



COMPARAÇÃO ENTRE TÉCNICAS DE MICROSCOPIA APLICADAS AOS DOCUMENTOS QUESTIONADOS FORENSES

Claudia Regina F. de Souza^{1,2}, *Andrea P. C. Campos*², *Erlon Henrique M. Ferreira*², *Leandro Reis Lidizio*², *Benjamin Fragneaud*², *Lídia Ágata de Sena*²

¹ Instituto de Criminalística Carlos Éboli, Rio de Janeiro, Brasil, crfsouza@openlink.com.br

² Divisão de Metrologia de Materiais, Inmetro, Rio de Janeiro, Brasil

Resumo: Apresentamos o problema enfrentado pelos peritos documentoscópicos na determinação da sequência de traços, comparando as técnicas de microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV) associada à espectroscopia por energia dispersiva (EDS) e microscopia de força atômica (MFA) associada com espectroscopia Raman. Um enfoque sobre as limitações e vantagens do uso de cada técnica é apresentado, procurando encontrar a metodologia mais adequada para análise de dois tipos de cruzamentos de traços mais frequentes: caneta x toner e caneta x caneta. Foi verificado que o MO não é capaz de revelar a sequência dos cruzamentos. O MEV mostrou ser uma técnica promissora para identificação da sequência de cruzamentos para a combinação caneta x toner. Maior dificuldade foi encontrada na determinação de cruzamentos caneta x caneta. A possibilidade de mistura dos componentes das tintas e heterogeneidade na cobertura das fibras de papel podem estar relacionadas. Resultados preliminares mostraram que nenhuma das técnicas empregadas foi eficiente na determinação da anterioridade neste tipo de cruzamento.

Palavras-chave: documentoscopia, cruzamento dos traços, microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura, microscopia de força atômica.

1. INTRODUÇÃO

O Instituto de Criminalística Carlos Éboli, representado pelo Departamento Geral de Polícia Técnico-Científica, é um dos órgãos operacionais da Polícia Civil do Estado do Rio de Janeiro [1]. Na estrutura do Instituto estão inseridos os serviços de Perícia Criminal, dentre eles o Serviço de Perícia de Documentos, o qual tem como atribuição específica a realização de exames periciais de natureza grafotécnica e documentoscópica, no âmbito de todo o Estado.

A Perícia Documentoscópica, assim como as demais perícias, é realizada sempre que houver a existência de vestígio(s) proveniente(s) de uma ação criminosa, independentemente da confissão do acusado, como preconiza o Código de Processo Penal no seu artigo 158 [2].

A análise pericial é realizada em documentos públicos e privados, a fim de investigar a existência ou não de falsidade, no que concerne à materialidade. No exame de

documentos também pode ser questionada a autenticidade ou falsidade de um escrito e, se for o caso, a determinação de sua autoria. Além destes, ainda são feitos ensaios para detecção e identificação de possíveis sinais ou vestígios de adulteração, estudo sobre tintas de impressão e suportes (papel, plástico), exames de registros oriundos de impressoras eletrônicas e máquinas datilográficas e elementos de segurança gráfica, entre outros.

Na Documentoscopia uma das questões de fraude documental mais complexa é a determinação da sequência de lançamento de um traço em relação a outro, representando o exame conhecido entre os Peritos Documentoscópicos como 'análise do cruzamento de traços'.

A alteração no documento a partir do aproveitamento de assinatura em uma folha em branco, cheque ou formulário sem preenchimento, no qual um texto de interesse do falsário será produzido, pode ser descoberta se for constatada a ordem de aposição dos traços produzidos pelos lançamentos envolvidos. Este tipo de fraude, na maior parte das vezes, está relacionado com a apropriação indevida de patrimônio e comumente acomete pessoas crédulas, de boa-fé, que se deixam enganar pela astúcia de estelionatários. Esse problema há muito é citado pela literatura, existindo relatos que datam de 1906, conforme artigo de Joseph G. Barabe [3]. O estudo realizado mostra que, para o observador inexperiente, a linha mais escura sempre aparenta estar sobreposta a mais clara, ainda que esta não seja a ordem correta.

