

## Procedimento Operacional Padrão (POP) para perícia de locais de crime contendo vestígios de solo

S.A. Testoni <sup>a,\*</sup>, V. F. Melo <sup>b</sup>, F. A. S. Salvador <sup>c</sup>, P. A. Kunii <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), Brasil

<sup>b</sup> Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), Brasil

<sup>c</sup> Setor Técnico-Científico, Departamento de Polícia Federal, Curitiba (PR), Brasil

\*Endereço de e-mail para correspondência: [testonisamara@gmail.com](mailto:testonisamara@gmail.com). Tel.: +55-42-99946-8366.

Recebido em 07/12/2023; Revisado em 23/01/2024; Aceito em 26/01/2024

### Resumo

O principal objetivo nas análises de solos forenses é associar o solo coletado em um local de crime com amostras de vestígio coletadas em sapatos, roupas, ferramentas, veículos, e outros objetos do suspeito. As partículas coloidais do solo (principalmente argila) apresentam alta área superficial específica e cargas elétricas de superfície, o que lhes confere grande capacidade de adesão no estado úmido ou molhado a outras superfícies. Neste âmbito, orientar o profissional de perícia na coleta de vestígios e microvestígios de solo em locais de crime para futura realização de análises químicas, físicas e mineralógicas, bem como destinação de alíquotas para exames entomológicos, palinológicos e de metagenômica, é fundamental para que a associação mencionada se estabeleça. O procedimento de coleta de vestígios e microvestígios de solo é uma fase de primordial importância na cadeia de custódia, que deve ser mantida e documentada durante toda a investigação, chegando íntegra até o fim do processo criminal. Consequentemente, todo o processo de coleta que será posteriormente descrito, bem como a armazenagem segura das amostras, a caracterização do solo e os métodos analíticos, requer procedimentos rigorosos, que têm como finalidade tornar o material coletado um elemento probatório e finalmente, assumir validade indubitável no tribunal de justiça.

*Palavras-Chave:* Ciências Forenses; Ciência do Solo; Microvestígios; Transferência de material; Argila.

### Abstract

The main objective in forensic soil analysis is to associate soil collected at a crime scene with trace samples collected from shoes, clothing, tools, vehicles, and other objects of the suspect. Colloidal soil particles (mainly clay) have a high specific surface area and surface electrical charges, which gives them large ability to adhere to other surfaces in a humid or wet state. In this context, guiding forensic professionals in the collection of traces and microtraces of soil at crime scenes for future chemical, physical and mineralogical analyses, as well as allocation of aliquots for entomological, palynological and metagenomic examinations, is essential for the mentioned association is established. The procedure for collecting soil traces and microtraces is a phase of primary importance in the chain of custody, which must be maintained and documented throughout the investigation, remaining intact until the end of the criminal process. Consequently, the entire collection process that will be described later, as well as the safe storage of samples, soil characterization and analytical methods, requires rigorous procedures, which aim to make the collected material a probative element and, finally, assume undoubted validity in the court of law.

*Keywords:* Forensic Sciences; Soil Science; Microtraces; Material transfer; Clay.

## 1. INTRODUÇÃO

A padronização dos procedimentos de coleta de vestígios e microvestígios de solo em locais de crime para fim de análises das ciências forenses do solo tem grande importância no âmbito criminal e judicial [1-3]. Para que

esta padronização seja efetiva, é de fundamental importância considerar os seguintes aspectos relativos aos procedimentos de coleta: em uma cena de crime, as amostras de solo podem ser classificadas por duas formas, amostras questionadas e amostras conhecidas [4-7].

As amostras questionadas têm origem desconhecida ou contestada e frequentemente pertencem à vítima ou ao suspeito. As amostras de origem conhecida, por sua vez, podem assumir três tipos, conforme sua associação com o material sob investigação: i) amostra de solo controle – geralmente provém de locais de cena do crime; (ii) amostra de solo referência – pode abranger as amostras mantidas em museus ou arquivos destinados a amostras de solo (soloteca) e material geológico, amostras coletadas em locais ligados à vítima, amostras oriundas de locais ou áreas encontrados em mapas de solos ou geológicos, que podem ser usados para ajudar a fazer comparações entre solos; e (iii) amostras de solo álibi – geralmente provenientes de locais sugeridos pelo suspeito ou ligadas a um suspeito [8-13].

