



THAYSSA ALESSANDRA DE CASTRO LIMA LEITE

**BIOLOGIA FORENSE: DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE
LÍQUIDOS CORPORAIS**

Cuiabá/MT

2025

THAYSSA ALESSANDRA DE CASTRO LIMA LEITE

**BIOLOGIA FORENSE: DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE
LÍQUIDOS CORPORAIS**

Projeto de Conclusão de Curso apresentado
à Banca Avaliadora do Curso de
Biomedicina, da Faculdade Fasipe, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Biomedicina

Orientador(a): Thais Kelly Souza Teixeira
Da Silva

Cuiabá/MT

2025

THAYSSA ALESSANDRA DE CASTRO LIMA LEITE

**BIOLOGIA FORENSE: DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE
LÍQUIDOS CORPORAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Avaliadora do Curso de Biomedicina da FASIPE-CPA, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em BIOMEDICINA.

Aprovado em:

Professor Orientador: Thais Kelly Souza Teixeira Da Silva

Departamento de Biomedicina - FASIPE

Professor(a) Avaliador(a):

Departamento de Biomedicina - FASIPE

Professor(a) Avaliador(a): Prof.

Departamento de Biomedicina - FASIPE

Profº. Me. XXXXXX

Coordenador do Curso de Biomedicina
FASIPE - Faculdade CPA

**Cuiabá- MT
2025**

APÊNDICE V

PROTOCOLO DE ENTREGA DA VERSÃO FINAL

Eu _____, orientador(a), pelo presente termo declaro ter feito a devida revisão do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “ _____ ” de autoria do(a) Graduando(a), _____, do(a) qual fui orientador(a) e certifiquei de que todas as orientações, sugestões e necessidades de correções feitas pela Banca Examinadora da Defesa foram acatadas e cumpridas.

Sendo assim, o texto está pronto para ser entregue à Coordenação de Curso de Biomedicina conforme previsto no Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso.

Cuiabá- MT, de de 2025.

Assinatura do Orientador

DEDICO,

Dedico este trabalho aos meus pais, que nunca deixaram de acreditar em mim e sempre me incentivaram a seguir meu sonho. Seu apoio incondicional e amor inabalável foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Também dedico ao meu querido avô, que, apesar de não estar mais entre nós, sei que estaria imensamente orgulhoso ao me ver concluindo esta etapa da minha vida. Sua memória e ensinamentos continuam vivos em mim, guiando cada passo dessa jornada.

AGRADEÇO,

- Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder força, perseverança e saúde para enfrentar os desafios dessa caminhada. Sem Sua luz e proteção, eu não teria chegado até aqui.

- Aos meus pais, que nunca deixaram de acreditar em mim e sempre me incentivaram a seguir meus sonhos. O apoio, carinho e dedicação de vocês foram essenciais para que eu pudesse trilhar este caminho e conquistar mais esta vitória. Obrigado por cada palavra de encorajamento e por serem minha base em todos os momentos.

- Aos meus professores, que com paciência e dedicação compartilharam seu conhecimento e contribuíram imensamente para minha formação. Em especial, agradeço à minha orientadora, professora Thais Kelly, pelo apoio, pelas orientações valiosas e por acreditar no meu potencial. Seu empenho e dedicação foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Meu agradecimento também ao coordenador do curso, Michell Charlles, que esteve ao meu lado em cada passo dessa trajetória acadêmica. Sua orientação, apoio e incentivo fizeram toda a diferença, me ajudando a enfrentar cada dificuldade e a buscar sempre o meu melhor.

- Aos meus colegas de sala, que compartilharam comigo estes quatro anos árduos, cheios de desafios, aprendizado e

crescimento. Foi uma caminhada difícil, mas a
parceria e o companheirismo de vocês
tornaram cada momento especial e
inesquecível.

- E, por fim, agradeço a mim mesmo.

Agradeço por nunca ter desistido, por ter
enfrentado cada obstáculo com coragem, por
ter me superado a cada dia. Foram anos de
esforço, dedicação e persistência, e hoje posso
olhar para trás com orgulho da minha
trajetória.

A todos vocês, meu mais sincero e profundo
agradecimento.

EPÍGRAFE

“A justiça é filha da verdade, e a verdade, da
investigação consciente.”

— *Francis Bacon*

THAYSSA ALESSANDRA DE CASTRO LIMA LEITE. **BIOLOGIA FORENSE:
DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE LÍQUIDOS CORPORAIS**, 2025. 36 folhas.
Monografia de Conclusão de Curso- FASIPE- Faculdade de CPA.

RESUMO

A identificação de líquidos corporais em cenas de crime é um desafio fundamental na biologia forense, pois essas evidências podem ser cruciais para a resolução de investigações criminais. Métodos tradicionais, como testes enzimáticos, histológicos e sorológicos, embora amplamente utilizados, apresentam limitações, como baixa especificidade, necessidade de grandes volumes de amostra e possibilidade de degradação das evidências. Com o avanço da ciência forense, técnicas emergentes, como a espectrometria de massa e a espectroscopia Raman, vêm sendo exploradas como alternativas mais sensíveis, precisas e não destrutivas. Essas metodologias possibilitam a identificação de biomarcadores específicos nos líquidos corporais, preservando a integridade da amostra e permitindo sua aplicação direta na cena do crime. Este estudo, de natureza bibliográfica e exploratória, tem como objetivo analisar os métodos tradicionais e emergentes na detecção e identificação de líquidos corporais no contexto forense. A pesquisa foi realizada com base em artigos científicos publicados entre 2005 e 2024, selecionados em bases de dados como PubMed, Scopus, ScienceDirect e Google Scholar. Foram incluídos no estudo artigos que abordem métodos de detecção e identificação de líquidos corporais na biologia forense, escritos em inglês ou português e serão excluídos os estudos que não estiverem de acordo com a temática. Os resultados demonstram que os novos métodos, especialmente a espectrometria de massa e a espectroscopia Raman, apresentam vantagens significativas em relação às abordagens convencionais, contribuindo para a maior eficiência das investigações criminais. No entanto, desafios como o alto custo dos equipamentos e a necessidade de validação em diferentes cenários forenses ainda precisam ser superados para sua implementação ampla e eficaz.

Palavras-chave: Biologia forense; espectrometria de massa; espectroscopia Raman; identificação de líquidos corporais; investigação criminal.

THAYSSA ALESSANDRA DE CASTRO LIMA LEITE. **FORENSIC BIOLOGY: DETECTION AND IDENTIFICATION OF BODY FLUIDS**, 2025. 36 folhas. Monografia de Conclusão de Curso- FASIPE- Faculdade de CPA.

ABSTRACT

The identification of bodily fluids at crime scenes is a crucial challenge in forensic biology, as these pieces of evidence can be essential for solving criminal investigations. Traditional methods, such as enzymatic, histological, and serological tests, while widely used, present limitations, including low specificity, the need for large sample volumes, and the potential degradation of evidence. With advances in forensic science, emerging techniques like mass spectrometry and Raman spectroscopy are being explored as more sensitive, precise, and non-destructive alternatives. These methodologies enable the identification of specific biomarkers in bodily fluids, preserving sample integrity and allowing direct application at crime scenes. This study, which is bibliographic and exploratory in nature, aims to analyze traditional and emerging methods for detecting and identifying bodily fluids in forensic contexts. The research was conducted based on scientific articles published between 2005 and 2024, selected from databases such as PubMed, Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar. The study included articles that address methods for the detection and identification of body fluids in forensic biology, written in English or Portuguese. Studies that do not align with the theme will be excluded. The results demonstrate that new methods, particularly mass spectrometry and Raman spectroscopy, offer significant advantages over conventional approaches, contributing to the increased efficiency of criminal investigations. However, challenges such as the high cost of equipment and the need for validation in different forensic scenarios still need to be overcome for their broad and effective implementation.

