

REVELAÇÃO DE IMPRESSÕES DIGITAIS EM SUPORTES CELULÓSICOS E CÉDULAS DE DINHEIRO: UMA REVISÃO

BERNARDO JOSÉ MUNHOZ LOBO

POLÍCIA FEDERAL - BRASÍLIA/DF

JÚLIO LEMOS DE MACEDO

INSTITUTO DE QUÍMICA - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB



RESUMO

O presente trabalho é um apanhado bibliográfico versando sobre a perícia de impressões digitais latentes em suportes porosos, especialmente em dinheiro. São expostos reveladores pertinentes a esse tipo de suporte e os esforços envidados, por instituições de diversas nacionalidades, ao tentar definir metodologias eficazes à revelação de impressões latentes em cédulas de dinheiro, tanto verdadeiro quanto falso. As metodologias encontradas apontaram procedimentos tão diversos quanto a variedade de espécies de cédulas estudadas, demonstrando que uma metodologia adequada ao dinheiro brasileiro não pode ser trazida de estudos internacionais sem devidas considerações e um processo de contextualização. A busca por impressões em cédulas falsas também deve ser tomada com a complexidade que representa, apesar de ser mais simples do que dinheiro verdadeiro. O conhecimento prévio dos aspectos intrínsecos ao suporte é determinante para o sucesso dos exames periciais e imprescindível ao definir como estes serão conduzidos.

PALAVRAS-CHAVES: Perícia. Papiloscopia. Impressões Digitais. Cédula. Dinheiro. Superfícies porosas.

1. INTRODUÇÃO

Desde sua introdução formal na investigação criminal brasileira em 1903 (BRASIL, 1903), a papiloscopia desenvolveu-se de maneira espantosa devido à evolução tecnológica de outras áreas do conhecimento. Por exemplo, sistemas de arquivos datiloscópicos passaram a ser virtuais e automatizados através da informática e novas técnicas de revelação de impressões digitais em locais de crime foram desenvolvidas a partir dos avanços da física e da química. Atualmente, a área é

bem conhecida não apenas devido à sua eficácia operacional, mas também devido aos filmes e séries televisivas que apresentam o trabalho da perícia papiloscópica de forma dramática (COELHO, 2018). Ainda que muito se tenha avançado tecnologicamente e que os meios de entretenimento enalteçam a efetividade da perícia papiloscópica, existe ainda uma série de dificuldades a serem superadas, dentre elas destacam-se aqueles materiais em que a revelação de impressões papilares latentes (IPLs) permanece um desafio. Um desses materiais é a cédula de dinheiro, vestígio cada vez mais presente em laboratórios de perícia papiloscópica e que se mostra uma matriz complexa à análise pericial. Embora sua composição geralmente remeta ao papel ou papel-moeda, a cédula de dinheiro moderna não se trata de um suporte celulósico simples, mas de um agregado de elementos que visam torná-la irreproduzível fora de ambientes controlados e durável às intempéries enfrentadas no período em que circula no mercado. Estes e outros aspectos acabam dificultando a obtenção de um bom contraste entre impressões digitais reveladas e o suporte.

O presente trabalho objetiva fazer um apanhado das principais técnicas e reveladores da perícia papiloscópica que são aplicáveis aos suportes celulósicos e abordar a problemática da revelação de IPLs em certos tipos de cédulas de dinheiro no Brasil e em outras nações.

2. REVELADORES PARA SUPORTES CELULÓSICOS

A perícia papiloscópica de papéis e suportes porosos congêneres emprega reveladores que atuam a partir de compostos presentes em cada uma das frações de constituintes da impressão digital. Ressalte-se que as impressões digitais comumente citadas no cotidiano integram, juntamente às marcas produzidas pelas palmas das mãos (impressões palmares) e pelas plantas dos pés (impressões plantares), o conjunto mais geral das impressões papilares, para o qual, respeitadas as particularidades de composição, são aplicáveis as técnicas de revelação apresentadas neste trabalho.

A composição das IPLs pode variar enormemente de acordo com o estilo de vida do indivíduo que as geram (RAMOTOWSKI, 2013), somando-se excreções do organismo e contaminantes exter-

nos, contudo, alguns componentes básicos de origem endógena estão sempre presentes. A partir das glândulas écrinas, presentes por todo o corpo, são excretados uma série de compostos, como água, sais inorgânicos, ureia, aminoácidos, proteínas, ácido úrico, ácidos lácticos e açúcares. Já os esqualenos, triglicerídeos, ácidos graxos e fosfolipídios são oriundos de glândulas sebáceas, as quais não são presentes nas palmas das mãos e solas dos pés, mas em outras regiões comumente tocadas pelas pontas dos dedos, como a face e o cabelo (GIROD; RAMOTOWSKI; WEYERMANN, 2012). Esta rica mistura que compõe uma impressão digital, na forma de uma emulsão, pode ser sistematizada em três frações: fração hidrossolúvel (FS), fração hidrofóbica robusta (FHR) e fração hidrofóbica instável (FHI), vide Figura 1 (BUMBRAH; SODHI; KAUR, 2019).

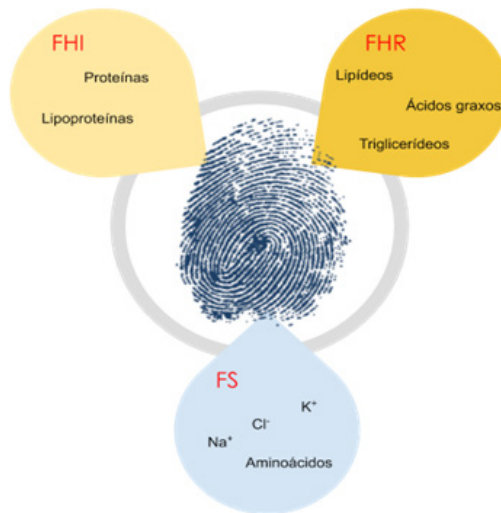


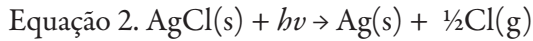
Figura 1. Esquema das frações de constituintes de uma impressão digital.

A fração FS abriga em maior proporção aminoácidos e íons inorgânicos, como potássio, sódio e cloreto. Os ácidos graxos, triglicerídeos e lípídeos estão incluídos na fração FHR por perdurarem mais à ação de intempéries, sobretudo em suporte celulósico. Por fim, a fração FHI é composta por proteínas e lipoproteínas que, apesar de sofrerem deterioração relativamente mais rápida quando expostos à atmosfera, pouco se alteram quando imersos em água (BUMBRAH; SODHI;

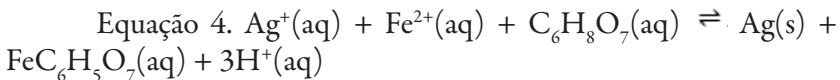
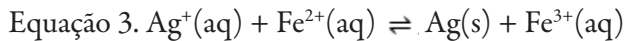
KAUR, 2019). Esses aspectos, quando associados ao contexto em que um vestígio papiloscópico é encontrado, permitem ao papiloscopista decidir a melhor técnica pericial a ser aplicada em cada exame.

Revelar impressões papilares em suportes celulósicos é um processo rotineiro em laboratórios de perícia papiloscópica. Documentos feitos de papel, invólucros, recibos e suportes dessa natureza, comumente integram locais de crime ou são elementos presentes em condutas delitivas que, quando perquiridos à luz da expertise dos papiloscopistas, podem tornar-se ferramentas para a elucidação do envolvimento de determinados indivíduos em ações criminosas.

