa)	P_{dep} (Pa)	Densidade de Potência (W.cm^{-2})	Tempo (min)
Cu	6×10^{-3}	4	5,1	1
Au	6×10^{-3}	10	5,1	0,75

Na tentativa de melhorar a qualidade das impressões digitais foram ainda efectuadas deposições em que os substratos foram colocados com diferentes ângulos de orientação ($45^\circ < \text{ângulo} < 90^\circ$). No entanto, para as pressões de deposição utilizadas não se registaram quaisquer vantagens relativamente ao posicionamento horizontal utilizado nos restantes casos.

Na figura 3.6 são apresentadas duas amostras que foram reveladas com as condições óptimas de deposição. Os pontos característicos são visíveis em ambas as amostras, mas sem dúvida que a qualidade de revelação é superior no caso da amostra revelada com ouro. De acordo com as espessuras da tabela III.1 e tendo em consideração os diferentes tempos de deposição, estes filmes devem ser bastantes finos, com espessuras de apenas algumas dezenas de nanómetros

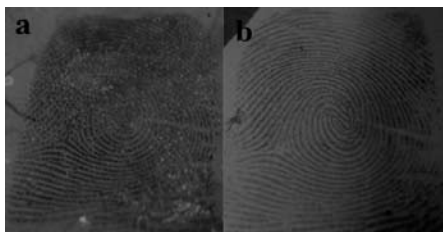


Fig. 3.6. Fotografias das amostras: a) DID-33-I-I (cobre); b) DID-85-I-I (ouro).

As fotografias digitais foram tiradas com uma máquina digital convencional, e sem o equipamento utilizado nos laboratórios forenses, que consiste numa máquina digital de bancada, colocada num suporte vertical com iluminação dos vários lados para não ocorrerem sombras ou reflexos. A máquina fica com a objectiva virada para baixo e num plano paralelo à superfície da mesa onde está colocada a impressão digital revelada, a qual vai ser fotografada. Neste trabalho as fotografias foram tiradas de diferentes ângulos, com diferentes condições de iluminação e o tratamento posterior das imagens foi muito “rudimentar”, assim algumas podem não traduzir o seu aspecto real (definição, nitidez, tonalidade).

Além, da qualidade das fotografias, existe outro aspecto a ter em conta que influenciou a aparência das amostras: a oxidação dos filmes finos, sobretudo dos de cobre [37]. Ao longo do tempo os filmes de cobre começaram a apresentar vestígios de oxidação em toda a superfície, incluindo e preferencialmente nas cristas. Este fenómeno parece evidente por se tratar de uma zona com resíduos sebáceos (gordura, suor) favorecendo a ocorrência de oxidação. A tonalidade das amostras variou entre os tons de roxo, azul e vermelho. Deste modo, a conservação das impressões reveladas não é tão eficaz como no caso dos filmes de ouro que não oxidam com o tempo.

3.2.2 Influência da “Idade” e Dador

Utilizando as condições óptimas de deposição na revelação de vestígios lofoscópicos latentes, foram analisadas amostras com diferentes “idades” e dadores.

A figura 3.7 corresponde a revelações de impressões digitais do dador III com diferentes “idades” – 1 dia, 4 dias, 11 dias. Na figura 3.8 é apresentada a revelação de uma impressão digital do dador I com 1 mês de “idade”. Comparando as figuras 3.7 (a) e (b) não são visíveis grandes diferenças na tonalidade das amostras e ambas apresentam uma boa definição das cristas. A amostra DID-101-I-III (figura 3.7(c)) apresenta uma tonalidade diferente e as cristas parecem definidas com um “traço” mais heterogéneo, mas sem perder muita qualidade. Relativamente à figura 3.8, foi considerada uma revelação com sucesso, tendo em conta que foi revelada 1 mês depois de ter sido colocada no substrato.

Outro aspecto a enfatizar é o dador – a quantidade de teor sebáceo (suor, gordura, etc.) presente nos resíduos e a força aplicada durante a deposição da impressão digital dependem do dador. Durante a colocação das impressões digitais foi visível que cada dador deixava uma quantidade de vestígios diferentes, o dador I apresentou sempre menos vestígios após a colocação da impressão do que o dador III. Comparando uma

vez mais as amostras das figuras 3.7 e 3.8 foi verificado que a impressão do dador III tinha uma área de nitidez e definição superior à da impressão do dador I. Este fenómeno pode ter resultado da perda de vestígios da DID-73-I-I com o decorrer dos 31 dias.