Para que os resultados esperados sejam alcançados, é necessário considerar que as comparações entre as amostras questionadas com uma ou mais amostras de origem conhecida são normalmente baseadas em várias propriedades pedológicas, físicas, mineralógicas, biológicas e químicas, que visam avaliar a significância das semelhanças e diferenças observadas para se chegar a uma conclusão sobre uma possível associação [14-17].

A comparação avaliativa do solo através de vestígios de evidência em comparação com outro, ou em

comparação com um local conhecido, pode servir como evidência nos tribunais [18-22].

## 2. MATERIAIS UTILIZADOS NA COLETA DE VESTÍGIOS DE SOLO EM LOCAIS DE CRIME

A seguir, serão apresentados os materiais rotineiramente utilizados em perícias de locais de crime contendo vestígios de solo.

### 2.1. Identificação e registro do local do crime

- Fita para delimitação do local do crime
- Canetas esferográficas
- Formulário para rotulação da cena, o qual necessita apresentar espaço para esquematizar a cena de coleta de amostras de solo, apresentando detalhes da área, como utilização atual do solo (agrícola, urbana, florestal etc), cobertura vegetal, cor do solo (importante identificar áreas com cores diferentes de solo), presença de lençol freático aflorante, entre outras observações importantes (um exemplo de formulário pode ser observado na **Figura 1**). Materiais indicados conforme bibliografia pertinente [11-12,15-17].

 MINISTÉRIO DA JUSTIÇA DEPARTAMENTO DE POLÍCIA FEDERAL DIRETORIA TÉCNICO-CIENTÍFICA		
FSOL - Formulário de Coleta de Amostras de solo Nº ____/20__ - SETEC/PR		
DADOS GERAIS		
Perito Criminal Federal responsável pela coleta:		Matrícula:
Data:	Horário de Início:	Horário de Término:
Tipo de crime apurado:	Autoridade solicitante:	IPL/Procedimento:
LOCAL DE CRIME		
Endereço:		
Local do crime:		
Tempo estimado desde o crime:		
IDENTIFICAÇÃO DA(S) VITIMA(S) (quando aplicável)		
Nome:	Documento de identificação (nº/tipo):	
CROQUI (destacando a posição dos vestígios)		
Croqui:		

**Figura 1.** Modelo de formulário utilizado para rotulação de local de crime contendo vestígios de solo.

- Câmera fotográfica para registros próximos (por exemplo, de características específicas e gerais) e registros em perspectiva, obtidos a uma certa distância, para fornecer informações sobre o contexto ambiental. Recomenda-se que as

fotografias sejam rotuladas com o nome do caso, a coleta de pessoas, a data e o horário. As fotos necessitam estar em sintonia com o desenho/esquema da cena da cena de coleta das amostras de solo.

- Aparelho de GPS

- Escalas para fotos
- Modernamente, *scanners* 3D

## 2.2. Coleta e armazenamento das amostras

- Canetas de tinta permanente
- Luvas de látex descartáveis e limpas. Não utilizar pó de talco nas luvas pois há risco de contaminação do solo junto à camada de silicato presente no talco
- Etiquetas para identificação dos locais selecionados para coleta de vestígios e etiquetas para identificação de registro inequívoco do vestígio, contendo data, hora, local, nome do responsável pela coleta, que podem ser colocadas nos recipientes contendo os vestígios de solo coletados
- Espátulas de aço inoxidável ou de plástico (preferencialmente)
- Pinceis de diferentes tamanhos (um para cada de tipo de suporte)
- Pinças pequenas e grandes
- Facas
- Escovas pequena e grandes
- Colher
- Embalagens plásticas (potes universais) lacráveis com etiquetas de identificação (Figura 2)
- *Swabs* estéreis embalados individualmente, secos e umedecidos com água destilada, ambos para coleta em superfícies (pele, tecido, sola de sapato, ferramentas etc) contendo microvestígios de solo (um para cada suporte)
- Fitas adesivas
- Aspirador com filtros descartáveis

Materiais indicados conforme bibliografia pertinente [11-12,15-17].