A grande parte dos estudos encontrados em revistas e jornais de ciências forenses mostra que durante as décadas de setenta a noventa houve intensa investigação sobre o assunto, principalmente utilizando técnicas, como a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), que vem sendo incorporada à prática forense como alternativa à Microscopia Óptica (MO). Além da MEV, outras técnicas como a Microscopia de Força Atômica (MFA) e a Espectroscopia Raman estão sendo bastante exploradas neste ramo de pesquisa [6 - 8].

Os cruzamentos de traços podem ser de variadas origens e, na prática da documentoscopia, são encontrados exemplos de cruzamentos entre canetas esferográficas com tintas de mesma cor ou de cores diferentes, cruzamentos entre caneta esferográfica e caneta hidrográfica, caneta esferográfica e fita carbono de máquina datilográfica, caneta esferográfica e

tinta de carimbo, caneta esferográfica e toner, caneta esferográfica e impressora jato de tinta, entre tantos outros casos.

O perito documentoscópico que se depara com este tipo de fraude se preocupa em escolher um método não destrutivo para análise, a fim de preservar a prova material. A primeira dificuldade enfrentada é a disponibilidade de técnicas nos centros de criminalística. Muitos laboratórios de perícia no Brasil dispõem tão somente do microscópio óptico e/ou estereomicroscópio para procederem aos exames de constatação.

O uso de tecnologias avançadas abre uma perspectiva na documentoscopia forense, uma vez que sua aplicação pode fornecer evidências para esclarecer de forma conclusiva uma fraude documental.

Neste trabalho serão discutidas análises de ensaios de cruzamentos de traços com o uso de sofisticadas tecnologias tais como a MEV e a MFA acopladas à espectroscopia por energia dispersiva (EDS) e espectroscopia Raman, respectivamente. Os resultados serão comparados com os obtidos através da MO, técnica usada na rotina pericial.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é promover uma comparação entre as técnicas de microscopia evidenciando as vantagens e limitações de cada uma, quando aplicadas na análise de um documento questionado com suspeita de aproveitamento de assinatura, no qual se precisa constatar a ordem de lançamentos dos traços que se cruzam.

3. MATERIAIS

Os materiais utilizados para os ensaios apresentam as características discriminadas a seguir:

3.1 – Papel – comercial, branco, sulfite, de formato A4 (21,0 x 29,7 cm), próprio para escrever e utilizado para os mais diversos tipos de impressão, como laser, jato de tinta, fax, ofsete.

O papel é um produto composto de fibras de celulose entrelaçadas entre si associadas a outros agentes, chamados de aditivos. Estes são responsáveis por algumas das suas características como a brancura, a opacidade, a lisura para permitir a movimentação do instrumento escrevente, a melhor absorção para tintas de impressão [4]. Além destes aditivos, ainda são encontrados os produtos minerais, chamados de cargas minerais, como por exemplo carbonato de cálcio, que melhoram a resistência do papel.

3.2 - Caneta esferográfica – constituída por um cilindro contendo um reservatório de tinta e uma esfera giratória constantemente abastecida pela tinta, que desce por meio da ação da gravidade. A largura do traço desenhado está relacionada com o diâmetro da esfera.

A tinta é uma mistura composta de pigmentos dispersos ou dissolvidos em uma fase líquida, chamada de veículo. É de secagem rápida e possui viscosidade que a impede de escorrer do reservatório. Também deve ser fina o suficiente para reagir à gravidade [5].

Foram utilizadas para este estudo duas canetas com tintas de cor azul, fabricadas pelas empresas BIC (tonalidade mais clara) e COMPACTOR (tonalidade mais escura).

