

A face oculta das cenas de crime: uma revisão sobre microvestígios

The hidden face of crime scenes: a review on microtrace

Samara Alves Testoni^{1*} , Rafael Scorsatto Ortiz² , Flávio Anastácio de Oliveira Camargo¹ , Fábio Augusto da Silva Salvador³ 

¹Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

²Departamento de Polícia Federal, Setor Técnico-Científico, Porto Alegre, Brasil.

³Departamento de Polícia Federal, Setor Técnico-Científico, Curitiba, Brasil.

*Autor correspondente/Corresponding author: testonisamara@gmail.com

Recebido/Received: 19-10-2022; Revisto/Revised: 11-04-2023; Aceite/Accepted: 28-04-2023

Resumo

Introdução: Microvestígios consistem em materiais de natureza diversa que podem ser encontrados em cenas de crime, sendo dificilmente visíveis a olho nu, em função das suas dimensões submilimétricas, submicroscópicas ou microscópicas.

Objetivos: Este trabalho teve como objetivo abordar as características dos principais tipos de microvestígios encontrados em cenas de crime. **Material e Métodos:** Como metodologia de pesquisa, procuraram-se publicações exclusivamente no formato de artigos científicos, indexadas às bases *Web of Science* e *ScienceDirect*, utilizando os termos *microtrace* e *trace evidence*.

Resultados: Os microvestígios apresentam classificação quanto à sua origem orgânica (impressões digitais, diesel e biodiesel, cabelos, madeira, microscópicos de origem vegetal e fibras naturais), inorgânica natural (microfósseis, minerais e solos) e inorgânica antrópica (tijolos, tintas, vidros, plásticos, fibras sintéticas, resíduos de disparo de armas de fogo e papéis), e podem revelar informações cruciais em cenas de crime, dependendo da técnica utilizada no seu processamento (e.g., plasma indutivamente acoplado, espectroscopia de infravermelho, cromatografia gasosa e líquida, micro espectroscopia Raman). Neste sentido, os laboratórios devem cumprir requisitos específicos, independentemente da técnica analítica a ser utilizada, para extrair informações idôneas dos microvestígios. Estes requisitos consistem em: 1) Precisão, 2) Sensibilidade, 3) Unicidade, 4) Associação, 5) Rapidez e simplicidade, 6) Versatilidade, 7) Confiabilidade e reprodutibilidade, 8) Rastreabilidade, 9) Acessibilidade e 10) Disponibilidade de dados. **Conclusões:** O presente trabalho evidenciou a diversidade e a importância dos microvestígios, uma vez que a extração de informações dos mesmos pode-lhes conferir grande potencial como prova material em investigações criminais, dependendo dos métodos de recolha aplicados e das técnicas utilizadas no seu exame laboratorial.

Palavras-chave: Vestígio, microscopia, cena de crime, criminalística, Ciências Forenses.

Abstract

Introduction: Microtrace consists of materials of different nature that can be found in crime scenes, being difficult to see with the naked eye, due to their submillimetre, submicroscopic or microscopic dimensions. **Objectives:** This work aimed to address the characteristics of the main types of microtrace found in crime scenes. **Material and Methods:** As a research methodology, publications exclusively in the format of scientific articles were sought, indexed in the Web of Science and ScienceDirect databases, using the terms *microtrace* and *trace evidence*. **Results:** Microtrace are classified according to their organic origin (fingerprints, diesel and biodiesel, hair, wood, microscopic plant origin and natural fibres), natural inorganic (microfossils, minerals and soils) and anthropic inorganic (bricks, paints, glass, plastics, synthetic fibres, gunshot residue and paper), and can reveal crucial information at crime scenes, depending on the technique used to process it (e.g., inductively coupled plasma, infrared spectroscopy, gas and liquid chromatography, micro Raman spectroscopy). In this way, laboratories must meet specific requirements, regardless of the analytical technique to be used, to extract reliable information from microtrace. These requirements consist of: 1) Accuracy, 2) Sensitivity, 3) Uniqueness, 4) Association, 5) Speed and simplicity, 6) Versatility, 7) Reliability and reproducibility, 8) Traceability, 9) Accessibility, and 10) Availability of data. **Conclusions:** This work highlighted the diversity and importance of microtrace, since extracting information from them can give them great potential as material evidence in criminal investigations, depending on the applied collection methods and the techniques used in their laboratory examination.

Keywords: Evidence, microscopy, crime scene, criminalistics, Forensic Sciences.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o princípio de transferência de Locard, qualquer ação de um indivíduo, incluindo a ação criminosa, não ocorre sem que sejam deixados vestígios (Morgan *et al.*, 2006; Dawson e Hillier, 2010). Como fundamento da Criminalística, este princípio lógico conduz aos conceitos de vestígios e microvestígios. Os vestígios podem ser definidos como materiais de natureza diversa passíveis de serem transferidos durante a ocorrência de um determinado evento, constituindo um resquício ou memória da fonte e/ou da atividade produzida. Com frequência, os vestígios que compõem o corpo de delito de uma dinâmica criminosa não são encontrados num só tempo, no mesmo local, e, dependendo das circunstâncias da transgressão, podem ser elementos ou instrumentos utilizados pelo criminoso (Testoni *et al.*, 2020). Por sua vez, os microvestígios consistem em vestígios não visíveis a olho nu, ou dificilmente visíveis, os quais apresentam tamanhos submilimétricos, submicroscópicos ou microscópicos, contribuindo para a sua ubiquidade e latência em cenas de crime. Em função de seu tamanho diminuto, os microvestígios são frequentemente negligenciados pelos agentes do delito, tanto em termos qualitativos (em relação às suas características morfológicas como a cor, espessura, traços, textura e outros) como também quantitativos (em relação à grande quantidade de microvestígios normalmente disseminada numa cena de crime), podendo ser os vestígios mais abundantes nas cenas de crime, apresentando grande disseminação e posterior permanência nestes locais, mesmo após a remoção dos vestígios macroscópicos. Nas perícias de cenas de crime, a presença de microvestígios representa uma adicional fonte de informação, complementar e fundamental à compreensão da dinâmica dos factos e eventos relacionados ao crime (Dmitruk e Brožek-Much, 2017).

Em laboratório, para que o processamento dos microvestígios possa ser idealmente efetuado, torna-se mandatório aplicar princípios, doutrinas, procedimentos e análises específicas na extração de características dos microvestígios, as quais devem ser realizadas em laboratórios preparados para tal, considerando a unicidade destes materiais. Na escala microscópica, o vestígio de uma cena de crime pode apresentar relações inesperadas com uma localização geográfica, revelando uma sequência espacial e temporal de eventos não observáveis sem o auxílio de equipamentos na cena do crime. Estas informações microscópicas podem contribuir para o entendimento e estabelecimento da dinâmica do crime, e, quando associadas às análises dos microvestígios em laboratório, abrem um abrangente universo de possibilidades para a investigação criminal. O processamento laboratorial de microvestígios exige infraestruturas preparadas para diversas finalidades: recepção, visualização, triagem, separação, análise, fornecimento de resultados e condições para armazenamento de possíveis contraprovas (Mohamed *et al.*, 2017; Olaoye *et al.*, 2020). Neste sentido, a abordagem de microvestígios deve, invariavelmente, ser científica, considerando uma amostragem padronizada com um número ideal de amostras (a quantidade de amostras a ser colhida numa cena de crime irá variar de acordo com o tipo de microvestígio), bem como aplicando um método adequado de preservação, para o estabelecimento e manutenção de uma cadeia de custódia

1. INTRODUCTION

According to the Locard principle of transference, any action by an individual, including criminal action, does not occur without leaving traces (Morgan *et al.*, 2006; Dawson and Hillier, 2010). As the foundation of Criminalistics, this logical principle leads to the concepts of traces and microtrace. Traces can be defined as materials of a different nature that can be transferred during the occurrence of a given event, constituting a remnant or memory of the source and/or the activity produced. Often, traces that make up the *corpus delicti* of a criminal context are not found at the same time, in the same place, and, depending on the circumstances of the transgression, they can be elements or instruments used by criminals (Testoni *et al.*, 2020). In this way, microtrace consists of traces not visible to the naked eye, or hardly visible, which have submillimetre, submicroscopic or microscopic sizes, contributing to their ubiquity and latency in crime scenes. Due to their small size, microtrace are often neglected by criminal agents, both in qualitative terms (in relation to their morphological characteristics such as colour, thickness, lines, texture and others) and also in quantitative terms (in relation to the large amount of microtrace normally disseminated at a crime scene). They might be the most abundant traces at crime scenes, presenting great dissemination and later permanence in these places, even after the removal of macroscopic traces. In crime scene investigations, the presence of microtrace represents an additional source of information, complementary and fundamental to understanding the dynamics of facts and events related to the crime (Dmitruk and Brožek-Much, 2017).