Uma das primeiras técnicas para a revelação de IPLs nesse tipo suporte foi a aplicação de soluções aquosas de nitrato de prata, com registros acadêmicos de seu emprego datando 1873 (RAMOTOWSKI, 2013). O nitrato de prata reage com os cloretos presentes na fração FS da impressão digital formando a espécie cloreto de prata (Equação 1), a qual se decompõe fotoquimicamente em prata elementar (Equação 2), apresentando um tom escuro que realça as IPLs. Infelizmente, a decomposição citada também ocorre posteriormente ao nitrato de prata aplicado ao suporte que não reagiu com cloretos e, com o tempo, o suporte também acaba consumido pela coloração escura da prata elementar. Por causa disso, alguns processos foram propostos com o objetivo de conter o escurecimento completo do suporte (RAMOTOWSKI, 2013), inclusive uma formulação que utilizava álcool ao invés de água como solvente (OLSEN, 1978). Apesar das melhorias agregadas ao processo, o uso do revelador tende a apresentar baixo desempenho em objetos que tenham sido molhados antes dos exames, pois os íons cloreto são extremamente solúveis em água e deslocam-se no suporte nesses casos, desfazendo a estrutura de linhas e minúcias das IPLs. O nitrato de prata ainda é largamente empregado ao periciar papéis e outros suportes celulósicos, mas seu uso vem sendo gradualmente substituído pelo revelador físico. Atualmente, a literatura recomenda que a aplicação de nitrato de prata seja destinada às circunstâncias em que for difícil ou inviável o emprego do revelador físico (BLEAY; CROXTON; DE PUIT, 2018).

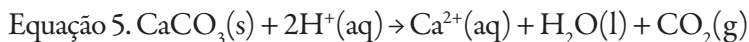


Aproveitando-se de um processo químico até então usado para a revelação de fotografias (JONKER et al., 1971), o revelador físico de IPLs consiste em uma suspensão de íons prata e íons ferro (Equação 3) com núcleos de prata elementar estabilizados por surfactantes, em geral dodecilamina. Este último, mantém a prata na forma iônica num equilíbrio tênue evitando o crescimento de micelas da espécie na forma elementar. Embora a reação de oxirredução entre os íons Ag^+ e Fe^{2+} seja espontânea, ela apresenta um baixo valor para a constante de equilíbrio (K_{eq}). Desse modo, a técnica também envolve a adição de ácido cítrico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$), cuja complexação com o íon Fe^{3+} forma um composto estável que não reage com Ag, deslocando o equilíbrio no sentido dos produtos (Equação 4). O mecanismo de atuação desse revelador ainda não foi totalmente esclarecido, contudo, acredita-se que ao aplicar a solução reveladora a um suporte contendo IPLs, os constituintes destas adquirem uma carga ligeiramente positiva devido ao caráter ácido da solução reveladora, carga suficiente para desestabilizar as micelas de surfactantes com núcleos de prata elementar do revelador, fazendo com que a prata seja exposta e depositada (BLEAY et al. 2018).



Alguns branqueadores comumente aplicados a papéis, como carbonato de cálcio, podem servir também como iniciadores de deposição de prata, competindo com as IPLs e causando o escurecimento de todo o suporte. Desse modo, como primeiro passo do processo, é comum banhar certos suportes em soluções ácidas, em geral de ácido maleico, para neutralizar esses componentes, vide Equação 5 (HUNTY et al., 2018). O fato de ser um revelador empregado com sucesso em suportes porosos que foram imersos em água ou até em papéis queimados (DEANS, 2006) levou a crer que a atuação do revelador físico estivesse associada apenas à fração FHR e seus constituintes sebáceos mais resistentes. Entretanto, estudos demonstraram que o revelador

físico também atua a partir de constituinte écrinos, mais precisamente da emulsão resultante da mistura destes com aqueles (HUNTY et al., 2015a) (HUNTY et al., 2015b).



Apesar da versatilidade do revelador físico, seu uso isolado não é eficaz em absoluto, tendo sido melhor empregado após reveladores que atuam a partir de aminoácidos, pois realça detalhes não esboçados anteriormente por estes. A característica aquosa das soluções do revelador físico solubilizam a fração de constituintes da impressão digital que abriga aminoácidos, sendo imperativo que o emprego do revelador físico seja posterior aos reveladores destinados à esta fração (HUNTY et al., 2015b).

Os aminoácidos encontrados naturalmente nas pontas dos dedos que compõem as IPLs são de grande importância na detecção de IPLs em suportes porosos, sobretudo naqueles de composição celulósica. A matriz celulósica e os aminoácidos interagem entre si através de ligações hidrogênio, permitindo que as impressões possam ser reveladas a partir desses aminoácidos mesmo quarenta anos (RAMOTOWSKI, 2013) após o momento de deposição das IPLs. O experimento utilizou livros antigos de estudantes e ao menos uma IPL foi identificada com sucesso em relação ao aluno já adulto. Essa interação também justifica o fato de que os aminoácidos migram pouco mais de 30 micrômetros (Figura 2) nesses suportes a partir da superfície (SIEGEL, SAUKKO, HOUCK, 2012). Ainda sim ela pode ser perturbada num ambiente com umidade excessiva, contexto em que o processo de revelação pode ser prejudicado.

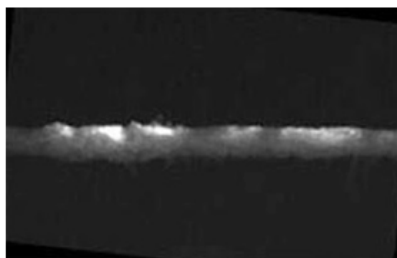


Figura 2. Cristas papilares realçadas por fluorescência de 1,2-indanediona em seção de papel de caderno de notas (ALMOG et al., 2004).

O reagente mais empregado para a revelação de IPLs em suportes porosos, sobretudo em papel, a partir dos aminoácidos ainda presentes no suporte, é a ninidrina. Sintetizada por Siegfried Ruhemann em 1910, a ninidrina e sua reatividade com aminoácidos foi estudada por muito tempo antes de vir a ser aplicada na perícia papiloscópica. Apenas na década de 1950 os pesquisadores Oden e von Hofsten sugeriram sua aplicação na busca por IPLs em suportes porosos (JELLY et al., 2009). A capacidade de reagir com aminas primárias e secundárias, incluindo aminoácidos (Figura 3), peptídeos e proteínas, fazem com que a ninidrina realce IPLs com uma tonalidade expressiva, produzindo um composto de cor púrpura característica ao reagir com aminoácidos, além de apresentar propriedade fluorescente. A solução reveladora de ninidrina pode ser aplicada através de spray, banho ou pincel, sendo que a literatura recomenda que o material seja mantido por um período de 24 a 48 h em temperatura ambiente com umidade relativa de 50% a no máximo 80% após a aplicação (JELLY et al., 2009). Há relatos de aplicação do revelador em superfícies porosas fixas em locais de crime, como paredes, os quais foram reexaminados 10 dias depois em busca de impressões reveladas (BLEAY; CROXTON; DE PUIT, 2018). Alguns substratos propiciam naturalmente uma rápida revelação, mas deve-se levar em conta que a umidade, dentro dos níveis recomendados, atua positivamente na formação da coloração púrpura desejada (JELLY et al., 2009), enfatizando a importância do controle desse fator ao longo dos exames. Por outro lado, a aplicação de calor acelera tanto a formação da coloração púrpura quanto a de outros subprodutos, sendo que o produto desejado se forma com maior celeridade. Havendo maior disponibilidade de tempo recomenda-se aguardar a revelação da ninidrina sem a aplicação de calor, inclusive para evitar a degradação do suporte.

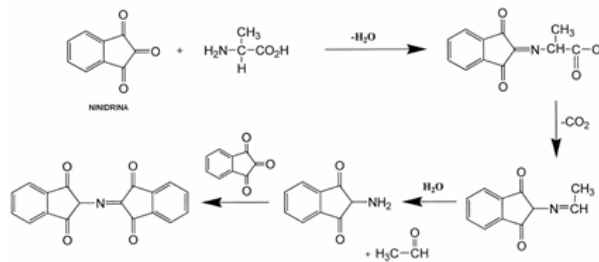


Figura 3. Mecanismo proposto para a reação entre ninidrina e aminoácidos (WILKINSON, 2000).