3.3 – Impressão a laser – o princípio da impressão a laser é a eletricidade estática. Um laser age recebendo os dados da página a ser copiada e emite pulsos de luz para cada ponto a ser impresso. O toner, componente principal, é constituído de partículas de plástico e pigmento carregadas eletricamente. Estas, submetidas à alta temperatura e pressão, se fundem firmemente nas fibras do papel, formando o texto e as imagens.

Para este trabalho foi utilizada a impressora a laser da marca Kyocera, modelo KM-1820LA.

4. MÉTODO

Para a produção de cruzamentos na ordem conhecida foram consideradas as possibilidades detalhadas na tabela 1:

Tabela 1. Produção dos traços.

Primeiro traço	Segundo traço
Caneta esferográfica azul claro	Caneta esferográfica azul escuro
Caneta esferográfica azul escuro	Caneta esferográfica azul claro
Caneta esferográfica azul claro	Impressão laser
Caneta esferográfica azul escuro	Impressão laser
Impressão laser	Caneta esferográfica azul claro
Impressão laser	Caneta esferográfica azul escuro

Cada amostra foi produzida de forma a simular a escrita natural, imprimindo-se pressão e velocidade uniformes. As amostras foram produzidas no formato de pequenas tiras de papel, contendo pelo menos nove cruzamentos, mantendo-se o mesmo padrão de traços, um horizontal e outro senoidal. Para a análise foi escolhido o ponto de interseção mais central, o de nº 6, como mostram as figuras 1 e 2 abaixo:

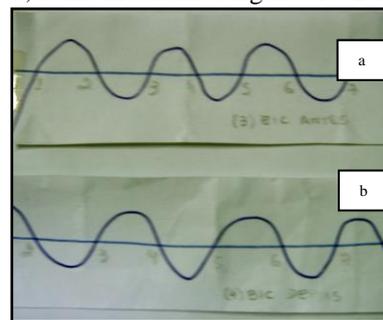


Fig. 1 – Amostras de traços de tinta azul: (a) BIC antes; (b) BIC depois

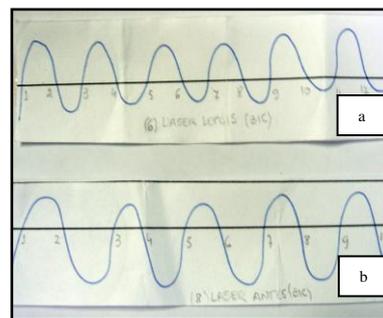


Fig. 2 – Amostras de traços de tinta BIC azul e toner: (a) laser depois; (b) laser antes

As amostras foram fixadas em porta-amostras utilizados em MEV (*stubs*), dobradas de modo a deixar aparente o ponto de cruzamento nº 6, e foram submetidas aos equipamentos de microscopia.

As técnicas utilizadas estão a seguir discriminadas:

4.1 – Microscopia Óptica – técnica mais utilizada nos laboratórios forenses, permitindo visualizar amostras maiores que um micrômetro em curto espaço de tempo, sem que haja distorção, em escala gradual de aumento, sendo de manuseio simples e de baixo valor de custo.

O microscópio óptico é composto de sistema de lentes convergentes: oculares e objetivas que permitem o aumento da imagem e tem como vantagem a possibilidade de permitir que vários acessórios sejam a ele acoplados.

Para este trabalho foi utilizado o microscópio óptico da marca Olympus, modelo BX51M nos modos de iluminação: campos claro e escuro e as ampliações de 50x, 100x e 200x.

4.2 – Microscopia Eletrônica de Varredura - técnica de caracterização microestrutural mais versátil e que permite alcançar, dependendo do material, aumentos de até 900.000 vezes. A sua alta resolução, de 1 a 5 nm, proporciona elevada profundidade de foco (imagem com aparência tridimensional). O acoplamento de detectores de raios X permite a microanálise química da superfície por espectroscopia por energia dispersiva (EDS) [6].