Fig. 3.7. Fotografia digital de amostras revistadas com ouro. Idade a) 1 dia; b) 4 dias; c) 11 dias. (Dador III).



Fig. 3.8. Fotografia digital da amostra DID 73-I-I (idade=31 dias).

Da análise destes resultados foi concluído que foi possível a revelação de impressões digitais com idades até 31 dias através da deposição preferencial de filmes finos de ouro, sem ser comprometida a qualidade das revelações. Contrariamente, os filmes de cobre apenas revelam com qualidade impressões digitais frescas.

3.2.3 Deposição Preferencial

De acordo com o observado previamente por K. Kent e M. Stoilovic [25], em determinadas condições, filmes metálicos produzidos por pulverização catódica são preferencialmente depositados nas cristas dermopapilares. Para tal, os átomos devem estar termalizados, sendo a sua mobilidade reduzida, pelo que tendem a “congelar” na posição em que chegam ao substrato. Deste modo, e uma vez que para pressões de deposição elevadas os átomos sofrem inúmeros colisões no percurso interelectrodos adquirindo trajectórias aleatórias, os átomos atingem numa primeira fase as cristas das impressões que correspondem a picos de rugosidade e que por isso são as primeiras a ser revestidas (figura 3.9). As características únicas da técnica de pulverização catódica em conjunto com o relevo das cristas dermopapilares tornam então possível a revelação de impressões digitais latentes. Com o aumento do tempo de deposição os filmes acabam por preencher os espaços entre as cristas (sulcos) formando uma camada uniforme e impossibilitando a revelação dos vestígios lofoscópicos (figuras 3.1(b) e 3.2(b)). Ao contrário da técnica de pulverização catódica, a técnica de evaporação mais utilizada em laboratórios forenses não permite este tipo de revelação, pois este processo decorre sob alto vácuo, pelo que a trajectória dos átomos é maioritariamente perpendicular à superfície do substrato não permitindo a deposição preferencial das cristas e consequentemente a revelação positiva das impressões digitais (figura 3.10).

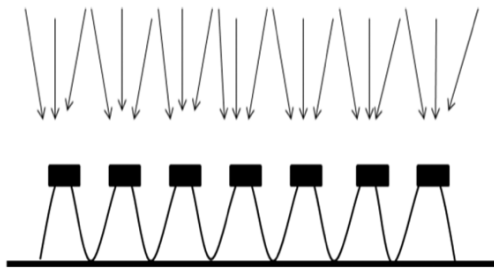


Fig. 3.9. Deposição preferencial por pulverização catódica.

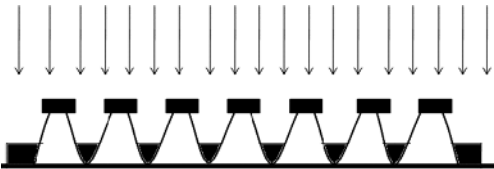


Fig. 3.10. Deposição por evaporação.

De seguida são apresentadas imagens ópticas e SEM de impressões reveladas através da deposição preferencial de filmes finos de cobre e ouro. Nestas imagens são notórios vários pontos característicos (centros, deltas, bifurcações), indispensáveis à identificação de supostos criminosos.

As amostras apresentadas nas figuras 3.11, 3.12, 3.13, 3.16 e 3.17, correspondem a revelações de impressões digitais frescas, enquanto que as figuras 3.14, 3.18 e 3.15, 3.19 correspondem a revelações de impressões digitais com 4 e 31 dias, respectivamente. As imagens de microscopia óptica apresentam melhor definição das cristas e sulcos para as amostras reveladas em que as impressões digitais eram frescas (figuras 3.11, 3.12 e 3.13) e para a impressão revelada com 4 dias (figura 3.14), quando comparadas com a impressão digital revelada 31 dias depois de ter sido “colocada” no substrato. Este resultado era esperado, uma vez que, ao longo do tempo as segregações presentes nos vestígios digitais foram evaporando, dificultando a deposição preferencial de elementos metálicos (cobre e ouro) nas cristas. De qualquer modo, quando utilizada a pulverização catódica com alvo de ouro, a revelação é suficientemente explícita permitindo a identificação de pontos característicos mesmo para impressões digitais com 31 dias.