Outro importante fator que impacta a formação da cor púrpura oriunda da reação da ninidrina com aminoácidos é o pH do meio reacional. A literatura recomenda que a reação ocorra num contexto em que o pH seja ligeiramente ácido, com valores de 4 (RAMOTOWSKI, 2013) a 5 (CHAMPOD et al., 2016). Entre as diversas formulações de soluções reveladoras de ninidrina, observa-se o emprego de concentrações variadas de ácidos para preventivamente tentar levar o pH do substrato para a faixa ideal de reatividade entre ninidrina e aminoácidos. Vale citar que muitas marcas de papéis empregam substâncias alcalinizantes em seus produtos, que conferem maior durabilidade ao papel associada a uma tonalidade mais branca, deixando-o, no contexto reacional, com um pH mais alcalino do que o indicado para a formação da coloração púrpura esperada no processo de revelação de IPLs.

Apesar da gama de constituintes da impressão digital que são reativos com a ninidrina, nem todos proporcionam a formação da coloração púrpura típica da reação entre revelador e aminoácidos. Estudos também foram realizados para avaliar a viabilidade da decomposição de proteínas em aminoácidos, através do uso da enzima tripsina (EVERSE; MENZEL, 1986), com o objetivo de intensificar a coloração formada. O melhor caso foi o de aplicação da tripsina em pó liofilizado antes dos reveladores. Também é possível aprimorar a revelação resultante da ninidrina com o uso de sais metálicos do grupo 12 da tabela periódica, (LIBERTI; CALABRÒ; CHIAROTTI, 1995), sendo que o tratamento com sais de zinco é preferível em vista da relativa maior toxicidade dos sais de cádmio. O composto resultante da reação entre ninidrina e aminoácidos interage com o zinco(II) formando um complexo de tonalidade que varia do alaranjado ao vermelho, o qual também exibe uma fluorescência significativamente mais intensa (CHAMPOD et al., 2016). A depender do contraste entre a impressão digital revelada e o suporte em que se encontra, a visualização pode se dar com a aplicação de luz nos seguintes comprimentos de onda: (i) 415 nm¹ ou de 550 a 570 nm para o produto da reação da ninidrina com aminoácidos; ou (ii) 490 nm para revelações envolvendo a formação de complexos de zinco(II) (JELLY et al., 2009). As distintas opções de comprimentos de onda ao trabalhar a fluorescência da ninidrina proporcionam alternativas caso o suporte também apresente fluorescência.

1 Nanômetro (nm) é a escala utilizada para citar a faixa de cor da fonte de luz. A luz visível ao olho humano varia entre 370 nm (violeta) e 750 nm (vermelho), mas a perícia papiloscópica também utiliza de comprimentos de onda além dessa faixa, a depender do comportamento do revelador empregado.

O 1,8-diazafluoren-9-ona, usualmente denominado DFO, também é um composto muito utilizado na busca por IPLs em suportes porosos a partir de aminoácidos, apresentando uma coloração vermelha não tão contrastante quanto à púrpura da ninidrina, mas exibindo excepcional desempenho quando analisado sob o prisma da fluorescência. Inicialmente sintetizado por Druey e Schmidt em 1950 e posteriormente introduzido na perícia papiloscópica em 1990 por Grigg e Pounds (POUNDS et al., 1990), o DFO reage com aminoácidos de maneira semelhante à ninidrina (Figura 4), inclusive com a capacidade de formar complexos a partir do produto final (CONN et al., 2001). No entanto, o DFO não depende deste último ou de quaisquer tratamentos posteriores para exibir um comportamento fluorescente satisfatório. Em trabalho realizado por Mink et al. (2013), foi avaliada a proporção em que DFO e ninidrina consumiam uma mistura de aminoácidos com constituição baseada naqueles tipicamente presentes nas IPLs. Concluiu-se que a proporção de aminoácidos não consumidos em reação foi significativamente maior ao reagir a mistura com DFO, ajudando a explicar por que o uso de ninidrina após o DFO ainda é capaz de revelar novos detalhes e minúcias, e por que a sequência contrária não traz implementos significativos ao que já foi revelado pela ninidrina. Outro fator que dá suporte a essa sequência é a já citada influência positiva que a umidade, em proporções controladas, exerce sobre a revelação da ninidrina, mas que atua negativamente no caso da revelação com DFO (CHAMPOD et al., 2016). Desse modo, é desejável trabalhar com umidade somente após concluir os trabalhos com o DFO.

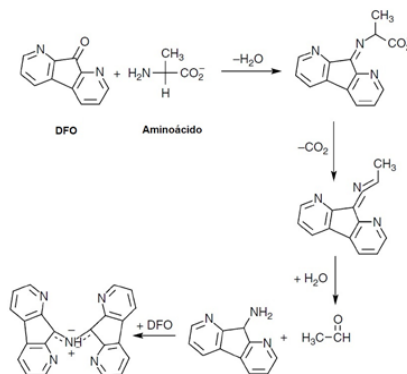


Figura 4. Mecanismo proposto para a reação entre DFO e aminoácidos (BLEAY; CROXTON; DE PUIT, 2018).

Diversas formulações já foram exploradas, sendo que duas são sugeridas na obra de Ramotowski (2013), ambas envolvendo o uso de metanol. Este participa da formação junto ao DFO de um importante hemiacetal intermediário de reação, que é a espécie reativa aos aminoácidos (WILKINSON, 2000). A solução do revelador pode ser aplicada aos suportes através de pincel, spray ou banho, sendo que este último é o mais recomendado. Após a aplicação do revelador, o suporte periciado deve secar a temperatura ambiente e ser levado para aquecimento a 100 °C por 20 min em forno comum, sem incremento na umidade, ou a 180 °C por 10 s em chapa (STOILOVIC, 1993), sem aplicação de vapores. Tão logo a etapa de aquecimento seja superada, eventuais fragmentos de IPL revelados devem ser procurados e registrados, tanto em luz comum quanto sob fonte luz com comprimento de onda entre 430 e 580 nm, sendo a respectiva visualização na faixa de 560 a 620 nm. A visualização através da fluorescência se faz urgente após o tratamento térmico, pois gradativamente fica comprometida devido ao suporte agregar umidade novamente com o passar do tempo (CHAMPOD et al., 2016).

O uso sequencial de DFO e ninidrina tem sido relatado como uma técnica apropriada para a revelação em suportes celulósicos, ainda assim, um trabalho de 2014 (MARRIOTT et al., 2014) buscou comparar a referida sequência frente a outra envolvendo um revelador relativamente mais moderno, a 1,2-indanediona. Ao estudar compostos análogos à ninidrina, Joullié, Thompson e Nemeroff (1991) desenvolveram a 1,2-indanediona, a qual teve seus primeiros resultados operacionais na revelação de impressões latentes relatados em 1999 (ALMOG et al., 1999). As conclusões de Marriot et. al (2014) foram de que a sequência de aplicação envolvendo a 1,2-indanediona e posteriormente ninidrina e revelador físico foi a mais adequada a papéis rotineiramente periciados, com resultados superiores à sequência iniciada com DFO. Essas conclusões, consoantes às de outros autores (LEVIN-ELAD et al., 2017) (WIESNER et al., 2001) (LAM; WILKINSON, 2011), levam a 1,2-indanediona ao rol de reveladores pertinentes ao presente estudo.