Para este trabalho foi utilizado o MEV da marca FEI, modelo Quanta 200, com detector de raios X (EDAX). Os ensaios foram realizados no modo baixo vácuo (0,45 Torr), a 15kV, sem e com inclinação de 60°, obtendo imagens com a ferramenta *Dynamic Focus*, com distâncias de trabalho variando de 15 mm a 25 mm e ampliações de 24x, 100x, 150x e 400x.

4.3 – Microscopia de Força Atômica – técnica cujo princípio é a medida da deflexão de um cantiléver proveniente da interação entre a sonda e a amostra, permitindo a avaliação da sua superfície, através do mapeamento e medida da topografia, que pode ser diferenciada pela composição química. A amostra não precisa ser condutora e pode ser avaliada diretamente no microscópio [7].

Foi utilizado o microscópio da marca Witec Alpha 300AR no modo de contato intermitente. Foram estudados os cruzamentos produzidos pela combinação caneta x caneta: primeiro traço da tinta da marca COMPACTOR e o segundo, da marca BIC. Foram selecionadas três regiões para varredura: sobre o traço da caneta COMPACTOR, sobre o traço da caneta BIC e na interseção.

4.4 – Espectroscopia Raman – técnica em que um feixe de luz monocromática após atingir a amostra sofre espalhamento, elástico e inelástico. O espalhamento inelástico, conhecido como espalhamento Raman, permite a obtenção de informação química e estrutural de materiais orgânicos e inorgânicos [8]. Não há preparo da amostra.

Foi utilizado o microscópio da marca Witec Alpha 300AR associado ao espectrômetro Raman com estágio x-y para varredura 90 x 90 mm²; Laser: 532 nm; aumento de 100x. A análise foi realizada nas mesmas regiões descritas no ensaio por MFA.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada técnica de microscopia utiliza um tipo de interação com a amostra para gerar uma imagem: na microscopia óptica a interação se dá com os fótons, na microscopia eletrônica de varredura a interação é com os elétrons e, na microscopia de força atômica, com a sonda. Como resultado, as imagens obtidas são diferentes para cada técnica e podem fornecer informações complementares.

As técnicas de microscopia apresentam como principal vantagem o fato de não serem destrutivas, preservando a integridade da amostra, que é de fundamental importância na prática forense. No entanto, também têm suas limitações.

A microscopia óptica, por exemplo, utilizada na rotina da perícia, apresenta como desvantagem a pouca profundidade de foco e a baixa resolução [7]. O fenômeno da ilusão de ótica também prejudica a correta interpretação dos eventos, uma vez que o traço mais escuro, mais brilhoso ou mais pressionado causa a impressão de que foi apostado depois, mesmo que esta não seja a verdadeira sequência. É muito difícil determinar a ordem dos lançamentos dos traços, como foi verificado nos ensaios, sejam cruzamentos produzidos entre canetas ou entre caneta e toner, conforme apresentados nas figuras 3 a 6, adquiridas no modo de iluminação campo claro e aumento de 50x.



