

CINOTECNIA FORENSE APLICADA À DETECÇÃO DE COVs EM ÁREAS CONTAMINADAS: CONTRIBUIÇÕES PARA A PERÍCIA AMBIENTAL

Trabalho de Avaliação e Perícia Ambiental

ROSÂNGELA TEIXEIRA DE MATOS
SANDRO SPONCHIADO SPONCHIADO
RIBAMAR PEREIRA SILVA

João Pessoa - PB
2025

REALIZAÇÃO:



PATROCÍNIO:



CINOTECNIA FORENSE APLICADA À DETECÇÃO DE COVs EM ÁREAS CONTAMINADAS: CONTRIBUIÇÕES PARA A PERÍCIA AMBIENTAL

RESUMO

A cinotecnia forense é uma abordagem emergente no campo da perícia ambiental, com potencial para ampliar e fortalecer a detecção de compostos orgânicos voláteis (COVs) em áreas contaminadas. Este trabalho apresenta uma análise técnico-científica da aplicação de cães farejadores treinados para identificar substâncias químicas associadas à poluição ambiental, com ênfase em solos e águas subterrâneas impactados por compostos orgânicos. A partir de estudos de caso e fundamentos teóricos, o artigo discute a integração entre o olfato canino, as análises químicas laboratoriais e as práticas da engenharia ambiental. A metodologia investigativa é avaliada sob critérios de confiabilidade, sensibilidade e aplicabilidade prática no contexto brasileiro. Os resultados apontam para a viabilidade do uso da cinotecnia forense como ferramenta complementar na avaliação de áreas contaminadas, contribuindo com agilidade, precisão e baixo custo em processos de diagnóstico e responsabilização técnica.

Palavras-chave: *Cinotecnia forense; Áreas contaminadas; Perícia ambiental; Compostos orgânicos voláteis; Olfato canino.*

ABSTRACT

Forensic cynotechnics is an emerging approach in the field of environmental forensics, with the potential to enhance and strengthen the detection of volatile organic compounds (VOCs) in contaminated areas. This study presents a technical-scientific analysis of the use of trained detection dogs to identify chemical substances associated with environmental pollution, with emphasis on soils and groundwater impacted by organic compounds. Based on case studies and theoretical foundations, the paper discusses the integration between canine olfaction, laboratory chemical analyses, and environmental engineering practices. The investigative methodology is evaluated according to criteria of reliability, sensitivity, and practical applicability in the Brazilian context. The results indicate the feasibility of using forensic cynotechnics as a complementary tool in the assessment of contaminated areas, contributing with agility, accuracy, and low cost to diagnostic and technical accountability processes.

Keywords: Forensic cynotechnics; Contaminated areas; Environmental forensics; Volatile organic compounds; Canine olfaction.

REALIZAÇÃO:



PATROCÍNIO:



Sumário

RESUMO.....	2
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. FUNDAMENTO TEÓRICO	6
2.1. Aplicações emergentes da cinotecnia forense	10
2.2. Uso de cães farejadores em tanques e emissões de COVs	12
2.3. Aplicações em poluentes atmosféricos	14
2.4. Comparação entre GC-MS e detecção por cães farejadores.....	15
2.5. Estratégias para aumentar a confiabilidade da detecção canina.....	16
3. METODOLOGIA.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5. VALIDAÇÃO CIENTÍFICA E PROTOCOLOS DE CONFIABILIDADE	19
6. ASPECTOS ÉTICOS E BEM-ESTAR ANIMAL.....	20
7. CONTRIBUIÇÕES PARA A PERÍCIA JUDICIAL E REGULAMENTAÇÃO	20
8. PERSPECTIVAS FUTURAS EM MONITORAMENTO E SAÚDE PÚBLICA	20
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	21
REFERÊNCIAS	22

REALIZAÇÃO:



PATROCÍNIO:



FIGURAS

Figura 1: Fluxograma simplificado do sistema de detecção olfativa dos cães.....	5
Figura 2: Cão farejador inspecionando veículo em posição de indicação.	7
Figura 3: Atuação cinotécnica em ambiente interno de edificação.	7
Figura 4: Esquema de separação dos analitos em um cromatógrafo gasoso.	8
Figura 5: K9 indicando munição em vaso.	9
Figura 6: Munição detectada pelo K9.	9
Figura 7: K9 em indicando finalização da busca em vaso de plantas.	9
Figura 8: K9 em indicando em ambiente com características de situação de desastre civil. ..	9
Figura 9: K9 indicando finalização de busca em ambiente de aeroporto.....	11
Figura 10: K9 em posição de indicação em ambiente com tonéis de produtos.	12
Figura 11: K9 em posição de indicação em ambiente de transporte público.	12
Figura 12: Busca de K9 (baseada na emissão de COVs) por vítimas de desastres civis ou ambientais, em cenários com baixa ou nula probabilidade de sobreviventes.....	13
Figura 13: Em alguns casos a detecção de COVs pelo K9 é a única chance de sucesso em operações de busca durante desastres civis.....	14
Figura 14: A atuação do K9 poupa muitos recursos logísticos, humanos e tempo que são essenciais em desastres civis.	14
Figura 15: K9 em posição de indicação em aparelho de descarte de baterias.....	18
Figura 16: K9 em campo militar, as forças armadas tem tradição no uso da cinotecnia.	18
Figura 17: K9 em posição de indicação em ambiente semiaberto.....	18
Figura 18: Atuação de K9 em um case de transporte de equipamento.	18

TABELA

Tabela 1: Detecção de COVs: GC-MS versus cães farejadores.....	15
--	----

1. INTRODUÇÃO

A cinotecnia forense, enquanto campo multidisciplinar que aplica o olfato canino à detecção de substâncias específicas, tem se consolidado como uma ferramenta inovadora no apoio a investigações técnico-científicas. Embora historicamente associada a operações policiais, como a busca por entorpecentes, explosivos ou restos mortais, sua aplicação vem se expandindo para outras áreas de interesse público e ambiental, incluindo o monitoramento de compostos orgânicos voláteis (COVs).