## 3. PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE VESTÍGIOS DE SOLO EM LOCAIS DE CRIME

### 3.1. Ações preliminares

A obtenção de informações gerais antes da amostragem do solo será benéfica para situar a coleta em um contexto mais amplo e integrado. Estas informações, quando passíveis de obtenção, incluem características do caso, levantamento do solo da área, informação de levantamento geológico, mapas apropriados (topográficos e rodoviários) e a localização exata do local de coleta, incluindo coordenadas geográficas e mapa esquemático de rota com os acessos para se chegar ao local de coleta [12,15-16].

Como ações preliminares à coleta, sugerem-se as seguintes etapas:

1. Conferência de todos os materiais necessários à coleta e garantia de sua validade e manutenção
2. Avaliar as condições climáticas (caso chova, os vestígios de solo no local do crime podem ser removidos ou alterados) para cada estratégia de coleta
3. Proceder de modo a evitar a contaminação com outros materiais (sejam eles naturais ou antrópicos), bem como com outros tipos de solo
4. A coleta e a embalagem de suportes, objetos e amostras com solo devem ser feitas de modo a não prejudicar outras análises, tais como papiloscópicas, balísticas ou de genética forense.
5. Projéteis que contenham resíduos de solo podem ser coletados sem a utilização de pinça, de forma a preservar suas marcas individualizadas. Nesse caso, pincéis são mais apropriados para a coleta.

### 3.2. Coleta de vestígios de solo

Esta seção apresenta resumidamente os procedimentos gerais a serem efetuados para que as amostras de solo coletadas se tornem apropriadas para os objetivos específicos da investigação forense do solo. Posteriormente, serão apresentados os esquemas de coleta em função da natureza de geração dos vestígios de solo [12,15-16].

O processo de coleta e armazenamento das amostras de solo necessita fundamentalmente obedecer alguns cuidados, para que todo o material coletado possa ser aproveitado posteriormente. Estes cuidados envolvem o uso constante de ferramentas limpas e não porosas, como ferramentas feitas de aço inoxidável (para amostras de solos mais duros) ou ferramentas plásticas (para amostras de solo mais macios). Preferencialmente, as amostras de solo podem ser armazenadas em recipiente rígido (Figura 2) em vez de sacos de polietileno ou sacos de papel, pois a embalagem necessita manter os agregados do solo intactos, para exames laboratoriais posteriores. É ideal e de grande importância que grandes torrões de solo sejam mantidos em um único fragmento, e se possível, sejam armazenados em pote de tamanho adequado ou em plástico bolha devidamente lacrado, para que seja possível proceder à sua individualização posteriormente (de acordo com o tipo de fração – argila, silte ou areia, e de acordo com as cores que o solo apresenta).



**Figura 2.** Foto de recipientes de plástico universal para acondicionamento de amostras de solo.

Quando vestígios de solo forem encontrados, sugere-se a seguinte coleta: i) com um *swab* seco ou úmido (dependendo da superfície de coleta) - indicado para coleta de microvestígio de solo, como pequenas quantidades de solo localizadas em orifícios nasais e auriculares, ou ainda, sob as unhas de vítimas; ii) pincel, espátula ou escova pequena - para coleta onde os vestígios estejam depositados em maiores quantidades (acima de 0,05 g), como em solados de sapato e rodados de veículos. Um detalhe crucial no caso de superfícies que geram maiores quantidades de vestígios de solos é nunca misturar amostras de solos de cores diferentes, pois materiais com diferentes colorações geralmente provêm de distintos locais. Caso tenha aderido outro tipo material ao solo (fragmento vegetal, pedaço de vidro, fio de cabelo, etc.), identificar e colocar esses resíduos em frascos separados. Na sala de recepção e armazenagem das amostras de solo, os frascos devem ser abertos e as amostras deixadas para secar ao ar, ou ainda, em estufa sob temperatura máxima de 40 °C. A sala de secagem necessita ser fechada e sem possibilidade de correntes de vento, para evitar a contaminação das amostras. Após secagem, os frascos podem ser fechados e selados com fita de prova serrilhada indicadora de violação.