Fig. 3 – Cruzamento de traços: tinta azul escura antes da mais clara

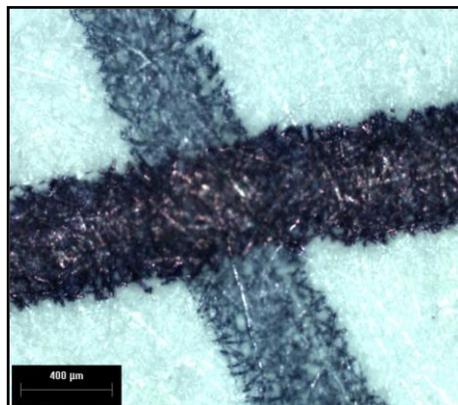


Fig. 4 – Cruzamento de traços: tinta azul escura depois da mais clara

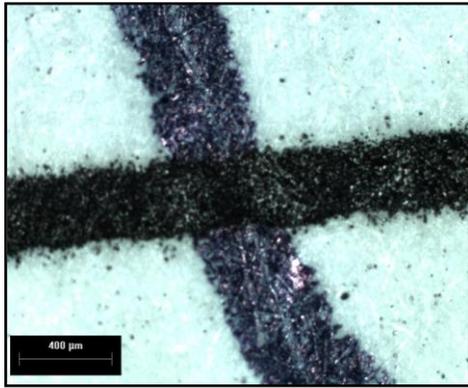


Fig. 5 – Cruzamento de traços: toner depois da tinta azul



Fig. 6 – Cruzamento de traços: toner antes da tinta azul

A ampliação de 200x não se mostrou adequada, pois dificulta a visualização dos traços.

A microscopia eletrônica de varredura é uma poderosa ferramenta utilizada para análise de superfícies. No entanto, uma das limitações é a dificuldade em se analisar instrumentos escreventes de mesma natureza, além do elevado custo de aquisição e manutenção.

No passado, o uso do MEV para exame envolvendo o material descrito estava associado à possibilidade de destruição da amostra [9], bem como a necessidade de preparo por meio de recobrimento. Atualmente, com os novos modelos de MEV, como o utilizado nesta pesquisa, pode-se trabalhar em modo ambiental ou em baixo vácuo para que a amostra não seja afetada e não é necessário preparo especial do material investigado, o qual é colocado diretamente dentro da câmara do microscópio.

Com o EDS foi possível constatar nas análises a presença significativa de carbono e oxigênio tanto no toner como nas tintas esferográficas, as quais ainda apresentam sódio e cálcio, além de outros elementos em menor quantidade.

Os ensaios realizados no MEV para a determinação da sequência dos traços produzidos com canetas esferográficas se mostraram altamente complexos, ratificando o que já foi mencionado em artigos e livros publicados [3 - 4]. A análise de substâncias de mesma natureza como as tintas esferográficas, fica dependente da deformação que o papel adquire após a ação da caneta, com formação de sulcos pela ação giratória da esfera. A profundidade deste sulco está

relacionada ao pressionamento do punho escritor, uma vez que traços fracamente grafados não causam grandes deformações no papel e quase não são revelados pelo MEV. Desta forma, é importante observar se há a interrupção do sulco para poder definir qual o traço foi lançado antes ou depois. No caso apresentado na figura 7 o traço horizontal foi lançado antes e na figura 8 o traço horizontal foi lançado depois. Ainda que de forma tênue, em decorrência da fraca pressão do punho escritor, pode ser vista uma interrupção dos sulcos do segundo lançamento em ambos os casos.

É possível que papéis de alta gramatura não sofram deformação com a mesma intensidade que o papel utilizado nesta pesquisa e, conseqüentemente, seja maior a dificuldade na determinação da ordem dos lançamentos. Porém esta vai depender diretamente do pressionamento implementado na escrita.