A 1,2-indanediona atua de maneira semelhante à ninidrina ao reagir com aminoácidos presentes na impressão digital, vide Figura 5, produzindo uma coloração rosa visível a olho nu e uma forte fluorescência no comprimento de onda de 560 nm quando excitada por fonte com comprimento de onda de 550 nm (BLEAY; CROXTON; DE PUIT, 2018).

Foi avaliado também se, de maneira análoga à ninidrina, sais de zinco seriam capazes de intensificar a fluorescência emitida pela 1,2-indanediona (SPINDLER et al., 2011). Mensurações espectroscópicas no decorrer das reações entre revelador e aminoácidos permitiram verificar a atuação catalítica do zinco(II), estabilizando um intermediário reacional e provendo uma quantidade significativamente maior do produto final responsável pela fluorescência. As formulações sugeridas podem ser aplicadas aos substratos periciados através de banho ou pincel e, dentre elas, destaca-se uma das mais recentes, sugerida pelo CAST - *Center for Applied Science and Technology* - em 2017 (BANDEY et al., 2017) e que também apresentou os melhores resultados em estudos de validação no ano seguinte (NICOLASORA et al., 2018). Essa formulação exalta a importância do uso de metanol e zinco(II) na concepção da solução reveladora, com o intuito de promover uma fluorescência mais intensa nas impressões reveladas. Os materiais periciados devem secar à temperatura ambiente em capela exaustora após a aplicação e serem levados a aquecimento com controle de umidade. Sugere-se (WIESNER et al., 2001) que resultados otimizados possam ser alcançados aquecendo os materiais em estufa por 20 min a 100 °C com 60% de umidade relativa. Contudo, alguns autores (STOILOVIC et al., 2007) sugerem que até umidades relativas superiores a 70% podem promover resultados satisfatórios e que um processo alternativo de aquecimento a 165 °C por 10 s em chapa de aquecimento traga também bons resultados, respeitada a sensibilidade térmica do suporte.

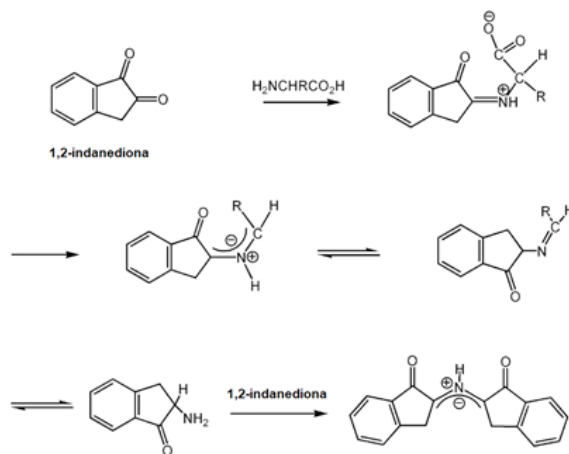


Figura 5. Mecanismo proposto para a reação entre 1,2-indanediona e aminoácidos (JELLY et al. 2009).

Entre os métodos empregados na perícia papiloscópica de suportes celulósicos, ainda vale destacar o uso do iodo elementar (I₂), apontado como um dos mais antigos métodos de revelação de IPLs (CHAMPOD et al., 2016). Sua forma de aplicação mais comum aos objetos periciados ocorre através da exposição destes a vapores sublimados de cristais de iodo, num processo realizado em ambiente fechado e que pode ser executado em temperatura ambiente ou acelerado através do aquecimento dos cristais. A revelação se dá com a formação de uma coloração marrom nas cristas das IPLs, que com o tempo tende a se desfazer naturalmente. Acreditou-se por muito tempo que a formação da cor marrom nas IPLs ocorria pela interação do iodo por forças de London com os constituintes manifestamente sebáceos da impressão digital e também pela reação de adição de iodo às insaturações (ligações duplas) de hidrocarbonetos. Mais recentemente foi considerada a interação do iodo com a água e outros compostos com dipolos permanentes, estimulando um dipolo induzido no iodo (BLEAY; CROXTON; DE PUIT, 2018). Esta interação intermolecular mantém o iodo temporariamente nas cristas, de tal maneira que com o tempo ele se desprende e a impressão revelada perde seu contraste.

A hipótese da fixação temporária do iodo apenas através das forças de London e de Debye foi subsidiada pela argumentação (BLEAY et al., 2017) de que a reação de adição de iodo em duplas ligações tem cinética incompatível com a velocidade do surgimento da coloração marrom. A reação com compostos fixadores de iodo, discutidos posteriormente, dependem de iodo livre para reagirem, além do fato de testes laboratoriais terem demonstrado que hidrocarbonetos, água, aminoácidos e sais inorgânicos comumente encontrados nas IPLs também formam produtos visíveis quando expostos a vapores de iodo.

O fato de o iodo desprender-se relativamente rápido das impressões reveladas levou à procura de alternativas para fixá-lo em definitivo, preservando o resultado da revelação. A aplicação sequencial de vapores de iodo seguido de spray ou imersão em 7,8-benzoflavona resulta em uma revelação de coloração azul escura mais duradoura e com melhor contraste à tradicional de coloração marrom (CHAMPOD et al., 2016). Apesar de durar pouco após formulada, a solução de 7,8-benzoflavona já contendo iodo diluído é funcional e aplicável em locais de crime para a revelação de IPLs apostas em paredes e suportes porosos congêneres

com até duas semanas de idade. Apesar de uma série de instituições ainda empregarem o iodo em seus procedimentos e da existência de algumas publicações na última década a respeito de novos fixadores (JASUJA; KAUR; KUMAR, 2012) e da aplicabilidade do iodo a papéis térmicos (JASUJA; SINGH, 2009) (KELLY et al., 2012), há uma tendência na substituição do uso amplo do iodo por outros métodos mais sensíveis e que diminuam a exposição dos operadores aos vapores tóxicos da sublimação, limitando seu uso àqueles casos específicos em que apresenta melhor performance (BLEAY et al., 2017).

3. REVELAÇÃO DE IMPRESSÕES DIGITAIS EM DINHEIRO

Indispensável até hoje nas relações de consumo em todas as nações, o dinheiro físico ainda é encontrado por todo o mundo, e mesmo que algumas nações não possuam moeda corrente própria, elas movimentam e indexam sua economia através de moedas estrangeiras. Em todos os casos é interessante que o dinheiro seja um documento distinto, durável e irreproduzível por falsificadores, requisitos que acabam por agregar uma série de elementos que o tornam particularmente complexo à perícia papiloscópica. O dinheiro contextualizado em uma atividade criminosa comumente é objeto de exames, bem como suas versões falsificadas, sendo estas últimas tão diversas quanto a criatividade dos falsários, podendo também exigir do papiloscopista uma perspectiva que alcance além dos habituais exames periciais cotidianamente realizados.

Quando se fala em revelação de impressões digitais em dinheiro, a menção refere-se mais precisamente às cédulas, suportes cuja a formação é baseada em material celulósico ou polimérico. Este último tipo, de seu uso corrente em outras nações como Inglaterra e Austrália, é mais conhecido pelos brasileiros apenas através de edição comemorativa limitada da nota de dez reais, lançada em virtude dos 500 anos de descobrimento do Brasil. As cédulas poliméricas não são tão comuns à perícia papiloscópica brasileira, mas a literatura internacional (SCOTCHER, BRADSHAW 2018) (DOWNHAM et al. 2018) relacionada a este tipo de vestígio tem recebido contribuições constantemente, em parte justificada pela necessidade das instituições policiais, que também lidam com questões internacionais, serem capazes de

processar dinheiro de outros países. Às células poliméricas recomenda-se os tratamentos comuns de revelação de impressões digitais em suportes não porosos. Por exemplo, cédulas poliméricas australianas quando muito contaminadas com sujeira produzem melhores revelações através do uso de cianoacrilato e, num contexto menos poluído, bons resultados foram relatados (LENNARD, 2018) com o processo de deposição de metal a vácuo ou, alternativamente, com o uso de pós luminescentes na região do espectro do infravermelho (IR). Já as cédulas de 5 (DOWNHAM et al., 2017) e 10 (DOWNHAM et al., 2018) libras esterlinas (Inglaterra), feitas de polipropileno, apresentaram melhores revelações com a aplicação de pó magnético (Figura 6), desde que analisado através da reflexão de IR ou através de decalque com gelatina, produto análogo ao Mikrosil (Kejell Carlsson Innovation, Sundbyberg, SE., Suécia), para amplificar o contraste com o suporte.