### 3.2.1. Vestígios de solo puro

Na coleta de vestígios de solo puro, inicialmente realiza-se a identificação dos pontos de coleta, que podem ser rodagens de veículos, tapetes internos de veículos, ferramentas, roupas, calçados e outros. Posteriormente, avaliar marcas deixadas por rodagens de veículos, bem como por pegadas de pessoas e animais. Amostras de solo contidas debaixo de um veículo precisam ser coletadas, bem como da frente e traseira do veículo coletadas separadamente [12,15-16].

É de suma importância atentar ao exame de outras áreas, tais como arcos de rodas, rodas interiores, poços de para-lamas e outras áreas de captação na parte externa inferior do veículo, para coleta de possíveis amostras de

solo. Documentar a coleta das diferentes localizações das amostras. Ainda, é preciso considerar amostras dos filmes de pó dos veículos, que consiste em uma área de aproximadamente 10 a 20 cm, localizada acima do fundo exterior das portas do veículo, onde o solo é lançado para cima do veículo a partir dos pneus. Este filme de pó pode ser amostrado com o auxílio de um *swab* ou escova, pincel ou espátula, conforme a quantidade de vestígio (ver orientações anteriores).

### 3.2.2. Vestígios de solo associado

Vestígios de solo associado são: fluidos biológicos ou minerais, tais como sêmen, sangue, urina e outros tipos de produtos químicos, como gasolina, álcool, óleos, que podem estar aderidos nas amostras de solo. Sua classificação e análises dependem do contexto ambiental e dos fins criminalísticos a que se objetivam, pois, exames de DNA, ópticos ou físico-químicos (espectroscopia, MEV, absorção atômica, outros) podem ser necessários e concomitantes [12,15-16].

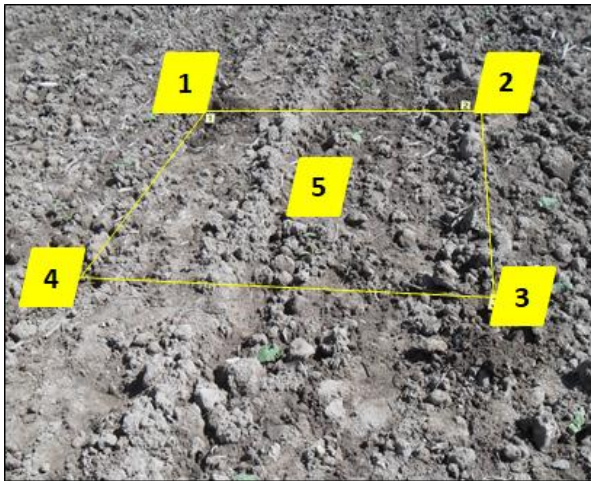
Havendo condições apropriadas, após uma possível remoção do material aderente, os vestígios de solo associados deverão ser secos à temperatura ambiente e ao abrigo da luz solar, em condições que evitem contaminações, conforme descrito anteriormente.

Vestígios de solo associados que não podem ser inicialmente secos para preservação do material biológico associado, poderão ser congelados. Quando as condições permitirem, o material associado necessita ser descongelado (pode-se utilizar o processo de liofilização) e após sua separação, o solo requer secagem à temperatura ambiente.

### 3.3. Procedimento para coleta de amostras em que a vítima ou objeto de delito foram encontrados em área de afloramento de solo

Inicialmente, coletar amostra de solo na vítima ou no objeto do delito (por exemplo, cofre descartado após arrombamento). Subsequentemente, realizar uma grade de amostragem no local, a partir do ponto central da ocorrência criminal (vítima ou objeto), com coleta padronizada em espaços regulares e em mesma quantidade de amostra (Figura 3). Nos pontos do entorno (4 a 10 pontos, dependendo da gravidade do crime) deve-se coletar cerca de 10 g de amostra de solo da camada superficial (0 a 10 cm). Se os pontos mais próximos ao centro do delito tiverem cobertos por vegetação (situação que não produz vestígios de solos no suspeito), procurar pontos mais distantes, de preferência no possível caminhar do suspeito, evento onde o solo aflora para coleta das amostras. Após a coleta, deve-se armazenar todas as amostras em frascos separados [12,15-16].