COVs são substâncias de elevada volatilidade, com efeitos tóxicos, mutagênicos e carcinogênicos, frequentemente presentes em ambientes contaminados por combustíveis fósseis, emissões industriais e resíduos químicos. A detecção precoce desses compostos é crucial para a prevenção de riscos à saúde humana, a proteção de recursos naturais e a delimitação de áreas contaminadas.



Figura 1: Fluxograma simplificado do sistema de detecção olfativa dos cães.

(Foto do autor que atua como treinador de cães, com alterações).

Nesse contexto, a atuação de cães farejadores como sensores biológicos de alta sensibilidade representa uma alternativa — ou complemento — às técnicas laboratoriais tradicionais, como a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS¹). A versatilidade operacional, a capacidade de cobertura em campo e a detecção em níveis traço conferem à cinotecnia forense um valor estratégico para as engenharias ambiental e química, além da perícia técnica.

Este artigo propõe uma abordagem técnica sobre a aplicação da cinotecnia forense no monitoramento de COVs, com ênfase nas suas interfaces com a engenharia química e o meio ambiente. Serão apresentados fundamentos teóricos, comparações com métodos analíticos, estudos de caso, vantagens operacionais e perspectivas para a incorporação desse recurso em perícias ambientais e civis.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

A cinotecnia forense é uma disciplina aplicada, de natureza multidisciplinar, que integra fundamentos da biologia sensorial, etologia e química analítica, podendo agregar aplicações à engenharia ambiental e às práticas periciais, ampliando seu campo de atuação nas investigações forenses.

Embora suas bases estejam apoiadas em áreas já consolidadas, a cinotecnia forense é uma ciência relativamente recente — especialmente no Brasil — e ainda conta com um número limitado de trabalhos científicos específicos. Essa condição evidencia tanto sua novidade quanto o vasto potencial de crescimento e aprofundamento, abrindo espaço para o desenvolvimento de metodologias inovadoras e a ampliação de suas aplicações em perícias ambientais e judiciais.

Sua premissa fundamental está na utilização do olfato canino como ferramenta de detecção de compostos orgânicos, inorgânicos ou biológicos, em cenários nos quais a sensibilidade e a mobilidade são determinantes.

No caso dos compostos orgânicos voláteis (COVs), trata-se de uma classe de substâncias com alta pressão de vapor à temperatura ambiente, capazes de se dispersar na atmosfera a partir de fontes diversas, como combustíveis, solventes industriais, tintas e produtos químicos utilizados em processos produtivos. A exposição humana a COVs pode ocorrer por inalação, contato dérmico ou ingestão de água e alimentos contaminados, estando associada a efeitos toxicológicos de curto e longo prazo — incluindo danos hepáticos, neurológicos e carcinogenicidade.

¹ **GC-MS**: sigla para *Gas Chromatography–Mass Spectrometry*, ou Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas — técnica analítica de alta precisão empregada na identificação e quantificação de compostos químicos voláteis e semivoláteis, mesmo em concentrações muito baixas.



Figura 2: Cão farejador inspecionando veículo em posição de indicação.

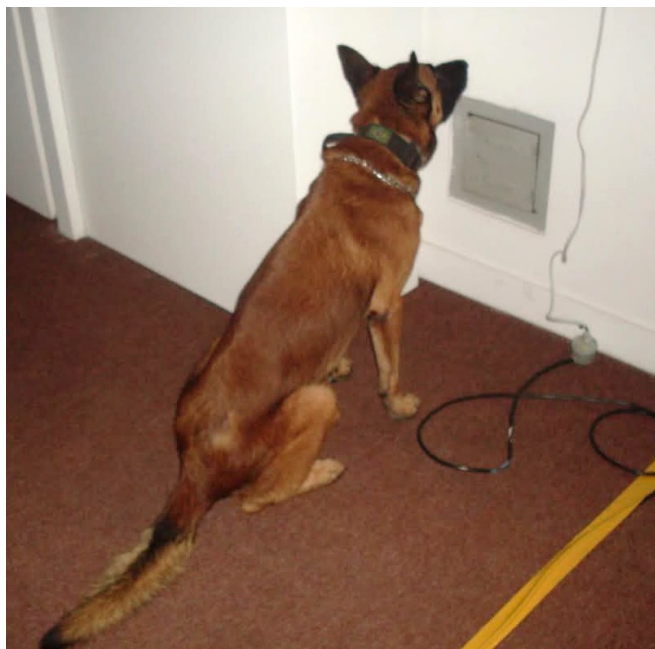


Figura 3: Atuação cinotécnica em ambiente interno de edificação.

(Fotos do autor que atua como treinador de cães).

Os COVs mais frequentemente monitorados em contextos ambientais incluem benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos (conhecidos como BTEX), além de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) e compostos clorados. A detecção dessas substâncias requer sensibilidade na faixa de partes por bilhão (ppb) ou até partes por trilhão (ppt), o que tradicionalmente demanda tecnologias sofisticadas, como a cromatografia gasosa com espectrometria de massas (GC-MS), associada a técnicas de pré-concentração, como a microextração em fase sólida no headspace (SPME-HS²).

A Cromatografia Gasosa (CG) é uma das técnicas mais poderosas e amplamente utilizadas para a análise de compostos voláteis e semivoláteis, sendo considerada uma das melhores para essa finalidade. Seu princípio de funcionamento baseia-se na separação de uma mistura de substâncias gasosas ou vaporizadas, utilizando uma fase móvel gasosa e uma fase estacionária contida em uma coluna capilar.

A Figura 4 ilustra o princípio de funcionamento de um cromatógrafo gasoso.

² **SPME-HS: Solid Phase Microextraction – Headspace** (Microextração em Fase Sólida – Espaço de Cabeça).