Figura 6. Revelação em cédula de libra esterlina por pó magnético sendo (i) visto sob luz normal e (ii) visto sob reflexão de IR (DOWNHAM et al., 2018).

A natureza não porosa encontrada em geral nas cédulas poliméricas também abre a porta para o uso de algumas tecnologias mais modernas, entre elas a técnica de imageamento por MALDI-MS e a já citada visualização através da aplicação do IR. Neste último, uma luz com comprimento de onda na região do IR próximo (780 a 2500 nm) é aplicada sobre o suporte, sendo então refletida pela superfície e absorvida por um revelador. Um exemplo é o novo revelador em pó proposto por King e colaboradores (KING; HALLETT; FOSTER, 2015) a base da alga *Spirulina Platensis* (Figura 7), a qual também traz o ponto positivo de já ter toxicidade conhecida devido ao seu amplo uso na indústria alimentí-

cia. A MALDI-MS é a sigla, em inglês, para a técnica de Espectrometria de Massas por Dessorção a Laser Assistida por Matriz, em que é possível analisar o perfil químico de cada ponto de uma impressão digital e posteriormente distribuir espacialmente essas informações através de software, fornecendo tanto a composição química da impressão digital quanto a sua estrutura de linhas e pontos característicos, necessários ao realizar uma comparação biométrica. Trata-se de uma técnica com uso muito recente na perícia papiloscópica, a qual exige equipamentos específicos e pessoal com treinamento especializado para sua execução. Resultados iniciais promissores para a revelação de IPLs em cédulas poliméricas de libras esterlinas foram relatadas em 2018 por Bradshaw e colaboradores (SCOTCHER; BRADSHAW, 2018).

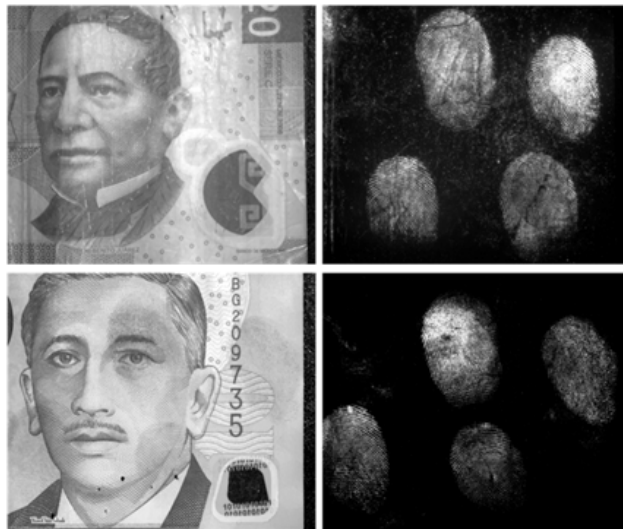


Figura 7. Cédulas poliméricas com IPLs relevadas por pó de *Spirulina Platensis* (KING; HALLETT; FOSTER, 2015).

Por outro lado, numa perspectiva mais análoga ao dinheiro brasileiro, as cédulas não poliméricas geralmente apresentam um aspecto aparente de suportes porosos, que remetem ao papel ou materiais dessa natureza. Essa noção leva à abordagem por técnicas no mesmo sentido dos processos de revelação citados na seção anterior. A literatura nos últimos anos tratou a questão em sua maioria com o mesmo raciocínio. Frerichs et al. (2002) avaliaram uma série de técnicas em 2002, buscando revelar IPLs em cédulas de euro, majoritariamente compostas por fibras de algodão, aplicando vapores de iodo,

pós, cianoacrilato seguido de deposição de metais a vácuo e ninidrina, esta última isoladamente por banho, em sequência ao DFO e através de um processo por sublimação. Apesar dos resultados não terem sido conclusivos, à época os melhores resultados para impressões reveladas após 5 e 20 dias da deposição no suporte foram trazidos pela aplicação em banho de ninidrina e pela sublimação desta, que aquecida em ambiente fechado contendo o suporte revelou alguns detalhes a mais do que o processo em banho.

Um trabalho mais detalhado foi realizado por Białek et al. (2006) ao perceberem que as discrepâncias nas sugestões metodológicas de outros trabalhos, versando sobre dinheiro de nações distintas, não seriam capazes de trazer uma melhor abordagem para periciar dinheiro polonês, *złoty*, fabricado a base de papel de algodão com 80 g/m². Em seu trabalho, 6720 IPLs foram depositadas em regiões pré-definidas de um total de 336 cédulas, novas e velhas, de 50 e de 20 *złoty*. Os grupos de impressões, manifestamente écrinas e écrinas/sebáceas (com estímulo sebáceo por creme hidratante), foram periciadas após três, seis e nove semanas. As cédulas foram submetidas aos reveladores ninidrina, DFO, revelador físico, complexos orgânicos de Európio, complexos orgânicos de Lantânio e cianoacrilato seguido por Ardrex, este último um corante fluorescente. Os resultados foram quantificados com base numa escala de 5 níveis, dividida de acordo com o número de minúcias visíveis utilizáveis em uma comparação biométrica. O revelador físico apresentou baixo desempenho global no experimento, a ninidrina apresentou bons resultados em impressões écrinas e écrinas/sebáceas quando as IPLs eram mais velhas, o DFO teve o melhor desempenho com impressões écrinas mais jovens, enquanto impressões sebáceas foram mais sensíveis ao cianoacrilato seguido de Ardrex. Também foi constatado que todos os reveladores apresentaram resultados insatisfatórios em regiões impermeabilizadas ou com alta concentração de pigmento, sobretudo em locais com a técnica de impressão em relevo de segurança, conhecida como *Intaglio*.

A influência da pigmentação na revelação de impressões digitais foi estudada por Lin (LIN; MENZEL, 1996) no contexto de cédulas falsas de dólar estadunidense. Em seu estudo foi levantado um questionamento relevante: seria possível revelar IPLs em cédulas falsas? Ainda, em caso positivo, seria possível afirmar se a IPL foi depositada no su-

porte antes ou depois da aplicação de pigmento pelo falsário? O autor levou em consideração que IPL localizadas entre o suporte e o pigmento das impressoras teriam maior probabilidade de pertencer ao falsário. A parte experimental foi realizada depositando impressões digitais e gotas de glicina em metanol em papel comum e tipo *bond* (de melhor qualidade, com mais de 50 g/m²). Um grupo amostral recebeu a deposição de impressões digitais e gotas de solução de glicina antes e a outra após os papéis serem impressos com faixas de cor similares aos da cédula de dólar, tanto pelo processo de impressão comum quanto pelo processo *offset*. O uso do aminoácido glicina em concentração definida foi proposto pelo autor para atenuar variabilidade real de concentração da espécie em impressões digitais distintas. Foram testados alguns reveladores indicados para suportes celulósicos, como variantes tanto de revelador físico quanto de 1,2-indanediona com sais metálicos, bem como DFO e dimetilaminocinamaldeído (DMAC), os quais apresentaram resultados esperados para suportes celulósicos em todos os casos. A metodologia do experimento não foi capaz de prover resultados que elencassem uma técnica, ou sequência de técnicas, de revelação que demonstrasse cabalmente se as impressões digitais teriam sido depositadas antes ou após a aplicação do pigmento, sendo percebida uma sutil diferença na intensidade da fluorescência emitida, mas nada conclusivo. Ainda no contexto de cédulas falsas de dólar estadunidense, boas revelações foram alcançadas a partir do uso de revelador físico e compostos clarificantes, estes últimos para aprimorar o contraste entre o suporte e as IPLs reveladas (CANTU et al. 2003).