In the laboratory, so that microtrace processing can be ideally carried out, it is mandatory to apply principles, doctrines, procedures and specific analyses in the extraction of microtrace characteristics, which must be carried out in laboratories prepared for this, considering the uniqueness of these materials. On a microscopic scale, traces from a crime scene can show unexpected links with a geographic location, revealing a spatial and temporal sequence of events not observable without the aid of equipment at the crime scene. This microscopic information can contribute to the understanding and establishment of the dynamics of the crime, and, when associated with the analyses of microtrace in the laboratory, open up a wide range of possibilities for criminal investigation. The laboratory processing of microtrace requires infrastructure prepared for different purposes: reception, visualisation, sorting, separation, analysis, provision of results and conditions for storing possible counterproofs (Mohamed *et al.*, 2017; Olaoye *et al.*, 2020). Thus, the microtrace approach must invariably be scientific, considering standardised sampling with an ideal number of samples (the number of samples to be collected at a crime scene will vary according to the type of microtrace), as well as applying an adequate method of preservation, for the establishment and maintenance of a reliable chain of custody. Without complying with these requirements, there are no means of extracting reliable, representative and accurate information from the microtrace, so that they can be used as evidence in criminal investigations (Melo *et al.*, 2019).

2. MATERIALS AND METHODS

As a research methodology, publications exclusively in the

confiável. Sem o cumprimento destes requisitos, não há meios de extrair informações idóneas, representativas e precisas dos microvestígios, para que estes possam ser utilizados como provas em investigações criminais (Melo *et al.*, 2019).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como metodologia de pesquisa, procuraram-se publicações exclusivamente no formato de artigos científicos, dada a revisão por pares e o critério de publicação, indexadas às bases *Web of Science* e *ScienceDirect*, utilizando os termos *microtrace* e *trace evidence*. Após a análise de 30 artigos científicos, optou-se por apresentar nos resultados os tipos de microvestígios mais comumente encontrados, as técnicas analíticas utilizadas e as conclusões principais dos diferentes estudos (Tabela 1).

format of scientific articles were sought, given the peer review and publication criteria, indexed in the *Web of Science* and *ScienceDirect* databases, using the terms *microtrace* and *trace evidence*. After analysing 30 scientific articles, it was decided to present the most commonly found types of microtrace in the results, the analytical techniques used and the main conclusions of the different studies (Table 1).

Tabela/Table 1: Referências bibliográficas utilizadas no presente artigo de revisão e sua informação mais relevante: tipo de microvestígio analisado, técnicas analíticas utilizadas, conclusões principais, país e autores dos estudos.

Microvestígio/Biofuels	Técnica analítica*/ Analytical technique*	Conclusões principais/ Main conclusions	País/ Country	Autores/ Authors
Biocombustíveis/	HTGC-FID-MS	Os métodos são precisos e robustos para a determinação de acilgliceróis e ácidos monocarboxílicos produzidos durante o processamento de triacilgliceróis em biocombustíveis/Methods are accurate and robust for the determination of acylglycerols and monocarboxylic acids produced during the processing of triacylglycerol in biofuels.	EUA/ USA	Flanagan et al. (2018)
Diesel	GC-VUV, GC-FID e GC-MS	Novas abordagens para a técnica de GC já consolidada revelaram-se satisfatórias na avaliação da composição do material estudado, permitindo discriminar amostras de diesel alteradas/New approaches to the already consolidated GC technique proved to be satisfactory in evaluating the composition of the studied material, allowing the discrimination of altered diesel samples.	EUA/ USA	Bai et al. (2018)
Fibras/Fibres	ATR-FTIR	A degradação influenciou os espectros de IR de fibras têxteis, tornando-as indistinguíveis e de difícil caracterização/The degradation influenced the IR spectra of textile fibres, making them indistinguishable and difficult to characterise.	Itália/ Italy	Coletti et al. (2021)
	GC	A cromatografia GC/exclusão de tamanho provou ser um método de discriminação forense eficaz para fibras de poliéster/GC/size exclusion chromatography has proven to be an effective forensic discrimination method for polyester fibres.	Japão/ Japan	Matsushita et al. (2022)
Impressões digitais/ Fingerprints	μ-FTIR	Os resultados têm implicações forenses relevantes, uma vez que permitiram associar sais ácidos às impressões latentes de crianças/Results have relevant forensic implications, since they allowed the association of acidic salts with the latent prints of children.	EUA/ USA	Williams et al. (2011)
		Associada à luz síncrotron, a técnica produziu interpretações precisas e confiáveis de marcas de dedos, independentemente da idade ou sexo do dador/Associated with synchrotron light, the technique produced accurate and reliable interpretations of fingerprints, regardless of the age or sex of the donor.	Austrália/ Australia	Fritz et al. (2013)
		Resultados promissores foram obtidos quanto à distinção das impressões digitais conforme a faixa etária do dador, independentemente do substrato de onde foram extraídas/Promising results were obtained regarding the distinction of fingerprints according to the donors age group, regardless of the substrate from which they were extracted.	Suíça/ Switzerland	Girod et al. (2015)
	FTIR	μ-FTIR associado à análise quimiométrica foi capaz de separar amostras de marcas de dedos envelhecidas até uma semana. Os resultados têm implicações forenses relevantes, uma vez que permitiram associar sais ácidos às impressões latentes de crianças/Micro FTIR associated with chemometric analysis was able to separate samples of fingerprints aged up to one week.	Brasil/ Brazil	González e Gomes (2021)
		O estudo demonstra o potencial para visualizar as alterações químicas de impressões digitais, em investigações forenses, por imageamento químico espectroscópico/The study demonstrates the potential to visualise the chemical alterations of fingerprints, in forensic investigations, by spectroscopic chemical imaging.	Reino Unido/ UK	Ricci et al. (2007)
	GC-MS	Revelou-se uma métrica sensível para estimar a idade de um indivíduo, especialmente quando a idade da impressão digital é conhecida/It turned out to be a sensitive metric for estimating an individual's age, especially when the fingerprint age is known.	EUA/ USA	Antoine et al. (2010)
	Modelagem de envelhecimento reprodutível foi obtida com resíduos de impressões digitais sujeitos a fatores ambientais/Reproducible ageing modelling was obtained with fingerprint residues subject to environmental factors.	Suíça/ Switzerland	Girod et al. (2016)	

