

DOI: 10.35621/23587490.v12.n1.p1461-1479

## ANÁLISE FORENSE EM CASOS DE ENVENENAMENTO HUMANO: UMA REVISÃO DE LITERATURA

### FORENSIC ANALYSIS IN HUMAN POISONING CASES: A LITERATURE REVIEW

Yasmin de Oliveira Braga<sup>1</sup>  
Lázaro Robson de Araújo Brito Pereira<sup>2</sup>  
Ana Emília Formiga Marques<sup>3</sup>  
José Guilherme Ferreira Marques Galvão<sup>4</sup>

**RESUMO: INTRODUÇÃO:** A história do envenenamento remota à Antiguidade, quando substâncias tóxicas eram muito utilizadas como ferramentas de assassinato e intriga política. O uso de venenos foi documentado em diversas civilizações, como no Egito, Grécia, Roma e China, onde figuras poderosas, como imperadores e membros da realeza, foram vítimas de envenenamento cuidadosamente planejados. Um dos exemplos mais evidente é o envenenamento de Sócrates, que foi condenado à morte e foi forçado a comer cicuta, uma planta altamente tóxica. Esses eventos demonstram a longa associação entre o envenenamento e a luta pelo poder, revelando um método eficaz e, muitas vezes, silencioso para a eliminação de inimigos. Este trabalho busca explorar e analisar os métodos forenses aplicados na identificação de substâncias tóxicas em casos de envenenamento, destacando as técnicas mais eficazes e os desafios enfrentados pelos especialistas. Através de uma abordagem que integra aspectos históricos, químicos e biológicos, este estudo visa fornecer uma compreensão abrangente dos mecanismos de ação dos venenos, bem como das ferramentas científicas utilizadas para sua detecção, contribuindo para o avanço da ciência forense e a justiça criminal. **OBJETIVO:** Investigar e analisar os métodos forenses utilizados na identificação de venenos em corpos humanos. **METODOLOGIA:** Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, visando a análise de estudos que avaliam para identificar e analisar os principais métodos forenses utilizados para detectar e caracterizar substâncias tóxicas em casos de envenenamento, sendo tais conteúdos obtidos em bases de dados relevantes, sendo elas a Scientific Electronic Library Online (SciELO), a Biblioteca Nacional em Saúde

<sup>1</sup> Discente do curso de Farmácia do Centro Universitário Santa Maria - UNIFSM, e-mail: 20212004005@fsmead.com.br.

<sup>2</sup> Docente do curso de Farmácia do Centro Universitário Santa Maria - UNIFSM, e-mail: lazarorobson@gmail.com.

<sup>3</sup> Docente do curso de Farmácia do Centro Universitário Santa Maria - UNIFSM, e-mail: .anaemiliaformiga@hotmail.com.

<sup>4</sup> Docente do curso de Farmácia do Centro Universitário Santa Maria - UNIFSM, e-mail: .guilhermefirst@gmail.com.

(BVS) e a U.S National Library of Medicine (PubMed), mediante a utilização de descritores relacionados ao tema, como: “Análise forense”, “Envenenamento”, “Venenos” e “Necropsia”. **RESULTADOS:** Indicam que os principais desafios envolvem a identificação de venenos em corpos em decomposição avançada, a diversidade química dos agentes tóxicos e a necessidade de atualização contínua das técnicas laboratoriais. Avanços como o uso combinado de cromatografia líquida e gasosa acopladas à espectrometria de massas, além de novas tecnologias como biossensores e inteligência artificial, têm ampliado a precisão das análises forenses. Conclui-se que a toxicologia forense desempenha papel fundamental na resolução de casos de envenenamento, sendo essencial o investimento em pesquisa, formação profissional e infraestrutura laboratorial para fortalecer a justiça criminal.

