

## Aplicação da radiação infravermelha na identificação de adulterações em documentos: estudos de casos

L.A.B.C. Carneiro<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Núcleo de Perícias Criminalísticas de Ribeirão Preto - Instituto de Criminalística, Superintendência de Polícia Técnico-Científica do Estado de São Paulo, Ribeirão Preto (SP), Brasil

\*Endereço de e-mail para correspondência: [larabuffoni@gmail.com](mailto:larabuffoni@gmail.com). Telefone: +55 16 99407-6616.

Recebido em 04/04/2023; Revisado em 27/10/2023; Aceito em 03/11/2023

### Resumo

Este artigo reúne estudos de casos acerca da aplicação da radiação infravermelha como ferramenta assertiva na identificação de sinais de adulteração em documentos. Utilizou-se nas análises aparelhamento óptico disponível no Núcleo de Perícias Criminalísticas de Ribeirão Preto, permitindo a observação dos materiais periciados tanto sob a luz visível, como sob a radiação eletromagnética na região do infravermelho (radiação infravermelha). O conjunto procedimental aplicado permitiu, em alguns casos, diferenciar tintas de canetas esferográficas que se mostravam idênticas sob luz visível. Suas propriedades físico-químicas produziram, sob análise não destrutiva, distintos perfis ante a luminescência do infravermelho. Outros materiais, porém, demonstraram perfis de luminescência indistinguíveis. Nesses casos, o potencial da propriedade da absorção da radiação infravermelha na busca por características indicativas de adulteração de documentos foi demonstrado por meio da sua capacidade em revelar elementos grafoscópicos, tais como a pressão do traçado sobre o suporte.

*Palavras-Chave:* Radiação Infravermelha; Documentoscopia; Diferenciação; Tinta de Caneta Esferográfica; Adulteração.

### Abstract

This paper brings together a set of case studies about the application of infrared radiation as an assertive tool in identifying signs of adulteration in documents. The analyzes were carried out using optical equipment available at the Center for Forensic Expertise in Ribeirão Preto, allowing the observation of the examined materials both under visible light and under infrared radiation. The procedures applied were non-destructive and the analysis of the various materials showed that the application of infrared luminescence allowed, in some cases, to differentiate visually identical ballpoint pen ink, based on their physicochemical properties in the emission of light energy. Other materials, however, demonstrated indistinguishable optical luminescence profiles. In these cases, the potential of the infrared radiation absorption property in revealing characteristics of document adulteration was demonstrated highlighting graphoscopic elements, such as the pressure of the tracing on the paper.

*Keywords:* Infrared Radiation; Documentoscopy; Differentiation; Ballpoint Pen Ink; Adulteration.

## 1. INTRODUÇÃO

Na seara da documentoscopia forense, são frequentes os questionamentos a respeito da presença de sinais de adulteração em documentos. O termo adulteração é definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como uma “modificação parcial e/ou total de um documento, por meio de rasura, lavagem química, acréscimo, obliteração, montagem e/ou quaisquer outros meios” [1].

Diferentes métodos podem ser empregados na identificação de lançamentos adulterados. Dentre os

métodos não destrutivos, os mais utilizados são a observação direta, com ou sem uso de ampliação, o uso de iluminação rasante e a radiação eletromagnética, seja na faixa de comprimentos de onda correspondentes à luz ultravioleta, seja sob a luz visível ou sob a radiação infravermelha [2]. Outros métodos, porém, são destrutivos, requerendo a extração da tinta do documento, como ocorre na Cromatografia em Camada Delgada [3,4].

As análises envolvidas na busca por sinais de adulterações muitas vezes remetem ao questionamento acerca do uso de uma ou mais canetas na composição do documento.

A simples observação visual de escritos adulterados muitas vezes não possibilita identificar os traçados individualizados, constituindo obstáculo em direção ao resultado conclusivo, especialmente nas regiões de intersecção entre tintas visualmente idênticas. Diante disso, faz-se necessária a utilização de determinados recursos analíticos que permitam a diferenciação dessas tintas com base nas suas características físico-químicas. Nesse sentido, a radiação infravermelha mostra-se essencial em análises documentoscópicas.

Quase todos os compostos que tenham ligações covalentes, sejam orgânicos ou inorgânicos, absorvem várias frequências de radiação eletromagnética na região do infravermelho do espectro eletromagnético. Essa região envolve comprimentos de onda maiores do que aqueles associados à luz visível (400 a 800 nm), mas menores do que aqueles associados a micro-ondas, que vão além de 1 mm [5]. Diante dessa ampla faixa de comprimentos de onda, o espectro infravermelho é dividido em várias regiões, mas seus exatos limites de divisão diferem entre publicações [6]. O padrão ISO 20473: 2007 distribui as bandas espectrais da seguinte forma: infravermelho próximo (NIR) de 0,78-3,0  $\mu\text{m}$ , infravermelho médio (MIR) de 3,0-50  $\mu\text{m}$  e infravermelho distante (FIR) de 50-1000  $\mu\text{m}$  [7]. Geralmente, os equipamentos forenses adquirem imagens na região do espectro cobertas pela radiação infravermelha entre os comprimentos de onda de 700 a 900 nm [8].