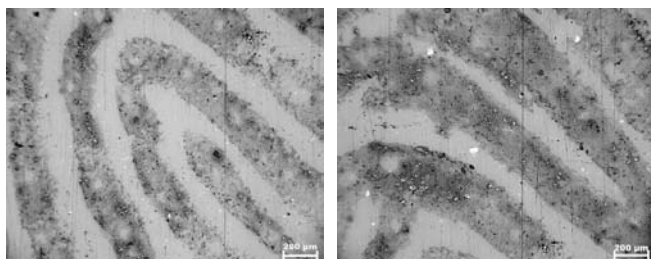


Fig. 3.11. Fotografias ópticas da amostra DID 8-I-I (alvo cobre).

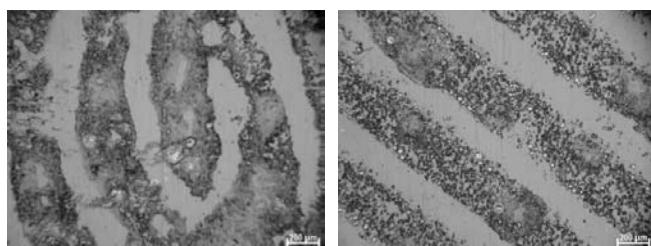


Fig. 3.12. Fotografias ópticas da amostra DID 13-I-I (alvo cobre).

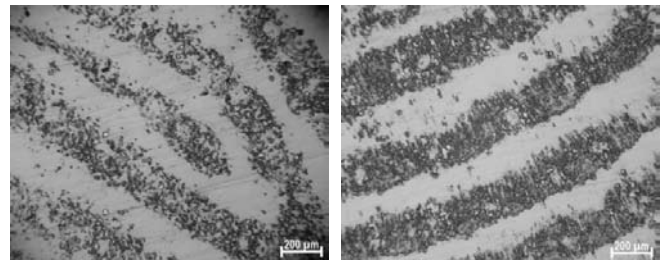


Fig. 3.13. Fotografias ópticas da amostra DID 33-I-I (alvo cobre).

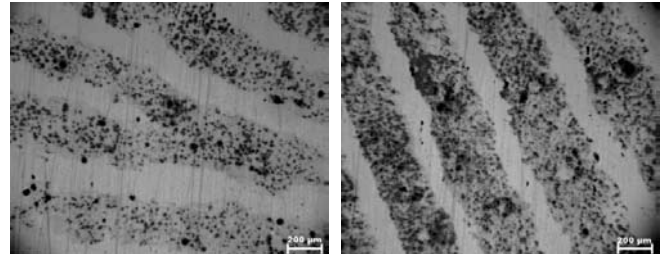


Fig. 3.14. Fotografias ópticas da amostra DID 99-I-III (alvo ouro; 4 dias).

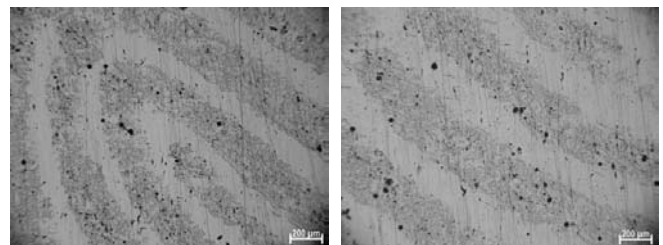


Fig. 3.15. Fotografias ópticas da amostra DID 73-I-I (alvo ouro, 31 dias).

A possibilidade de observar a presença de poros (figura 3.17), que tal como os pontos característicos são próprios de cada indivíduo, constitui uma mais valia do método adoptado neste estudo. No futuro a distribuição dos poros das cristas dermopapilares pode contribuir de modo decisivo para a identificação pessoal [7,17]. A identificação por poros é importante pois as impressões reveladas correspondem normalmente a fragmentos que muitas vezes não permitem a correspondência do número de pontos característicos necessários a uma identificação positiva.