**Figura 3.** Esquema de coleta de amostras regulares (pontos de 1 a 4) em volta do ponto central do delito (ponto 5).

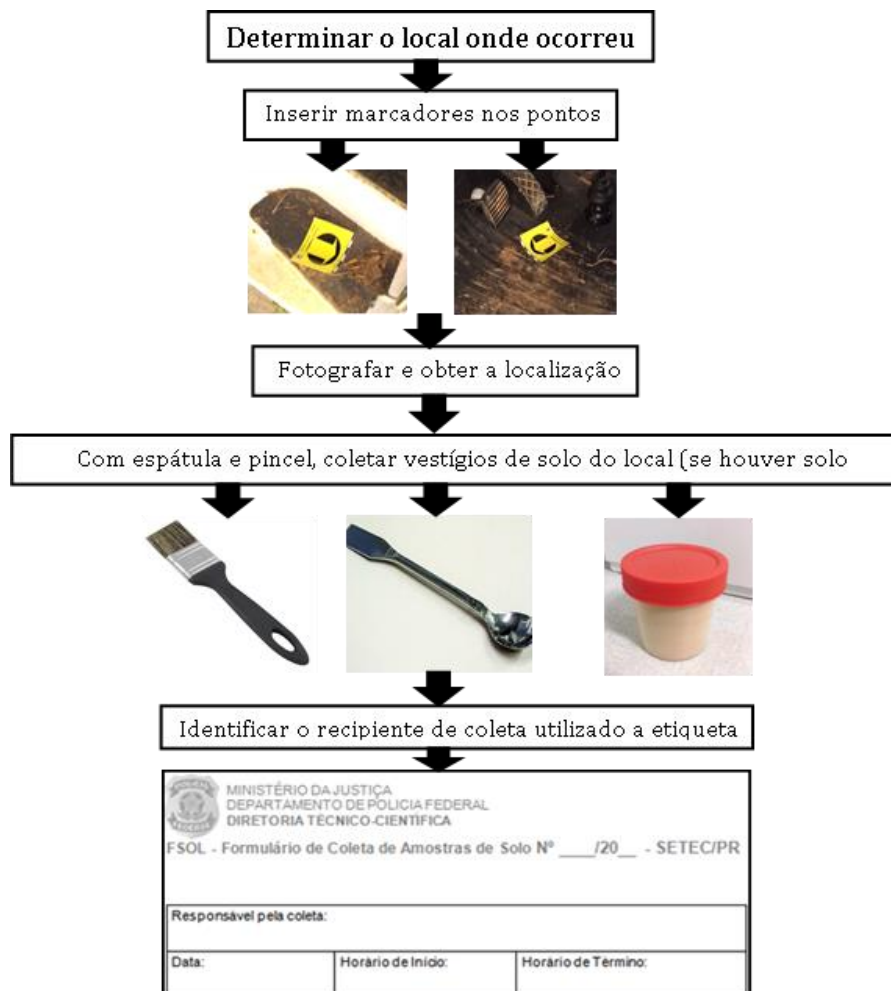
É altamente recomendável realizar a coleta de amostras de solo em diferentes bairros/áreas vizinhas do local do delito (2 a 6 áreas vizinhas, dependendo da gravidade do crime), para que se possa estabelecer comparações futuras e uma eventual defesa de álibi. Na área escolhida, retirar a vegetação (se presente) e coletar cerca de 10 g de amostra na profundidade de 0 a 10 cm.

Coletar quatro amostras (repetições) distantes 1,5 m entre si e uma amostra central no quadrante de cada área. Acondicionar as amostras repetições em frascos separados e devidamente lacrados e identificados.

Uma síntese dos procedimentos e instrumentos utilizados na perícia de locais de crime contendo microvestígios e vestígios de solo é apresentada na Figura a seguir (Figura 4).

**3.4. Procedimento para coleta de amostras em pontos suspeitos do crime: solados de calçados, rodados de veículos, interior e exterior de veículos, dentre outros**

Nesta situação, será utilizado o solado de um calçado como exemplo (situação válida para as outras superfícies de aderência). Conforme comentado previamente, não é recomendado misturar amostras de solo com cores distintas. Se em um sapato tiver solo de cores escura, vermelha e amarela em diferentes posições do solado, coletar três amostras-vestígios em diferentes recipientes.