Microrganismos do gênero <i>Candida</i>/Microorganisms of the genus <i>Candida</i>	FTIR	As bandas dos espectros IR forneceram um conjunto de dados característicos dos microrganismos, permitindo um claro agrupamento/ Bands of the IR spectra provided a set of data characteristic of the microorganisms, allowing a clear grouping.	Brasil/ Brazil	Santos et al. (2012)
Solos/Soils	DRX e ICP-OES	Resultados provenientes de 500 mg de solo corroboraram o contato do veículo do suspeito com a cena do crime/Results from 500 mg of soil corroborated contact between the suspect vehicle and the crime scene.	Brasil/ Brazil	Melo et al. (2019)
	HTS e MIR	Os achados revelaram discriminações claras quanto à variabilidade ambiental da matriz orgânica do solo, evidenciando o potencial das técnicas empregadas na análise do ADN do solo/Findings revealed clear discriminations regarding the environmental variability of the soil organic matrix, evidencing the potential of the techniques used in the soil DNA analysis.	Austrália/ Australia	Young et al. (2015)
Tintas/Paints	μ-FTIR-ATR	A técnica demonstrou eficiência e precisão para o objetivo do trabalho: discriminação de tintas de selo contendo colorações semelhantes, e distinção das tintas quanto aos fabricantes/The technique demonstrated efficiency and precision for the objective of the work: discrimination of stamp inks containing similar colours, and distinction of inks according to manufacturers.	Coreia/ Korea	Dirwono et al. (2010)
	μ-Raman e μ-FTIR	As análises via μ-Raman e μ-FTIR revelaram baixa sensibilidade para alguns pigmentos de obras e patrimônios culturais/Analyses via μ-Raman and μ-FTIR revealed low sensitivity for some pigments from works and cultural heritage.	França/ France	Franquelo et al. (2009)
	FTIR e Raman	O mapeamento Raman revelou grande potencial para discriminar amostras de tintas em documentos sob investigação forense/Raman mapping revealed great potential to discriminate ink samples in documents under forensic investigation.	Polónia/ Poland	Zieba-Palus et al. (2011)
	GC-MS	A extração líquida de tinta com análise por GC/MS mostrou-se sensível o suficiente para datação absoluta/Liquid ink extraction with GC/MS analysis proved to be sensitive enough for absolute dating.	Suíça/ Switzerland	Koenig et al. (2015)
	LC-HRMS	A técnica permitiu discriminar tintas de gel preto à base de carbono, e também permitiu a datação absoluta de entradas da mesma tipologia de tinta/The technique allowed the discrimination of carbon-based gel black inks, and also allowed the absolute dating of entries of the same type of ink.	China	Sun et al. (2017)
	Método de dissolução-difusão/Dissolution-diffusion method	O método permitiu determinar a idade absoluta das entradas de tinta de gel sob certas condições, tal como a temperatura ambiente/The method allowed us to determine the absolute age of gel ink entries under certain conditions, such as ambient temperature.	China	Li (2014)
	UV-vis	Os resultados obtidos revelaram o potencial da técnica em revelar diferenças entre a datação esperada e estimada do material, demonstrando a sua sensibilidade/Results obtained revealed the potential of the technique to evidence differences between the expected and estimated dating of the material, demonstrating its sensitivity.		Sharma e Kumar (2017)
Legenda/Note: * HTGC-FID-MS (Cromatografia Gasosa de Alta Temperatura por Detecção de Ionização de Chama e Espectrometria de Massas), GC-VUV (Cromatografia Gasosa por Espectroscopia Ultravioleta a Vácuo), GC-FID (Cromatografia Gasosa por Detecção de Ionização de Chama), GC-MS (Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massas), ATR-FTIR (Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier com Refletância Total Atenuada), μ-FTIR (Micro Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier), DRX (Difração de Raios-X), ICP-OES (Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente), HTS (Sequenciação de Alto Rendimento), MIR (Espectroscopia no Infravermelho Médio), μ-Raman (Micro espectroscopia Raman), LC-HRMS (Cromatografia Líquida acoplada à Espectrometria de Massa de Alta Resolução), UV-vis (Ultravioleta visível)/* HTGC-FID-MS (High Temperature Gas Chromatography by Flame Ionisation Detection and Mass Spectrometry), GC-VUV (Gas Chromatography by Ultraviolet Vacuum Spectroscopy), GC-FID (Gas Chromatography by Flame Ionisation Detection), GC-MS (Gas Chromatography Coupled to Mass Spectrometry), ATR-FTIR (Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy), μ-FTIR (Fourier Transform Infrared Micro Spectroscopy), XRD (Ray Diffraction -X), ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry), HTS (High Throughput Sequencing), MIR (Middle Infrared Spectroscopy), μ-Raman (Micro Raman Spectroscopy), LC-HRMS (Liquid Chromatography Coupled Mass Spectrometry High Resolution), UV-vis (Visible Ultraviolet).				

3. RESULTADOS

3.1 TIPOS DE MICROVESTÍGIOS

As informações que os microvestígios podem fornecer dependerão do seu tipo (Figura 1). Os microvestígios encontrados em cenas de crime podem ser classificados em orgânicos e inorgânicos (Dmitruk e Brožek-Mucha, 2017; Matsushita *et al.*, 2022). Contudo, esta classificação deve ser utilizada com cautela, sobretudo no exame dos materiais questionados numa cena de crime, dado que estes podem estar aderentes a inúmeras superfícies, sendo transportados por distâncias variáveis, e serem facilmente confundidos com outros. Desta forma, necessitam de uma abordagem multidisciplinar e de técnicas analíticas adequadas para sua correta caracterização. Os principais exemplos de microvestígios de origem orgânica encontrados em corpos de delito são: impressões digitais, diesel e biodiesel,

3. RESULTS

3.1 TYPES OF MICROTRACE

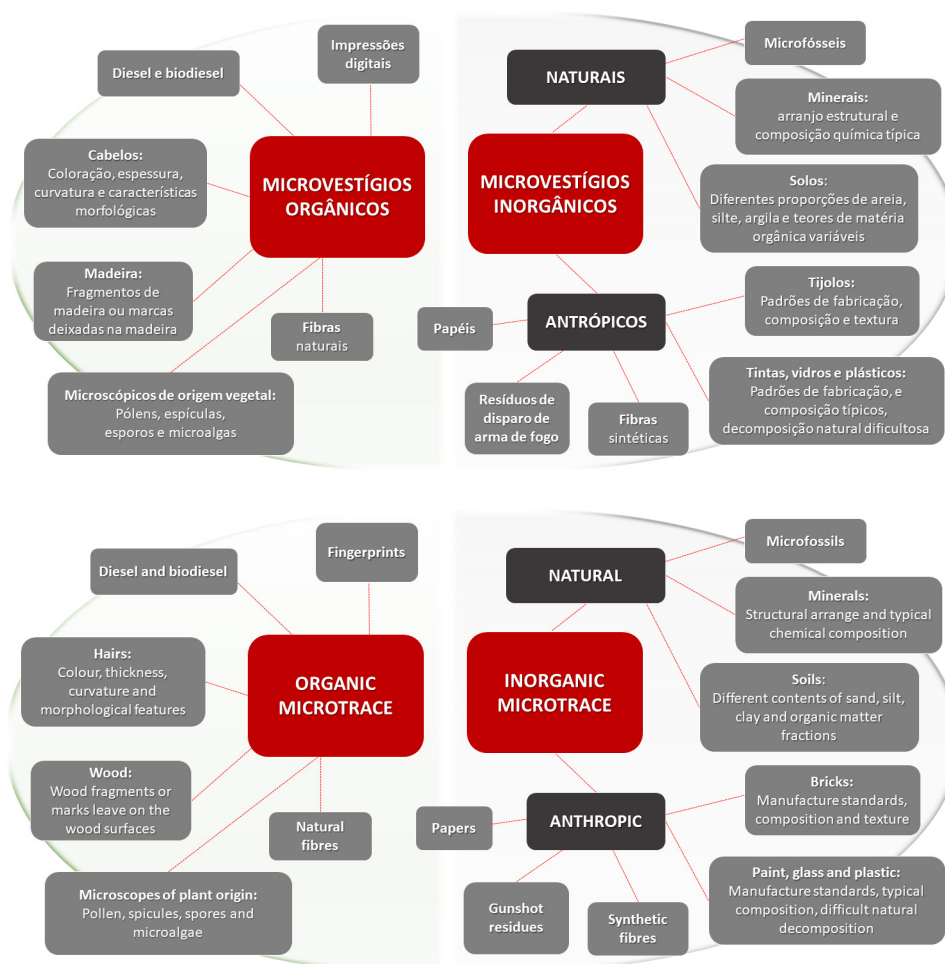
The information that microtrace may provide will depend on its type (Image 1). Microtrace found at crime scenes can be classified into organic and inorganic (Dmitruk and Brožek-Mucha, 2017; Matsushita *et al.*, 2022). However, this classification should be used carefully, especially when examining the materials questioned at a crime scene, given that they can adhere to numerous surfaces, be transported over variable distances, and be easily confused with others. Thus, they need a multidisciplinary approach and appropriate analytical techniques for their correct characterisation. The main examples of microtrace of organic origin found in corpus delicti are: fingerprints, diesel and biodiesel, hair, wood, pollens (commonly associated with soil traces), spicules, organic cells,

cabelos, madeira, pólen (comumente associado a vestígios de solo), espículas, células orgânicas, organismos microscópicos, como microalgas e fibras naturais (Khandasammy *et al.*, 2018; Testoni *et al.*, 2020; Gładysz *et al.*, 2021). De origem inorgânica, os principais microvestígios naturais consistem em microfósseis, minerais e solos; enquanto que os microvestígios inorgânicos de origem antrópica podem ser tijolos, tintas, vidros, plásticos, fibras sintéticas, resíduos de disparo de arma de fogo e papéis (Doty *et al.*, 2017; Murray *et al.*, 2017).