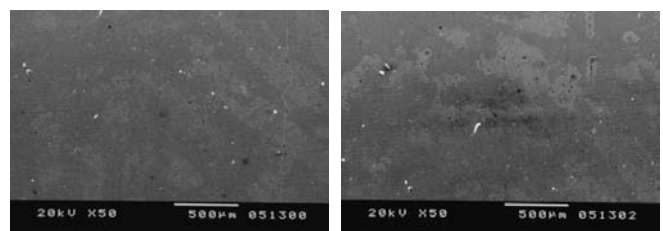


Fig. 3.16. Micrografias SEM da amostra DID 20-I-I (alvo cobre).

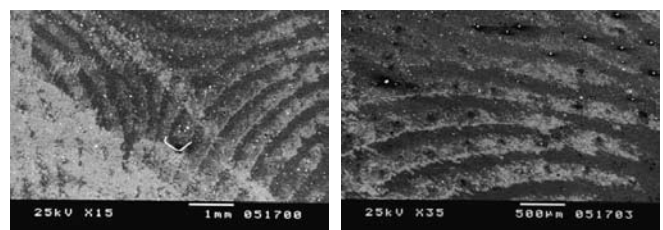


Fig. 3.17. Micrografias SEM da amostra DID 33-I-I (alvo cobre).

Na imagem da direita, os pontos escuros nas cristas parecem corresponder a poros

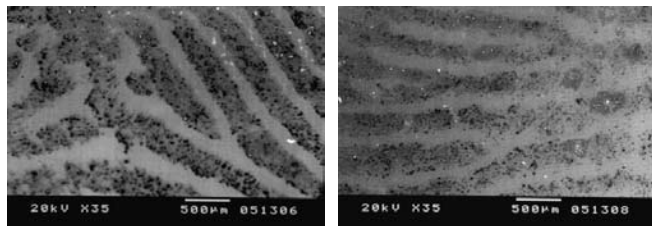


Fig. 3.18. Micrografias SEM da amostra DID 99-I-III (alvo ouro; 4 dias).

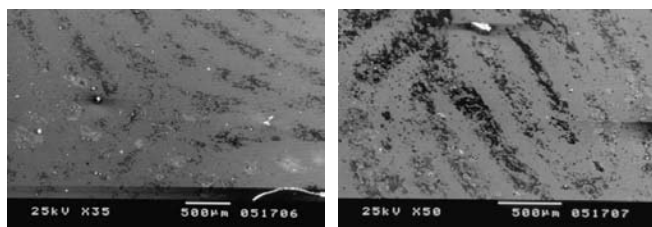


Fig. 3.19. Micrografias SEM da amostra DID 73-I-I (alvo ouro; 31 dias).

As imagens ópticas e SEM apresentadas anteriormente correspondem a substratos de aço. A título de exemplo, os substratos das imagens da figura 3.20 são de silício. Ainda que seja possível a revelação das impressões digitais, o aspecto das cristas reveladas é distinto do observado sobre aço. De notar que estas impressões eram frescas. Aparentemente, a superfície sobre a qual é colocada a impressão digital influencia a transmissão e absorção de gordura e suor. No caso do silício, parece que as impressões consistem em pequenas gotículas uniformemente distribuídas ao longo das cristas. Assim, ao escolher o(s) método(s) mais adequado(s) para a revelação de impressões digitais deve ser tido em conta o tipo de superfície em que estas foram, intencionalmente ou não, colocadas.

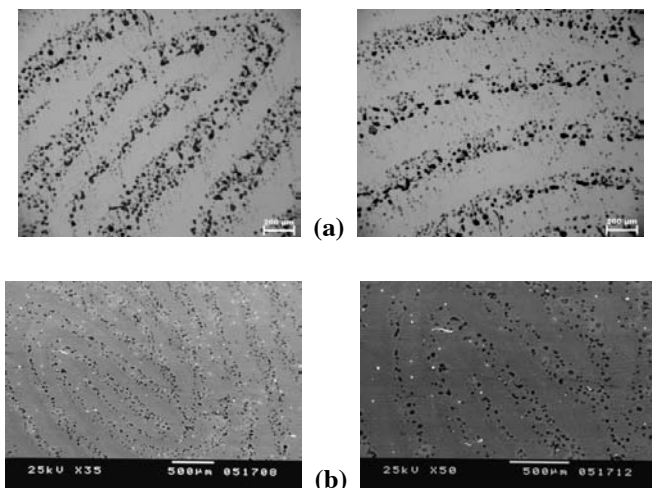


Fig. 3.20. Imagens (a) ópticas e (b) SEM da amostra DID 85-I-I (substrato silício; alvo ouro).