**Figura 4.** Síntese das etapas primordiais na coleta de solos em locais de crime.

Caso a amostra de um mesmo local do sapato apresente mais de uma cor (sobreposição de amostras diferentes), é recomendado coletar o conjunto da amostra em um único recipiente, tomando-se o cuidado de não desagregar a amostra. No laboratório, após secagem do material, o analista irá separar as amostras sobrepostas por classe de cor e frações minerais e orgânicas predominantes. Caso a quantidade de amostra de solo seja muito reduzida ( $< 0,05$  g), pode-se utilizar o *swab* seco ou úmido para coleta. Na situação onde há grande quantidade de resíduo, mesmo onde a cor das amostras de solo seja similar ao longo do solado, coletar pelo menos quatro repetições (frascos separados) (Figura 5).



**Figura 5.** Demonstração de coleta de quatro repetições de vestígios de solo (círculos em vermelho) em superfície onde ocorreu intensa transferência e aderência de solo, favorecidas pelas ranhuras do calçado.

### 3.3. Procedimento para coleta de amostras em que a vítima ou objeto de delito foram encontrados em fundo de lagos, rios e lagoas

Nessa situação particular, o excesso de água torna o solo do fundo com coloração acinzentada ou esbranquiçada (solos anóxicos) (Figura 6). Portanto, pode-se proceder conforme segue: i) coletar amostra do fundo da água, a partir do ponto central da ocorrência criminal (vítima ou objeto). Caso as amostras a serem coletadas estiverem a grande profundidade, solicitar a ajuda de mergulhador. Coletar várias amostras (6 a 10, dependendo da gravidade do crime) no entorno do centro do delito. Coletar também amostras regulares no caminhar do centro do delito até a margem da lagoa/lago. Após, procede-se ao acondicionamento das amostras em frascos separados; ii) à coleta amostras de solo na margem (fora da lâmina de água). Para esta situação, também deve-se seguir o padrão de coleta descrito no quadrante anteriormente: cerca de 10 g de solo retirados da camada de 0 a 10 cm [12,15-16].

A fim de sintetizar as informações apresentadas até o momento, disponibilizamos a figura 7, que contém um resumo de situações de coleta de solo em locais de crime e respectivas correlações entre vítima, evidência, cena do crime e suspeito.



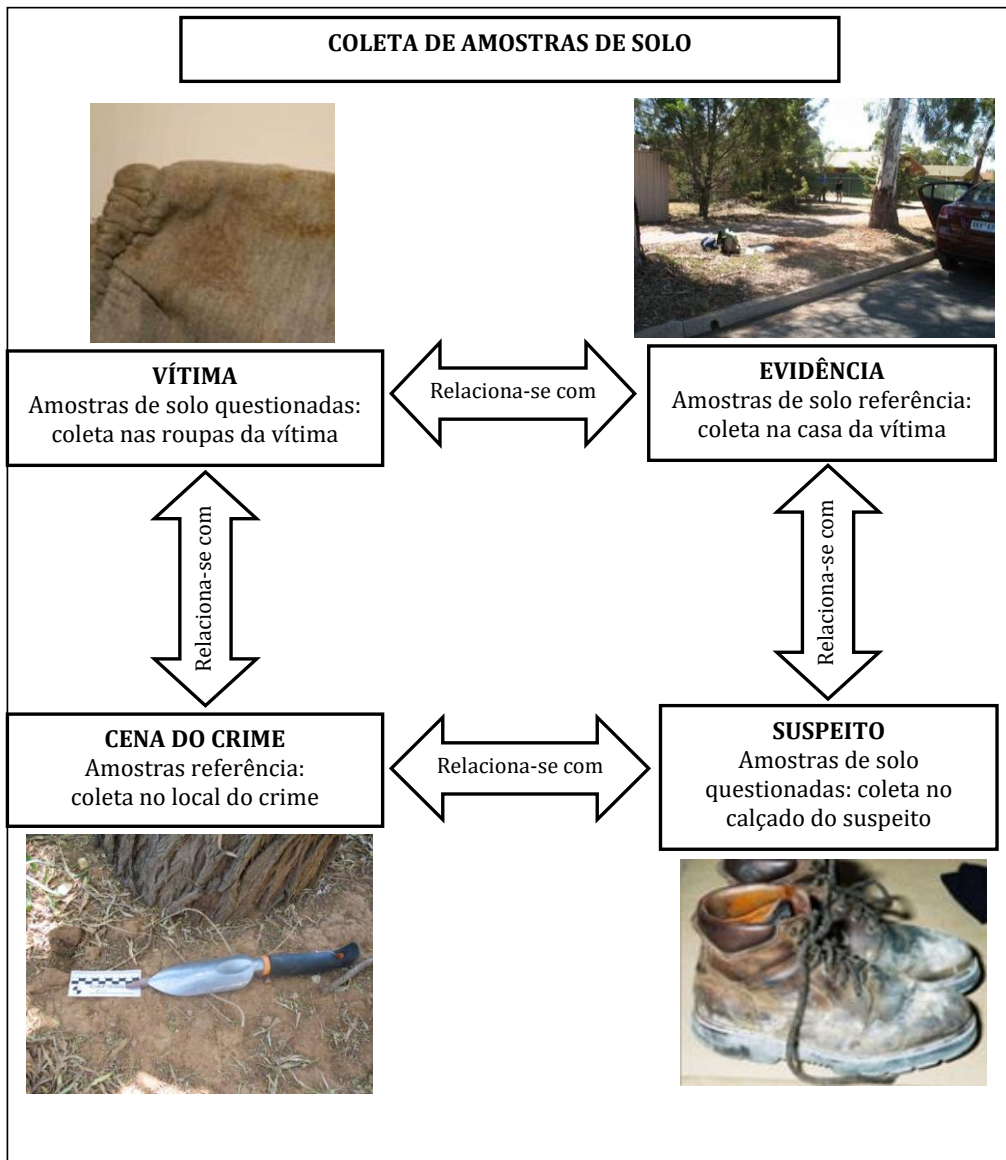
**Figura 6.** Operação policial às margens de uma represa (solos anóxicos) onde foi encontrada uma vítima.