Cabelos, madeira, pólen, solos, resíduos de armas de fogo e fibras, são apenas alguns exemplos de microvestígios que podem ser transferidos entre pessoas, objetos ou ambientes durante um crime (Jantzi e Almirall, 2015; Werner *et al.*, 2019). A investigação criminal pode estabelecer uma associação potencial entre um suspeito e uma vítima, a um local mútuo através dos microvestígios. Como exemplo, uma amostra de fibra obtida a partir de uma pessoa suspeita, pode ser identificada, através de análises científicas, como originária de uma roupa usada pela vítima. Por outro lado, podem, por exemplo, existir fragmentos de fibras das vestes do suspeito em amostras subungueais da vítima, resultantes de tentativas de defesa durante uma luta corporal (Coletti *et al.*, 2021). A análise de fibras (naturais ou sintéticas) pode assim auxiliar no estabelecimento dos factos relacionados à cena do crime, como responder se a vítima e o suspeito estiveram no mesmo local.

microscopic organisms, such as microalgae and natural fibres (Khandasammy *et al.*, 2018; Testoni *et al.*, 2020; Gładysz *et al.*, 2021). Of inorganic origin, the main natural microtrace consist of microfossils, minerals and soils; while inorganic microtrace of anthropic origin can be bricks, paints, glass, plastics, synthetic fibres, firearm discharge residues and papers (Doty *et al.*, 2017; Murray *et al.*, 2017).

Hair, wood, pollens, soil, firearm residue and fibres are just a few examples of microtrace that can be transferred between people, objects or environments during a crime (Jantzi and Almirall, 2015; Werner *et al.*, 2019). Criminal investigation can establish a potential association between a suspect and a victim to a mutual location through microtrace. As an example, a fibre sample obtained from a suspected person can be identified, through scientific analysis, as originating from clothing worn by the victim. On the other hand, there may, for example, be fragments of fibres from the suspects clothing in the victims subungual samples, resulting from attempts at defense during a physical struggle (Coletti *et al.*, 2021). The analysis of fibres (natural or synthetic) can thus help in establishing the facts related to the crime scene, such as answering if the victim and the suspect were at the same place.



Figura/Figure 1: Classificação de microvestígios forenses quanto à sua origem (considerando a bibliografia consultada no presente artigo de revisão)/Classification of forensic microtrace according to their origin (considering the bibliography consulted in this review article).

3.2 INVESTIGAÇÃO DE MICROVESTÍGIOS FORENSES

Para qualquer tipo de material numa cena de crime, a capacidade do seu reconhecimento, e a qualidade da amostragem e da análise são fatores primordiais para o seu possível enquadramento como prova de ocorrência (Fitzpatrick e Raven, 2016; Ortiz-Herrero *et al.*, 2018). Nos microvestígios, estas etapas adquirem uma dificuldade superior, uma vez que são constituídos de partículas de tamanho extremamente reduzido. De acordo com Salvador *et al.* (2013), na análise de microvestígios, o laboratório destinado a esta finalidade deve atender a alguns requisitos, independentemente da técnica analítica a ser utilizada no estudo do material. Estes requisitos são fundamentais aos laboratórios que realizam análises de microvestígios, sendo considerados obrigatórios na extração de informações confiáveis:

1. *Precisão* – Para obtenção de informações precisas dos vestígios amostrados em cenas de crime, sejam eles macroscópicos ou microscópicos;
2. *Sensibilidade* – Para estabelecimento de técnicas que possam ser aplicadas em amostras de quantidade reduzida, possibilitando a identificação de materiais orgânicos e inorgânicos, em escala microscópica;
3. *Unicidade* – Realização de análises que providenciem respostas únicas, sem margem de obtenção de dados iguais para outros materiais;
4. *Associação* – Para permitir a correspondência de microvestígios de natureza orgânica e/ou inorgânica com possíveis cenas de crime;
5. *Rapidez e simplicidade* – Considerando o processo criminal como expedito, e visando a minimização de possibilidades de erro no decorrer das análises;
6. *Versatilidade* – Para que se possa identificar, analisar e interpretar marcas e alterações estruturais deixadas em vestígios de diferentes escalas e tipos, como a identificação de microvestígios biológicos que contribuam para a obtenção de ADN e no exame de espécies da flora e da fauna; além de permitir uma completa identificação de vestígios inorgânicos e seus contaminantes associados;
7. *Confiabilidade e reprodutibilidade* – Permitindo que as técnicas analíticas possam ser utilizadas por outros profissionais, em outros laboratórios;
8. *Rastreabilidade* – Para que se possa traçar o percurso do microvestígio na dinâmica criminosa, desde sua origem até à sua associação a vestígios macroscópicos;
9. *Acessibilidade* – Priorizando técnicas que sejam acessíveis quanto ao custo na rotina de trabalho, e que envolvam reagentes e equipamentos facilmente disponíveis para uso;
10. *Disponibilidade de dados* – Para que as informações obtidas possam ser confrontadas com vestígios já conhecidos, e permitam a correlação entre pessoas, eventos e locais, é mandatório disponibilizá-las em um banco de dados, o qual deve ser continuamente atualizado.

Adicionalmente aos requisitos esperados para laboratórios

3.2 INVESTIGATION OF FORENSIC MICRO TRACES

For any type of material at a crime scene, its recognition capacity, and the quality of sampling and analysis are key factors for its possible framing as evidence of occurrence (Fitzpatrick and Raven, 2016; Ortiz-Herrero *et al.*, 2018). In microtrace, these steps are more difficult, since they are made up of extremely small particles. According to Salvador *et al.* (2013), in the analysis of microtrace, the laboratory destined for this purpose must meet some requirements, regardless of the analytical technique to be used in the study of the material. These requirements are essential for laboratories that carry out microtrace analyses, being considered mandatory in the extraction of reliable information:

1. *Accuracy* – To obtain accurate information on traces sampled at crime scenes, whether macroscopic or microscopic;
2. *Sensitivity* – To establish techniques that can be applied to samples of small amounts, enabling the identification of organic and inorganic materials on a microscopic scale;
3. *Uniqueness* – Carrying out analyses that provide unique answers, with no margin for obtaining equal data for other materials;
4. *Association* – To allow the correspondence of microtrace of an organic and/or inorganic nature with possible crime scenes;
5. *Speed and simplicity* – Considering the criminal process as expeditious, and aiming at minimising the possibility of error during the analyses;
6. *Versatility* – So that you can identify, analyse and interpret marks and structural changes left in traces of different scales and types, such as the identification of biological microtrace that contribute to obtaining DNA and the examination of species of flora and fauna; in addition to allowing a complete identification of inorganic traces and their associated contaminants;
7. *Reliability and reproducibility* – Allowing the analytical techniques to be used by other professionals, in other laboratories;
8. *Traceability* – The path of microtrace can be traced in criminal dynamics, from its origin to its association with macroscopic traces;
9. *Accessibility* – Prioritising techniques that are accessible of cost in the work routine, and that involve readily available reagents and equipment for use;
10. *Availability of data* – The information obtained can be compared with traces already known, and allow the correlation between people, events and places, it is mandatory to make them available in a database, which must be continuously updated.

In addition to the expected requirements for forensic analysis laboratories, it is essential that they have a variety of techniques and instruments that allow the production of evidence, or the complementation of already existing information about crime scenes, allowing the elucidation of the criminal dynamic (Dmitruk and Brožek-Much, 2017).

de análises forenses, é fundamental que estes possuam uma diversidade de técnicas e instrumentos que possibilitem a produção de provas, ou a complementação de informações já existentes acerca das cenas de crime, permitindo a elucidação da dinâmica dos factos (Dmitruk e Brožek-Much, 2017).

A respeito do processamento de microvestígios, a seguir serão apresentados aspetos sobre as principais técnicas analíticas utilizadas para extração de informações dos mesmos e sua classificação.