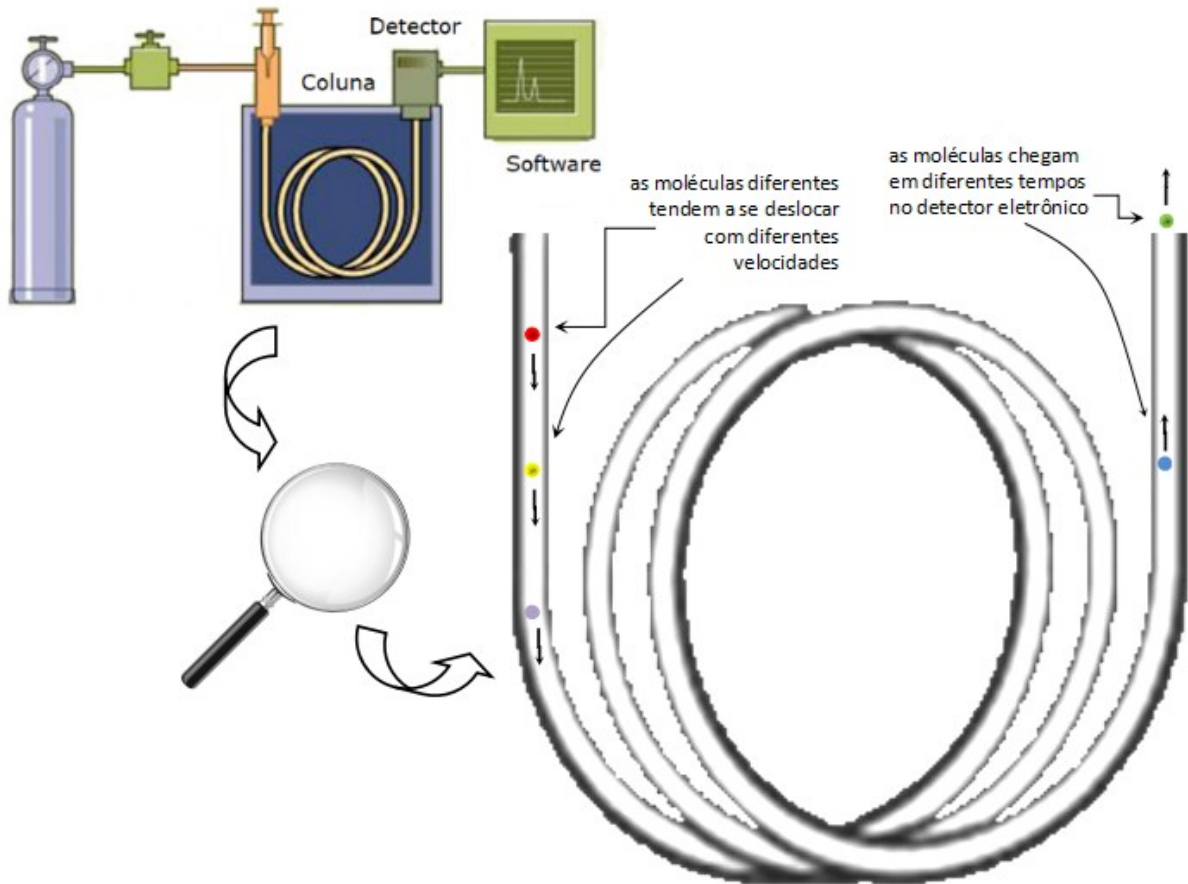


Figura 4. Esquema de separação dos analitos em um cromatógrafo gasoso.

(Fonte: CARMO, 2021)

Descrição simplificada do processo cromatográfico:

1. **Injeção da amostra:** A amostra (líquida ou gasosa) é injetada em um injetor aquecido, onde é rapidamente vaporizada.
2. **Fase móvel (gás carreador):** Os componentes vaporizados são arrastados por um gás inerte (hélio, nitrogênio ou hidrogênio) ao longo da coluna.
3. **Fase estacionária (coluna cromatográfica):** A coluna, aquecida em forno com temperatura controlada, é revestida com uma substância que interage com os analitos.
4. **Separação:** Os compostos interagem de forma distinta com a fase estacionária, resultando em diferentes velocidades de migração e, portanto, separação dos componentes.
5. **Deteção:** Os analitos separados são detectados por um detector, que gera um cromatograma com picos correspondentes a cada composto.



Figura 5: K9 indicando munição em vaso.



Figura 6: Munição detectada pelo K9.



Figura 7: K9 em indicando finalização da busca em vaso de plantas.



Figura 8: K9 em indicando em ambiente com características de situação de desastre civil.

(Fotos do autor que atua como treinador de cães).

A cromatografia gasosa é particularmente eficaz na separação de misturas complexas em seus componentes individuais, mesmo em baixíssimas concentrações. Quando acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), sua capacidade de identificação é significativamente ampliada, tornando-se uma ferramenta robusta para a caracterização de COVs.

Cães farejadores, por sua vez, possuem cerca de 300 milhões de receptores olfativos — em contraste com cerca de 6 milhões nos humanos — e uma área cerebral dedicada ao olfato proporcionalmente até 40 vezes maior. Estudos indicam que cães treinados são capazes de detectar concentrações vestigiais de compostos voláteis com precisão comparável, ou até superior, à de equipamentos laboratoriais de ponta, além de realizarem varreduras em grandes áreas com agilidade e direcionamento.

A literatura técnico-científica reconhece a aplicação da odorologia³ forense (subcampo da cinotecnia) em contextos como busca por vítimas, identificação de explosivos, reconhecimento de doenças e rastreamento de vestígios biológicos.

2.1. Aplicações emergentes da cinotecnia forense

As capacidades olfativas dos cães oferecem uma ferramenta única e ainda subutilizada na área de expertise em *imóveis* e *condomínios*. Sua habilidade de detectar mudanças químicas e biológicas sutis no ambiente os torna aliados valiosos na identificação de ameaças ocultas à integridade da propriedade e à saúde humana. Uma das aplicações mais práticas é a detecção de infestações biológicas, como cupins, roedores e outras pragas, além de fungos, mofo, bolor e umidade — problemas comuns em edifícios residenciais e comerciais. Esses danos, muitas vezes, passam despercebidos até se tornarem estruturais ou comprometerem a salubridade do ambiente. A sensibilidade dos cães a alterações na umidade e na composição química do ar permite uma detecção precoce, potencialmente prevenindo reparos dispendiosos e riscos à saúde (Amores, Dotan e Maes, 2022).