3.3 Caracterização dos Filmes Finos

De modo a melhor compreender o fenómeno que permite a revelação de vestígios lofoscópicos latentes através da deposição preferencial por pulverização catódica, os filmes produzidos foram caracterizados em maior detalhe. Para o efeito,

foram produzidos filmes nas condições óptimas de deposição, utilizando substratos de aço e silício.

3.3.1 Morfologia

A morfologia dos filmes de cobre e ouro foi observada por microscopia electrónica de varrimento de alta resolução após fractura do conjunto substrato/filme. Nas figuras 3.21 a 3.24 são apresentadas micrografias representativas da morfologia superficial e transversal dos filmes finos em estudo. Enquanto que os filmes de cobre apresentam uma morfologia compacta sem detalhes (figuras 3.21 e 3.22), os filmes de ouro exibem uma superfície descontínua e porosa a que corresponde uma morfologia transversal colunar (figuras 3.23 e 3.24).

Durante a preparação das secções transversais os filmes não acompanham a deformação do substrato e, junto à zona de fractura, acabam por se destacar tal como ilustrado nas imagens das figuras 3.22 e 3.24. Contudo, a observação dos filmes, em secção transversal tornou possível avaliar a sua espessura, cujo valor é de cerca de 30 e 25 nm para os filmes de cobre e ouro, respectivamente (figuras 3.22 e 3.24). Os valores de espessura determinados por SEM estão de acordo com os resultados extrapolados a partir das espessuras determinadas pela técnica de perfilometria.

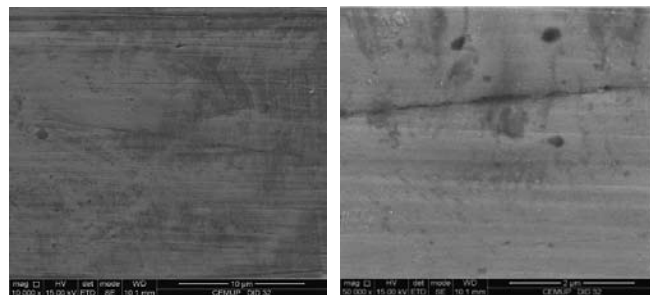


Fig. 3.21. Micrografias SEM de alta resolução (superfície) de um filme de cobre.

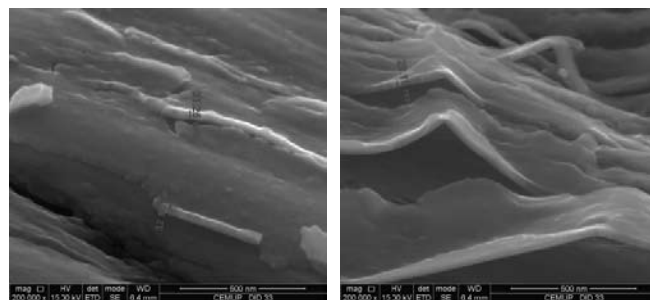


Fig. 3.22. Micrografias SEM de alta resolução (secção transversal) de um filme de cobre.

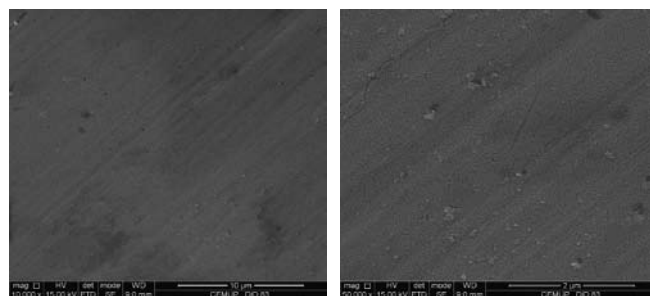


Fig. 3.23. Micrografias SEM de alta resolução (superfície) de um filme de ouro.