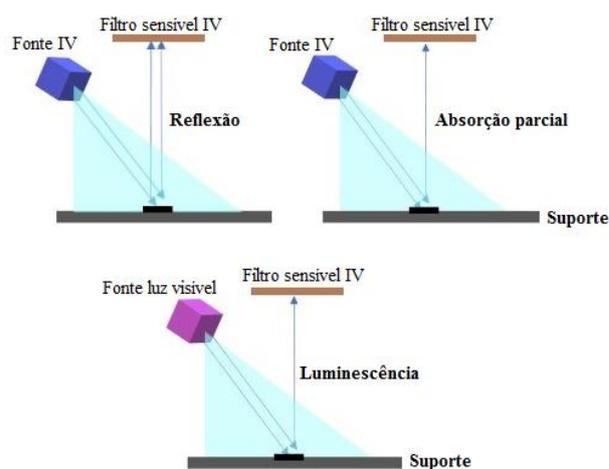
Quando se faz incidir uma radiação infravermelha diretamente sobre tintas, a energia pode ser absorvida ou refletida, no todo ou em parte. Essa qualidade de absorção/reflexão da radiação é a que se aproveita para diferenciar as tintas que compõem os traçados, utilizando-se de filtros infravermelhos [9], como é possível observar na Fig. 1. As tintas contêm pigmentos sensíveis que se revelam ou desaparecem quando expostos a determinada faixa de comprimento de onda do infravermelho [11]. Assim, se a tinta examinada chega a absorver a totalidade da energia infravermelha, seu aspecto se mostra escuro. Porém, se a reflete, pode inclusive desaparecer à vista desarmada [9].

Nesse contexto, alguns instrumentos escreventes possuem tintas que refletem a totalidade da radiação infravermelha, sendo chamadas de transparentes a radiações infravermelhas. Outras tintas, inversamente, absorvem essas radiações e as refletem em diferentes intensidades. Assim, quando uma imagem é capturada, o que se observa são traçados de intensidade proporcional à extensão da absorção das radiações infravermelhas pela tinta em análise [10]. Ou seja, a imagem obtida retratará diferenças na radiação infravermelha refletida ou absorvida pelas tintas periciadas [8].

Além das propriedades de absorção e reflexão da radiação infravermelha, a chamada “luminescência

infravermelha” tem ampla aplicabilidade nas análises periciais documentoscópicas. No contexto da diferenciação entre tintas, a luminescência na região do infravermelho tem sido aceita como um método válido desde meados dos anos 1960 [11,12]. Hodiernamente, a sua aplicação se estende por variados campos do conhecimento, desde a obtenção de imagens de tecidos in vivo [13] até a detecção de oxigênio molecular por fotosensores [14].

A luminescência é a emissão de luz (liberação de energia na forma de luz) decorrente da saída do elétron de uma camada de maior energia para uma camada de menor energia. Assim, no contexto aqui estudado, a luz da região visível do espectro é usada para a excitação de moléculas componentes das tintas e a emissão da luminescência é observada na região do infravermelho [15]. Por exemplo, quando o documento é exposto a radiações na região azul-verde do espectro (400 – 625 nm), a radiação infravermelha é emitida a partir da tinta através de comprimentos de onda maiores (como 725 nm) [16], conforme a Figura 1.



**Figura 1.** Esquema simplificado dos fenômenos de reflexão, absorção parcial e luminescência. Na reflexão, a totalidade dos raios incidentes são refletidos. Na absorção parcial, é refletida só uma parcela dos raios incidentes. Na luminescência, os raios incidentes na região visível do espectro são refletidos na faixa da radiação infravermelha.

Nessa situação, a diferenciação entre tintas e pigmentos visivelmente idênticos é realizada através da observação de diferenças no modo como transmitem ou absorvem a radiação infravermelha ou ainda com base na sua capacidade de emitir luminescência [8].

Portanto, tintas visualmente idênticas – mas que apresentam distinto perfil de luminescência, reflexão ou absorção da radiação infravermelha – podem ser consideradas distintas no que se refere à sua composição química [10]. Em decorrência disso, é possível que adições e sobreposições, feitas em um documento com tinta de aparência nominal similar, sejam detectadas por meio de diferenças na luminescência, reflexão ou absorção do infravermelho [17].

Porém, a utilização da radiação infravermelha nem sempre proporciona perfis distinguíveis para diferentes tintas. É possível que traçados realizados mediante diferentes instrumentos escreventes (tintas diferentes) não demonstrem diferenças perceptíveis em seus perfis de luminescência, reflexão ou absorção da radiação infravermelha. Assim, embora a obtenção de distintos perfis de luminescência ou absorção da radiação infravermelha remeta a tintas com composições químicas distintas, a observação de perfis indistinguíveis não remete inequivocamente à unicidade das tintas.

O presente trabalho traz um compilado de estudos de casos realizados junto ao Núcleo de Perícias Criminalísticas de Ribeirão Preto. Trata-se da aplicação da radiação infravermelha na identificação de sinais de adulterações em documentos, baseada nas peculiaridades físico-químicas das tintas que compõem canetas esferográficas, com utilização de métodos não destrutivos.

## 2. METODOLOGIA

Inicialmente, os materiais questionados foram visualizados com auxílio de uma lupa da marca *Regula*<sup>®</sup>, modelo *Professional Magnifier 10<sup>x</sup>*, para identificar o posicionamento das regiões de sobreposição do traçado.

Na sequência, os documentos foram dispostos sobre uma superfície lisa e plana e submetidos à análise com o equipamento mouse espectral da marca *Regula*<sup>®</sup>, modelo 4177, conforme recomendações do fabricante, a fim de se avaliar o aspecto de absorção ou luminescência da radiação infravermelha pelas tintas componentes dos escritos.