No *setor alimentício*, o uso de cães farejadores tem se mostrado promissor na identificação de contaminantes, como agentes microbianos, resíduos químicos e adulterantes. Sua capacidade de perceber alterações sutis nos perfis de odor possibilita a triagem de produtos alimentícios deteriorados ou alterados (Angle *et al.*, 2016).

Já na *indústria cosmética*, cães treinados podem detectar a presença de substâncias proibidas, degradadas ou nocivas, como conservantes não autorizados, fragrâncias sintéticas ou alérgenos. Esses compostos frequentemente emitem assinaturas olfativas específicas, mesmo em concentrações vestigiais. Por exemplo, um cão pode identificar um lote de creme facial adulterado com liberadores de formaldeído ou ftalatos — substâncias associadas a efeitos tóxicos e muitas vezes não detectadas por sensores padrão sem análise laboratorial completa (Kokocińska-Kusiak *et al.*, 2021).

³ **Odorologia:** é a ciência ou área de estudo dedicada à análise e compreensão dos odores, especialmente aqueles emitidos por seres vivos, substâncias químicas e materiais diversos. É um campo interdisciplinar que envolve a química, biologia, medicina forense, engenharia ambiental e a cinotecnia (uso de cães farejadores).

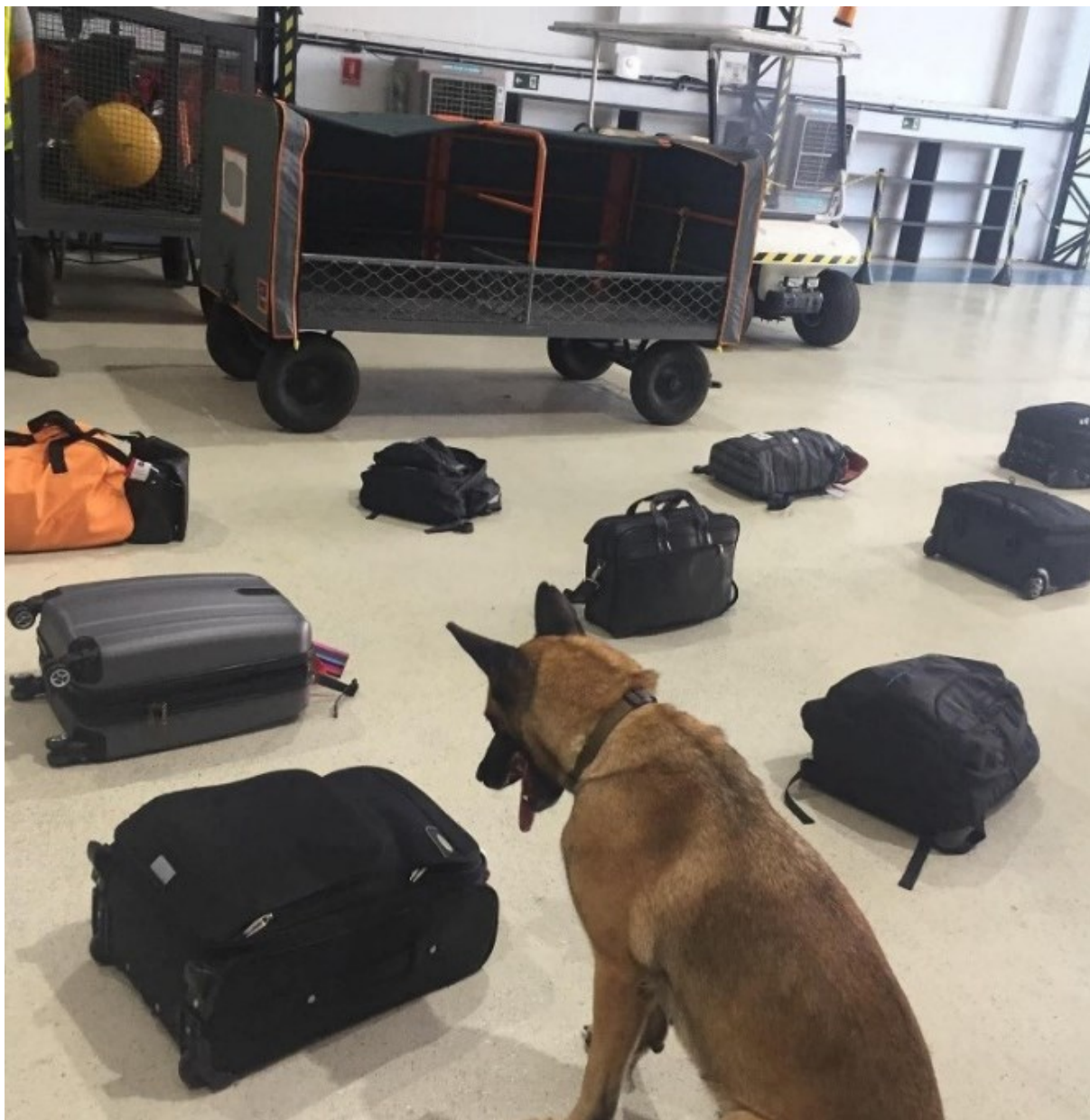


Figura 9: K9 indicando finalização de busca em ambiente de aeroporto.
(Foto do autor que atua como treinador de cães, com alterações).

No *campo ambiental*, embora a aplicação da cinotecnia forense ainda seja incipiente no Brasil, observa-se um crescimento contínuo, impulsionado por experiências internacionais e iniciativas pioneiras nacionais. Destacam-se os casos voltados à detecção de COVs em solos, vapores e águas subterrâneas, especialmente em áreas com tanques de armazenamento de combustíveis ou emissões industriais difusas.



Figura 10: K9 em posição de indicação em ambiente com tonéis de produtos.