**Palavras-chave:** Análise Forense; Envenenamento; Veneno; Necropsia; Toxicologia.

**ABSTRACT: INTRODUCTION:** *The history of poisoning dates back to ancient times, when toxic substances were widely used as tools of assassination and political intrigue. The use of poisons has been documented in several civilizations, such as Egypt, Greece, Rome and China, where powerful figures, such as emperors and members of the royal family, were victims of carefully planned poisonings. One of the most obvious examples is the poisoning of Socrates, who was sentenced to death and was forced to eat hemlock, a highly toxic plant. These events demonstrate the long association between poisoning and the struggle for power, revealing an effective and often silent method for eliminating enemies. This work seeks to explore and analyze the forensic methods applied in the identification of toxic substances in poisoning cases, highlighting the most effective techniques and the challenges faced by experts. Through an approach that integrates historical, chemical and biological aspects, this study aims to provide a comprehensive understanding of the mechanisms of action of poisons, as well as the scientific tools used for their detection, contributing to the advancement of forensic science and criminal justice.* **OBJECTIVE:** *To investigate and analyze the forensic methods used to identify poisons in human bodies.* **METHODOLOGY:** *This is an integrative literature review, aiming to analyze studies that evaluate to identify and analyze the main forensic methods used to detect and characterize toxic substances in cases of poisoning, with such content obtained from relevant databases, such as the Scientific Electronic Library Online (SciELO), the National Health Library (BVS) and the U.S National Library of Medicine (PubMed), through the use of descriptors related to the theme, such as: “Forensic analysis”, “Poisoning”, “Poisons” and “Necropsy”.* **RESULTS:** *Indicate that the main challenges involve the identification of poisons in bodies in advanced decomposition, the chemical diversity of toxic agents and the need for continuous updating of laboratory techniques. Advances such as the combined use of liquid and gas chromatography coupled with mass spectrometry, in addition to new technologies such as biosensors and artificial intelligence, have increased the accuracy of forensic analyses. It is concluded that forensic toxicology plays a fundamental role in solving poisoning cases, and that investment in research, professional training and laboratory infrastructure is essential to strengthen criminal justice.*

**Keywords:** Forensic Analysis; Poisoning; Venom; Necropsy; Toxicology.

## **1 INTRODUÇÃO**

A história do envenenamento remota à Antiguidade, quando venenos eram muito utilizados como ferramentas de assassinato e intriga política. O uso de venenos foi documentado em diversas civilizações, como no Egito, Grécia, Roma e China, onde figuras poderosas, como imperadores e membros da realeza, foram vítimas de envenenamento cuidadosamente planejados. Um dos exemplos mais evidente é o envenenamento de Sócrates, que foi condenado à morte e foi forçado a comer cicuta, uma planta altamente tóxica (2019). Esses eventos demonstram a longa associação entre o envenenamento e a luta pelo poder, revelando um método eficaz e, muitas vezes, silencioso para a eliminação de inimigos.

Por ser silencioso, muitas vezes indetectável até à morte da vítima, tornava-se difícil a atribuição de culpa. Foi somente a partir do século XVIII, com a introdução de testes químicos rudimentares, que a detecção de venenos começou a ganhar eficiência. Um marco importante nesse contexto foi o desenvolvimento do teste de Marsh, em 1836, que permitiu a identificação de arsênico em corpos humanos (2020). A importância desses avanços foi evidenciada em casos históricos como o envenenamento de Napoleão Bonaparte, onde análises posteriores de amostras de cabelo sugeriram a presença de arsênico, levando a teorias sobre um possível assassinato (2021). Desde então, a toxicologia forense tem se expandido de forma significativa, abrangendo não só venenos inorgânicos, como metais pesados, mas também substâncias biológicas e químicas complexas, como pesticidas, drogas e toxinas naturais.

O conceito de veneno, por sua vez, abrange qualquer substância capaz de causar danos ao organismo, seja por ingestão, inalação, injeção ou absorção cutânea (2021). Substâncias químicas podem atuar como veneno, dependendo da dose e das condições de exposição. Isso torna a análise forense desafiadora, pois exige métodos claros para identificar e quantificar esses compostos nos tecidos humanos, muitas vezes após longos períodos de exposição ou em estágio avançado de decomposição.

No contexto atual, a análise forense de envenenamentos continua a evoluir, abrangendo uma variedade de substâncias químicas, incluindo venenos de origem natural e sintética. Substâncias como cianeto, mercúrio e pesticidas tornaram-se protagonistas em casos de homicídios e acidentes, exigindo dos especialistas em toxicologia forense um entendimento dos efeitos e mecanismos dessas toxinas no corpo humano.

A problematização desse tema gira em torno da necessidade crescente de métodos forenses mais avançados e sensíveis para identificar substâncias tóxicas em corpos humanos. Embora a toxicologia forense tenha avançado nas últimas décadas, novos tipos de venenos e substâncias tóxicas continuam a surgir, dificultando o trabalho dos investigadores. Assim, o desenvolvimento de técnicas mais eficazes e rápidas para a detecção de substâncias tóxicas continua sendo um campo de estudo essencial no combate ao crime.

Este trabalho busca explorar e analisar os métodos forenses aplicados na identificação de substâncias tóxicas em casos de envenenamento, destacando as técnicas mais eficazes e os desafios enfrentados pelos especialistas. Por meio de uma abordagem que integra aspectos históricos e químicos, este estudo visa fornecer uma compreensão abrangente dos mecanismos de ação dos venenos, bem como das ferramentas científicas utilizadas para sua detecção, contribuindo para o avanço da ciência forense e da justiça criminal.