Os ensaios foram realizados a partir de adaptações na metodologia de Sauzier e colaboradores [18]. As análises de luminescência infravermelha foram realizadas com a fonte luminosa no comprimento de onda de 530 nm e na intensidade de 15 cd. As análises da absorção/reflexão da radiação infravermelha foram realizadas por meio do feixe de comprimento de onda de 870 nm de intensidade 5 mV. Em ambas as análises (luminescência e absorção/reflexão da radiação infravermelha), o filtro da câmera foi configurado para a região do espectro entre 700 a 110 nm. Nas análises realizadas sob incidência oblíqua dos raios, a angulação utilizada foi de 5°. O grau de aumento utilizado no equipamento foi de 1 a 3 vezes.

Os grafismos analisados foram também capturados no modo de emissão de luz branca pelo equipamento, a fim de obter imagens utilizadas como controle. Assim, o filtro da câmera foi configurado para a faixa de 380 a 750 nm e a fonte luminosa da luz visível teve a intensidade de 1 cd.

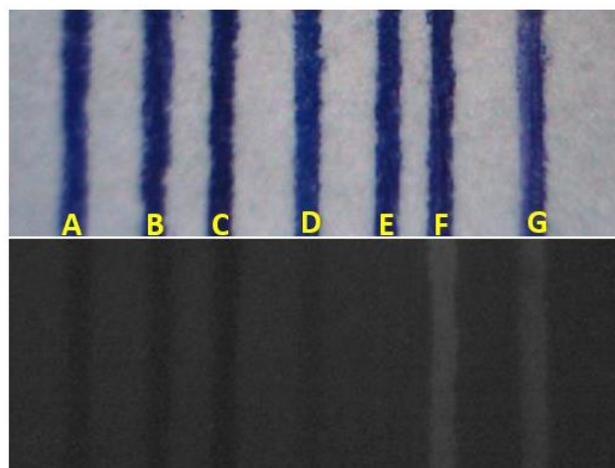
O mouse espectral encontrava-se acoplado a um computador provido do software *Forensic Studio*<sup>®</sup>, para a leitura e captação das imagens.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados expressam uma seleção de análises periciais em que os diferentes perfis de apresentação da radiação infravermelha permitiram a identificação de sinais indicativos de adulteração em documentos. Assim, ora mostrou-se eficaz a propriedade da luminescência, ora mostraram-se mais adequadas a reflexão e a absorção da radiação infravermelha, conforme é exposto a seguir.

### 3.1. Análise da luminescência emitida por tintas de diferentes instrumentos escreventes

Salienta-se que o equipamento óptico *Regula*<sup>®</sup> foi utilizado para a verificação de padrões de traçados realizados com canetas distintas, conforme a **Figura 2**: (A) Bic Cristal azul ponta 1 mm; (B) Bic Retrátil azul ponta 1 mm; (C) Bic Cristal azul ponta 0,7 mm; (D) Pilot Super Grip azul ponta 0,7 mm; (E) Super Pentel BK 977 azul ponta 0,7 mm; (F) Paper Mate Ink Joy azul ponta 1,0 mm; (G) Compactor Top 2000 azul 1,0 mm.



**Figura 2.** Estruturação de traçados retilíneos analisados sob a incidência de luz branca (imagem superior) e sob a captação da luminescência emitida (imagem inferior).

Constatou-se a capacidade do equipamento em distinguir tintas visualmente idênticas com base em suas propriedades físico-químicas sob a captação da luminescência infravermelha emitida. É o que ocorreu com as tintas das canetas azuis das marcas Pentel (Super Pentel BK 977 azul ponta 0,7 mm) e Paper Mate (Paper Mate Ink Joy azul ponta 1,0 mm), conforme se verifica nos traçados E e F da Fig. 2, respectivamente. As tintas das canetas Bic Cristal azul e Compactor Top 2000 azul também se mostraram distintas entre si (**Figura 2**, traçados C e E).

Por outro lado, demonstrou-se que a verificação do mesmo perfil de luminescência em diferentes traçados não remete à unicidade de instrumentos escreventes. Evidenciou-se isso pela observação de que canetas das marcas Paper Mate (F) e Compactor (G), além de produzirem padrão visualmente semelhante sob luz visível, também possuem perfis indistinguíveis sob a

captação da luminescência infravermelha (Figura 2, traçados F e G). Resultado análogo foi observado para diferentes canetas das marcas Bic e Pilot (Figura 2, traçados A e D). Nesses traçados, embora com uso de diferentes tintas, obtiveram-se perfis de luminescência indistinguíveis.

Os resultados expostos fundamentam a afirmação de que a obtenção de distintos perfis de luminescência remete à presença de tintas com composições químicas distintas no documento periciado. Em contrapartida, a observação de perfis de luminescência indistinguíveis não remete inequivocamente à unicidade das tintas.

### 3.2. Identificação de tintas com distinguíveis padrões de luminescência em traçados sobrepostos

#### 3.2.1. Identificação de sinais de adulteração em atestado médico

Apresentou-se à análise um documento referido como atestado médico, datado de 26 de janeiro de 2021, em que se determinava o afastamento do paciente de suas funções por 08 (oito) dias. A análise do documento seguiu a descrição feita em Métodos. Constatou-se que os grafismos formadores do numeral “08” compunham-se de sobreposição de traçados, quando analisados sob a lupa. A observação dos escritos sob a radiação infravermelha revelou haver dois perfis distintos de luminescência.

Como se verifica na Figura 3, o perfil de aparência clara (setas amarelas) tem a forma do numeral “03” e se distribui por todos os demais campos preenchedores lançados à caneta no documento. Já o perfil de aparência escura (setas vermelhas), tem a forma do numeral “08” e restringe-se à região do numeral “08”. A verificação global do perfil de luminescência dos escritos no documento periciado tem por fim delimitar a região (ou regiões) do documento em que são identificados os grafismos com sinais de adulteração.