3.3 ANÁLISE DE MICROVESTÍGIOS

Por serem usualmente diminutos, os microvestígios devem ser preferencialmente analisados microscopicamente (Harvey e Merino, 2016). Como muitas questões podem ser respondidas de forma rápida e barata com um microscópio, este instrumento é definido como o ponto de partida na grande maioria dos casos que contêm microvestígios. As ferramentas básicas de triagem para a microscopia forense consistem em um estereomicroscópio, um microscópio de luz polarizada e um microscópio de comparação de luz transmitida (Kadir *et al.*, 2022). Pode-se complementar a triagem inicial das amostras de microvestígios realizando-se uma comparação preliminar com microscopia de luz, a qual é utilizada para preparar amostras de microscopia eletrônica e infravermelha. Subsequentemente à triagem inicial dos microvestígios, pode-se utilizar uma série de técnicas analíticas para o exame pormenorizado dos vestígios de escala microscópica. Para a escolha de uma determinada técnica alguns fatores podem ser preponderantes, tais como o tempo necessário para a análise, os custos envolvidos com equipamentos, a manutenção e pessoal qualificado, os reagentes e instrumentos necessários, a urgência na obtenção de dados, os tipos de vestígio a serem analisados e a sua possível destrutibilidade durante as análises, entre outros fatores (Dawson *et al.*, 2019; Olaoye *et al.*, 2020; Horta *et al.*, 2021). Inúmeros trabalhos têm sido publicados abordando os mais variados tipos de microvestígios e de técnicas/metodologias para extração de informações relevantes destes materiais. A Tabela 1 ilustra as técnicas mais utilizadas e os materiais analisados.

O plasma indutivamente acoplado (ICP) consiste numa técnica de detecção multielementar que utiliza uma fonte de plasma extremamente quente para excitar os átomos ao ponto de eles emitirem fótons de luz de comprimento de onda característicos e específicos de um determinado elemento (Pye *et al.*, 2006; Bedassa *et al.*, 2019; Gaudin *et al.*, 2020). Para amostras inorgânicas, é possível associar os elementos aferidos via ICP, com base em digestão e extrações sequenciais prévias, e estabelecer correspondência deles com a estrutura cristalina de compostos inorgânicos. Esta técnica é amplamente aplicada, sendo considerada de elevada precisão para uso em investigações forenses. Apesar de ser uma técnica de análise destrutiva, pesquisas realizadas com ICP demonstraram elevada capacidade de discriminação de amostras com proveniência até então desconhecida. Algumas, referem-se ao estudo de vestígios de solo (Reidy *et al.*, 2013; Cheshire *et al.*, 2017; Madureira-Carvalho *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2019). A análise forense do solo utiliza informações extensas sobre esta matriz para testar hipóteses e responder a questões legais. A principal dificuldade muitas vezes reside na determinação

With regard to microtrace processing, the aspects of the main analytical techniques used to extract information from them and their classification will be presented below.

3.3 MICROTRACE ANALYSIS

Because they are usually small, microtrace should preferably be analysed microscopically (Harvey and Merino, 2016). As many questions can be answered quickly and inexpensively with a microscope, this instrument is set as the starting point in the vast majority of cases that contain microtrace. The basic screening tools for forensic microscopy consist of a stereomicroscope, a polarised light microscope and a transmitted light comparison microscope (Kadir *et al.*, 2022). The initial screening of microtrace samples can be complemented by performing a preliminary comparison with light microscopy, which is used to prepare samples for electron and infrared microscopy. Subsequently to the initial screening of microtrace, a number of analytical techniques can be used to closely examine microscopic scale traces. For select a technique, some factors may be preponderant, such as the time required for the analysis, the costs involved with equipment, maintenance and qualified personnel, the necessary reagents and instruments, the urgency in obtaining data, the types of trace to be analysed and its possible destructibility during the analysis, among other factors (Dawson *et al.*, 2019; Olaoye *et al.*, 2020; Horta *et al.*, 2021). Numerous works have been published addressing the most varied types of microtrace and techniques/methodologies for extracting relevant information from these materials. Table 1 illustrates the most used techniques and the analysed materials.

Inductively coupled plasma (ICP) is a multi-element detection technique that uses an extremely hot plasma source to excite atoms, to the point where they emit photons of light of the characteristic and specific wavelength of a given element (Pye *et al.*, 2006; Bedassa *et al.*, 2019; Gaudin *et al.*, 2020). For inorganic samples, it is possible to associate the elements measured via ICP, based on previous sequential digestion and extractions, and establish their correspondence with the crystalline structure of inorganic compounds. This technique is widely applied and is considered highly accurate for use in forensic investigations. Despite being a destructive technique, research carried out with ICP has shown a high ability to discriminate samples from unknown sources. Some of them refer to the study of soil traces (Reidy *et al.*, 2013; Cheshire *et al.*, 2017; Madureira-Carvalho *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2019). Soil forensics uses extensive information about this matrix to test hypotheses and answer legal questions. The main difficulty often lies in determining different variables from a small amount of soil sample collected from the suspect, defined as microtrace (around milligrams). Melo *et al.* (2019) performed mineralogical analysis via X-ray diffraction (XRD) and chemical analysis via ICP-OES to evaluate a limited amount of soil traces (500 mg) adhered to a suspect vehicle (outside mirror and left front fender), involved in a homicide case. Based on the analyses carried out, particularly associating the chemical and mineralogical/structural constitution of the soil traces, the collected samples were compared with soils found in a place close to the victim body dump, on Estrada da Graciosa, Paraná, Brazil, allowing to conclude that the suspect vehicle was driven

de diferentes variáveis a partir de uma pequena quantidade de amostra de solo recolhida no suspeito, definida como microvestígios (em torno de miligramas). Melo *et al.* (2019) realizaram análises mineralógicas via difração de raios-X (DRX) e químicas via ICP-OES para avaliar uma quantidade limitada de vestígios de solo (500 mg) aderidas ao veículo de um suspeito (retrovisor externo e para-lama dianteiro esquerdo), envolvido num caso de homicídio. Com base nas análises realizadas, particularmente associando-se a constituição química e mineralógica/estrutural dos vestígios de solo, as amostras recolhidas foram comparadas com amostras encontradas num local próximo ao despejo do corpo da vítima, na Estrada da Graciosa, Paraná, Brasil, permitindo concluir que o veículo do suspeito circulou nas margens da cena do crime. Em trabalho similar com vestígios de solo com finalidades forenses, Young *et al.* (2015) utilizaram sequenciação de alto rendimento (HTS) para investigar a matriz orgânica do solo, com base na sua grande diversidade de microrganismos capazes de fornecer informações que permitem a discriminação forense de solos. Os resultados obtidos demonstraram a utilidade do ADN não bacteriano na discriminação de solos de acordo com seus locais de proveniência, principalmente quando o uso de HTS se associa ao uso de espectroscopia de infravermelho médio (MIR). Os resultados foram promissores pois indicaram distinções robustas quanto à variabilidade ambiental da matriz orgânica do solo, revelando-se uma técnica com alto potencial para análise do ADN do solo.

No estudo das impressões digitais, a sua datação pode adquirir grande importância, particularmente quando se considera a sua composição e outras características como o substrato de aderência, o dador, o envelhecimento da marca, entre outras. A tentativa de datar, de forma absoluta, as impressões digitais por cromatografia gasosa é uma técnica relativamente recente e ainda incipiente quanto ao seu desenvolvimento, neste sentido. Girod *et al.* (2016), efetuaram um estudo aprofundado dos parâmetros lipídicos presentes nas impressões digitais, considerando a exposição destes a distintos fatores ambientais. Na avaliação destes parâmetros, a pesquisa revelou uma modelagem do envelhecimento reprodutível, utilizando-se cromatografia gasosa como técnica analítica. Contudo, para aplicação em casos reais que necessitem de datação absoluta, os autores relatam que os modelos propostos ainda não são aplicáveis na prática, sendo necessários mais estudos sobre o impacto dos fatores de influência (em particular, as condições de armazenamento), para avaliar com precisão em que condições podem ser obtidas avaliações significativas. Ainda, a cromatografia gasosa apresenta utilidade para a caracterização de diesel degradado no meio ambiente, sendo capaz de fornecer informações relevantes na área dos crimes ambientais. A técnica pode auxiliar na determinação e na distinção das origens ou fontes de contaminação por derramamento de combustível, por exemplo. Na pesquisa desenvolvida por Bai *et al.* (2018), utilizaram-se variações da técnica analítica de cromatografia gasosa para identificação de compostos em combustíveis, sendo elas: cromatografia gasosa (GC) por espectroscopia ultravioleta a vácuo (VUV), por detecção de ionização de chama (FID) e por análise bidimensional associada à espectrometria de massas (MS). As abordagens novas para a técnica já consolidada, revelaram-se satisfatórias

along the edges of the crime scene. In similar work with soil traces for forensic purposes, Young *et al.* (2015) used high-throughput sequencing (HTS) to investigate the organic matrix of the soil, based on its large diversity of microorganisms capable of providing information that allows forensic discrimination of soils. Results obtained demonstrated the usefulness of non-bacterial DNA in the discrimination of soils according to their origin, mainly when the use of HTS is associated with the mid-infrared spectroscopy (MIR). These results were promising as they indicated robust distinctions regarding the environmental variability of the soil organic matrix, revealing a technique with high potential for soil DNA analysis.