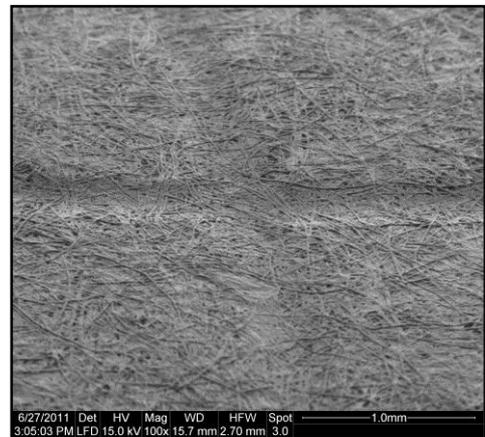


Fig. 7 – Cruzamento de traços de esferográficas: traço horizontal antes

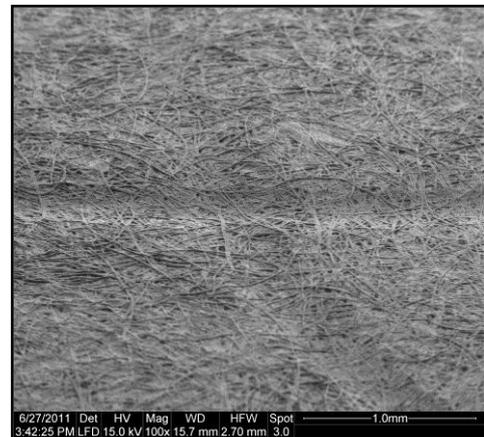


Fig. 8 – Cruzamento de traços de esferográficas: traço horizontal depois

A avaliação da ordem de aposição dos traços produzidos com tinta esferográfica e toner com o auxílio do MEV se mostrou mais satisfatória, pois se tratando de instrumentos de naturezas diversas, produzem interações típicas com o substrato (papel), sendo possível observar, mesmo com ampliação de 150x, que as imagens resultantes apresentam características distintas. As imagens resultantes estão demonstradas nas figuras 9 e 10.

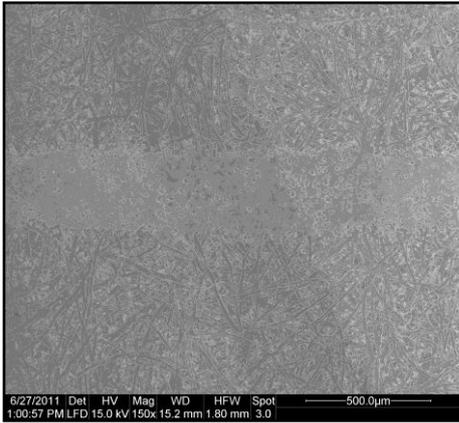


Fig. 9 – Imagem por MEV na região do cruzamento entre o toner e a tinta esferográfica

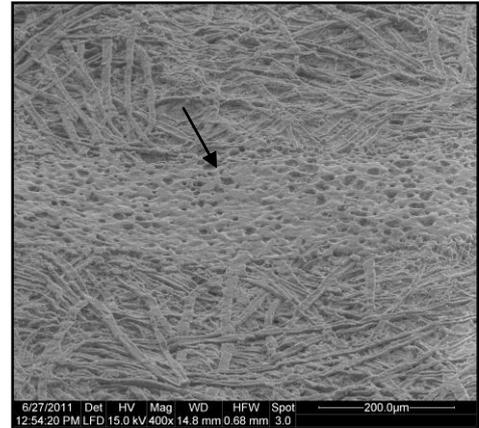


Fig. 12 – Estrutura morfológica homogênea no cruzamento (seta) quando o toner está sob a tinta esferográfica

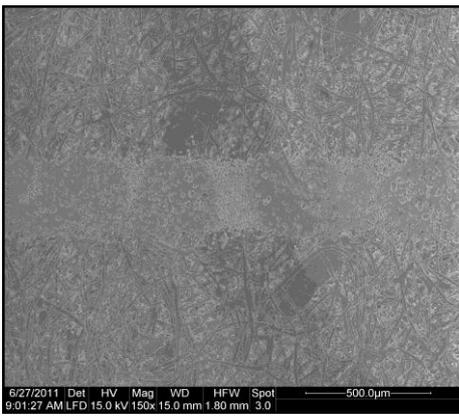


Fig. 10 – Imagem por MEV entre a tinta esferográfica e o toner

Nas imagens adquiridas com o aumento de 400x (figuras 11 e 12), as diferenças morfológicas podem ser melhor visualizadas. É possível verificar que o toner quando traçado sobre a tinta azul mostra uma alteração de textura significativa. A existência prévia da tinta esferográfica sobre o substrato comprometeu o recobrimento da fibra e dificultou a total fusão das partículas do toner. Este comportamento é diverso quando o laser é traçado sob a tinta esferográfica, pois ocorre sua fusão direta no papel e o resultado é uma estrutura morfológica sem alteração, homogênea.