Esse perfil distinto de luminescência da radiação infravermelha remete à composição química distinta dentre as tintas que perfizeram os escritos “08” e “03” sobrepostos, o que permite inferir o uso de duas tintas distintas (duas canetas) na elaboração dos grafemas [10].

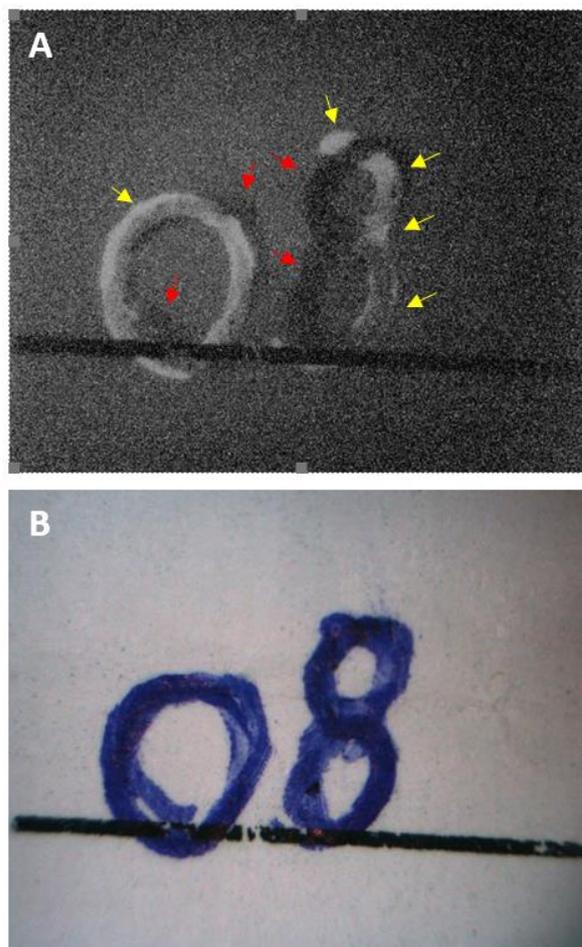
Assim, as análises sustentaram a conclusão de que uma tinta foi utilizada para grafar todos os escritos componentes dos campos variáveis do documento e a outra foi utilizada somente para a grafia do numeral “08”, em sobreposição ao numeral “03”.

#### 3.2.2. Identificação de sinais de adulteração em assinatura sobre etiqueta e selo notariais

Analisaram-se uma etiqueta e um selo notariais, sobre os quais havia lançamentos à caneta. A análise com o uso da lupa mostrou haver sinais de emenda de traçados.

Um dos perfis de luminescência é de aparência escura (setas verdes) e distribui-se pela superfície do selo e da

etiqueta. O outro é de aparência clara (setas amarelas) e restringe-se aos traçados sobre a área do selo. Ademais, o último perfil foi evidenciado na região do selo que se encontrava sob a etiqueta, o que constitui mais um elemento indicativo de adulteração do documento e de reaproveitamento do selo periciado, conforme destacado na Figura 4.

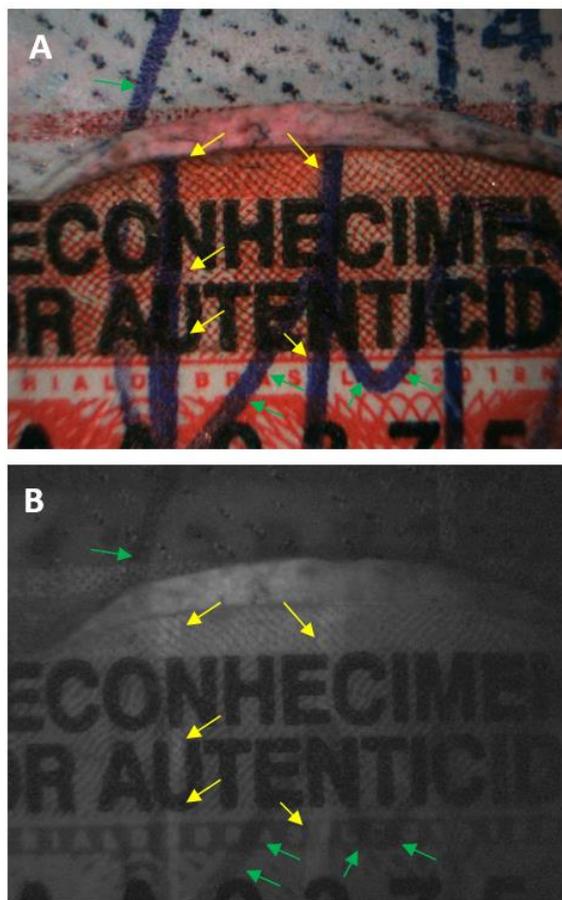


**Figura 3.** Vista do numeral “08” com sinais de adulteração em atestado médico: (A) visto sob luz branca (região visível do espectro); (B) sob a luminescência infravermelha emitida.

#### 3.2.3. Identificação de sinais de adulteração em bilhete de loteria

Constituiu objeto de exame um comprovante emitido em um terminal de apostas. A análise do documento sob a lupa revelou haver sobreposição de traçados sobre os numerais formadores da data do documento e do número do concurso.

Analogamente aos itens 3.2.1 e 3.2.2, constatou-se que os numerais “13” e “19” eram compostos por dois perfis de luminescência: um claro e outro escuro (Figura 5). No presente caso, um deles é impresso e distribui-se por todo o documento. O outro tem características de lançamento à caneta e foi usado para formar os numerais “13” e “19”, compostos de tinta distinta daquela utilizada para elaborar os caracteres formadores do restante do documento.