In studies of fingerprints, dating can be crucial, particularly when considering their composition and other characteristics such as the adhesion substrate, the donor, the ageing of the mark, among others. In an absolute way, the attempt to date fingerprints by gas chromatography is a relatively recent technique and still incipient regarding its development. Girod *et al.* (2016) carried out an in-depth study of the lipid parameters present in fingerprints, considering their exposure to different environmental factors. Assessing these parameters, results revealed a reproducible modelling of ageing, using gas chromatography as an analytical technique. However, for application in real cases that require absolute dating, authors report that the proposed models are not yet applicable in practice, requiring further studies on the impact of influencing factors (particularly storage conditions), to assess precisely under what conditions meaningful evaluations can be obtained. Furthermore, gas chromatography is useful for the characterisation of diesel degraded in the environment, being able to provide relevant information in the area of environmental crimes. The technique can aid in determining and distinguishing the sources of contamination by fuel spillage, for example. In the research developed by Bai *et al.* (2018), variations of the analytical technique of gas chromatography were used to identify compounds in fuels, namely: gas chromatography (GC) by vacuum ultraviolet spectroscopy (VUV), by flame ionization detection (FID) and by analysis two-dimensional associated with mass spectrometry (MS). The new approaches for the technique, already consolidated, proved to be satisfactory in the evaluation of the composition of the studied material, allowing the discrimination of different samples of altered diesel.

The Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) technique is based on the analysis of samples through incident infrared radiation, where part of this radiation is absorbed by the sample and another part is transmitted. Widely used in Forensic Sciences, FTIR technique may be employed in the most varied types of traces found in crime scenes, enabling it to obtain useful results for samples of blood and body fluids, medicines, pigments, soil, fingerprints, microorganisms and others. For analysis with FTIR, variations of the technique can be applied, consisting of its association with chemical imaging or with attenuated total reflectance, for example. In a study developed by Dirwono *et al.* (2010), red stamp inks from Korea, China and Japan were assessed by FTIR micro spectroscopy with attenuated total reflectance (μ -FTIR-ATR). As main findings, authors reported the technique was efficient and accurate in discriminating stamp inks containing similar colours, and also in relation to different manufacturers. Similarly, Franquelo *et*

na avaliação da composição do material estudado, permitindo a discriminação de diferentes amostras de diesel alteradas.

A técnica de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) baseia-se na análise de amostras mediante a radiação infravermelha incidente, onde parte desta radiação é absorvida pela amostra e outra parte pode ser transmitida. De ampla utilização nas Ciências Forenses, a técnica de FTIR pode ser utilizada nos mais variados tipos de vestígios encontrados em cenas de crime, sendo capaz de gerar resultados expressivamente satisfatórios para amostras de sangue e fluidos corporais, medicamentos, pigmentos, solos, impressões digitais, microrganismos e outros. Para a análise com FTIR, podem-se utilizar variações da técnica que consistem na sua associação ao imageamento químico ou à refletância total atenuada, por exemplo. Num estudo desenvolvido por Dirwono *et al.* (2010), tintas de selo vermelho provenientes da Coreia, China e Japão foram avaliadas utilizando-se micro espectroscopia de FTIR com refletância total atenuada (μ -FTIR-ATR). Como principais achados, os autores relataram que a técnica foi eficiente e precisa na discriminação de tintas de selo contendo colorações semelhantes, e também em relação a diferentes fabricantes. Similarmente, Franquelo *et al.* (2009) realizaram um estudo para avaliar tintas pertencentes ao Patrimônio Cultural do Sul da Espanha, com base no uso de duas técnicas: μ -FTIR e μ -Raman. Os autores relataram que a caracterização por ambas as técnicas pode revelar-se difícil para determinados pigmentos. Este entrave pode ser minimizado com a aplicação de espectroscopia de raios-X por energia dispersiva (EDX), associada à microscopia eletrônica de varrimento (MEV), a fim de se obter uma caracterização robusta, que forneça dados qualitativos quanto à composição química e à morfologia do material analisado.

A técnica de μ -FTIR-ATR tem grande aplicação também na avaliação de impressões digitais recolhidas em cenas de crime (Antoine *et al.*, 2010). Esta pode oferecer informações fundamentais sobre a composição inicial das impressões e sobre a cinética de envelhecimento das mesmas, para fins de datação absoluta destes vestígios. No trabalho de Girod *et al.* (2015), a técnica de μ -FTIR apresentou resultados satisfatórios quanto à discriminação das impressões digitais de acordo com a faixa etária do dador, independentemente do substrato ou superfície de onde foram extraídas, sendo possível informar se as impressões digitais pertenciam a indivíduos jovens ou idosos, por exemplo. Num trabalho semelhante, González e Gomes (2021) utilizaram μ -FTIR para obtenção da estimativa temporal da deposição de impressões digitais em cenas de crime. Com base nos resultados desta pesquisa, os autores reportaram que as análises estatísticas discriminantes foram eficientes no agrupamento dos resultados obtidos de acordo com o sexo e a idade dos dadores e, também, em relação ao período de deposição das impressões digitais.

Adicionalmente, a microscopia infravermelha também apresenta grande potencial quando associada à fonte de luz síncrotron, sendo considerada uma técnica não destrutiva altamente útil na investigação da composição química de microvestígios, tais como as impressões digitais latentes. No trabalho de Fritz *et al.* (2013), verificou-se que esta técnica tem potencial de produzir interpretações precisas e confiáveis de marcas de dedos, independentemente da idade ou sexo do

al. (2009) carried out a study to evaluate paints belonging to the Cultural Heritage of Southern Spain, based on the use of two techniques: μ -FTIR and μ -Raman. Authors reported that application by both techniques may be difficult for certain pigments. This obstacle can be minimized with the application of energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX), associated with scanning electron microscopy (SEM), in order to obtain a robust characterisation, which provides qualitative data regarding the chemical composition and the morphology of the material.

Micro FTIR-ATR technique also has a large application in the evaluation of fingerprints collected at crime scenes (Antoine *et al.*, 2010). It can provide fundamental information on the initial composition of the prints and on their ageing kinetics, for the purposes of absolute dating of these traces. In the work by Girod *et al.* (2015), micro FTIR technique showed satisfactory results regarding the discrimination of fingerprints according to the donors' age group, regardless of the substrate or surface from which they were extracted, allowing to inform whether the fingerprints belonged to young or old individuals, for example. In a similar work, González and Gomes (2021) used micro FTIR to obtain a temporal estimative of fingerprint deposition at crime scenes. Based on the results, authors reported that discriminant statistical analyses were able to group data obtained according to the sex and age of the donors, and also in relation to the period of deposition of the fingerprints.

Additionally, infrared microscopy also has great potential when associated with the synchrotron light source, being considered a highly useful non-destructive technique in the investigation of the chemical composition of microtrace, such as latent fingerprints. In the work by Fritz *et al.* (2013), it was found that this technique has the potential to produce accurate and reliable interpretations of fingerprints, regardless of the age or gender of the donor. The use of the synchrotron light source, in particular, conferred greater sensitivity to the methodology used, although this accuracy may decrease as the fingermark ages.