A divisão de perícia papiloscópica do CAST (atual *Defence Science and Technology Laboratory* – DSTL) recomenda (BLEAY et al., 2017) uma abordagem inicial menos invasiva às cédulas não poliméricas através do uso do IR de maneira análoga à iluminação no espectro do visível, i.e., utilizar-se dos fenômenos de reflexão e transmissão para promover o contraste entre IPLs e suporte. Crane e colaboradores (CRANE et al., 2007) exploraram o imageamento espectroscópico de IPLs através do IR antes da aplicação de qualquer revelador, sendo analisadas impressões sebáceas depositadas em uma série de suportes, incluindo cédulas de dólar estadunidense. Muitos pigmentos aplicados às cédulas são transparentes na região do IR, enquanto alguns constituintes das impressões digitais absorvem a radiação em determinados comprimentos de onda dessa faixa do espectro. A metodologia atua

melhor em suportes não porosos, como já citado para as cédulas poliméricas, pois superfícies porosas não proveem uma reflexão adequada da luz, problema que pôde ser superado pelos autores após tratamento matemático das medidas obtidas inicialmente pelo equipamento (Figura 8). O trabalho concluiu que as amostras não apresentaram significativa alteração na qualidade das imagens espectrais no decorrer de 3 meses, sendo que a banda de maior sensibilidade e mais adequada para as leituras foi de 1016 cm^{-1} , relativa ao estiramento assimétrico das ligações de grupos C-O que compõem ésteres. A metodologia foi eficaz para a visualização de IPLs em locais conhecidos, apesar de ainda depender de um amadurecimento para a realização de varredura em objetos alvos de exames periciais.

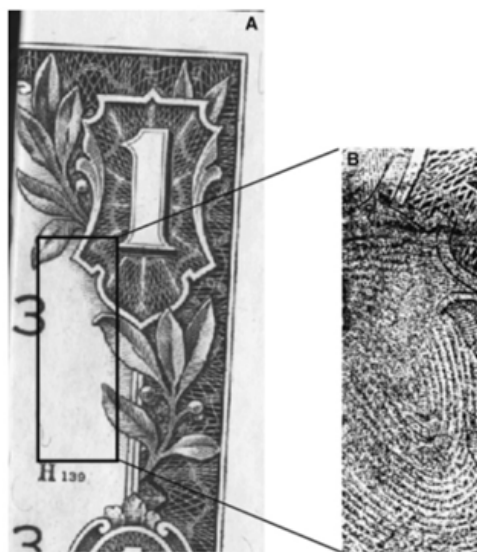


Figura 8. Cédula de dólar com IPL vista através do IR em (A) e vista através de tratamentos matemáticos dos espectros obtidos em (B) (CRANE et al., 2007).

A importância de uma análise prévia dos suportes foi levantada por Azoury et al. (2004) após dois lotes distintos de cédulas falsas de dólar estadunidense exibirem comportamentos claramente diferentes em relação aos reveladores utilizados. No primeiro lote, o uso sequencial de DFO e posterior ninidrina foi capaz de revelar fragmentos de impressão digital com variados níveis de detalhe. No entanto, o segundo lote não esboçou qualquer revelação frente à sequência mencionada. Testes posteriores foram realizados

com mais cédulas falsas do segundo lote, aplicando formulações de ninidrina, DFO e 1,2-indanediona, inclusive com IPLs depositadas intencionalmente para o teste, sendo que nenhuma revelação objetivando aminoácidos foi alcançada. Por fim, foi tentada a revelação com cianoacrilato, a qual proveu resultados que foram realçados satisfatoriamente com pó magnético. Embora as cédulas dos dois lotes tenham apresentado diferenças muito sutis ao tato e ao olho nu, essas diferenças não foram tão manifestas que levariam à adoção inicial de procedimentos distintos daqueles indicados para superfícies porosas, em qualquer um dos casos. Algumas propriedades de cada lote foram mensuradas e posteriormente comparadas, dentre elas a que esboçou melhor a diferença entre os dois suportes foi o valor da energia livre de superfície de cada um. A medida de energia livre de superfície avalia o comportamento entre líquidos e superfícies em contato, mensurando através do método da gota sésil o quanto líquidos molham ou aderem a uma determinada superfície. A amostra do lote revelado com cianoacrilato demonstrou uma energia livre de superfície relativamente baixa em relação à esperada para papéis comuns, além de um caráter relativamente mais hidrofóbico. Já o lote que proveu bons resultados com reveladores para superfícies porosas apresentou medidas de energia condizentes com as de papéis comuns. O trabalho foi concluído exaltando a importância de um estudo prévio mais criterioso de superfícies desconhecidas, para que a decisão do revelador mais adequado a cada uma seja tomada de forma mais embasada. A medida da energia livre de superfície também foi verificada em cédulas de dinheiro chinês num experimento propondo um novo tipo de revelador a base de nanopartículas de sílica mesoporosas. O revelador (ZHANG et al., 2017) apresentou resultados promissores em suportes variados com IPLs sebáceas, dentre eles nas cédulas de dinheiro chinês, o qual também manifestou comportamento relativamente hidrofóbico no teste da gota sésil.

O dinheiro chinês, *Renminbi*, juntamente a outros tipos de materiais tem sido objeto de testes na busca por novos tipos de pós reveladores. Tecnologias inovadoras que utilizam terras raras em sua composição (WANG; ZHU; MAO, 2015), propõem pós que absorvem a radiação no IR próximo e emitem fluorescência no visível, exibindo maior contraste e sensibilidade que pós convencion-

nais, sobretudo em suportes que apresentam fluorescência. Peng et al. (2018), por outro lado, buscou desenvolver pós com atributos melhorados dentro de um contexto de menor toxicidade, utilizando a tecnologia de nanomaterias livre de metais pesados, *Luminescent carbon dots*. Também foi testada (QIU et al., 2018) a viabilidade de dopar uma variedade de pós magnéticos com agregados induzidos luminescentes, a técnica foi capaz de agregar fluorescência aos pós magnéticos selecionados mantendo sua funcionalidade de revelação de IPLs. Nos três trabalhos, as metodologias apresentadas exibiram resultados promissores quando aplicadas ao dinheiro Chinês, utilizando impressões manifestamente sebáceas, com enfoque sobre as revelações de impressões recentes, assim como o trabalho de Liu et al. (2018), o qual testou, com sucesso uma solução de complexo de Iridio para revelar IPLs sebáceas em cédulas de *Renminbi*.