**Figura 4.** Sinais indicativos de adulteração em etiqueta e selo notariais: (A) visto sob luz branca; (B) sob capturação da luminescência da radiação infravermelha. As setas denotam os diferentes perfis observados.

Denota-se, ainda, o levantamento de fibras do papel na região dos numerais “13” e “19”, o que indica o uso de atrito mecânico para a supressão de caracteres (Figura 5). O perfil de luminescência do infravermelho não apenas propiciou a distinção de tintas na composição do documento, como também permitiu melhor visualização do levantamento das fibras do papel, por meio de um contraste de cores mais adequado.

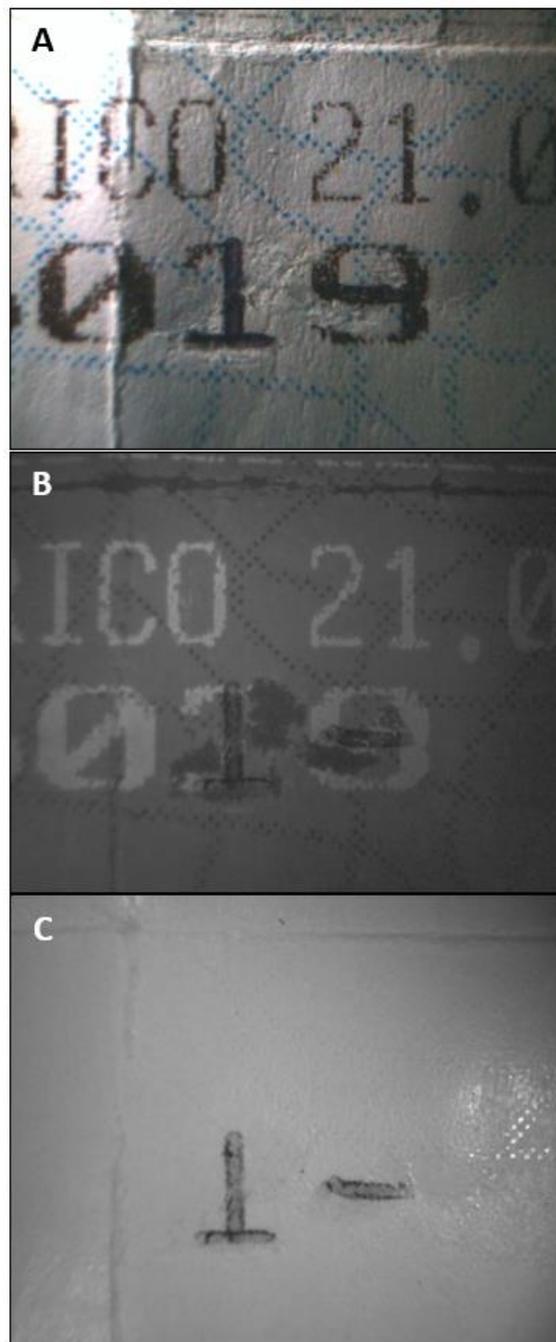
Contudo, nem sempre as adulterações com sobreposição de traçado são realizadas com canetas constituídas de tintas que produzem padrões distintos de luminescência sob a radiação do infravermelho. São frequentes os casos em que ambas as tintas revelam perfis indistinguíveis de luminescência (Figura 6B).

Mesmo em situações como essa, a radiação infravermelha pode igualmente revelar elementos aptos a atestarem a sobreposição de traçados, porém, com a utilização dos atributos da reflexão e da absorção, conforme passa-se a expor.

### 3.3. Identificação de traçados com indistinguíveis padrões de luminescência em sobreposições de escritos

#### 3.3.1. Identificação de sinais de adulteração em atestado médico

Trata-se aqui de um atestado médico, datado de 25 de novembro de 2019, em que se determina o afastamento do paciente de suas funções entre os dias 25 a 28 daquele mesmo mês.



**Figura 5.** Sinais de adulteração em bilhete de loteria: (A) visto sob luz branca; (B) sob a luminescência da radiação infravermelha; (C) sob absorção da radiação infravermelha.

A análise do documento sob a lupa revelou que os grafismos formadores do numeral “8” são compostos de sobreposição de traçado. No entanto, a observação dos escritos sob a radiação infravermelha não permitiu distinguir os traçados sob a capturação da luminescência emitida (Figura 6B). O mesmo ocorreu para o comprimento de onda referente à absorção da radiação infravermelha (Figura 6C).

Assim sendo, não foi possível realizar inferências a respeito da composição de tintas de caneta utilizadas no preenchimento do atestado periciado. Isso porque, conforme demonstrado no item 3.1, a observação de perfis indistinguíveis de radiação infravermelha não remete inequivocamente à unicidade das tintas, uma vez que tintas de composições químicas distintas podem também produzir perfis idênticos de luminescência ou absorção da radiação infravermelha (Figura 2).

Considerando o exposto, no caso em estudo, a grafia no numeral “8” pode tanto ter sido realizada pela mesma caneta, como por canetas distintas.

Na captação da radiação infravermelha refletida – com comprimento de onda 870 nm sob angulação de incidência oblíqua (5°) – os traçados ficaram invisíveis na imagem capturada (Figura 6C). A angulação rasante ressaltou os sinais da pressão do instrumento escrevente sobre o papel, o que revelou o perfil heterogêneo de pressão do traçado: o numeral “2” (adjacente ao numeral “8”) e a porção esquerda do numeral “8” apresentam leve pressão sobre o suporte. Já a porção direita do numeral “8” é formada de um traçado de forte pressão.