## 4. PONTOS CRÍTICOS

Proceder à coleta dos vestígios de solo logo após a ocorrência do crime/evento, pois os eventos climáticos, e outros fatores, podem alterar as verdadeiras características do material, além de misturar materiais advindos de diferentes locais de origem. Identificar previamente os frascos onde serão armazenados os vestígios, pois, à primeira vista, os vestígios possuem muita semelhança entre si em termos de aspectos visuais como cor e frações predominantes. Diferentemente dos materiais biológicos, as amostras de solo têm normalmente pouco potencial infectante. Entretanto, por ser na maioria das vezes aderido com substâncias desconhecidas, *a priori*, recomenda-se o emprego de Equipamentos de Proteção Individual - EPIs adequados ao manuseio desse material. Espátulas e objetos semelhantes usados na coleta não precisam ser necessariamente descartados. Recomenda-se a lavagem e o acondicionamento adequado deles. Pincéis, *swabs* e objetos assemelhados não devem ser reutilizados.

## 5. CONCLUSÕES

Este documento visa orientar e nortear a perícia no trabalho de coleta e armazenamento de amostra de solos coletados em locais de crime. Não se trata, portanto, de um documento final nesta abordagem, mas sim, em constante atualização. Novas situações envolvendo solos no contexto criminal poderão surgir, sendo recomendado proceder à atualização deste POP.



**Figura 7.** Síntese de situações de coleta de solo em locais de crime e respectivas correlações entre vítima, evidência, cena do crime e suspeito.

## AGRADECIMENTOS

A todos os peritos, professores e pesquisadores que direta ou indiretamente colaboraram na elaboração deste Procedimento Operacional Padrão para coleta de solos em locais de crime, muito obrigado. Esperamos que esta publicação alcance a totalidade das unidades de Segurança Pública brasileira, e possa fornecer subsídio suficiente para perícia de locais de crime contendo microvestígios e vestígios de solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Werner, D. *et al.* Identification of some factors influencing soil transfer on shoes. *Sci. Justice* **59**, 643–653 (2019).
- [2] Weyermann, C. & Ribaux, O. Situating forensic traces in time. *Sci. Justice* **52**, 68–75 (2012).
- [3] Habtom, H. *et al.* Applying microbial biogeography in soil forensics. *Forensic Sci. Int. Genet.* **38**, 195–203 (2019).
- [4] Fitzpatrick, R. W. *Encyclopedia of Forensic Sciences. Encyclopedia of Forensic Sciences* (Elsevier, 2013). doi:10.1016/B978-0-12-382165-2.00113-6.
- [5] Pirrie, D. Testing the efficiency of soil recovery from clothing for analysis by SEM-EDS. *Forensic Sci. Int.* **289**, 83–91 (2018).
- [6] Testoni, S. A., Prandel, L. V., Melo, V. F., Dawson, L. A. & da Silva Salvador, F. A. Conjunctive use of synchrotron X-ray diffraction and Rietveld refinement in Fe-oxide clays for forensic applications. *J. Forensic Sci.* **67**, 2020–2031 (2022).
- [7] Yogi, T. A. J., Penrod, M., Holt, M. & Buzzini, P. The relationship between cross-sectional shapes and FTIR profiles in synthetic wig fibers and their discriminating abilities — An evidential value perspective. *Forensic Sci. Int.* **283**, 94–102 (2018).