Considerando a vasta gama de experimentos empreendidos, para superar as adversidades inerentes à revelação de impressões IPLs em cédulas de dinheiro, por instituições de todo o mundo, demonstra-se a necessidade de uma avaliação criteriosa e metodologicamente adequada sobre quais técnicas seriam mais aplicáveis ao dinheiro brasileiro, dentro da realidade da perícia papiloscópica nacional. Os trabalhos citados possuem discrepâncias significativas quanto às metodologias utilizadas, seja nas formulações dos reveladores, seja na forma de criação das amostras e na escolha de parâmetros de outras etapas dos experimentos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Revelar impressões papilares em cédulas de dinheiro, segundo a perspectiva prática e a perspectiva acadêmica, segue um desafio até mesmo para algumas instituições que já exploraram o tema em suas realidades nacionais. Apesar de metodologias convencionais terem sido capazes de prover resultados satisfatórios em alguns casos de dinheiro falso, depreende-se duas conclusões iniciais: (i) a de que os elementos de segurança de cédulas originais limitam mais incisivamente o sucesso da revelação de IPLs; e (ii) a de que mesmo as revelações em suportes com um grau menor de complexidade, como o dinheiro falso, exigem melhor conhecimento prévio acerca do suporte para evitar o desperdício de um vestígio. Os estudos seguem

buscando resolver a problemática do primeiro ponto, utilizando-se de elementos que possam também trazer uma alternativa para a problemática da segunda conclusão. Vale ressaltar outra vez a importância dos trabalhos de Białek (BIAŁEK; ZAJĄC; BRZOZOWSKI, 2006) e Azoury (AZOURY et al., 2004) para esse estudo, pois apresentaram metodologias relevantes que guiarão, com as modificações necessárias, etapas posteriores do presente estudo. Os procedimentos experimentais a serem realizados na próxima etapa levarão em conta seus trabalhos, mas numa abordagem mais condizente tanto com a padronização experimental recomendada pela literatura atual quanto com a realidade metodológica da perícia papiloscópica brasileira, sobretudo avaliando o desempenho das técnicas revisadas na segunda seção deste trabalho. Nesse contexto, vale também carregar, ao longo das próximas etapas, o questionamento levantado por Lin (LIN; MENZEL, 1996) e tentar saná-lo para cédulas falsas de real e de outras moedas comumente apreendidas.

BERNARDO JOSÉ MUNHOZ LOBO

QUÍMICO INDUSTRIAL ESPECIALISTA EM IDENTIFICAÇÃO
HUMANA, COM AÇÕES VOLTADAS AO DESENVOLVIMENTO DA
PAPILOSCOPIA E SUAS TÉCNICAS PERICIAIS.
ATUA NO SERVIÇO DE PERÍCIA PAPILOSCÓPICA DO
INSTITUTO NACIONAL DE IDENTIFICAÇÃO, COMO
PAPILOSCOPISTA POLICIAL FEDERAL

JULIO LEMOS DE MACEDO

POSSUI GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM QUÍMICA PELA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (2001), MESTRADO EM QUÍMICA
PELA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (2003) E DOUTORADO
EM QUÍMICA PELA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (2007).
ATUALMENTE É PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR
(ASSOCIADO I) DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA.

FINGERMARKS DEVELOPMENT ON CELLULOSIC SUBSTRATES AND BANKNOTES: A REVIEW

ABSTRACT

The present work is a literature review about the examination and development of latent fingerprints on porous substrates, especially in money. Relevant developers for this type of substrate, and the efforts made by institutions of different nationalities, were exposed in the context of defining the most effective methodology for developing latent fingerprints on banknotes, being them counterfeit or not. The found methodologies indicated procedures as diverse as the kinds of banknotes studied, demonstrating that a proper methodology for Brazilian currency cannot be brought directly from international studies without the necessary contextualization. The search for latent fingerprints on counterfeit banknotes must be seen as the complexity that it represents, although being a simpler substrate than real banknotes, the previous knowledge of the intrinsic aspects of the substrate is determinant for the success of the examinations, and essential when defining how they will be conducted.

KEYWORDS: Forensic examination. Fingerprints. Banknotes. Currency. Porous Surfaces.

REVELACIÓN DE HUELLAS EN APOYOS CELULÓSICOS Y BILLETES DE DINERO: UNA REVISIÓN

RESUMEN

El presente trabajo es una descripción bibliográfica que trata sobre la experiencia de las huellas digitales latentes en medios porosos, especialmente en dinero. Los desarrolladores pertinentes a este tipo de apoyo están expuestos y los esfuerzos realizados, por instituciones de diferentes nacionalidades, al tratar de definir metodologías efectivas para la revelación de impresiones latentes en los billetes, tanto verdaderas como falsas. Las metodologías encontradas señalaron procedimientos tan diversos como la variedad de especies de billetes estudiados, lo que demuestra que no se puede obtener una metodología adecuada para el dinero brasileño de los estudios internacionales sin la debida consideración y un proceso de contextualización. La búsqueda de impresiones en billetes falsos también debe tomarse con la complejidad que representa, a pesar de ser más simple que el dinero real. El conocimiento previo de los aspectos intrínsecos al soporte es crucial para el éxito de los exámenes de expertos y es esencial al definir cómo se llevarán a cabo.

PALABRAS CLAVE: Pericia. Papioscopia Huellas digitales. Votación. Dinero. Superficies porosas.

REFERÊNCIAS

- ALMOG, J. et al. Latent Fingerprint Visualization by 1,2-Indanedione and Related Compounds: Preliminary Results. *Journal of Forensic Sciences*, v. 44, n. 1, p. 144-21J, 1 jan. 1999.
- ALMOG, J. et al. Fingerprints' third dimension: the depth and shape of fingerprints penetration into paper--cross section examination by fluorescence microscopy. *Journal of Forensic Sciences*. 49(5):981-5. Set. de 2004
- AZOURY, M. et al. Fingerprint detection on counterfeit US dollar banknotes: the importance of preliminary paper examination. *Journal of Forensic Sciences*, v. 49, n. 5, p. 1015–1017, set. 2004.
- BANDEY, H. et al. Fingerprint Visualisation Update March 2017. [s.l.] CAST - Home Office - UK, 30 mar. 2017. Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/publications/fingerprint-visualisation-update-march-2017>>.
- BIAŁEK, I.; ZAJĄC, A.; BRZOZOWSKI, J. Developing of latent fingerprints on banknotes issues by the national bank of Poland. *Problems of Forensic Sciences*, v. 68 (LXVIII), p. 339–350, 2006.
- BLEAY, S. et al. Fingerprint Source Book V2.0: (second Edition). [s.l.] Home Office, 2017.
- BLEAY, S. M.; CROXTON, R. S.; DE PUIT, M. Fingerprint Development Techniques, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/9781119187400>>
- BRASIL. 4764. Decreto no 4.764, de 5 de Fevereiro de 1903. 5 fev. 1903.
- BUMBRAH, G. S.; SODHI, G. S.; KAUR, J. Oil Red O (ORO) reagent for detection of latent fingermarks: a review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, v. 9, n. 1, p. 3, 5 jan. 2019.
- CANTU, A. A.; LEBEN, D. A.; WILSON, K. Some advances in the silver physical development of latent prints on paper. *Sensors, and Command, Control, Communications, and*

- Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Defense and Law Enforcement II, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1117/12.498198>>
- CHAMPOD, C. et al. Fingerprints and Other Ridge Skin Impressions. [s.l.] CRC Press, 2016.
- COELHO, B. P. A perspectiva da sociedade em relação ao uso das impressões digitais nas resoluções de crimes - influência da mídia do cotidiano. *Revista Eletrônica IPOG Especialize On Line*, v. 01, n. 16, dez. 2018.
- CONN, C. et al. The effect of metal salt treatment on the photoluminescence of DFO-treated fingerprints. *Forensic Science International*, v. 116, n. 2-3, p. 117–123, fev. 2001.
- CRANE, N. J. et al. Infrared spectroscopic imaging for noninvasive detection of latent fingerprints. *Journal of Forensic Sciences*, v. 52, n. 1, p. 48–53, jan. 2007.
- DEANS, J. Recovery of Fingerprints from Fire Scenes and Associated Evidence. *Science & Justice*, 2006. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/s1355-0306\(06\)71589-1](http://dx.doi.org/10.1016/s1355-0306(06)71589-1)>
- DOWNHAM, R. P. et al. Fingermark visualisation on uncirculated £5 (Bank of England) polymer notes: Initial process comparison studies. *Forensic Science International*, v. 275, p. 30–43, jun. 2017.
- DOWNHAM, R. P. et al. Sequential processing strategies for fingermark visualisation on uncirculated £10 (Bank of England) polymer banknotes. *Forensic Science International*, v. 288, p. 140–158, jul. 2018.
- SIEGEL, J. A.; SAUKKO, P. J.; HOUCK, M. M. *Encyclopedia of Forensic Sciences*. [s.l.] Academic Press, 2012.
- EVERSE, K. E.; MENZEL, E. R. Sensitivity enhancement of ninhydrin-treated latent fingerprints by enzymes and metal salts. *Journal of Forensic Sciences*, v. 31, n. 2, p. 446–454, abr. 1986.
- FRERICHS, I. et al. Location and development of fingerprints on euro banknotes. Preliminary report. *Problems of Forensic*

Sciences, v. 51 (LI), p. 140–149, out. 2002.