## **2 METODOLOGIA**

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa, que contém a análise de pesquisas relevantes sobre o tema abordado, a fim de sanar a indagação da pergunta norteadora. Nesse contexto, este é um estudo para identificar e analisar os principais métodos forenses utilizados para detectar e caracterizar substâncias tóxicas em casos de envenenamento. As etapas seguidas durante a construção do trabalho envolverão a construção de uma pergunta norteadora, os

critérios de inclusão e exclusão, a busca nas bases de dados e a avaliação dos resultados, que serão incluídos nesta revisão.

Em primeiro lugar, foi levantada a pergunta norteadora baseada na estratégia PICO: (P) Problema, paciente ou população - Pessoas (adultos e crianças) vítimas de envenenamento.; (I) Intervenção ou exposição - Métodos forenses de detecção de venenos no corpo humano.; (C) Comparação - não houve comparação; (O) Desfecho - contribuições da análise forense para a solução de casos de envenenamento. Baseando-se nisso, a pergunta da pesquisa elaborada foi: Como os métodos forenses de análise de substâncias tóxicas contribuem para a identificação de venenos em casos de envenenamento humano?

Por conseguinte, os termos elencados foram pesquisados nos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS), e os descritores encontrados, adequadamente cadastrados, foram respectivamente: “Análise forense” (Forensic analysis), “Envenenamento” (Poisoning), “Venenos” (Poison), e “Necropsia” (Necropsy).

A busca versará na utilização das bases de dados Scientific Electronic Library Online (SciELO), Biblioteca Nacional em Saúde (BVS), U.S National Library of Medicine (PubMed) e Science Direct, dispondo do operador booleano “AND” entre os descritores selecionados. Os critérios de inclusão abarcarão os idiomas português, espanhol e inglês, os trabalhos publicados nos últimos cinco anos (2019-2024), que envolvam a temática proposta. Para mais, os critérios de exclusão usados serão: estudos não pertinentes ao tema, aqueles em formato de editoriais, revisão narrativa da literatura, relato de caso e publicações duplicadas nas bases de dados.

Por último, para realizar a análise dos dados, será utilizado o método de pesquisa qualitativa, cuja finalidade é organizar os dados obtidos dos artigos presentes nas bases de dados para endossar e respaldar cientificamente a discussão da problemática abordada neste estudo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 O QUE SÃO VENENOS?

Veneno é toda e qualquer substância que, ao entrar em contato com o organismo, seja por ingestão, inalação ou absorção da pele, causa efeitos nocivos, podendo levar até à morte. Um veneno pode ser de origem química, biológica ou sintética, sendo desde compostos naturais, como toxinas produzidas por plantas e animais, até substâncias artificiais, como pesticidas, medicamentos em doses excessivas e metais pesados (Olson, 2014).

O efeito do veneno depende de vários fatores: a composição química, a dose administrada, a via de exposição e o tempo de contato com o organismo. Esses fatores influenciam o quadro tóxico e a letalidade da substância. O ditado “tudo demais é veneno” pode ser comprovado quando compostos, mesmo considerados seguros em pequenas quantidades, podem se tornar letais quando administrados em doses elevadas. O álcool, por exemplo, é tolerado em contexto recreativo, mas em altas doses pode causar intoxicação fatal (Olson, 2014).

Os venenos podem ser classificados de acordo com sua origem e mecanismo de ação. Existem substâncias de origem biológica, como venenos de animais e plantas; substâncias inorgânicas, como arsênio e mercúrio; e venenos sintéticos, como pesticidas e produtos químicos industriais. Além disso, o efeito de cada tipo de veneno varia de acordo com o sistema fisiológico afetado. Certos venenos, por exemplo, atacam o sistema nervoso central, enquanto outros afetam os sistemas cardiovascular ou respiratório (Martinis *et al.*, 2018).

É essencial na caracterização de um veneno a sua toxicidade, que se refere à capacidade da substância de causar danos ao organismo. A toxicidade é avaliada pela chamada “dose letal média” (DL50), que representa a quantidade de uma substância capaz de matar 50% de uma população testada (geralmente esse teste é feito em ratos). Substâncias com baixo valor de DL50 são consideradas altamente

tóxicas, o que significa que uma pequena quantidade pode tirar sua vida (Martinis *et al.*, 2018). No entanto, a toxicidade de um veneno não depende apenas da dose, mas também da frequência e duração da exposição. Venenos acumulativos, como o chumbo, podem provocar danos graves a longo prazo, mesmo em exposições de baixa intensidade. Essas características fazem com que a análise forense necessite ser precisa.