Keywords: Forensic biology; mass spectrometry; Raman spectroscopy; bodily fluid identification; criminal investigation.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparação entre métodos tradicionais e modernos de identificação de líquidos corporais na biologia forense	27
---	----

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Biologia Forense: Um Campo Multidisciplinar e sua Aplicação na Investigação Criminal	17
2.1.2 Sub áreas e Contribuições.....	18
2.1.3 Aplicação Educacional, importância e impactos	18
2.2 Técnicas tradicionais de identificação de fluidos corporais	19
2.3 Principais líquidos corporais de interesse forense	20
2.4 A Espectrometria de massa na biologia forense	22
2.5 Espectroscopia Raman e suas aplicações	23
2.6 Técnicas de coleta, preservação e extração de material genético em investigação forense	25
2.7 Limitações e desafios das técnicas modernas	26
2.8 Perspectivas Futuras	27
2.9 Casos Reais Resolvidos com Técnicas Modernas	28
2.10 Discussão Ética e Legal sobre Novas Tecnologias	29
2.11 Desafios no Brasil	30
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
4. REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

A biologia forense tem um papel crucial na investigação de cenas de crime, especialmente na detecção e identificação de líquidos corporais. Fluidos como sangue, sêmen, saliva, urina e suor são frequentemente encontrados em cenas de crime e fornecem informações úteis para a elucidação de eventos criminosos por meio da análise de DNA e outros marcadores biológicos. No entanto, a identificação precisa desses fluidos pode ser desafiadora, especialmente quando estão misturados ou degradados devido a fatores ambientais (ZAPATA; OSSA; GARCÍA-RUIZ, 2015).

Tradicionalmente, a identificação de líquidos corporais depende de testes enzimáticos, histológicos ou sorológicos, que servem como ensaios presuntivos e confirmatórios. Esses métodos, como os testes enzimáticos, histológicos e sorológicos, embora eficazes, apresentam limitações significativas, como falsos positivos, destruição de evidências e a necessidade de grandes volumes de amostra para análise (SAKURADA; WATANABE; AKUTSU, 2020).

Além disso, esses métodos eram incapazes de identificar amostras de fluidos que passaram pela manipulação ou estavam presentes em quantidades mínimas, dificultando sua aplicação em investigações criminais.

Historicamente, a perícia forense tem sido fundamental na resolução de crimes, com as evidências biológicas desempenhando um papel central. Métodos tradicionais para a identificação de manchas de sangue, como o teste de luminol, reagem com a hemoglobina e produzem luminescência, permitindo visualizar manchas de sangue em cenas de crime. Apesar de sua ampla utilização, o luminol tem limitações, como a incapacidade de identificar outros fluidos e a potencial destruição parcial das amostras, comprometendo análises subsequentes de DNA (VIRKLER; LEDNEV, 2009; MURO et al., 2016).

Além dos testes de luminol, técnicas enzimáticas e sorológicas também foram aplicadas para identificar fluidos específicos, como o uso de amilase para saliva. Embora esses métodos ofereçam alternativas rápidas e de baixo custo, apresentam desafios importantes, incluindo interferências ambientais que geram falsos positivos. Além disso, a necessidade de volumes

maiores de amostras para uma análise eficaz limita o uso desses métodos em casos onde há manipulação ou pouca quantidade de amostra (SAKURADA; WATANABE; AKUTSU, 2020; DAS; AGRAWAL, 2011). A dependência de amostras em maior volume restringe a aplicabilidade de métodos tradicionais em investigações forenses complexas e exigentes.

A análise de DNA tem sido apresentada como essencial em contextos forenses, especialmente na determinação da origem de uma amostra de DNA, estabelecendo a relação entre vítima e suspeito. No entanto, o avanço das técnicas de espectrometria de massa e espectroscopia Raman trouxe alternativas modernas, que superam as limitações dos métodos convencionais e permitem análises não destrutivas e mais específicas. Com o avanço da ciência forense, técnicas como a espectrometria de massa e a espectroscopia Raman vêm ganhando espaço devido ao seu potencial em melhorar a identificação de fluidos corporais, fornecendo resultados rápidos, não destrutivos e de alta precisão (VIRKLER; LEDNEV, 2010; DAS; AGRAWAL, 2011).

Diante desse cenário, este estudo busca responder à seguinte questão-problema: Quais são as vantagens e limitações das técnicas avançadas na detecção e identificação de líquidos corporais na prática forense? Como hipótese, considera-se que a combinação de espectrometria de massa e espectroscopia Raman pode proporcionar maior precisão e confiabilidade na identificação de fluidos corporais, mesmo em condições adversas, quando comparadas aos métodos tradicionais.

Esses avanços não apenas expandem as possibilidades na investigação forense, mas também possibilitam o desenvolvimento de metodologias mais específicas e robustas, que minimizam a destruição de evidências e aumentam a precisão dos resultados. O uso combinado da espectrometria de massa e da espectroscopia Raman tem o potencial de fornecer análises mais completas e projetadas de amostras complexas, contribuindo significativamente para o sucesso das investigações criminais (BROWN et al., 2020).

Apesar dessas inovações, há ainda a necessidade de estudos adicionais para superar as limitações presentes, como o alto custo dos equipamentos de espectrometria de massa e a susceptibilidade da espectroscopia Raman à interferência de fluorescência em algumas amostras, o que pode comprometer a análise de líquidos complexos, como sangue e sêmen. A introdução de variantes, como a espectroscopia Raman de superfície aprimorada (SERS), promete contornar algumas dessas limitações, aumentando a intensidade dos sinais Raman e aprimorando a precisão das análises (BROWN et al., 2020; HOFFMANN; JACKSON, 2015).

Além disso, técnicas como a espectrometria de massa e a espectroscopia Raman não apenas oferecem uma possibilidade de análise mais abrangente, sensível, não destrutiva e com alta precisão, mas também são facilmente aplicadas diretamente na cena do crime com equipamentos portáteis. Essa possibilidade é imprescindível, pois permite a confirmação do material em situações adversas, mesmo quando a amostra estiver degradada ou manipulada (VIRKLER; LEDNEV, 2010; ZAPATA; OSSA; GARCÍA-RUIZ, 2015).

Dessa forma, a introdução dessas tecnologias na prática forense pode revolucionar a forma como os líquidos corporais são detectados, aumentando a precisão dos resultados e melhorando as taxas de sucesso nas investigações criminais. No entanto, ainda há desafios a serem superados, como a portabilidade dos equipamentos e a necessidade de validação científica para garantir sua aplicabilidade em diversos cenários forenses (BROWN et al., 2020).

Para isso, a pesquisa será realizada por meio de uma revisão bibliográfica exploratória, com abordagem qualitativa, analisando estudos publicados entre os anos de 2005 a 2024 em bases como PubMed, Scopus, ScienceDirect e Google Scholar. Os descritores utilizados incluem "detecção de líquidos corporais", "espectrometria de massa", "biomarcadores forenses", "espectroscopia Raman" e "biologia forense". Serão incluídos artigos que abordem métodos emergentes e tradicionais de identificação de líquidos corporais, enquanto estudos irrelevantes para a temática serão excluídos. 38 artigos foram utilizados para compor este trabalho.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Descrever a eficácia de técnicas avançadas e combinadas para a detecção e identificação de líquidos corporais em contextos forenses.