Li (2014) used the dissolution-diffusion method to evaluate gel pen inks from questioned documents. The method allowed to determine the absolute age of the gel ink inputs under certain conditions, such as room temperature, based on the comparison of dissolution-diffusion rates. Additionally, it was verified that brands of gel inks, types of paper and thickness of the strokes had different effects on the estimation of writing dates. In a similar work, using a visible ultraviolet (UV-Vis) spectrophotometer, Sharma and Kumar (2017) performed the dating of questioned documents, based on the forensic study of ink samples, measuring their fading in relation to time. Results obtained revealed the potential of the technique to evidence distinctions between the expected and estimated dating of the material, demonstrating its sensitivity. Corroborating works that used inks as microtrace of forensic interest, Sun *et al.* (2017) used the method of liquid chromatography coupled to high resolution mass spectrometry (LC-HRMS) to evaluate compounds of carbon-based black gel inks. The developed study was able to provide a new method to discriminate carbon-based black gel ink entries and provide a new approach to study the absolute dating of entries of this type of material.

Based on the presentation and discussion of different

dador. O uso da fonte de luz síncrotron, em particular, conferiu uma maior sensibilidade à metodologia utilizada, embora esta precisão possa diminuir à medida que a marca do dedo envelhece.

Li (2014) utilizou o método de dissolução-difusão para avaliar tintas de caneta de gel de documentos questionados. O método permitiu determinar a idade absoluta das entradas de tinta de gel sob certas condições, tal como a temperatura ambiente, com base na comparação das taxas de dissolução-difusão. Ainda, o autor verificou que as marcas de tintas de gel, os tipos de papel e a espessura dos traços apresentaram efeitos variados na estimativa das datas de escrita. Num trabalho similar, mediante a utilização do espectrofotômetro de ultravioleta visível (UV-Vis), Sharma e Kumar (2017) realizaram a datação de documentos questionados, com base no estudo forense de amostras de tinta, medindo o seu desvanecimento em relação ao tempo. Os resultados obtidos revelaram o potencial da técnica em revelar diferenças entre a datação esperada e estimada do material, demonstrando a sua sensibilidade. Corroborando os trabalhos que utilizaram tintas como microvestígios de interesse forense, Sun *et al.* (2017) utilizaram o método de cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa de alta resolução (LC-HRMS) para avaliar compostos de tintas de gel preto à base de carbono. O estudo desenvolvido foi capaz de fornecer um novo método para discriminar entradas de tinta de gel preto à base de carbono e fornecer uma nova abordagem para estudar a datação absoluta das entradas deste tipo de material.

Com base na apresentação e discussão de distintas técnicas analíticas, pode-se observar que a obtenção de informações de microvestígios pode ser efetuada de distintas formas, desde a utilização de técnicas que visem a natureza orgânica do material (e.g., cromatografia gasosa e espectroscopia de infravermelho), como também de técnicas que objetivem a análise inorgânica do material (e.g., difração de raios-X). Adicionalmente, é importante considerar que materiais de natureza microscópica, como os microvestígios, não devem ser integralmente consumidos ou destruídos numa única análise, devendo os métodos analíticos ser sequencialmente efetuados de forma que as técnicas não-destrutivas sejam utilizadas preferencialmente e primariamente às técnicas destrutivas. Desta forma, pode-se obter a composição química do material e estabelecer relações com sua fase orgânica ou mesmo cristalina, avaliando-se os componentes particulares do material no seu estado sólido. Esta sequência de processamento dos microvestígios pode contribuir para a obtenção de um relatório pericial mais robusto e fundamentado, permitindo que o confronto de dados e as comparações estatísticas sejam feitas com maior segurança.

4. CONCLUSÕES

Este artigo procurou demonstrar um panorama global sobre a análise e utilização de microvestígios em contextos forenses, apresentando a sua definição, classificação quanto à sua origem, e distintas técnicas analíticas com potencial para obtenção de dados acerca destes materiais. Destacaram-se algumas das principais técnicas utilizadas na análise e processamento de microvestígios colhidos em cenas de crime. O presente trabalho evidenciou a diversidade e importância destes materiais, uma vez que a extração de informações dos

analytical techniques, it can be observed that obtaining microtrace information can be performed in different ways, from the use of techniques aimed at the organic nature of the material (eg., gas chromatography and infrared spectroscopy), as well as techniques that aim at the inorganic analysis of the material (eg, X-ray diffraction). Additionally, it is important to consider that materials of a microscopic nature, such as microtrace, should not be completely consumed or destroyed in a single analysis, and analytical methods must be carried out sequentially so that non-destructive techniques are used preferentially and primarily over destructive techniques. In this way, the chemical composition of the material can be obtained, enabling to establish relationships with its organic or even crystalline phase, evaluating the particular components of the material in its solid state. This microtrace processing sequence may contribute to present a more robust and reasoned expert report, allowing data comparison and statistical comparisons to be made with higher confidence.

4. CONCLUSIONS

This article presented a global panorama on the analysis and use of microtrace in forensic contexts, presenting its definition, classification as to its origin, and different analytical techniques with potential for obtaining data about these materials. Some of the main techniques used in the analysis and processing of microtrace collected from crime scenes were highlighted. The present work has shown the diversity and importance of these materials, since the extraction of information from them can give them great potential as material evidence in criminal investigations, depending on the collection methods applied and the techniques used in their laboratory examination.

INTEREST CONFLICTS

The authors declare that there are no conflicts of interest.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, S.T. and R.O.; methodology, S.T. and R.O.; software, S.T. and R.O.; validation, S.T., R.O., F.C., F.S.; formal analysis, S.T. and R.O.; research, S.T. and R.O.; resources, R.O, F.C., F.S.; data curation, S.T. and R.O.; writing - preparation of original draft, S.T. and R.O.; writing - proofreading and editing, S.T., R.O, F.C., F.S.; preview, S.T., R.O, F.C., F.S.; supervision, R.O. and F.C.; project coordination, R.O., F.C., F.S.; obtaining funding, R.O., F.C., F.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

mesmos pode-lhes conferir grande potencial como prova material em investigações criminais, dependendo dos métodos de recolha aplicados e das técnicas utilizadas no seu exame laboratorial.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

CONTRIBUIÇÕES AUTORAIS

Conceptualização, S.T. e R.O.; metodologia, S.T. e R.O.; software, S.T. e R.O.; validação, S.T., R.O., F.C., F.S.; análise formal, S.T. e R.O.; investigação, S.T. e R.O.; recursos, R.O., F.C., F.S.; curadoria de dados, S.T. e R.O.; redação - preparação do draft original, S.T. e R.O.; redação - revisão e edição, S.T., R.O., F.C., F.S.; visualização, S.T., R.O., F.C., F.S.; supervisão, R.O. e F.C.; coordenação do projeto, R.O., F.C., F.S.; obtenção de financiamento, R.O., F.C., F.S. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antoine KM, Mortazavi S, Miller AD, Miller LM. Chemical differences are observed in children's versus adults' latent fingerprints as a function of time. *J Forensic Sci* **55**:513-8, 2010.
- Bai L, Smuts J, Schenk J, Cochran J, Schug KA. Comparison of GC-VUV, GC-FID, and comprehensive two-dimensional GC-MS for the characterization of weathered and unweathered diesel fuels. *Fuel* **214**:521-7, 2018.
- Bedassa G, Getaneh W, Hailu B. Geochemical and mineralogical evidence for the supergene origin of kaolin deposits – Central Main Ethiopian Rift. *J African Earth Sci* **149**:143-153, 2019.
- Cheshire K, Morgan RM, Holmes J. The potential for geochemical discrimination of single- and mixed-source soil samples from close proximity urban parkland locations. *Aust J Forensic Sci* **49**:161-174, 2017.
- Coletti F, Romani M, Ceres G, Zammit U, Guidi MC. Evaluation of microscopy techniques and ATR-FTIR spectroscopy on textile fibers from the Vesuvian area: A pilot study on degradation processes that prevent the characterization of bast fibers. *J Archaeol Sci Reports* **36**:102-794, 2021.
- Dawson LA, Hillier S. Measurement of soil characteristics for forensic applications. *Surf Interface Anal* **42**:363-77, 2010.
- Dawson LA, Macdonald LM, Ritz K. Plant wax compounds and soil microbial DNA profiles to ascertain urban land use type. *Geol Soc London, Spec Publ* **65**:492-2018, 2019.
- Dirwono W, Park JS, Agustin-Camacho MR, Kim J, Park HM, Lee Y, Lee KB. Application of micro-attenuated total reflectance FTIR spectroscopy in the forensic study of questioned documents involving red seal inks. *Forensic Sci Int* **199**:6-8, 2010.
- Dmitruk W, Brożek-Mucha Z. 6. Forensic Analysis of Microtraces. *Inorg Trace Anal* **55**:276-301, 2017.
- Doty KC, Muro CK, Lednev IK. Predicting the time of the crime: Bloodstain aging estimation for up to two years. *Forensic Chem* **5**:1-7, 2017.
- Flanagan G, Andrianova AA, Casey J, Hellrung E, Diep BA, Seames WS, Kubátová A. Simultaneous high-temperature gas chromatography with flame ionization and mass spectrometric analysis of monocarboxylic acids and acylglycerols in biofuels and biofuel intermediate products. *J Chromatogr A* **1584**:165-78, 2019.
- Franquelo ML, Duran A, Herrera LK, Jimenez de Haro MC, Perez-Rodriguez JL. Comparison between micro-Raman and micro-FTIR spectroscopy techniques for the characterization of pigments from Southern Spain Cultural Heritage. *J Mol Struct* **924-926**:404-12, 2009.
- Fritz P, van Bronswijk W, Lepkova K, Lewis SW, Lim KF, Martin DE, Puskar L. Infrared microscopy studies of the chemical composition of