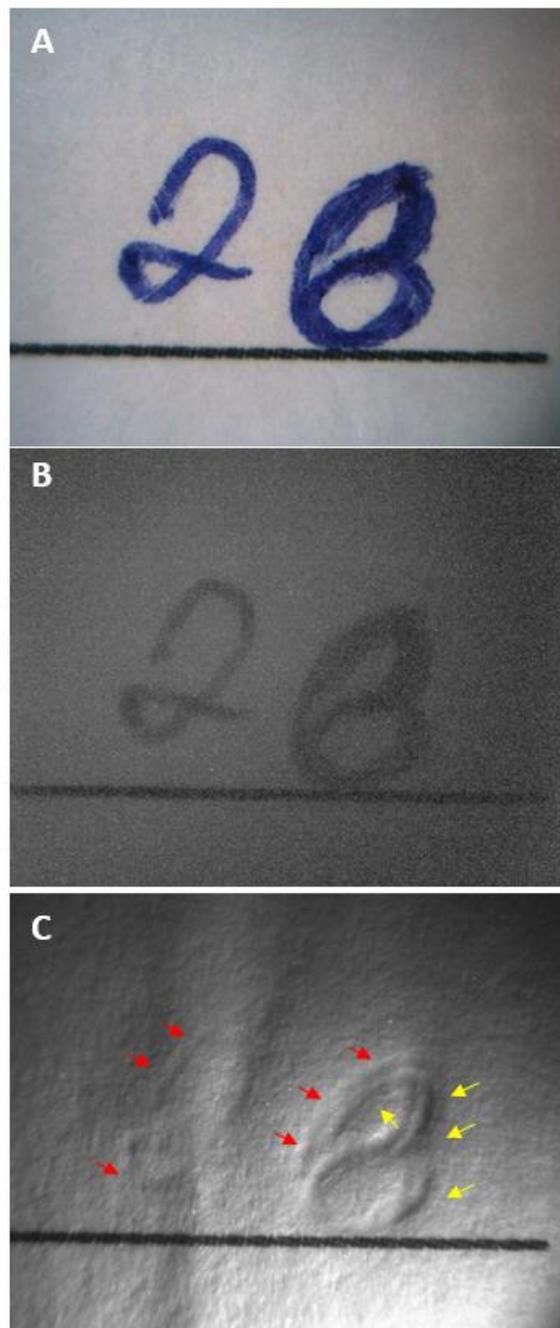
Acrescenta-se que a porção esquerda do numeral “8”, dotada de leve pressão do traçado, preserva características morfológicas compatíveis com a grafia de um numeral “6”, conforme ilustra a Figura 6C.

Diante do exposto, observa-se que, mesmo diante da impossibilidade em se obter perfis distinguíveis de luminescência, a radiação infravermelha constitui ferramenta valiosa na identificação de elementos gráficos, nesse caso, representados pela pressão do traçado sobre o suporte.

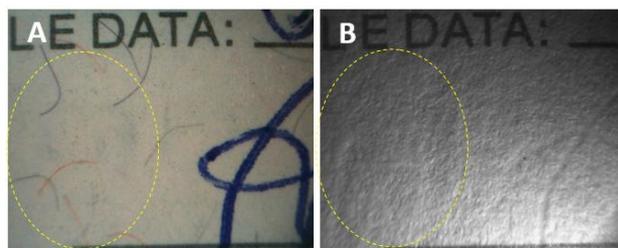
### 3.3.2. Identificação de sinais de adulteração em documento veicular

Analisou-se um Certificado de Registro de Veículo (CRV) em que havia lançamentos à caneta no preenchimento da “autorização para transferência de propriedade do veículo”. A análise com o uso da lupa mostrou sinais de remoção de traçados nos campos destinados à assinatura do vendedor e do comprador.

Assim como ocorreu no caso descrito no item 3.3.1, a observação dos escritos sob a radiação infravermelha não permitiu distinguir os traçados sob a captação da luminescência emitida, inviabilizando inferências a respeito da composição de tintas nos lançamentos periciados. Porém, a utilização da propriedade de absorção da radiação infravermelha revelou elementos indicativos de remoção de lançamentos junto ao CRV. Nesse caso, um suave sombreamento na cor azul (sob luz visível) é acompanhado da presença de sulcos sobre o suporte, quando este é analisado mediante a radiação infravermelha absorvida (Figura 7).



**Figura 6.** Vista do numeral “28” com sinais de adulteração em atestado médico: (A) sob luz branca (região visível do espectro); (B) sob a luminescência infravermelha emitida; (C) sob a absorção da radiação infravermelha. As setas vermelhas denotam o perfil de leve pressão do traçado e as setas amarelas ressaltam o perfil de forte pressão do traçado.

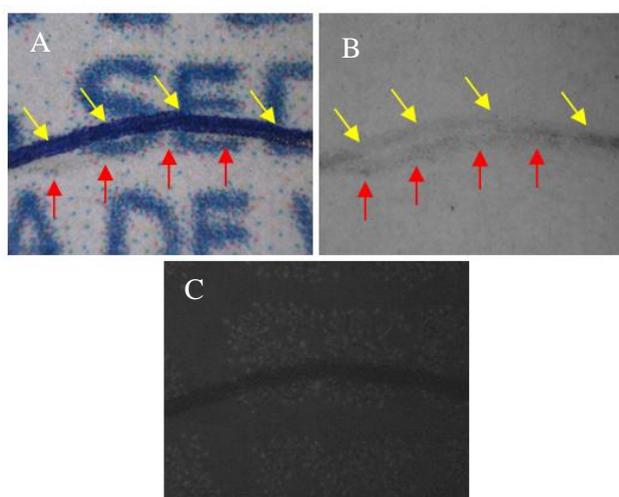


**Figura 7.** Vista dos sinais indicativos de supressão e sobreposição de traçados no verso do CRV periciado: (A) sob luz branca; (B) sob captação da luminescência da radiação infravermelha.