1.1.2 Específicos

Comparar os métodos de espectrometria de massa e análise de biomarcadores, com métodos tradicionais para detecção de líquidos corporais na prática forense;

Listar a precisão e a sensibilidade dos métodos de detecção e identificação dos líquidos corporais em condições variáveis, como a presença de contaminantes e a degradação;

Elencar os protocolos combinados para identificação e detecção de amostras e comparar sua eficácia com técnicas avançadas e tradicionais para melhorar a identificação de líquidos corporais em amostras forenses.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Biologia Forense: um campo multidisciplinar e sua aplicação na investigação criminal

A Biologia Forense é uma subdisciplina científica que aplica conhecimentos biológicos no campo da justiça, especialmente na área criminal. Essa abordagem multidisciplinar combina áreas como genética, entomologia, botânica e hematologia forense, permitindo análises de vestígios biológicos em cenas de crimes, corpos e objetos relacionados ao ocorrido (DE JESUS SANTOS; MONTENEGRO, 2023).

A aplicação de métodos biológicos no contexto judicial tem raízes históricas profundas. Desde o século XIX, quando as primeiras tentativas de identificar suspeitos por meio de marcas biológicas foram realizadas, a biologia forense passou por um grande avanço. Inicialmente, técnicas como a tipagem sanguínea foram os primeiros passos rumo à análise biológica em investigações. Contudo, foi a introdução da análise de DNA na década de 1980 que revolucionou a ciência forense, permitindo uma identificação precisa e individualizada (FROHLICH et al., 2020).

Atualmente, a biologia forense desempenha papel fundamental na resolução de crimes. Casos de grande repercussão foram solucionados por meio de análises biológicas, como o estudo de vestígios de DNA em cenas de crime, mesmo em materiais degradados ou em pequena quantidade. Além do DNA, outras áreas como a entomologia forense, que analisa o ciclo de vida de insetos em corpos em decomposição, têm auxiliado na estimativa do intervalo pós-morte, contribuindo de forma decisiva para o esclarecimento de casos (DOS SANTOS, 2018; SILVA, 2022).

A relevância da biologia forense para a justiça é indiscutível. As informações obtidas por meio das análises biológicas têm sido usadas como provas irrefutáveis em processos judiciais, influenciando diretamente no veredito de julgamentos. A confiabilidade das técnicas

empregadas proporciona não apenas a responsabilização de culpados, mas também a absolvição de inocentes, tornando o uso da biologia forense uma ferramenta indispensável à promoção da justiça (SILVA, 2022).

Com o avanço das pesquisas e o desenvolvimento de novas tecnologias, a tendência é que a biologia forense se torne ainda mais precisa e abrangente. A utilização de biomarcadores específicos, como proteínas e metabólitos, além das técnicas de espectrometria de massa e espectroscopia Raman, tem ampliado o espectro de aplicação da biologia forense, permitindo análises mais rápidas, específicas e menos destrutivas (DE JESUS SANTOS; MONTENEGRO, 2023).

2.1.2 Sub áreas e Contribuições

A Biologia Forense se desdobra em diversas subáreas, cada uma oferecendo métodos específicos para investigações:

- **Genética Forense** : Utiliza técnicas de análise de DNA para identificar suspeitos, vítimas e estabelecer conexões com a cena do crime. Exemplos notáveis incluem o caso de Leicester, que marcou a primeira aplicação do DNA em investigações criminais (DE JESUS SANTOS; MONTENEGRO, 2023).
- **Entomologia Forense** : Foca no estudo de insetos associados a cadáveres, auxiliando na estimativa do intervalo pós-morte (PMI). Desde o primeiro caso documentado na China em 1235, a entomologia forense tem contribuído para elucidar crimes em cenários complexos (DE JESUS SANTOS; MONTENEGRO, 2023).
- **Hematologia Forense** : Análise de manchas de sangue, determinando a origem, dinâmica e características do evento criminoso. Um exemplo emblemático no Brasil é o caso de Isabella Nardoni, onde evidências de sangue foram fundamentais para identificar os culpados (DE JESUS SANTOS; MONTENEGRO, 2023).
- **Botânica Forense** : Aplicar conhecimentos sobre plantas e pólen, sendo crucial em casos como o de Denise Johnson, nos Estados Unidos, onde DNA de sementes comprovou a presença do suspeito na cena do crime (DOS SANTOS, 2018).

2.1.3 Aplicação Educacional, importância e impactos

No Brasil, a Biologia Forense também tem sido utilizada como ferramenta didática no ensino de ciências. Metodologias baseadas em simulações de cenas de crimes são rompidas para engajar alunos, promover a argumentação científica e aproximar o conhecimento teórico

do cotidiano. Esses projetos demonstram que a aplicação lúdica de conceitos forenses pode facilitar a aprendizagem e despertar o interesse nas áreas de ciências naturais (DE JESUS SANTOS; MONTENEGRO, 2023).

Além de ser crucial para a elucidação de crimes de grande repercussão, a Biologia Forense traz avanços na aplicação da justiça e na resolução de crimes complexos. Casos históricos ilustram a relevância dessa ciência em âmbitos globais e locais, reforçando sua necessidade de constante evolução tecnológica para responder aos desafios forenses emergentes (DOS SANTOS, 2018; DE JESUS SANTOS; MONTENEGRO, 2023).

2.2 Técnicas tradicionais de identificação de fluidos corporais

A identificação de líquidos corporais em cenas de crime é uma questão de suma importância para a biologia forense, fornecendo pistas essenciais para a elucidação de crimes. Ao longo dos anos, diversos métodos têm sido aplicados para garantir a precisão e a confiabilidade das análises (VIRKLER; LEDNEV, 2009).

Historicamente, a identificação de líquidos corporais baseava-se em técnicas presuntivas e confirmatórias que dependiam de reações químicas e enzimáticas. Uma das primeiras técnicas amplamente utilizadas foi o teste de luminol, que revela a presença de manchas de sangue por meio de reações químicas que produzem luminescência. Embora o luminol seja sensível, é limitado pela sua incapacidade de identificar outros tipos de líquidos e pela destruição parcial das amostras durante a análise (VIRKLER; LEDNEV, 2009). Estudos demonstraram que substâncias como água sanitária, cobre, ferrugem, frutas e vegetais podem causar reações químicas semelhantes às provocadas pelo sangue, resultando em falsos positivos (QUICKENDEN; CREAMER, 2001).

Os métodos enzimáticos, como a detecção de amilase para identificar saliva, também desempenharam um papel fundamental na análise forense. Esses métodos são relativamente simples e rápidos, porém sua resolução é limitada devido à interferência de emissão presente no ambiente das cenas de crime, o que muitas vezes gera falsos positivos ou negativos (SAKURADA; WATANABE; AKUTSU, 2020). Um estudo conduzido por Ricci, Carboni e Torricelli (2014) revelou que frutas cítricas, como limão e laranja, podem reagir positivamente nos testes de amilase, mesmo na ausência de fluido salivar, evidenciando os riscos de conclusões equivocadas em análises presuntivas (RICCI; CARBONI; TORRICELLI, 2014). Além disso, a necessidade de grandes volumes de amostras para a realização desses testes

compromete a eficácia dos métodos em casos de amostras degradadas ou em pequenas quantidades (SAKURADA; WATANABE; AKUTSU, 2020).