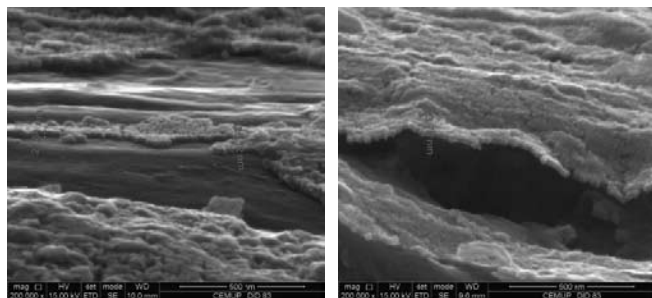


Fig. 3.24. Fotografias em SEM de alta resolução (secção transversal) de um filme de ouro.

3.3.2 Topografia

A topografia dos filmes mais promissores na revelação de vestígios lofoscópicos latentes foi analisada num rugosímetro laser. Para as condições óptimas de deposição, consideradas para cada alvo, os resultados mais satisfatórios e promissores foram os provenientes do alvo de ouro. As revelações feitas com revestimentos de ouro tiveram mais sucesso e os seus resultados foram sempre mais consistentes, mesmo com a variação das condições de deposição. Assim, na figura 3.25 é apresentada uma imagem de uma impressão digital colocada num substrato de silício e revelada através da deposição de um filme de ouro. Como se pode observar a zona das cristas apresenta uma elevada rugosidade, o que permite a sua visualização e a identificação de pontos característicos. Alguns picos observados correspondem a sujidade que não pode ser eliminada, já que os vestígios lofoscópicos poderiam ser danificados. Traçando um perfil ao longo de uma linha recta (figura 3.26) é possível identificar as diferentes cristas que este atravessa e confirmar a reduzida altura das cristas dermopapilares (cerca de $1 \mu\text{m}$).

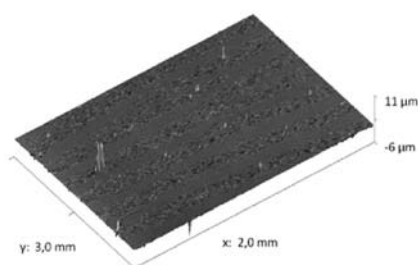
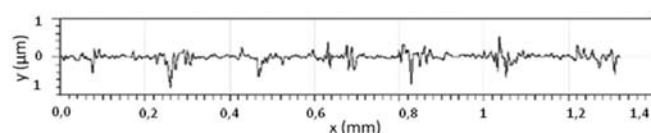
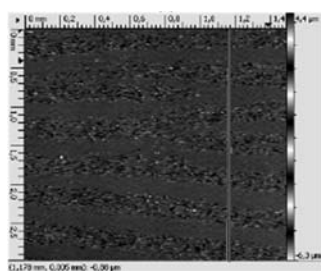


Fig. 3.25. Topografia da amostra DID-85-I-I (substrato silício; alvo ouro).



(a)



(b)

Fig. 3.26. Amostra DID-85-I-I (substrato de silício; alvo de ouro): a) Perfil; b) Zona onde foi traçado o respectivo perfil.

CONCLUSÕES

O objectivo deste estudo foi revelar impressões digitais latentes através da deposição preferencial de elementos metálicos por pulverização catódica magnetrão. A investigação recaiu sobre filmes finos de cobre e ouro depositados sobre substratos de aço inoxidável.

O trabalho desenvolvido permitiu revelar impressões digitais latentes utilizando filmes finos (20 a 30 nm de espessura) produzidos por pulverização catódica, desde que optimizadas as condições de deposição. Para além de revelarem as impressões digitais, os filmes finos depositados sobre superfícies contendo impressões digitais actuam como escudo protector dos vestígios lofoscópicos, impedindo a sua deterioração e, simultaneamente, fixando explosivos ou estupefacientes que possam ter sido manuseados pelo dador da impressão. O método adoptado não compromete a visualização dos poros existentes nas cristas dermopapilares, cujas forma e distribuição são características de cada indivíduo.