### 3.3.3 Identificação de sinais de debuxo em traçados realizados mediante decalque

Constituíram peça de exame selos, etiquetas e carimbos notariais. Constatou-se, por meio do uso da lupa, sinais de falsificação por decalque e se observaram traços de debuxo sob os escritos lançados à caneta.

Os documentos periciados demonstravam sinais da presença de debuxo acompanhando o traçado principal realizado à caneta. Na análise da captação de radiação infravermelha refletida no comprimento de onda de 950 nm, o traçado à caneta tornou-se invisível, evidenciando o debuxo sob ele, em toda sua extensão (Figura 8B). Ressalta-se que, no caso descrito, novamente a luminescência infravermelha se mostrou ineficaz na distinção dos traçados (Figura 8C), de modo que a propriedade de absorção da radiação infravermelha é que proporcionou a identificação dos sinais de adulteração documental.



**Figura 8.** Sinais de falsificação por decalque no CRV: (A) visto sob luz branca, denota-se linha sutil acinzentada na porção indicada pelas setas vermelhas; (B) na absorção da radiação infravermelha, há linhas de debuxo transparente sob o traçado da caneta azul (setas amarelas); (C) sob captação da luminescência da radiação infravermelha.

### 3.4. Discussão

Demonstrou-se o uso eficaz da radiação infravermelha na identificação de sinais indicativos de adulteração em variados documentos utilizando-se de um Mouse Espectral. Sob a luminescência do infravermelho, foram identificadas tintas antes indistinguíveis sob luz visível e os traçados correspondentes a cada uma delas foram individualizados (Figuras 2 a 5).

Há variados métodos utilizados para a caracterização de tintas de canetas, diferenciando-as [19]. Muitos desses métodos são destrutivos, o que geralmente é incompatível com as análises de determinados documentos, as quais requerem a integridade dos escritos e dos papéis após os exames. Dentre as técnicas destrutivas estão a Eletroforese Capilar [20], a Espectrometria de Massas

com Ionização por Electrospray [21], a Cromatografia em Camada Delgada [3,4] e a Cromatografia em Camada Delgada de Alta Eficiência [22].

Outras técnicas de identificação de tintas, porém, são não destrutivas [19], tais como a Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier [23], a Espectroscopia Raman [24], os Comparadores Vídeo Espectrais [18] e a Fluorescência de Raios X [25].

Ainda que muitas dessas técnicas permitam não apenas a diferenciação de tintas de canetas, mas também a separação das espécies químicas que a compõem, a indisponibilidade desses equipamentos em vários centros de perícia constitui relevante entrave às análises. Ademais, é desejável que os métodos empregados nas perícias em documentos sejam não destrutivos [3], o que restringe ainda mais as possibilidades práticas de instrumentação. Acrescenta-se a tais limitações o fato de aqueles equipamentos não serem, em geral, portáteis.

No presente trabalho, o Mouse Espectral Regula 4177<sup>®</sup> foi utilizado para a diferenciação de traçados lançados à caneta. A luz da região visível do espectro foi usada para a excitação de moléculas componentes das tintas e a emissão da luminescência foi observada na região do infravermelho. Os atributos da reflexão e da absorção da radiação infravermelha também se mostraram aptos a atestarem a sobreposição de traçados. Trata-se de um equipamento portátil comumente encontrado nos laboratórios periciais, que permite a realização das análises de forma não destrutiva.

Assim, os resultados compilados exploraram variadas vertentes de análises passíveis de serem executadas utilizando um equipamento de relativa simplicidade e acessibilidade no contexto pericial brasileiro.

## 4. CONCLUSÕES

Os casos apresentados neste trabalho expressam resultados acerca da utilização da radiação infravermelha como uma poderosa ferramenta analítica não destrutiva nas perícias documentoscópicas, especialmente na identificação de sinais indicativos de adulteração, tais como remoções, emendas, inserções e resquíscios deixados pelo processo de lavagem química de documentos.

Em alguns dos casos, as propriedades de reflexão e absorção da radiação infravermelha não mostraram diferenças perceptíveis em seus perfis, aptas a identificar traçados adulterados (item 3.2), de modo que somente a luminescência infravermelha evidenciou as diferentes propriedades físico-químicas das tintas. Ademais, no que se refere ao perfil de luminescência do infravermelho, destacou-se que este é capaz de não apenas propiciar a distinção entre tintas presentes no documento, como também permite melhor visualização do levantamento das fibras do papel.

Por outro lado, houve casos em que o perfil de luminescência da radiação infravermelha não se mostrou eficaz na diferenciação das tintas (item 3.3), cabendo às propriedades de reflexão e de absorção desta radiação o papel de revelar sinais indicativos de adulteração, tais como a pressão do traçado sobre o suporte e as marcas de debuxo sob os escritos.

Os resultados expostos neste artigo indicaram que, mesmo diante de perfis indistinguíveis de luminescência ou absorção, a radiação infravermelha constitui ferramenta valiosa na identificação de elementos gráficos e sinais de adulteração de documentos.