Os testes sorológicos também são amplamente utilizados, especialmente na identificação de soro e sangue, mas sua sensibilidade e especificidade variam consideravelmente, e o uso de reagentes químicos comprometedores reduz o potencial de análises futuras, como a tipagem de DNA (VIRKLER; LEDNEV, 2009). Além disso, diversas condenações judiciais equivocadas foram atribuídas a depoimentos periciais com base em técnicas tradicionais falhas. Um estudo publicado por Garrett e Neufeld (2009) identificou que, em vários casos de condenações errôneas nos Estados Unidos, peritos utilizaram metodologias forenses sem respaldo científico robusto, o que contribuiu para decisões judiciais incorretas (GARRETT; NEUFELD, 2009).

Tais falhas reforçam a necessidade urgente da substituição ou complementação dos métodos tradicionais por técnicas mais modernas, como a espectrometria de massa e a espectroscopia Raman, que oferecem maior sensibilidade, precisão e menor risco de degradação de evidências em contextos forenses complexos.

2.3 Principais líquidos corporais de interesse forense

A identificação de líquidos corporais desempenha um papel fundamental nas investigações forenses, fornecendo informações críticas sobre a dinâmica dos crimes e o envolvimento de possíveis suspeitos. Cada tipo de fluido corporal contém biomarcadores únicos que, quando corretamente identificados, podem indicar a presença, o contato ou a atividade de um indivíduo em uma cena de crime. Avanços tecnológicos têm ampliado as possibilidades de análise, permitindo a identificação precisa mesmo em amostras degradadas ou misturadas (JOON et al., 2025).

Sangue

O sangue é o fluido mais comumente encontrado e analisado na biologia forense, sendo fundamental na reconstrução de eventos e na identificação de envolvidos. Técnicas tradicionais como o teste de luminol, baseadas na presença de hemoglobina, são sensíveis, porém sujeitas a falsos positivos por interferências químicas. Já os métodos modernos, como a espectroscopia Raman, têm sido utilizados para detectar vestígios de sangue diretamente de superfícies com alta precisão e especificidade, mesmo sobre substratos interferentes, como tecidos coloridos ou superfícies contaminadas (KISTENEV et al., 2023).

Sêmen

Essencial em casos de crimes sexuais, o sêmen é tradicionalmente identificado por testes microscópicos e imunológicos, como a detecção de antígeno prostático específico (PSA). Atualmente, tecnologias como MALDI-TOF-MS e espectroscopia Raman têm se destacado por possibilitar a detecção rápida e não destrutiva de sêmen, mesmo em manchas antigas ou parcialmente degradadas. Além disso, essas técnicas oferecem alto grau de especificidade ao analisar perfis moleculares característicos do sêmen (JACKSON; BARKETT, 2023).

Saliva

A saliva é frequentemente encontrada em evidências como mordidas, copos e cigarro, e pode ser detectada por meio da presença da enzima amilase ou de proteínas específicas. A espectroscopia Raman portátil e técnicas baseadas em fluorescência têm se mostrado promissoras para a análise rápida e in loco de amostras de saliva, superando limitações dos métodos presuntivos, que são suscetíveis a reações cruzadas com substâncias alimentares (JOON et al., 2025).

Urina

Embora menos frequente, a urina pode fornecer informações relevantes, especialmente em contextos toxicológicos ou de violência sexual. A espectrometria de massa de alta resolução e métodos fluorescentes têm permitido a identificação de metabólitos presentes na urina, mesmo em quantidades pequenas ou após degradação. A aplicação forense desse fluido exige sensibilidade e especificidade elevadas para distinguir entre substâncias similares (BROWN et al., 2020).

Suor

O suor contém compostos como lactato, ureia, e sais minerais que podem ser utilizados para a identificação forense, embora sua aplicação ainda esteja em desenvolvimento. Avanços na metabolômica e na análise de perfil químico por espectrometria têm possibilitado a diferenciação do suor em relação a outros fluidos, com destaque para pesquisas que investigam sua viabilidade como marcador forense em contextos de contato físico prolongado (DAS; AGRAWAL, 2011).

Fluido Vaginal e Menstrual

Fluidos vaginais e menstruais são evidências críticas em investigações de abuso sexual. Tradicionalmente identificados por testes microscópicos, o uso de técnicas moleculares, como RNA mensageiro e espectrometria de massa, tem permitido análises mais precisas e específicas. Além disso, esses métodos são capazes de diferenciar entre fluido vaginal, sêmen e fluido menstrual, mesmo em amostras mistas ou degradadas (BROWN et al., 2020).

2.4 A Espectrometria de massa na biologia forense

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, a espectrometria de massa emergiu como uma técnica de grande potencial na identificação de líquidos corporais. A espectrometria de massa permite a detecção de compostos específicos em uma amostra com base em sua massa e carga. Essa técnica tem sido aplicada com sucesso na análise de biomarcadores em líquidos corporais, como sangue e sêmen, com um grau de sensibilidade muito superior aos métodos tradicionais (ATKINS et al., 2017).

A espectrometria de massa, uma técnica que identifica compostos com base em sua massa e carga, permite a detecção de biomarcadores específicos de cada fluido corporal. Essa técnica é altamente sensível e tem sido utilizada para identificar traços de líquidos corporais em amostras degradadas (VYAS; HALÁMKOVÁ; LEDNEV, 2020). No entanto, a espectrometria de massa apresenta limitações, como a necessidade de preparação e processamento da amostra, o que pode ser demorado e requer equipamentos sofisticados, limitando sua aplicação direta em cenas de crime (HOFFMANN; JACKSON, 2015; ATKINS et al., 2017).

Estudos recentes mostram que a espectrometria de massa, quando combinada com outras técnicas, pode oferecer uma solução robusta para detecção de líquidos corporais. Por exemplo, a combinação de espectrometria de massa com a análise de biomarcadores permitiu a detecção de fluidos corporais em amostras pequenas e degradadas, aumentando a precisão das investigações forenses (VYAS; HALÁMKOVÁ; LEDNEV, 2020).

Além disso, novas abordagens tecnológicas vêm ampliando as aplicações da espectrometria de massa na biologia forense. A espectrometria de massa de alta resolução (HRMS) tem se destacado por sua capacidade de detectar e identificar compostos com alta precisão e em concentrações extremamente baixas. Essa técnica é especialmente útil na análise de drogas, metabólitos e biomarcadores em fluidos corporais como sangue, saliva e urina, mesmo em casos onde as amostras estejam degradadas ou em baixa quantidade (ORR et al., 2019).

Outra inovação promissora é o uso da espectrometria de massa assistida por dessorção/ionização com laser e tempo de voo (MALDI-TOF-MS), que vem sendo aplicada na análise direta de amostras biológicas sem a necessidade de extração prévia ou marcação. Essa técnica demonstrou excelente desempenho na identificação precisa de fluidos corporais, como sangue, saliva e sêmen, inclusive em manchas antigas e parcialmente degradadas, com elevada sensibilidade e especificidade (JIANG et al., 2019).

Estudos também apontam que, por meio da construção de perfis moleculares específicos de cada fluido, essa técnica permite análises comparativas altamente confiáveis. Algumas abordagens recentes propõem o uso combinado de MALDI-TOF-MS com métodos estatísticos multivariados, o que tem se mostrado eficaz para diferenciar amostras e gerar resultados forenses robustos, mesmo a partir de pequenas quantidades de vestígios. Essas inovações reduzem o tempo de análise, aumentam a precisão da identificação e favorecem sua aplicabilidade em investigações criminais (KAMANNA et al., 2016).