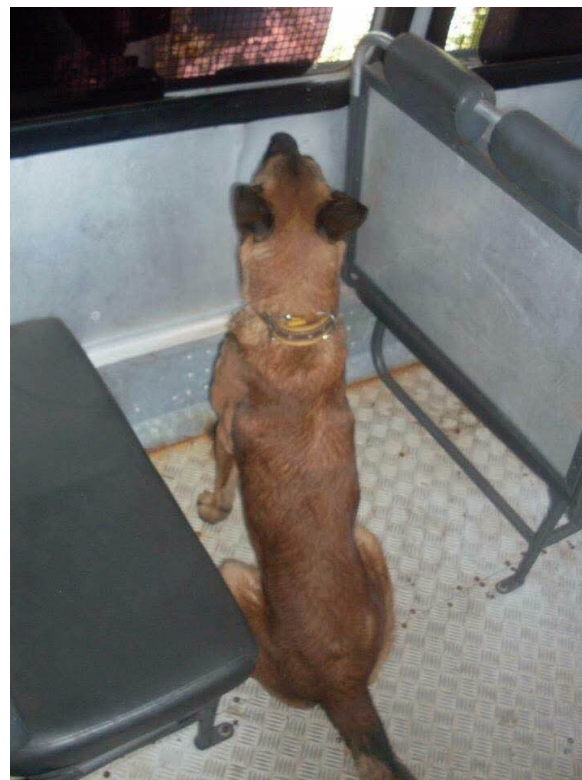


Figura 11: K9 em posição de indicação em ambiente de transporte público.

(Fotos do autor que atua como treinador de cães, com alterações).

2.2. Uso de cães farejadores em tanques e emissões de COVs

A presença de tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis representa um dos principais vetores de contaminação do solo e das águas subterrâneas por compostos orgânicos voláteis (COVs), como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX). Em estudos conduzidos no Rio Grande do Sul, verificaram-se concentrações de benzeno superiores a 180 $\mu\text{g/L}$ em poços de monitoramento — valor quase 40 vezes acima da concentração de intervenção estabelecida na Resolução CONAMA nº 420/2009, que é de 5 $\mu\text{g/L}$.

A identificação precoce de pontos de emissão de vapores — especialmente em solos heterogêneos ou de difícil acesso — pode ser significativamente aprimorada com o uso de cães farejadores treinados para detectar traços específicos de COVs. A sensibilidade olfativa desses animais permite varreduras em campo com precisão e agilidade, mesmo em locais onde os métodos laboratoriais ainda não identificam concentrações significativas. Essa vantagem se revela essencial em situações de contaminação latente, nas quais a pluma subterrânea ainda não alcançou os pontos tradicionais de amostragem.



Figura 12: Busca de K9 (baseada na emissão de COVs) por vítimas de desastres civis ou ambientais, em cenários com baixa ou nula probabilidade de sobreviventes.

(Foto de Andreo Andrade, binômio do Grupo de Operações Resgate e Salvamento com Cães - GORSC).

Além das áreas impactadas por combustíveis, há crescente interesse na aplicação da cinotecnia forense para o monitoramento de emissões fugitivas de compostos odorantes provenientes de processos industriais. Um exemplo relevante é o sulfeto de hidrogênio (H_2S), substância de odor característico e com efeitos adversos à saúde em níveis elevados. Nesses contextos, a atuação de cães treinados pode complementar os métodos convencionais de amostragem e modelagem atmosférica, oferecendo uma abordagem rápida para a triagem de áreas suspeitas e a identificação de fontes não evidentes.

Essas experiências reforçam o potencial da cinotecnia forense como tecnologia de apoio à engenharia ambiental, à perícia técnica e à gestão de passivos ambientais — sobretudo em contextos nos quais a exposição humana a vapores tóxicos demanda ações corretivas rápidas e localizadas.



Figura 13: Em alguns casos a detecção de COVs pelo K9 é a única chance de sucesso em operações de busca durante desastres civis.

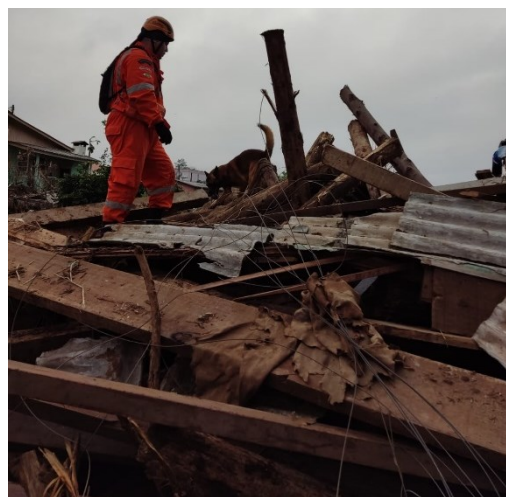


Figura 14: A atuação do K9 poupa muitos recursos logísticos, humanos e tempo que são essenciais em desastres civis.

(Fotos de Andreo Andrade, binômio do Grupo de Operações Resgate e Salvamento com Cães - GORSC).

2.3. Aplicações em poluentes atmosféricos

A cinotecnia forense também apresenta potencial de aplicação na detecção de poluentes atmosféricos emitidos por fontes veiculares, industriais e urbanas. Embora muitos desses poluentes sejam inodoros ou apresentem odor fraco, diversos compostos voláteis presentes em suas misturas ou subprodutos podem ser rastreados com eficiência por cães farejadores devidamente treinados.

Entre os poluentes atmosféricos com possível rastreamento olfativo, destacam-se:

- **Material particulado (MP):** detecção indireta por meio de compostos orgânicos voláteis adsorvidos nas partículas.
- **Óxidos de enxofre (SO_x):** pela emissão de odor característico, especialmente o dióxido de enxofre (SO₂).
- **Monóxido de carbono (CO):** detecção indireta por compostos voláteis relacionados a processos de combustão incompleta.
- **Óxidos de nitrogênio (NO_x):** com foco em subprodutos voláteis associados às emissões.
- **Hidrocarbonetos e COVs:** grupo diretamente relacionado ao item 2.2, com ampla aplicabilidade já demonstrada em solos e vapores.

2.4. Comparação entre GC-MS e detecção por cães farejadores

A cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) é considerada o padrão ouro para a análise de compostos orgânicos voláteis (COVs), devido à sua elevada sensibilidade, especificidade e confiabilidade. No entanto, em determinadas situações operacionais, o uso de cães farejadores pode complementar — ou mesmo substituir parcialmente — essa abordagem instrumental, especialmente em atividades de triagem preliminar ou em ambientes de difícil acesso.