- [8] Pitts, K. M. & Clarke, R. M. The forensic discrimination of quartz sands from the Swan Coastal Plain, Western Australia. *Forensic Sci. Int. Reports* **2**, 100130 (2020).
- [9] Zeng, R., Rossiter, D. G., Zhao, Y. G., Li, D. C. & Zhang, G. L. Forensic soil source identification : comparing matching by color , vis-NIR spectroscopy and easily-measured physio-chemical properties Forensic soil source identification : comparing matching by color , vis-NIR spectroscopy and easily-measured physio-c. (2020) doi:10.1016/j.forsciint.2020.110544.
- [10] Pires, L. F., Prandel, L. V., Saab, S. da C. & Brinatti, A. M. A novel approach based on X-ray fluorescence and photon attenuation to the analysis of soils for forensic investigation. *Rev. Bras. Cienc. do Solo* **46**, (2022).
- [11] Melo, V. F., Testoni, S. A., Dawson, L. A. & Salvador, F. A. da S. Sand fraction is not suitable for forensic investigations in subtropical soils. *Rev. Bras. Cienc. do Solo* **44**, 1–15 (2020).
- [12] Testoni, S. A. S. A. *et al.* Validation of a Standard Operating Procedure (SOP) for Forensic Soils Investigation in Brazil. *Rev. Bras. Ciência do Solo* **43**, 1–18 (2019).
- [13] Testoni, S. A., Melo, V. F., Dawson, L. A., Salvador, F. A. S. & Prandel, L. V. Evaluation of soil vestiges in a real crime scene: robbery of a safety deposit box. 1–22 (2017).
- [14] Prandel, L. V. *et al.* Spectroscopic techniques applied to discriminate soils for forensic purposes. *Soil Res.* **58**, 151–160 (2020).
- [15] Testoni, S. A. *et al.* 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.* (2020) doi:10.1111/1556-4029.14491.
- [16] Melo, V. F., Testoni, S. A., Dawson, L., de Lara, A. G. & da Silva Salvador, F. Can analysis of a small clod of soil help to solve a murder case? *Sci. Justice* **59**, 667–677 (2019).
- [17] Testoni, S. *et al.* Soil Colour and Plant-Wax Markers : Application in Forensic Investigations under Urban Subtropical Environments. 57–71 (2022).
- [18] Bisbing, R. E. Trace Evidence in the Real Crime Laboratory. *Forensic Lab. Handb.* 265–290 (2006) doi:10.1385/1-59259-946-x:265.
- [19] Bourguignon, L. *et al.* *Best Practice Manual for the Forensic Comparison of Soil Traces.* (2019).
- [20] Fontana, A., Chagas, C. da S., Donagemma, G. K., Menezes, A. R. de & Calderano Filho, B. Soils Developed on Geomorphic Surfaces in the Mountain Region of the State of Rio de Janeiro. *Rev. Bras. Ciência do Solo* **41**, 1–17 (2018).
- [21] Dimitriou, P. A. & Grayston, S. J. Relationship between soil properties and patterns of bacterial  $\beta$ -diversity across reclaimed and natural boreal forest soils. *Microb. Ecol.* **59**, 563–573 (2010).
- [22] Swindles, G. T. & Ruffell, A. A preliminary investigation into the use of testate amoebae for the discrimination of forensic soil samples. *Sci. Justice* **49**, 182–190 (2009).