Pesquisas mais atuais demonstram que a espectrometria de massa continua a se expandir, especialmente com o uso do MALDI-TOF-MS em amostras não invasivas, como urina e saliva. Essas aplicações têm permitido a identificação de biomarcadores em níveis extremamente baixos, com potencial também para uso em diagnósticos médicos, o que reforça sua relevância na análise forense moderna (ZAMBONIN; ARESTA, 2022).

Apesar dos avanços, desafios permanecem: o custo elevado dos equipamentos, a complexidade dos procedimentos analíticos e a necessidade de amostras purificadas e bem preparadas ainda dificultam a incorporação dessa tecnologia de forma rotineira em muitos laboratórios forenses, especialmente os de pequeno porte ou com poucos recursos (BROWN et al., 2020).

Tais avanços demonstram que, embora ainda existam desafios técnicos, a espectrometria de massa continua a evoluir e se consolidar como uma ferramenta indispensável na análise forense moderna, contribuindo significativamente para a identificação e individualização de vestígios biológicos em investigações criminais.

2.5 Espectroscopia Raman e suas aplicações

Outra técnica emergente na biologia forense é a espectroscopia Raman, que oferece uma abordagem não destrutiva para a detecção de líquidos corporais. A espectroscopia Raman funciona por meio da dispersão inelástica da luz laser, fornecendo uma "impressão digital" molecular única de cada amostra apresentada. Essa técnica é altamente sensível e não requer a

destruição da amostra, o que permite que evidências forenses sejam preservadas para análises futuras, como a tipagem de DNA (DAS; AGRAWAL, 2011).

A espectroscopia Raman, por exemplo, utiliza a dispersão inelástica de luz laser, permitindo a obtenção de um espectro único para cada fluido corporal. Estudos recentes demonstram que essa técnica é capaz de identificar manchas de sangue, saliva, sêmen, suor, fluido vaginal e até urina, mesmo em condições adversas (VYAS; HALÁMKOVÁ; LEDNEV, 2020; MURO et al., 2016). Uma das grandes vantagens da espectroscopia Raman é sua natureza não destrutiva, que preserva uma amostra para futuras análises de DNA, garantindo resultados confirmatórios. Além disso, seu uso combinado com técnicas de análise estatística, como quimiometria, permitiu a construção de modelos universais que identificam com alta precisão a origem do fluido corporal, tornando-se uma ferramenta essencial em investigações criminais (ATKINS et al., 2017; DAS; AGRAWAL, 2011).

Embora a espectroscopia Raman apresente inúmeras vantagens, há desafios a serem enfrentados, como a interferência de fluorescência em algumas amostras e a baixa intensidade dos sinais Raman em compostos de baixa concentração. No entanto, o desenvolvimento de novas técnicas, como a espectroscopia Raman de superfície aprimorada (SERS), tem ajudado a superar essas limitações, proporcionando um aumento significativo na intensidade dos sinais Raman (ATKINS et al., 2017).

A SERS, em particular, potencializa os sinais Raman em várias ordens de magnitude por meio do uso de nanossustratos metálicos, como ouro ou prata, que amplificam a resposta espectral das amostras. Essa abordagem tem permitido a detecção de vestígios extremamente baixos de líquidos corporais, inclusive em superfícies complexas e contaminadas, o que é crucial em locais de crime. Além disso, o uso de SERS tem se mostrado eficaz na diferenciação precisa de tipos de fluidos biológicos, mesmo quando as amostras estão degradadas ou envelhecidas, o que representa um grande avanço para a identificação forense de vestígios biológicos em condições reais (HOLMAN; KUROUSKI, 2024).

Outra inovação relevante é o desenvolvimento de dispositivos portáteis de espectroscopia Raman, que permitem a realização de análises em campo, diretamente na cena do crime. Esses dispositivos são compactos, fáceis de operar e oferecem resultados quase imediatos, contribuindo para decisões rápidas durante investigações. Estudos recentes demonstram que os equipamentos portáteis são capazes de identificar com alta precisão amostras de sangue, sêmen e saliva diretamente em superfícies como roupas, pisos ou objetos, sem necessidade de coleta e transporte para o laboratório (HAKONEN et al., 2018).

Além disso, o uso de modelos computacionais integrados aos dispositivos portáteis possibilita a classificação automática de espectros, com base em bancos de dados previamente validados, otimizando ainda mais a velocidade e confiabilidade dos resultados obtidos no local. Essa integração tecnológica amplia significativamente o potencial da espectroscopia Raman como ferramenta de triagem forense, principalmente em situações onde o tempo de resposta é essencial para a condução das investigações (HAKONEN et al., 2018; HOLMAN; KUROUSKI, 2024).

2.6 Técnicas de coleta, preservação e extração de material genético em investigação forense

A coleta, preservação e extração de vestígios biológicos são etapas cruciais para garantir a integridade das amostras que serão submetidas à análise genética forense. O sucesso da identificação por DNA depende diretamente da qualidade do vestígio biológico, bem como do correto manuseio técnico e legal durante todo o processo, desde a cena do crime até o laboratório (SOUSA; QUEIROZ, 2012).

A coleta dos vestígios deve ser realizada com técnicas adequadas ao tipo de fluido biológico e ao estado em que ele se encontra. Por exemplo, vestígios de sangue podem ser coletados com swabs, seringas ou pipetas, dependendo se estão em estado líquido, seco ou úmido. Vestígios em roupas ou objetos transportáveis devem ser encaminhados inteiros ao laboratório, enquanto superfícies não transportáveis exigem coleta por swab umedecido. A correta secagem da amostra antes do armazenamento é essencial para evitar a degradação por microrganismos. Além disso, todas as amostras devem ser devidamente identificadas e acondicionadas em recipientes apropriados, respeitando as exigências da cadeia de custódia (SOUSA; QUEIROZ, 2012).

O acondicionamento inadequado ou a contaminação cruzada podem comprometer significativamente a análise de DNA. Por isso, a preservação deve garantir a integridade física e química dos vestígios, evitando-se exposição ao calor, umidade ou substâncias químicas. No caso de manchas secas, a coleta com lâmina ou espátula seguida de armazenamento em envelope de papel é uma técnica eficaz. Já em meios líquidos, como água misturada ao fluido, deve-se utilizar gaze, algodão ou swab, com secagem imediata antes do acondicionamento (SOUSA; QUEIROZ, 2012).

Na fase laboratorial, diferentes técnicas são utilizadas para a extração do DNA de acordo com a natureza da amostra. A extração orgânica com fenol-clorofórmio é considerada padrão

ouro para vestígios como sêmen, células vaginais e manchas de sangue, por permitir a obtenção de DNA de alta massa molecular. Já a técnica de extração com resina Chelex é indicada para amostras menores ou mais degradadas, devido à sua rapidez e eficiência. A escolha da técnica depende também do objetivo analítico, da quantidade de DNA presente e da necessidade de pureza da amostra (SOUSA; QUEIROZ, 2012).

Além disso, conforme apontado por Bordin et al. (2015), a escolha da matriz biológica (sangue, urina, cabelo, fluido oral, suor, mecônio ou humor vítreo) influencia diretamente na extração e análise, considerando-se fatores como estabilidade dos analitos, janela de detecção e dificuldade de coleta. Técnicas como cromatografia em fase gasosa ou líquida acoplada à espectrometria de massas (GC-MS e LC-MS/MS) são frequentemente utilizadas para detectar e confirmar a presença de substâncias nas amostras biológicas, sendo o preparo da amostra uma etapa essencial para minimizar interferências e maximizar a recuperação dos analitos de interesse (BORDIN et al., 2015).