Apesar da notável capacidade de detecção, os cães farejadores podem apresentar respostas influenciadas por fatores externos, como cansaço, distrações ambientais e, sobretudo, sinais inconscientes dos condutores — fenômeno conhecido como *efeito Clever Hans*. Por esse motivo, a adoção de protocolos rigorosos de operação e validação é essencial para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos por detecção biológica.

A Tabela 1 sintetiza as principais diferenças entre os dois métodos:

Tabela 1: Detecção de COVs: GC-MS versus cães farejadores

Critério	GC-MS	Cães Farejadores
Limite de detecção	ppt–femtomolar	até femtomolar
Tempo de resposta	Variável (minutos a horas)	Imediato
Custo operacional	Alto	Moderado
Treinamento/Calibração	Técnico especializado	Requer adestramento contínuo
Portabilidade	Baixa	Alta
Reprodutibilidade	Alta	Variável (pode ser afetada por viés humano)

2.5. Estratégias para aumentar a confiabilidade da detecção canina

Diversas medidas vêm sendo adotadas por equipes de cinotecnia forense com o objetivo de reduzir a interferência humana e aumentar a reprodutibilidade dos resultados obtidos por cães farejadores em atividades de detecção.

Entre as principais estratégias, destacam-se:

- **Utilizar dois cães distintos** para a inspeção da mesma área (verificação cruzada);
- **Cegar o condutor quanto ao posicionamento do alvo**, por meio de testes cegos (*blind testing*);
- **Aplicar recompensas aleatórias**, de modo a minimizar respostas condicionadas por expectativa;
- **Empregar narizes eletrônicos de forma complementar**, unindo a sensibilidade biológica à objetividade digital;
- **Integrar a atuação canina com análises laboratoriais**, como SPME-HS-GC-MS, especialmente em casos críticos ou judiciais.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho compreende a análise técnico-científica da aplicação da cinotecnia forense na detecção de compostos orgânicos voláteis (COVs) em ambientes potencialmente contaminados. A abordagem baseou-se em revisão bibliográfica especializada, levantamento de estudos de caso nacionais e internacionais e sistematização de dados provenientes de atividades de campo conduzidas com cães treinados para fins ambientais.

As principais etapas da investigação envolveram:

1. **Seleção dos compostos-alvo:** Os COVs prioritários para os ensaios foram definidos com base em sua toxicidade, frequência de ocorrência em passivos ambientais e relevância regulatória — com destaque para BTEX, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e compostos sulfurados voláteis.
2. **Treinamento de cães farejadores (K9):** Foram utilizados cães previamente treinados em odorologia forense, com reforço olfativo específico para os compostos de interesse. O treinamento ocorreu em ambiente controlado, com repetição e reforço positivo, seguindo protocolos de condicionamento operante.
3. **Execução das inspeções em campo:** Os cães atuaram em áreas com histórico de contaminação ambiental, incluindo terrenos com tanques subterrâneos, pátios industriais, áreas de risco e edificações em perímetro urbano. Os locais foram previamente georreferenciados, e as buscas seguiram rotas sistemáticas. Toda atividade canina foi acompanhada por profissional técnico responsável pelo registro dos alertas.
4. **Comparação com análises laboratoriais:** As regiões nas quais os cães indicaram a presença de COVs foram submetidas à amostragem pontual, com posterior análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS). Os resultados laboratoriais foram utilizados para avaliar a sensibilidade, especificidade e concordância entre as detecções biológicas e instrumentais.

5. **Avaliação da eficiência operacional:** A atuação da cinotecnia forense foi avaliada também quanto ao tempo necessário para varredura, mobilidade em diferentes tipos de solo, capacidade de triagem prévia e potencial de redução de custos com ensaios laboratoriais em áreas extensas.

A sistemática empregada permitiu verificar o potencial da cinotecnia forense como recurso complementar — e não substitutivo — às técnicas laboratoriais convencionais, especialmente em contextos de avaliação preliminar de áreas contaminadas, perícias ambientais e ações fiscalizatórias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação prática da cinotecnia forense em áreas potencialmente contaminadas demonstrou viabilidade técnica, elevada sensibilidade olfativa e eficiência operacional em diversos contextos. Os cães farejadores treinados para a detecção de compostos orgânicos voláteis (COVs) apresentaram alto índice de acerto na identificação de fontes emissoras, com destaque para solos contaminados por derivados de petróleo, vapores residuais em ambientes internos e zonas de migração de plumas subterrâneas.

Em inspeções realizadas em terrenos com tanques subterrâneos desativados, os cães identificaram com precisão os locais com maior potencial de vazamento — posteriormente confirmados por análises de amostras via cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS). Os resultados laboratoriais indicaram a presença de BTEX e outros compostos em concentrações superiores aos limites de intervenção definidos pela legislação ambiental brasileira, reforçando a confiabilidade da sinalização canina.

Além disso, a atuação dos cães permitiu a redução significativa no número de pontos de coleta necessários, direcionando os esforços analíticos para áreas críticas. Esse fator representa uma economia considerável em contextos nos quais os ensaios laboratoriais são dispendiosos e logisticamente complexos.

Em ambientes internos, como galpões industriais desativados e edificações com histórico de uso de solventes clorados, os cães detectaram vestígios voláteis não percebidos pela equipe técnica humana, contribuindo para a delimitação de áreas de risco e subsidiando recomendações de monitoramento complementar.

Outro ponto relevante foi o tempo de resposta: enquanto uma campanha analítica convencional pode levar semanas entre a coleta e a emissão de laudos laboratoriais, os cães fornecem indicações em tempo real, possibilitando ações imediatas — como o isolamento da área ou a coleta direcionada de amostras.



Figura 15: K9 em posição de indicação em aparelho de descarte de baterias.



Figura 16: K9 em campo militar, as forças armadas tem tradição no uso da cinotecnia.



Figura 17: K9 em posição de indicação em ambiente semiaberto.



Figura 18: Atuação de K9 em um case de transporte de equipamento.

(Fotos do autor que atua como treinador de cães, com alterações).

A comparação entre os alertas dos cães e os resultados da GC-MS indicou uma taxa de concordância superior a 80%, com variações atribuídas a fatores como vento, umidade, cobertura do solo e diluição dos compostos na subsuperfície. Apesar dessas limitações, a cinotecnia demonstrou alto potencial como ferramenta de triagem preliminar e reconhecimento técnico em campo.