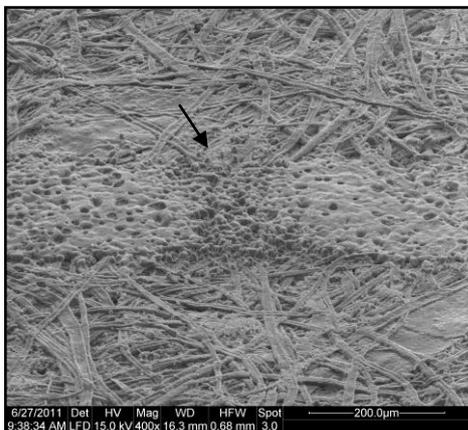


Fig. 11 – Alteração da estrutura morfológica do toner sobre a tinta esferográfica no cruzamento (seta)

A MFA é uma técnica atrativa para investigação forense, pois é não destrutiva, realizada em ambiente atmosférico e de grande aumento, promovendo alta resolução. Entretanto, limitações como o tamanho do porta-amostra e a reduzida área de varredura, de até $120 \mu\text{m}^2$, podem restringir seu uso [7].

Neste trabalho a grande heterogeneidade e rugosidade do papel dificultaram a execução do ensaio. As imagens obtidas no modo intermitente, conforme apresentado nas figuras 13 a 15, indicam diferenças morfológicas entre as tintas esferográficas utilizadas, que podem estar associadas às diferentes composições químicas. Para confirmar esta possibilidade torna necessário estudo detalhado.

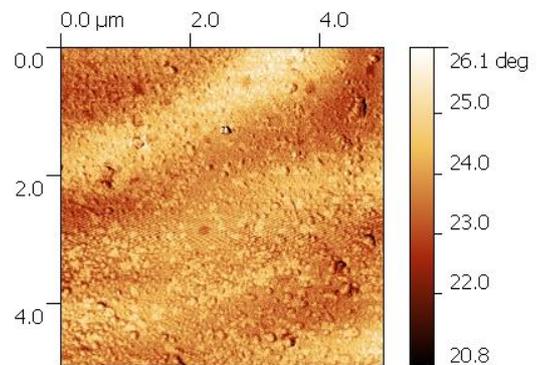


Fig. 13 – Imagem obtida por MFA do traço produzido com tinta esferográfica COMPACTOR (primeiro traço)

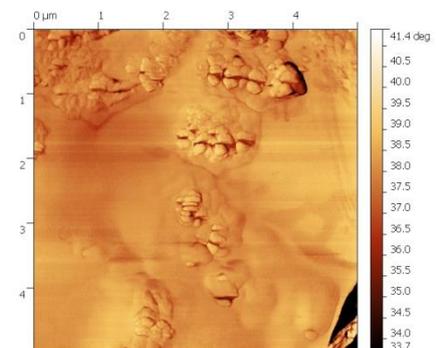


Fig. 14 – Imagem obtida por MFA do traço produzido com tinta esferográfica BIC (segundo traço)

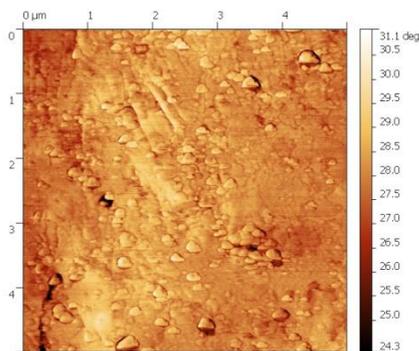


Fig. 15 – Imagem obtida por MFA no cruzamento (BIC sobre COMPACTOR)

Na figura 13 uma distribuição de grânulos finos sobre a superfície foi verificada. Na figura 14 observa-se a presença de grânulos maiores distribuídos de forma heterogênea sobre as fibras de papel. A imagem do cruzamento (figura 15) revelou uma morfologia mais próxima da obtida com a marca BIC. Esta característica sugere uma ordem de aposição dos traços, porém a possibilidade de haver uma mistura das tintas faz com seja necessário realizar estudos sistematizados.