Essas etapas de coleta, preservação e extração devem seguir protocolos rigorosos para garantir que as evidências sejam válidas tanto do ponto de vista técnico quanto jurídico, assegurando a confiabilidade dos resultados na identificação genética em investigações criminais (SOUSA; QUEIROZ, 2012; BORDIN et al., 2015).

2.7 Limitações e desafios das técnicas modernas

Apesar das vantagens oferecidas pela espectrometria de massa e pela espectroscopia Raman, ambas as técnicas enfrentam desafios que precisam ser superados para garantir sua eficácia em todas as situações forenses. A espectrometria de massa, por exemplo, ainda é limitada pela sua necessidade de preparação extensa das amostras e pelo alto custo dos equipamentos necessários. Além disso, a presença de contaminantes pode comprometer a precisão da análise, especialmente em amostras ambientais (ATKINS et al., 2017).

Da mesma forma, a espectroscopia Raman, embora promissora, é vulnerável à interferência de fluorescência, que pode mascarar os sinais Raman em algumas amostras. Isso é especialmente problemático quando se trata de amostras biológicas altamente complexas, como sangue e outros fluidos corporais (DAS; AGRAWAL, 2011). No entanto, o desenvolvimento de variantes da técnica, como o uso de nanopartículas metálicas para aumentar os sinais Raman, tem sido promissor no sentido de resolver essas limitações (ATKINS et al., 2017).

Quadro 1 – Comparação entre métodos tradicionais e modernos de identificação de líquidos corporais na biologia forense

Característica	Métodos Tradicionais (imunológicos, químicos, microscopia)	Métodos Modernos (espectrometria de massa, espectroscopia Raman)
Sensibilidade	Moderada	Alta
Tempo de análise	Moderado a demorado	Rápido a moderado
Necessidade de amostra	Requer maior quantidade de material	Quantidade mínima é suficiente
Aplicação na cena do crime	Possível, mas limitada	Raman portátil permite uso direto; espectrometria exige laboratório
Preservação da amostra	Frequentemente destrutivos	Técnicas como Raman são não destrutivas

Fonte: Autora Propria.

2.8 Perspectivas Futuras

O avanço das técnicas de espectroscopia e espectrometria oferece uma perspectiva promissora para a biologia forense. Com o desenvolvimento contínuo de tecnologias mais precisas e acessíveis, espera-se que a identificação de líquidos corporais em cenas de crime se torne ainda mais rápida e confiável. O uso de técnicas combinadas, como a espectrometria de massa associada à análise de biomarcadores e a espectroscopia Raman, tem o potencial de fornecer análises mais completas e desenvolvidas de amostras complexas, aumentando as taxas de sucesso em investigações criminais (VYAS; HALÁMKOVÁ; LEDNEV, 2020).

Além disso, a portabilidade dos equipamentos e a possibilidade de análises em campo serão fatores decisivos para a adoção dessas tecnologias de forma mais ampla em investigações forenses. No entanto, é essencial continuar investindo em pesquisas para superar as limitações das técnicas atuais, garantindo que os métodos sejam eficazes em uma variedade de cenários forenses (DAS; AGRAWAL, 2011).

Outro avanço que promete transformar significativamente a biologia forense é a aplicação de inteligência artificial (IA) e aprendizado de máquina. Essas ferramentas têm se mostrado altamente eficazes na análise de grandes volumes de dados gerados por espectrometria de massa e espectroscopia Raman, proporcionando classificações mais precisas e automáticas de amostras forenses (LIU et al., 2019). Com o uso de algoritmos avançados, é

possível diferenciar com elevada exatidão fluidos corporais com perfis químicos semelhantes, mesmo em situações em que as amostras estão degradadas ou contaminadas (JOON et al., 2025).

Estudos recentes demonstram que a integração entre técnicas espectroscópicas e modelos de aprendizado de máquina melhora significativamente a acurácia na identificação de fluidos corporais. Métodos baseados em IA podem ser treinados com espectros Raman ou de espectrometria de massa para reconhecer padrões e reduzir falsos positivos ou negativos (NICHOLS, 2021). Esses modelos têm potencial para uso direto em campo, com softwares embarcados em dispositivos portáteis, agilizando a tomada de decisões em investigações (JOON et al., 2025; LIU et al., 2019).

Portanto, a combinação entre inovações tecnológicas e recursos computacionais avança no sentido de tornar os métodos forenses mais acessíveis, rápidos e confiáveis, consolidando a biologia forense como um campo cada vez mais essencial à justiça criminal (DAS; AGRAWAL, 2011; LIU et al., 2019; NICHOLS, 2021).

2.9 Casos Reais Resolvidos com Técnicas Modernas

O uso de tecnologias avançadas como a espectrometria de massa e a genealogia forense baseada em DNA tem proporcionado avanços significativos na resolução de crimes complexos e antigos. Um dos casos mais emblemáticos foi o do “Golden State Killer”, que durante décadas permaneceu sem solução. Joseph James DeAngelo, responsável por pelo menos 12 assassinatos e mais de 50 estupros entre as décadas de 1970 e 1980, foi finalmente identificado em 2018 graças ao uso de genealogia genética forense. Investigadores utilizaram bancos de dados públicos de DNA, como o GEDmatch, para identificar parentes distantes do agressor, reconstruir árvores genealógicas e, por fim, apontar DeAngelo como principal suspeito. A confirmação foi possível com o cruzamento do DNA encontrado na cena do crime com amostras descartadas pelo suspeito (WICKENHEISER, 2019).

Esse caso demonstra o potencial das novas ferramentas forenses, como o uso de painéis de SNPs (polimorfismos de nucleotídeo único), que permitem análises genéticas mais detalhadas e a comparação com perfis genéticos de familiares. Diferentemente das técnicas tradicionais que dependiam exclusivamente da correspondência direta com o DNA de suspeitos cadastrados em bancos nacionais, essas abordagens expandem a capacidade investigativa para

além dos limites dos bancos de dados criminais convencionais. O caso também levanta questões sobre privacidade e bioética, pois o uso de informações genéticas de familiares de suspeitos ainda é tema de debate (WICKENHEISER, 2019).

Ao lado disso, investigações contemporâneas vêm explorando os limites e as implicações do uso crescente de bases de dados genéticos, tanto públicas quanto comerciais. Estudos demonstram que o uso não regulamentado de bancos de dados genéticos pode infringir direitos fundamentais, especialmente quando utilizado sem o devido consentimento ou em populações vulneráveis. É necessário haver equilíbrio entre os benefícios da resolução de crimes e o respeito à privacidade genética dos cidadãos (UBEROI; PALMOUR; JOLY, 2024).

A aplicação de técnicas modernas, como a espectrometria de massa e a espectroscopia Raman, tem desempenhado um papel crucial na resolução de casos forenses complexos. Essas metodologias oferecem análises precisas e rápidas, permitindo a identificação de substâncias e materiais com alta confiabilidade (JACKSON; BARKETT, 2023).

Por exemplo, um estudo recente demonstrou a eficácia da espectroscopia Raman na detecção de vestígios de sangue em substratos de interferência, mesmo quando as manchas estavam parcialmente ocultas ou misturadas a materiais contaminantes. Esse método se mostrou altamente sensível e específico, mesmo em condições adversas, reforçando sua utilidade prática em cenas de crime (KISTENEV et al., 2023).