Como perspectivas futuras, intenciona-se implementar a utilização da espectroscopia Raman nas análises de diferenciação de tintas. Conforme demonstrado, uma das limitações da aplicação da radiação infravermelha na análise de tintas componentes de lançamentos gráficos consiste no fato de que perfis de luminescência indistinguíveis não remetem à unicidade de tintas e podem tanto consistirem em tintas diversas, como também remeterem à mesma tinta. Em análises como essa, métodos de maior acuidade analítica tais como a espectroscopia Raman poderiam ser utilizados em complementação à radiação infravermelha, permitindo o deslinde do caso através da identificação das bandas características dos componentes químicos dos pigmentos de cada uma das tintas nos respectivos espectros.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Núcleo de Perícias de Ribeirão Preto, especialmente ao Dr. Arthur Bernardes da Silva, à Dra. Bruna Liboni e ao Dr. Marcos Tadeu da Costa, pelo apoio concedido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ABNT, NBR 15368 - Tecnologia gráfica - Impressos de segurança - Terminologia 16, 2016.

[2] S. Feuerharmel. *Análise Grafoscópica de Assinaturas*, 1 ed., Millennium Editora, Campinas – SP, 2017.

[3] N. Kapoor; P. Sulke; R.K. Shukla; R. Kakad; P. Pardeshi; A. Badiye. Forensic analytical approaches to the dating of documents: An overview. *Microchem. J.* **170**, 2021.

[4] J. Barker; R. Ramotowski; J. Nwokoye. The effect of solvent grade on thin layer chromatographic analysis of writing inks. *Forensic Sci. Int.* **266**, 139-147, 2016.

[5] D. L. Pavia; G. M. Lampman; G. S. Kriz; J. R. Vyvyan. *Introdução à Espectroscopia*, 4 ed., Cengage Learning, 2010.

[6] M. Alfeld; J.A.C. Broekaert. Mobile depth profiling and sub-surface imaging techniques for historical paintings - A review. *Spectrochim. Acta - Part B At. Spectrosc.* **88**, 211-230, 2013.

[7] Technical Committee ISO/TC 172, ISO 20473:2007 - Optics and photonics - Spectral bands, 1, 2007.

[8] S.T. De Broux; K.K. McCaul. S. Shimamoto, *Infrared Photography*. 1-22, 2007.

[9] M.E. Gondra; R. Grávalos; Goyo. *Análise Forense de Documentos: Instrumentos de Escrita Manual e suas Tintas*. 1 ed., Millennium Editora, Campinas – SP, 2012.

[10] R. Chowdhry; S.K. Gupta; H.L. Bam. Ink Differentiation with Infrared Techniques. *J. Forensic Sci.* **18**, 418-433, 1973.

[11] J.R.J. van Asperen de Boer. Infrared Reflectography: a Method for the Examination of Paintings. *Appl. Opt.* **7**, 1711-1714, 1968.

[12] J.R.J. Van Asperen De Boer. Reflectography of paintings using an infrared vidicon television system. *Stud. Conserv.* **14**, 96-118, 1969.

[13] Y. Chen; S. Wang; F. Zhang. Near-infrared luminescence high-contrast in vivo biomedical imaging. *Nat. Rev. Bioeng.* **1**, 60-78, 2023.

[14] D. Parker; J.A.G. Williams. Taking advantage of the pH and pO<sub>2</sub> sensitivity of a luminescent macrocyclic terbium phenanthridyl complex. *Chem. Commun.* **2**, 245-246, 1998.

[15] L.B. Mendes. *Documentoscopia*, 4 ed., Millennium Editora, Campinas – SP, 2015.

[16] D.R. Rohilla; S.K. Das Gupta; S.K. Gupta; H.L. Bami. A rapid infrared luminescence method for differentiation of ink writing. *Forensic Sci. Int.* **15**, 153-159, 1980.

[17] D.M. Ellen; K.E. Creer. Infrared luminescence in the examination of documents. *J. Forensic Sci. Soc.* **10**, 159-164, 1970.

[18] G. Sauzier; J. McGinn; T. Trubshoe; S.W. Lewis. In situ examination of handwritten blue ballpoint inks using video spectral comparison with chemometrics. *Forensic Sci. Int. Reports.* **1**, 100021, 2019.

[19] R.P. Gorziza; C.M.B. Carvalho; M. González; L.B. Leal; T. Korndörfer; R.S. Ortiz; T. Trejos; R.P. Limberger; Blue and Black Ballpoint Pen Inks: a Systematic Review for Ink Characterization and Dating Analysis. *Brazilian J. Forensic Sci. Med. Law Bioeth.* **8**, 113-138, 2019.

[20] M. Calcerrada; M. González-Herráez; C. Garcia-Ruiz. A microdestructive capillary electrophoresis method for the analysis of blue-pen-ink strokes on office paper. *J. Chromatogr. A.* **1400**, 140-148, 2015.

[21] D. Akhmerov; A. Krylova; A. Stavrianidi; O. Shpigun; I. Rodin. Forensic Identification of Dyes in Ballpoint Pen Inks Using LC-ESI-MS. *Chromatographia* **80**, 1701-1709, 2017.

[22] V. Sharma; R. Kumar. Fourier transform infrared spectroscopy and high performance thin layer chromatography for characterization and multivariate discrimination of blue ballpoint pen ink for forensic applications. *Vib. Spectrosc.* **92**, 96-104, 2017.

- [23] M.N. Mohamad Asri; N.H. Hashim; W.N.S. Mat Desa; D. Ismail. Pearson Product Moment Correlation (PPMC) and Principal Component Analysis (PCA) for objective comparison and source determination of unbranded black ballpoint pen inks. *Aust. J. Forensic Sci.* **50**, 323-340, 2018.
- [24] F.S.L. Borba; R.S. Honorato; A. Juan. Use of Raman spectroscopy and chemometrics to distinguish blue ballpoint pen inks. *Forensic Sci. Int.* **249**, 73-82, 2015.
- [25] D.L. Feraru; A. Meghea. Comparative forensic analysis of ballpoint pen inks. *Rev. Chim.* **65**, 420-425, 2014.