A revelação de impressões digitais latentes e a caracterização dos filmes finos de cobre e ouro produzidos permitiram retirar as seguintes ilações:

- A qualidade da revelação das impressões digitais é influenciada pelas condições de deposição (pressão de deposição, potência aplicada ao alvo e tempo de deposição).
- A revelação através de filmes finos de cobre é mais sensível a variações nos parâmetros de deposição.
- Existe uma relação entre a espessura dos filmes de cobre e a sua tonalidade. Os filmes mais finos apresentam tons mais “acobreados” ao invés dos filmes com maior espessura, que possuem um tom mais “avermelhado”.
- Para os filmes de cobre as condições de deposição consideradas óptimas são: $P_{\text{dep}}=4 \text{ Pa}$, $\text{Dens.P}=5,1 \text{ W.cm}^{-2}$ e $t=1 \text{ min}$.
- Para os filmes de ouro as condições de deposição consideradas óptimas são: $P_{\text{dep}}=10 \text{ Pa}$, $\text{Dens.P}=5,1 \text{ W.cm}^{-2}$; $t=0,75 \text{ min}$.
- Embora tenha sido possível a revelação de impressões digitais com filmes de cobre e de ouro, os filmes de ouro são mais eficazes, sobretudo na revelação de impressões digitais não “frescas” e na conservação das impressões reveladas.
- Devido à evaporação dos resíduos sebáceos com o tempo, nas impressões não “frescas” a deposição preferencial dos elementos metálicos (cobre e ouro) nas cristas não é tão evidente.
- Através da deposição de filmes finos de ouro foram reveladas impressões digitais com “idades” entre 1 e 31 dias. Mesmo após um mês, é possível detectar pontos característicos, necessários a uma identificação positiva.
- O dador (teor de gordura, suor, força imprimida, etc.) influencia a qualidade de revelação das impressões digitais.
- A superfície na qual foi colocada a impressão digital influencia a transmissão e absorção de resíduos sebáceos, e consequentemente a qualidade da revelação.
- Os filmes de cobre apresentam uma morfologia compacta sem detalhes, enquanto que os filmes de ouro possuem

uma superfície descontínua e morfologia transversal colunar.

- O relevo das cristas dermopapilares torna-as detectáveis através da análise por perfilometria tridimensional.

Neste trabalho, pela primeira vez a técnica de pulverização catódica foi utilizada no Centro de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra no âmbito das Ciências Forenses e Criminais. Os resultados promissores alcançados abrem perspectivas no sentido de no futuro prosseguir a investigação neste domínio.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Oliveira, F. Calisto, "Apontamentos de Dactiloscopia e Quiroscopia". Instituto Nacional de Polícia e Ciências Criminais. Portugal (1997).
- [2] M. Pitkethly, "Nanotechnology and forensics", *Materials Today* 12 (2009) 6.
- [3] G.L. Thomas, "The physics of fingerprints and their detection", *Journal of Physics E: Scientific Instruments* 11 (1978) 722-730.
- [4] http://www.passeiweb.com/saiba_mais/voce_sabia/impressao_digital (Dezembro de 2008).
- [5] M.J. Leadbetter, "Fingerprint evidence in England and Wales – The revised standard", *Medicine Science and the Law* 45 (2005) 1-6.
- [6] <http://www.onin.com/fp/fphistory.html> (Dezembro de 2008).
- [7] A.K. Jain, Y. Chen, M. Demirkus, "Pores and Ridges: High-Resolution Fingerprint Matching Using Level 3 Features", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 29 (2007) 15-27.
- [8] P. Young, "Physics in police investigations", *Physics Education* 15 (1980) 368-373.
- [9] F. Calado, A. Simas, "Técnicas de Revelação de Vestígios Lofoscópicos". Instituto Superior de Polícia Judiciária e Ciências Criminais. Portugal (2002).
- [10] K. Kent, G.L. Thomas, T.E. Reynoldson, H.W. East, "A vacuum coating technique for the development of latent fingerprints on polythene", *Journal of Forensic Science Society* 16 (1976) 93-100.
- [11] O.P. Jasuja, M.A. Toofany, G. Singh, G.S. Sodhi, "Dynamics of latent fingerprints: of ninhydrin developed prints – A preliminary study", *Science and Justice* 49 (2009) 8-11.
- [12] <http://www.fbi.gov/hq/cjisd/takingfps.html> (Março de 2009).
- [13] I.M. Alaoui, "Application of luminescence to fingerprints and trace explosives detection", *Unexploded Ordnance Detection and Mitigation. NATO Science for Peace and Security Series B – Physics and Biophysycs* (2009), p. 189-196.
- [14] B. Schnetz, P. Margot, "Technical note: latent fingermarks, colloidal gold and multimetal deposition (MMD) – Optimisation of the method", *Forensic Science International* 118 (2001) 21-28.
- [15] E. Stauffer, A. Becue, K.V. Singh, K.R. Thampi, C. Champod, P. Margot, "Single-metal deposition (SMD) as latent fingerprint enhancement technique: Na alternative to multimetal deposition (MMD)", *Forensic Science International* 168 (2007) e5-e9.
- [16] M. Zhang, A. Becue, M. Prudent, C. Champod, H. Girault, "SECM imaging of MMD-enhanced latent fingermarks", *Chemical Communications* (2007) 3948-3950.
- [17] M. Zhang, H.H. Girault, "SECM for imaging and detection of latent fingerprints", *Analyst* 134 (2009) 25-30.
- [18] G.S. Sodhi, J. Kaur, "Powder method for detecting latent fingerprints: a review", *Forensic Science International* 120 (2001) 172-176.
- [19] M.S. Jickells, "Fingerprinting: into the future", *Measurement & Control* 41 (2008) 243-247.
- [20] A. Cavaleiro, "Estudo de revestimentos W-C-(Co) depositados sobre aço rápido por pulverização catódica". Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Ciências da Engenharia – Materiais. Coimbra, (1990).
- [21] G.L. Thomas, T.E. Reynoldson, "Some observations on fingerprints deposits", *Journal of Physics D – Applied Physics* 8 (1975) 724-729.
- [22] N. Jones, M. Stoilovic, C. Lennard, C. Roux, "Vacuum metal deposition: factors affecting normal and reverse development of latent fingerprints on polyethylene substrates", *Forensic Science International* 115 (2001) 73-88.
- [23] N. Jones, D. Mansour, M. Stoilovic, C. Lennard, C. Roux, "The influence of polymer type, print donor and age on the quality of fingerprints developed on plastic substrates using vacuum metal deposition", *Forensic Science International* 124 (2001) 167-177.
- [24] X. Dai, M. Stoilovic, C. Lennard, N. Speers, "Vacuum metal deposition: Visualisation of gold agglomerates using TEM imaging", *Forensic Science International* 168 (2007) 219-222.
- [25] K. Kent, M. Stoilovic, "Development of latent fingerprints using preferential DC sputter deposition", *Forensic Science International* 72 (1995) 35-42.
- [26] M.J. Choi, A.M. McDonagh, P. Maynard, C. Roux, "Metal-containing nanoparticles and nano-structured particles in fingermark detection", *Forensic Science International*, 179 (2008) 87-97.