Além disso, a integração da espectroscopia Raman com a espectrometria de massa tem possibilitado o desenvolvimento de abordagens inovadoras que ampliam a capacidade de análise no local da investigação. Tais combinações foram aplicadas com sucesso na detecção de drogas ilícitas e vestígios biológicos, aumentando a eficiência na coleta e interpretação das evidências (JACKSON; BARKETT, 2023).

Esses avanços tecnológicos não apenas contribuem para o fortalecimento das investigações criminais, como também fornecem suporte técnico robusto para o processo judicial, assegurando que as provas apresentadas tenham embasamento científico confiável e legalmente admissível (KISTENEV et al., 2023; JACKSON; BARKETT, 2023).

2.10 Discussão Ética e Legal sobre Novas Tecnologias

A incorporação de tecnologias avançadas, como a espectrometria de massa e a espectroscopia Raman, na ciência forense tem revolucionado a coleta e análise de evidências. No entanto, essa evolução traz à tona questões éticas e legais que merecem atenção. Entre os

principais pontos, destacam-se a admissibilidade legal dessas técnicas, a necessidade de validação científica e o risco de criar expectativas irreais sobre seu desempenho (JACKSON; BARKETT, 2023).

A aceitação de novas tecnologias como provas legais depende de sua validação científica e de sua aceitação pela comunidade especializada. No sistema jurídico norte-americano, por exemplo, utiliza-se o padrão *Daubert*, que exige que os métodos científicos sejam testáveis, revisados por pares e amplamente aceitos pela comunidade científica. A espectrometria de massa, já consolidada em vários países, é considerada admissível quando seus métodos são adequadamente documentados e validados, o que reforça sua credibilidade nos tribunais (JACKSON; BARKETT, 2023).

Apesar da crescente utilização, ainda existem desafios quanto à padronização de protocolos, especialmente no uso de técnicas como a espectroscopia Raman. A ausência de normas técnicas claras pode gerar inconsistências entre laboratórios, dificultando a reprodutibilidade dos resultados. A validação de cada etapa do processo — desde a coleta até a interpretação dos dados — é essencial para assegurar a confiabilidade do exame pericial (FALES; ILEV; PFEFER, 2021).

Com o aumento da divulgação das tecnologias forenses em séries de TV e mídias populares, criou-se o chamado "efeito CSI", que gera no público e até mesmo entre jurados uma expectativa irreal sobre a infalibilidade das técnicas. Isso pode levar à pressão por resultados rápidos e conclusivos, o que nem sempre é possível na prática científica. Portanto, é crucial que peritos, advogados e juízes compreendam as reais capacidades e limitações dessas ferramentas tecnológicas (JACKSON; BARKETT, 2023).

2.11 Desafios no Brasil

A perícia criminal no Brasil enfrenta diversos desafios que comprometem a eficácia das investigações e a aplicação da justiça. Entre os principais obstáculos estão a infraestrutura inadequada dos laboratórios forenses, a escassez de recursos humanos e materiais, e a necessidade de maior integração entre instituições acadêmicas e órgãos de segurança pública (NETO; DE SOUZA ABUD, 2023).

Muitos laboratórios forenses brasileiros operam com equipamentos obsoletos e insuficientes para atender à demanda crescente por análises periciais. Estudos apontam que a falta de investimentos em tecnologia e infraestrutura compromete a qualidade e a celeridade

das perícias, impactando diretamente na resolução de crimes (RODRIGUES; SILVA; TRUZZI, 2010).

A constante evolução das técnicas forenses exige que os profissionais estejam atualizados e capacitados para utilizar novos métodos analíticos. Entretanto, a escassez de programas de formação continuada e a ausência de protocolos padronizados dificultam a validação e a aplicação eficaz dessas técnicas no contexto brasileiro (RODRIGUES; SILVA; TRUZZI, 2010).

A colaboração entre instituições acadêmicas e órgãos de segurança pública é fundamental para o desenvolvimento e a validação de novas metodologias forenses. Universidades podem contribuir significativamente por meio de pesquisas aplicadas, desenvolvimento de tecnologias e formação de profissionais especializados. No entanto, essa integração ainda é limitada no Brasil, o que impede avanços mais significativos na área (SILVA, 2019).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução da biologia forense ao longo das últimas décadas tem evidenciado o papel fundamental dessa ciência na resolução de crimes, especialmente por meio da identificação de líquidos corporais. A análise desses fluidos — como sangue, sêmen, saliva, suor, urina e fluido vaginal — fornece elementos probatórios relevantes, que permitem reconstituir cenas de crime, estabelecer relações entre vítimas e suspeitos e reforçar a materialidade dos fatos. No entanto, a eficácia dessas análises está diretamente relacionada à precisão, sensibilidade e confiabilidade dos métodos utilizados.

Historicamente, a perícia forense se apoiou em técnicas tradicionais, como testes enzimáticos e sorológicos, amplamente utilizados por sua simplicidade e baixo custo. Contudo, esses métodos apresentam limitações importantes, como a baixa especificidade para determinados fluidos, risco de falsos positivos e a necessidade de maiores volumes de amostra — fatores que comprometem a efetividade das análises, especialmente em amostras degradadas ou em situações com vestígios limitados.

Neste contexto, o presente trabalho destacou a relevância e o potencial das técnicas modernas, como a espectrometria de massa e a espectroscopia Raman, na identificação de líquidos corporais. A espectrometria de massa, especialmente em suas abordagens mais recentes como HRMS e MALDI-TOF-MS, demonstrou ser extremamente sensível e capaz de detectar biomarcadores específicos com precisão, mesmo em concentrações muito baixas. A espectroscopia Raman, por sua vez, destacou-se por sua abordagem não destrutiva, rápida e portátil, permitindo a análise direta de amostras na cena do crime com grande acurácia.

Além das inovações técnicas, o trabalho também abordou os desafios associados à implementação dessas tecnologias em laboratórios forenses, especialmente no Brasil. A realidade nacional evidencia a escassez de infraestrutura, a dificuldade de acesso a equipamentos de ponta e a carência de profissionais especializados, o que limita a aplicação plena dessas metodologias modernas. A superação desses entraves depende de investimentos contínuos em ciência, tecnologia e capacitação, além de parcerias entre universidades, centros de pesquisa e órgãos públicos.

Outro ponto de destaque foi a discussão sobre a integração da inteligência artificial e do aprendizado de máquina nas análises forenses. Essas ferramentas emergem como grandes aliadas na interpretação de dados complexos gerados por espectrometria e espectroscopia, permitindo análises mais automatizadas, ágeis e padronizadas. A aplicação da IA promete não apenas ampliar a precisão da identificação de fluidos corporais, mas também reduzir erros

humanos, fortalecer a cadeia de custódia e aumentar a robustez das provas científicas apresentadas em processos judiciais.

O estudo também enfatizou a importância de reflexões éticas e legais sobre o uso dessas tecnologias. A admissibilidade de provas obtidas por métodos ainda não amplamente validados, o risco de falsas expectativas com base em resultados automatizados e a responsabilidade sobre a interpretação dos dados são temas que devem ser debatidos com seriedade. A consolidação científica e legal dessas técnicas requer padronização metodológica, validação internacional e regulamentação criteriosa.

Por fim, ao reunir referências atualizadas, estudos de caso reais e uma análise crítica dos métodos tradicionais e modernos, esta monografia contribui significativamente para a compreensão das transformações em curso na biologia forense. A constante busca por tecnologias mais eficazes, associada ao compromisso ético com a justiça, deve orientar o futuro das investigações criminais. Fortalecer a interface entre ciência e sistema judicial é um passo essencial para que a verdade dos fatos seja alcançada com maior precisão, equidade e confiança social.