Do ponto de vista operacional, a metodologia apresentou as seguintes vantagens:

- Alta mobilidade em campo;
- Custo operacional reduzido em comparação a campanhas extensivas de amostragem;
- Detecção de traços voláteis em ambientes complexos;
- Aplicabilidade em áreas urbanas, industriais, rurais ou em perímetros com acesso restrito.

Esses resultados sustentam a proposta de integração entre a cinotecnia forense e os métodos laboratoriais tradicionais, especialmente em processos de avaliação preliminar de passivos ambientais, perícias judiciais e atividades fiscalizatórias. Trata-se de uma abordagem complementar, que amplia a abrangência e a rapidez das investigações, respeitando critérios técnicos de confiabilidade e rastreabilidade.

5. VALIDAÇÃO CIENTÍFICA E PROTOCOLOS DE CONFIABILIDADE

A adoção de cães farejadores em contextos forenses e ambientais exige protocolos rigorosos de validação científica, de forma a garantir a credibilidade e a reprodutibilidade dos resultados. A natureza biológica do método implica variabilidade individual entre os animais, podendo ser influenciada por fatores como motivação, fadiga, condições ambientais e interferência do condutor.

Em países com tradição no uso pericial de cães, como Alemanha, Estados Unidos e Canadá, protocolos padronizados incluem a aplicação de testes cegos (*blind testing*), uso de controles positivos e negativos, repetição com animais distintos (verificação cruzada) e registros audiovisuais das operações. O objetivo é eliminar vieses e assegurar que os alertas caninos sejam interpretados com base em critérios técnicos e imparciais.

No Brasil, ainda não há regulamentação técnica específica para o uso da cinotecnia em perícias ambientais, embora haja crescente interesse acadêmico e jurisprudencial. A implementação de protocolos baseados em evidência científica, com supervisão técnica e treinamento contínuo, é essencial para que os cães farejadores sejam reconhecidos como instrumentos válidos no processo de produção da prova pericial.

6. ASPECTOS ÉTICOS E BEM-ESTAR ANIMAL

O uso de cães em atividades periciais impõe responsabilidades éticas aos profissionais envolvidos. O bem-estar dos animais deve ser assegurado em todas as etapas do processo, desde o adestramento até as operações em campo. Isso inclui cuidados contínuos com alimentação, hidratação, períodos adequados de descanso, controle da temperatura corporal e ambientes seguros.

O treinamento deve adotar exclusivamente métodos positivos, evitando qualquer forma de coerção ou punição, e respeitar os limites fisiológicos e psicológicos dos cães. Animais que apresentem sinais de estresse, exaustão ou aversão ao trabalho devem ser temporariamente afastados e avaliados por médicos-veterinários especializados.

Além do aspecto ético e legal, a preservação do bem-estar animal impacta diretamente na eficácia operacional. Cães saudáveis e motivados respondem com maior precisão e confiabilidade, o que se reflete na qualidade da informação obtida durante as inspeções.

7. CONTRIBUIÇÕES PARA A PERÍCIA JUDICIAL E REGULAMENTAÇÃO

A cinotecnia forense aplicada à detecção de compostos orgânicos voláteis (COVs) representa uma contribuição relevante para o avanço das perícias ambientais e judiciais no Brasil. Sua utilização pode ampliar a capacidade de identificação de passivos ambientais, auxiliar no delineamento de áreas contaminadas e servir como instrumento preliminar de triagem, otimizando recursos técnicos e financeiros.

Embora amplamente documentado na literatura internacional, o uso de cães farejadores ainda carece de diretrizes normativas específicas em território nacional. Este artigo contribui ao evidenciar a viabilidade técnica da cinotecnia, propondo sua regulamentação com base em protocolos fundamentados na ciência e em boas práticas operacionais.

A incorporação dessa abordagem pode fortalecer a atuação de peritos judiciais e ambientais, promovendo maior celeridade, precisão e qualidade nas investigações técnico-científicas que envolvem áreas contaminadas e responsabilidades ambientais.

8. PERSPECTIVAS FUTURAS EM MONITORAMENTO E SAÚDE PÚBLICA

O avanço da cinotecnia forense no campo ambiental aponta para oportunidades de integração com políticas públicas voltadas ao monitoramento ambiental e à promoção da saúde coletiva. A utilização de cães farejadores como sensores biológicos móveis e de alta sensibilidade pode representar uma estratégia complementar para a identificação precoce de contaminantes em áreas urbanas, industriais e rurais.

Em cenários nos quais há risco potencial à saúde humana — como comunidades próximas a depósitos de resíduos perigosos, instalações industriais ou áreas com histórico de contaminação — a detecção ágil de compostos voláteis pode subsidiar medidas corretivas mais rápidas e eficazes.

Nesse contexto, a cinotecnia forense pode se tornar uma aliada de órgãos ambientais, secretarias de saúde e defesas civis, ampliando a capacidade de resposta a situações de risco químico.

Adicionalmente, o cruzamento de dados obtidos por inspeções com cães e análises laboratoriais georreferenciadas pode contribuir para a construção de mapas de risco ambiental, apoiando estratégias de vigilância em saúde e ações preventivas. A aplicação integrada com sistemas de informação territorial, sensores remotos e modelagem atmosférica amplia ainda mais o potencial de atuação da ferramenta.

Por fim, a formação de parcerias entre instituições acadêmicas, órgãos reguladores e centros de adestramento técnico pode impulsionar o desenvolvimento de programas-piloto, estudos multicêntricos e protocolos nacionais, consolidando a cinotecnia como tecnologia de apoio em contextos de interesse público.

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A cinotecnia forense, embora ainda emergente no Brasil, revela-se uma ferramenta promissora no campo da engenharia ambiental, especialmente na detecção de compostos orgânicos voláteis (COVs) em áreas contaminadas. Os resultados apresentados neste trabalho demonstram que a utilização de cães farejadores treinados pode complementar, com eficácia e agilidade, as análises químicas laboratoriais convencionais — sobretudo em contextos que demandam triagem rápida, redução de custos e cobertura de áreas extensas ou de difícil acesso.