A análise por MFA do cruzamento envolvendo o toner não apresentou resultados satisfatórios, provavelmente pela natureza do toner associada à característica rugosa do papel que dificultou o ensaio.

A Espectroscopia Raman foi utilizada neste trabalho para verificar a possibilidade de identificação de substâncias que diferenciem as canetas empregadas em função de suas diferentes composições químicas [8].

Houve uma grande dificuldade na interpretação dos espectros obtidos. A possibilidade da mistura das tintas faz com que mais ensaios sejam necessários. Da mesma forma, há necessidade de novos exames no caso dos cruzamentos entre tinta esferográfica e toner.

6. CONCLUSÃO

A determinação da prevalência de um traço sobre outro é crucial em casos de delito no qual há aproveitamento de uma assinatura em papel em branco, cheque ou formulário. Este crime geralmente não deixa elementos evidentes e a pessoa lesada tem dificuldades para provar que foi vítima de estelionatários. A prova material através da análise da ordem dos traços pode resolver a questão. No entanto, como mostrado neste trabalho, este tipo de exame é bastante complexo e, na maioria das situações, está relacionado com as limitações dos equipamentos utilizados. Foi verificado que o MO não é capaz de revelar a sequência dos cruzamentos. O MEV mostrou ser uma técnica promissora para identificação da sequência de cruzamentos para a combinação caneta x toner. Maior dificuldade foi encontrada na determinação de cruzamentos caneta x caneta. A possibilidade de mistura dos componentes das tintas e heterogeneidade na cobertura das fibras de papel podem estar relacionadas. Resultados preliminares mostraram que nenhuma das técnicas empregadas individualmente foi eficiente na determinação precisa da anterioridade neste tipo de cruzamento.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Instituto de Criminalística Carlos Éboli e ao Inmetro pela oportunidade de realizar este trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] Decreto No. 42.053 de 28 de Setembro 2009 – Altera a estrutura básica da Polícia Civil do Rio de Janeiro – PCERJ, e mais.
- [2] Código de Processo Penal - Decreto-Lei No. 3.689 de 3 de Outubro de 1941 – Livro I – Do Processo em Geral – Título VII – Da Prova – Capítulo II - Do Exame do Corpo de Delito e das Perícias em Geral (artigos 158 – 184).
- [3] J. G. Barabe, W. D. Niemeyer, V. Williard: “Light and Electron Microscopy Approaches to Sequence of Writing Problems”, *Journal of Forensic Document Examination*, Vol. 54 (2006) 57-101.
- [4] Mendes, Lamartine Bizarro. *Documentoscopia*. Ed. Millenium. Campinas/SP: 2010.
- [5] Russell-Ausley, M. “HowStuffWorks” - Como funcionam as canetas esferográficas, Abril 2000. Disponível em: <<http://www.casa.hsm.uol.com.br/canetas-esferograficas.htm>>. Acesso em: 22 jan. 2011, 17:49:26.
- [6] Maliska, A. M. - *Microscopia Eletrônica de Varredura e Microanálise – Universidade Federal de Santa Catarina – Laboratório de Materiais* (2009).
- [7] S. Kasas, A. Khanmy-Vital, G. Dietler “Examination of line crossings by atomic force microscopy”, *Forensic Science International*, 119 (2001) 290-298.
- [8] I2 – Uma Molécula Didática – Universidade de São Paulo – Departamento de Química – Química Nova, 31 (2008) N. 4, 914-920.
- [9] Waeschle, P. A. Examination of Line Crossings by Scanning Electron Microscopy. *Journal of Forensic Science*, Vol. 24, 1979, pp 569-578.