- GIROD, A.; RAMOTOWSKI, R.; WEYERMANN, C.
Composition of fingerprint residue: a qualitative and quantitative review. *Forensic Science International*, v. 223, n. 1-3, p. 10–24, 30 nov. 2012.
- HUNTY, M. D. L. et al. Understanding physical developer (PD): Part I – Is PD targeting lipids? *Forensic Science International*, 2015a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.06.034>>
- HUNTY, M. DE LA et al. Understanding Physical Developer (PD): Part II – Is PD targeting eccrine constituents? *Forensic Science International*, 2015b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.08.029>>
- HUNTY, M. DE LA et al. An effective Physical Developer (PD) method for use in Australian laboratories. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00450618.2018.1424243>>
- JASUJA, O. P.; KAUR, A.; KUMAR, P. Fixing latent fingerprints developed by iodine fuming: a new method. *Forensic Science International*, v. 223, n. 1-3, p. e47–52, 30 nov. 2012.
- JASUJA, O. P.; SINGH, G. Development of latent fingerprints on thermal paper: preliminary investigation into use of iodine fuming. *Forensic Science International*, v. 192, n. 1-3, p. e11–6, 20 nov. 2009.
- JELLY, R. et al. The detection of latent fingerprints on porous surfaces using amino acid sensitive reagents: a review. *Analytica Chimica Acta*, v. 652, n. 1-2, p. 128–142, 12 out. 2009.
- JONKER, H. et al. PD Processes for Photography at Extreme Resolution: I. PD-MD Based on Diazosulphonate. *The Journal of Photographic Science*, v. 19, n. 6, p. 187–198, 23 nov. 1971.
- JOULLIÉ, M. M.; THOMPSON, T. R.; NEMEROFF, N. H. Ninhydrin and ninhydrin analogs. Syntheses and applications. *Tetrahedron*, v. 47, n. 42, p. 8791–8830, out. 1991.

- KELLY, P. F. et al. The recovery of latent text from thermal paper using a simple iodine treatment procedure. *Forensic Science International*, v. 217, n. 1-3, p. e27–30, 10 abr. 2012.
- KING, R. S. P.; HALLETT, P. M.; FOSTER, D. Seeing into the infrared: A novel IR fluorescent fingerprint powder. *Forensic Science International*, v. 249, p. e21–e26, abr. 2015.
- LAM, R.; WILKINSON, D. Forensic light source and environmental effects on the performance of 1,2-indanedione-zinc chloride and 1,8-diazafluoren-9-one for the recovery of latent prints on porous substrates. *Journal of Forensic Identification*, v. 61, p. 607–620, 2011.
- LENNARD, C. Fingermark detection and identification: current research efforts. *The Australian Journal of Forensic Sciences*, v. 64, p. 1–21, 28 maio 2018.
- LEVIN-ELAD, M. et al. 1,2-Indanedione - A winning ticket for developing fingermarks: A validation study. *Forensic Science International*, v. 271, p. 8–12, fev. 2017.
- LIBERTI, A.; CALABRÒ, G.; CHIAROTTI, M. Storage effects on ninhydrin-developed fingerprints enhanced by zinc complexation. *Forensic Science International*, v. 72, n. 3, p. 161–169, abr. 1995.
- LIN, T.; MENZEL, E. R. Fingerprints on counterfeit currency, *Proceedings SPIE*, v. 2705, Fluorescence Detection IV, 25 mar. 1996. Disponível em: <<https://doi.org/10.1117/12.236188>>
- LIU, R. et al. An AIPE-active heteroleptic Ir(III) complex for latent fingermarks detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, v. 259, p. 840–846, 2018.
- MARRIOTT, C. et al. Evaluation of fingermark detection sequences on paper substrates. *Forensic Science International*, v. 236, p. 30–37, mar. 2014.
- MINK, T. et al. Determination of efficacy of fingermark enhancement reagents; the use of propyl chloroformate for the derivatization of fingerprint amino acids extracted from paper. *Science & Justice*, v. 53, n. 3, p. 301–308, set. 2013.

- NICOLASORA, N. et al. A validation study of the 1,2-indandione reagent for operational use in the UK: Part 2 - Optimization of processing conditions. *Forensic Science International*, v. 288, p. 266–277, jul. 2018.
- OLSEN, R. D. *Scott's Fingerprint Mechanics*. [s.l.] Charles C. Thomas, 1978. p. 295
- PENG, D. et al. A novel monodisperse SiO₂@C-dot for the rapid and facile identification of latent fingermarks using self-quenching resistant solid-state fluorescence. *Dalton Transactions*, v. 47, n. 16, p. 5823–5830, 2018.
- POUNDS, C. A. et al. The Use of 1,8-Diazafluoren-9-one (DFO) for the Fluorescent Detection of Latent Fingerprints on Paper. A Preliminary Evaluation. *Journal of Forensic Sciences*, 1990. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1520/jfs12813j>>
- QIU, Z. et al. A general powder dusting method for latent fingerprint development based on AIEgens. *Science China Chemistry*, v. 61, n. 8, p. 966–970, 2018.
- RAMOTOWSKI, R. S. Lee and Gaensslen's *Advances in Fingerprint Technology*. 3rd Edition ed. [s.l.] CRC Press, 2013.
- SCOTCHER, K.; BRADSHAW, R. The analysis of latent fingermarks on polymer banknotes using MALDI-MS. *Scientific Reports*, v. 8, n. 1, p. 8765, 8 jun. 2018.
- SPINDLER, X. et al. The effect of zinc chloride, humidity and the substrate on the reaction of 1,2-indanedione-zinc with amino acids in latent fingerprint secretions. *Forensic Science International*, v. 212, n. 1-3, p. 150–157, 10 out. 2011.
- STOILOVIC, M. Improved method for DFO development of latent fingerprints. *Forensic Science International*, v. 60, n. 3, p. 141–153, ago. 1993.
- STOILOVIC, M. et al. Evaluation of a 1,2-indanedione formulation containing zinc chloride for improved fingerprint detection on paper. *Journal of Forensic Identification*, v. 57, n. 1, p. 4–18, jan. 2007.

- WANG, M.; ZHU, Y.; MAO, C. Synthesis of NIR-Responsive NaYF₄:Yb,Er Upconversion Fluorescent Nanoparticles Using an Optimized Solvothermal Method and Their Applications in Enhanced Development of Latent Fingerprints on Various Smooth Substrates. *Langmuir: The ACS Journal of Surfaces and Colloids*, v. 31, n. 25, p. 7084–7090, 30 jun. 2015.
- WIESNER, S. et al. Chemical Development of Latent Fingerprints: 1,2-Indanedione Has Come of Age. *Journal of Forensic Sciences*, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1520/jfs15102j>>
- WILKINSON, D. Study of the reaction mechanism of 1,8-diazafluoren-9-one with the amino acid, l-alanine. *Forensic Science International*, v. 109, n. 2, p. 87–103, mar. 2000.
- ZHANG, M. et al. Systematic study of dye loaded small mesoporous silica nanoparticles for detecting latent fingerprints on various substrates. *Journal of Porous Materials*, v. 24, n. 1, p. 13–20, 29 fev. 2017.