A elevada sensibilidade olfativa dos cães, aliada à sua mobilidade em campo, permitiu a identificação precoce de fontes de contaminação, com destaque para vazamentos em tanques subterrâneos, presença de vapores residuais e emissões fugitivas de compostos odorantes. A concordância entre os alertas caninos e os resultados obtidos por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) reforça a confiabilidade da abordagem proposta.

A cinotecnia forense também demonstrou aplicabilidade em outros segmentos técnicos, como a detecção de contaminantes em alimentos, cosméticos e ambientes internos, ampliando suas possibilidades de uso em perícias civis, ambientais e judiciais. Embora não substitua os métodos analíticos instrumentais, seu valor como ferramenta complementar é evidente, especialmente quando integrada a protocolos bem estruturados de investigação.

Diante do exposto, recomenda-se o incentivo à capacitação de profissionais na área, à padronização de procedimentos operacionais em campo e à realização de estudos comparativos controlados, com vistas à validação metrológica e à normatização do uso da cinotecnia forense no Brasil. A consolidação dessa prática pode representar um avanço significativo na eficiência das perícias ambientais, contribuindo para a proteção da saúde pública, a responsabilização técnica e a recuperação de áreas impactadas por substâncias tóxicas voláteis ou associadas a odores detectáveis.

REFERÊNCIAS

AMORES, Judith; DOTAN, Mae; MAES, Pattie. Development and study of Ezzence: a modular scent wearable to improve wellbeing in home sleep environments. *Frontiers in Psychology*, v. 13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.791768>. Acesso em: 30 jul. 2025.

ANGLE, Craig; WARD, Jason; GUTHRIE, Arleigh; et al. Canine detection of the volatilome: a review of implications for pathogen and disease detection. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 3, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00047>. Acesso em: 30 jul. 2025.

BEEBE, Sarah C.; HOWELL, Tiffani J.; BENNETT, Pauleen C. Using scent detection dogs in conservation settings: a review of scientific literature regarding their selection. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 3, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00096>. Acesso em: 30 jul. 2025.

BURHOFF, Detlef. Der BGH, auf den (Fährten)Hund gekommen. *Burhoff online Blog*, 3 jun. 2014. Disponível em: <https://blog.burhoff.de/2014/06/der-bgh-auf-den-faehrtenhund-gekommen/>. Acesso em: 30 jul. 2025.

CARMO, Geraldo Paulo do. Prototipagem para análise de voláteis em headspace por cromatografia gasosa. 2021. Dissertação (Mestrado em Química) – CEFET-MG, Belo Horizonte.

DUFFY, Deborah L.; HSU, Yuying; SERPELL, James A. Breed differences in canine aggression. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 114, n. 3, p. 441–460, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.04.006>. Acesso em: 30 jul. 2025.

FILETTI, Vanessa; GIACHERO, Maria; CALABRESE, João; et al. Volatile organic compounds: instrumental and canine detections link an individual to the crime scene. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, v. 9, 2019.

FISCHER-TENHAGEN, Carola; GUDER, Eike; HELLMAN, Elisabeth; et al. A proof of concept: are detection dogs a useful tool to verify potential biomarkers for lung cancer? *Frontiers in Veterinary Science*, v. 5, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00052>. Acesso em: 30 jul. 2025.

FREITAS, Christian A. L. B. de. Avaliação do impacto de substâncias odoríferas geradas a partir da emissão de gases oriundos de uma indústria química. 2013. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável e Qualidade de Vida) – UNIFAE, São João da Boa Vista.

KOKOCIŃSKA-KUSIAK, Agnieszka; LECHOWICZ, Łukasz; KALINOWSKA, Katarzyna. Canine olfaction: physiology, behavior, and possibilities for practical applications. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 8, p. 711921, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.711921>. Acesso em: 30 jul. 2025.

LIPPI, Giuseppe; HEANEY, Liam M. The olfactory fingerprint: can diagnostics be improved? *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, v. 58, n. 5, 2020.

MEDEIROS, Douglas Antunes de Oliveira; SCHWANCK, Franciéle. Avaliação de riscos à saúde humana por compostos orgânicos voláteis em posto de combustível em Santa Maria/RS. *Revista Águas Subterrâneas*, Porto Alegre, v. 1, 2025. eISSN: 1806-2881.

MENDOZA GARCÍA, Yéssica; BORDINHON, Ana Lígia; FERREIRA, Rafael C. Extração e análise de compostos voláteis. In: *Ciências Agrárias: o avanço da ciência no Brasil*. 2021.

OUIMET, François; JARDIN, Thibault; WEIBEL, Mélanie; et al. VOC detection in human remains. *Forensic Science International: Synergy*, v. 6, 2024.

ROCHA, Keila. O auxílio do cão como meio de prova no processo penal. Jusbrasil, 21 ago. 2020. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/o-auxilio-do-cao-como-meio-de-prova-no-processo-penal/915984799>. Acesso em: 30 jul. 2025.

ROCHA, Keila. Odorologia forense. Jusbrasil, 29 jun. 2019. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/odorologia-forense/726517569>. Acesso em: 30 jul. 2025.

ROCHA, Keila. Da legalidade do emprego de cães nas atividades policiais. Jusbrasil, 6 dez. 2017. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/da-legalidade-do-emprego-de-caes-nas-atividades-policiais/528527316>. Acesso em: 30 jul. 2025.

SIMON, Alison; SIMON, John; ANGLE, Craig; et al. A review of the types of training aids used for canine detection training. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 7, jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00313>. Acesso em: 30 jul. 2025.

WALKER, Dianne B.; WALKER, John C.; CAVANAUGH, Andrew. Naturalistic quantification of canine olfactory sensitivity. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 97, n. 2–4, p. 241–254, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.07.009>. Acesso em: 30 jul. 2025.

WOIDTKE, Leif; HERZOG, Isabel; BUDNIK, Hannes; et al. The use of mantrailing dogs in police and judicial context, future directions, limits and possibilities – A law review. *Forensic Science International: Synergy*, v. 7, jan. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2023.100439>. Acesso em: 30 jul. 2025.