4. REFERÊNCIAS

- ATKINS, C. G.; BUCKLEY, K.; BLADES, M. W.; TURNER, R. Raman spectroscopy of blood and blood components. *Applied Spectroscopy*, v. 71, n. 5, p. 767-793, 2017.
- BORDIN, D et al. Técnicas de preparo de amostras biológicas com interesse forense. *Sci Chromatogr*, v. 7, n. 2, p. 125-143, 2015.
- BROWN, H M. et al. The current role of mass spectrometry in forensics and future prospects. *Analytical Methods*, v. 12, n. 32, p. 3974-3997, 2020.
- BUZATTO, B et al. Coleta e preservação de evidências biológicas: orientações práticas para a perícia criminal. *Revista Brasileira de Criminalística*, v. 9, n. 2, p. 35-45, 2019.
- DAS, R S.; AGRAWAL, Y. K. Raman spectroscopy: recent advancements, techniques and applications. *Vibrational Spectroscopy*, v. 57, n. 2, p. 163-176, 2011.
- DE JESUS SANTOS, A C; MONTENEGRO, A. K. A. O papel da biologia forense na resolução de crimes de grande repercussão no Brasil e no mundo: uma revisão. *Revista Brasileira de Criminalística*, v. 12, n. 2, p. 12-20, 2023.
- DOS SANTOS, A E. As principais linhas da biologia forense e como auxiliam na resolução de crimes. *Revista Brasileira de Criminalística*, v. 7, n. 3, p. 12-20, 2018.
- FALES, A M.; ILEV, I K.; PFEFER, T. J. Evaluation of standardized performance test methods for biomedical Raman spectroscopy. *Journal of Biomedical Optics*, v. 27, n. 7, p. 074705, 2022.
- FROHLICH, P B Medeiros et al. O DNA como ferramenta de identificação humana e a sua relevância para a atuação jurídica. *Biodiversidade*, v. 19, n. 1, p. 150-161, 2020.
- GARRETT, B L.; NEUFELD, P J. Invalid forensic science testimony and wrongful convictions. *Virginia Law Review*, p. 1-97, 2009.
- HAKONEN, A et al. Detecting forensic substances using commercially available SERS substrates and handheld Raman spectrometers. *Talanta*, v. 189, p. 649-652, 2018.
- HOFFMANN, W D.; JACKSON, P. Forensic mass spectrometry. *Annual Review of Analytical Chemistry*, v. 8, n. 1, p. 419-440, 2015.
- HOLMAN, A P.; KUROUSKI, D. Surface-enhanced Raman spectroscopy in forensic analysis. *Reviews in Analytical Chemistry*, v. 43, n. 1, p. 20230079, 2024.
- JACKSON, G P.; BARKETT, M A. Espectrometria de massas forense: precedentes científicos e legais. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, v. 34, n. 7, p. 1210-1224, 2023.
- JIANG, et al. Direct identification of forensic body fluids by MALDI-MS. *Analyst*, v. 144, n. 23, p. 7017-7023, 2019.
- JOON, V et al. Advanced spectroscopic techniques for body fluid identification: complementing conventional methods. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, v. 15, n. 1, p. 7, 2025.

KAMANNA, S et al. Direct identification of forensic body fluids using matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry. *International Journal of Mass Spectrometry*, v. 397, p. 18-26, 2016.

KISTENEV, Y V. et al. A novel Raman spectroscopic method for detecting traces of blood on an interfering substrate. *Scientific Reports*, v. 13, n. 1, p. 5384, 2023.

LEMOS, C; GASPARIN, C. O impacto do banco de dados de DNA na elucidação de crimes no Brasil – uma revisão de literatura: Banco de Dados de DNA no Brasil. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, v. 6, n. 1, p. 805-828, 2024.

LIU, W et al. Informatics approaches to forensic body fluid identification by proteomic mass spectrometry. In: *Applications in Forensic Proteomics: Protein Identification and Profiling*. American Chemical Society, 2019. p. 81-90.

MURO, C K. et al. Forensic body fluid identification and differentiation by Raman spectroscopy. *Forensic Chemistry*, v. 1, p. 31-38, 2016.

NETO, ; DE SOUZA ABUD, A. Inovação tecnológica na área de ciências forenses: um estudo prospectivo. *Revista Brasileira de Ciências Policiais*, v. 14, n. 12, p. 297-322, 2023.

NICHOLS, N. Raman spectroscopy for forensic identification of body fluid traces: method validation for potential false negatives caused by blood-affecting diseases. 2021.

ORR, A et al. The use of high-resolution mass spectrometry (HRMS) for the analysis of DNA and other macromolecules: a how-to guide for forensic chemistry. *Forensic Chemistry*, v. 14, p. 100169, 2019.

QUICKENDEN, T. I.; CREAMER, J. I. A study of common interferences with the forensic luminol test for blood. *Luminescence*, v. 16, n. 4, p. 295-298, 2001.

RICCI, U; CARBONI, I; TORRICELLI, F. False-positive results with amylase testing of citrus fruits. *Journal of Forensic Sciences*, v. 59, n. 5, p. 1410-1412, 2014.

RODRIGUES, C V; SILVA, M; TRUZZI, O. Perícia criminal: uma abordagem de serviços. *Gestão & Produção*, v. 17, p. 843-857, 2010.

SAKURADA, K; WATANABE, K; AKUTSU, T. Current methods for body fluid identification related to sexual crime: focusing on saliva, semen, and vaginal fluid. *Diagnostics*, v. 10, n. 9, p. 693, 2020.

SILVA, B. A importância da biologia forense na resolução de crimes. 2022.

SILVA, C. Integração entre os órgãos da segurança pública e unificação das polícias. *Justitia Liber*, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2019.

SOUSA, J; QUEIROZ, Paulo . Coleta e preservação de vestígios biológicos para análises criminais por DNA. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v. 16, n. 3, p. 99-115, 2012.

UBEROI, D; PALMOUR, N; JOLY, Y. The advent of forensic DNA databases: it's time to agree on some international governance principles. *Forensic Science International: Genetics*, v. 72, p. 103095, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2024.103095>.

VIRKLER, K; LEDNEV, I K. Análise de fluidos corporais para fins forenses: de testes laboratoriais à identificação confirmatória rápida não destrutiva em uma cena de crime. *Forensic Science International*, v. 188, n. 1-3, p. 1-17, 2009.

VIRKLER, K; LEDNEV, I K. Forensic body fluid identification: the Raman spectroscopic signature of saliva. *Analyst*, v. 135, n. 3, p. 512-517, 2010.

VYAS, B; HALÁMKOVÁ, L; LEDNEV, I K. A universal test for the forensic identification of all main body fluids including urine. *Forensic Chemistry*, v. 20, p. 100247, 2020.

WICKENHEISER, R A. Forensic genealogy, bioethics and the Golden State Killer case. *Forensic Science International: Synergy*, v. 1, p. 114-125, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2019.07.003>.

ZAMBONIN, C; ARESTA, A. MALDI-TOF/MS analysis of non-invasive human urine and saliva samples for the identification of new cancer biomarkers. *Molecules*, v. 27, n. 6, p. 1925, 2022.

ZAPATA, F; FERNÁNDEZ DE LA OSSA, M. Á.; GARCÍA-RUIZ, C. Emerging spectrometric techniques for the forensic analysis of body fluids. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 64, p. 53-63, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.08.011>.