- latent fingerprint residues. *Microchem J* **111**:40-6, 2013.
- Gaudin A, Ansan V, Lorand JP, Pont S. Genesis of a florencite-bearing kaolin deposit on ordovician schists at Saint-Aubin-des-Châteaux, Armorican Massif, France. *Ore Geol Ver* **120**:103-445, 2020.
- Girod A, Spyrtou A, Holmes D, Weyermann C. Aging of target lipid parameters in fingerprint residue using GC/MS: Effects of influence factors and perspectives for dating purposes. *Sci Justice* **56**:165-80, 2016.
- Girod A, Xiao L, Reedy B, Roux C, Weyermann C. Fingerprint initial composition and aging using Fourier transform infrared microscopy (μ -FTIR). *Forensic Sci Int* **254**:185-96, 2015.
- González M, Gomes ADA. Fingerprint Analysis by Fourier Transform Infrared Microscopy Using Chemometric Tools. *Braz Journal Anal Chem* **8**:141-54, 2021.
- Harvey CC, Merino E. Hydrochemical factors influencing the crystallinity and composition of kaolins and other silicates, revisited. *Appl Clay Sci* **131**:71-3, 2016.
- Horta A, Azevedo L, Neves J, Soares A, Pozza L. Integrating portable X-ray fluorescence (pXRF) measurement uncertainty for accurate soil contamination mapping. *Geoderma* **382**:114-712, 2022.
- Jantzi SC, Almirall JR. Elemental analysis of soils using laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) and laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) with multivariate discrimination: Tape mounting as an alternative to pellets for small forensic trans. *Appl Spectrosc* **68**:963-74, 2015.
- Kadir S, Ateş H, Erkoyun H, Kùlah T, Esenli F. Genesis of alunite-bearing kaolin deposit in Mudamköy member of the Miocene Göbel Formation, Mustafakemalpaşa (Bursa), Turkey. *Appl Clay Sci* **58**:221-235, 2022.
- Khandasammy SR, Fikiet MA, Mistek E, Ahmed Y, Halámková L, Bueno J, Lednev IK. Bloodstains, paintings, and drugs: Raman spectroscopy applications in forensic science. *Forensic Chem* **8**:111-33, 2018.
- Kim HR, Kim KH, Yu S, Moniruzzaman M, Hwang S II, Lee GT, Yun ST. Better assessment of the distribution of As and Pb in soils in a former smelting area, using ordinary co-kriging and sequential Gaussian co-simulation of portable X-ray fluorescence (PXRF) and ICP-AES data. *Geoderma* **341**:26-38, 2019.
- Koenig A, Magnolon S, Weyermann C. A comparative study of ballpoint ink ageing parameters using GC/MS. *Forensic Sci Int* **252**:93-106, 2015.
- Li B. Dating of black gel pen ink using the dissolution-diffusion method. *Forensic Sci Int* **234**:126-31, 2014.
- Madureira-Carvalho Á, Ribeiro H, Newman G, J. Brewer M, Guedes A, Abreu I, Noronha F, Dawson L. Geochemical analysis of sediment samples for forensic purposes: characterisation of two river beaches from the Douro River, Portugal. *Aust J Forensic Sci* **52**:222-234, 2018.
- Matsushita R, Watanabe S, Iwai T, Nakanishi T, Takatsu M, Honda S, Funaki K, Ishikawa T, Seto Y. Forensic discrimination of polyester fibers using gel permeation chromatography. *Forensic Chem* **30**:100-428, 2022.
- Melo VF, Testoni SA, Dawson L, de Lara AG, da Silva Salvador F. Can analysis of a small clod of soil help to solve a murder case? *Sci Justice* **59**:667-77, 2019.
- Mohamed ES, Saleh AM, Belal AB, Gad A. Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties. *Egypt J Remote Sens Sp Sci* **54**:512-530, 2017.
- Morgan RM, Wiltshire P, Parker A, Bull PA. The role of forensic geoscience in wildlife crime detection. *Forensic Sci Int* **162**:152-62, 2006.
- Murray KR, Fitzpatrick RW, Bottrill R, Kobus H. Patterns produced when soil is transferred to bras by placing and dragging actions : The application of digital photography and image processing to support visible observations. *Forensic Sci Int* **276**:24-40, 2017.
- Olaoye RA, Afolayan OD, Adeyemi KA, Ajisope LO, Adekunle OS. Adsorption of selected metals from cassava processing wastewater using cow-bone ash. *Sci African* **10**:41-53, 2020.
- Ortiz-Herrero L, Blanco ME, García-Ruiz C, Bartolomé L. Direct and indirect approaches based on paper analysis by Py-GC/MS for

- estimating the age of documents. *J Anal Appl Pyrolysis* **131**:9-16, 2018.
- Pye K, Blott SJ, Wray DS. Elemental analysis of soil samples for forensic purposes by inductively coupled plasma spectrometry - precision considerations. *Forensic Sci Int* **160**:178-92, 2006.
- Reidy L, Bu K, Godfrey M, Cizdziel J V. Elemental fingerprinting of soils using ICP-MS and multivariate statistics: A study for and by forensic chemistry majors. *Forensic Sci Int* **55**:233-241, 2013.
- Ricci C, Phiriyavityopas P, Curum N, Chan KLA, Jickells S, Kazarian SG. Chemical imaging of latent fingerprint residues. *Appl Spectrosc* **61**:514-22, 2007.
- Santos PM, Cardoso MAG, Khouri S, de Paula Júnior AR, Uehara M, Sakane KK. Utilização da microespectroscopia infravermelha (FT-IR) para teste de algoritmos estatísticos na diferenciação dos micro-organismos *Candida albicans*, *Candida dubliniensis* e *Candida parapsilosis*. *Rev Bras Eng Biomed* **28**:398-409, 2012.
- Sharma V, Kumar R. Dating of ballpoint pen writing inks via spectroscopic and multiple linear regression analysis: A novel approach. *Microchem J* **134**:104-13, 2017.
- Sun Q, Luo Y, Xiang P, Yang X, Shen M. Analysis of PEG oligomers in black gel inks: Discrimination and ink dating. *Forensic Sci Int* **277**:1-9, 2017.
- Testoni SA, Melo VF, Anne Dawson L, Malakoski J, Cunico E, Junqueira Neto JA. The Use of a Sequential Extraction Technique to Characterize Soil Trace Evidence Recovered from a Spade in a Murder Case in Brazil. *J Forensic Sci* **65**:1921-1934, 2020.
- Werner D, Burnier C, Yu Y, Marolf AR, Wang Y, Massonnet G. Identification of some factors influencing soil transfer on shoes. *Sci Justice* **59**:643-53, 2019.
- Ziba-Palus J, Michalska A, Weselucha-Birczyńska A. Characterisation of paint samples by infrared and Raman spectroscopy for criminalistic purposes. *J Mol Struct* **993**:134-41, 2011.
- Williams DK, Brown CJ, Bruker J. Characterization of children's latent fingerprint residues by infrared microspectroscopy: Forensic implications. *Forensic Sci Int* **206**:161-5, 2011.
- Young JM, Weyrich LS, Breen J, Macdonald LM, Cooper A. Predicting the origin of soil evidence: High throughput eukaryote sequencing and MIR spectroscopy applied to a crime scene scenario. *Forensic Sci Int* **251**:22-31, 2015.