- [27] M. Sametband, I. Shweky, U. Banin, D. Mandler, J. Almong, "Application of nanoparticles for the enhancement of latent fingerprints", *Chemical Communications* (2007) 1142-1144.
- [28] A. Becue, C. Champod, P. Margot, "Use of gold nanoparticles as molecular intermediates for the detection of fingermarks", *Forensic Science International* 168 (2007) 169-176.
- [29] O.S. Wolfbeis, "Nanoparticle – Enhanced Reveals Drug Abuse", *Angewandte Chemie International Edition* 48 (2009) 2268-2269.
- [30] L. Ter Minassian-Saraga, "Thin films including layers: terminology in relation preparation and characterization", *Pure & Applied Chemistry* 66 (1994) 1667-1738.
- [31] D. Satas, A.A. Tracton, "Coatings Technology Handbook". Second Edition – Revised and Expanded. Marcel Dekker, Inc. New York. Basel, USA (2001).
- [32] M. Ohring, "The Materials Science of Thin Films". Academic Press Inc. San Diego, USA, (1992).
- [33] L.I. Maissel, R. Gland, "Handbook of Thin Film Technology". McGraw-Hill. New York, USA, (1970).
- [34] A. Cavaleiro, M.T. Vieira, "Engenharia de Superfícies e Degradação e Protecção de Superfícies". Mestrado em Engenharia Mecânica, Mestrado Nacional em Engenharia de Materiais. Universidade de Coimbra, Portugal (1995).
- [35] M.T. Vieira, A. Cavaleiro, "Deposição física em fase de vapor". Sebenta, (1994).
- [36] B. Trindade, Material didáctico de apoio à disciplina de Técnicas de Análise de Materiais, (2007).
- [37] E.M. Pinto, A.S. Ramos, M.T. Vieira, C.M.A. Brett, "A corrosion study of copper thin films". Submetido.