Na investigação criminal, o veneno torna-se um elemento de interesse forense devido ao seu potencial para ser usado como ferramenta de homicídio ou suicídio. Em muitos casos, os sinais de envenenamento podem ser confundidos com sintomas de doenças naturais, exigindo que os peritos conduzam análises detalhadas para determinar a presença de substâncias tóxicas. A identificação precisa de um veneno no corpo da vítima pode revelar a causa da morte, e oferecer pistas importantes para a investigação criminal.

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS VENENOS

Dentre as classificações de venenos, destacam-se aquelas que dividem os venenos em grupos, segundo suas propriedades químicas (orgânicos e inorgânicos), sua origem (animal, vegetal, mineral e sintética) e seu mecanismo de ação (neurotoxinas, citoxinas, toxinas que afetam a síntese de proteínas e toxinas que afetam a função enzimática). Cada uma dessas abordagens oferece uma perspectiva distinta, mas complementar, sobre como os venenos atuam e interagem com os sistemas biológicos.

Venenos orgânicos são substâncias tóxicas originadas de fontes biológicas, como plantas, animais, fungos, bactérias e compostos sintéticos com estrutura de carbono. Esses venenos, comuns em toxinas naturais e pesticidas orgânicos, afetam organismos vivos, podendo agir em diversos sistemas do corpo humano. Sua toxicidade depende de fatores como a dose, a via de administração, e a suscetibilidade individual. Exemplos incluem alcaloides (como a atropina em plantas) e toxinas de origem animal, como venenos de serpentes e escorpiões, ambos

amplamente estudados pela sua ação no sistema nervoso e cardiovascular. (Matinis *et al.*, 2018).

Venenos inorgânicos incluem substâncias tóxicas, como metais pesados (chumbo, mercúrio, arsênio), que não contêm carbono e são conhecidos por sua toxicidade e capacidade de bioacumulação. Eles podem causar danos a órgãos vitais, incluindo o sistema nervoso, fígado e rins, e são persistentes no corpo e no ambiente. (Instituto Nacional de Câncer, 2024).

Os venenos de origem animal, também conhecidos como peçonhas, são substâncias tóxicas produzidas e injetadas por animais como serpentes, escorpiões, aranhas, e alguns insetos. Esses venenos contêm uma variedade de compostos bioativos, incluindo enzimas, toxinas proteicas, peptídeos e outras moléculas, que são projetados para imobilizar, digerir presas, ou defender o animal de predadores (Campos, 2023).

Venenos de origem vegetal são substâncias tóxicas encontradas em diversas plantas, que podem causar efeitos adversos quando ingeridas, inaladas ou absorvidas pela pele. Esses venenos podem ter diferentes origens químicas, como alcaloides, glicosídeos, taninos, saponinas, e flavonoides, que agem de maneiras variadas no organismo humano, desde a irritação do trato gastrointestinal até efeitos mais graves, como paralisia ou falência de órgãos (Aguiar, 2020).

Venenos de origem mineral são substâncias tóxicas derivadas de minerais, muitas vezes apresentando alta toxicidade, e podendo causar sérios danos à saúde humana. Esses venenos podem ser encontrados em elementos como arsênio, mercúrio, cádmio e chumbo, que são, naturalmente, presentes na crosta terrestre. Tais substâncias podem se acumular no corpo humano, principalmente por meio da ingestão de água ou alimentos contaminados, ou pela exposição a resíduos industriais. O mercúrio, por exemplo, pode causar danos ao sistema nervoso, enquanto o arsênio é um conhecido carcinógeno (Instituto Nacional de Câncer, 2024).

Venenos de origem sintética são substâncias químicas artificiais produzidas em laboratórios, muitas vezes projetadas para fins médicos, mas que também podem ser manipuladas ou abusadas para causar danos. Esses venenos podem incluir substâncias como pesticidas, fármacos, drogas recreativas e novas substâncias psicoativas. Alguns exemplos incluem os organofosforados (como o sarin) e os

herbicidas sintéticos. Além disso, as drogas sintéticas, como as "sales de banho" e os derivados do fentanilo, são notórias pela sua toxicidade e abuso (Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2021).

As neurotoxinas são substâncias que afetam o sistema nervoso. Elas podem atuar de diversas formas, como inibindo a acetilcolinesterase (como os organofosforados e carbamatos), resultando em um acúmulo de acetilcolina e causando hiperexcitabilidade e até falência do sistema nervoso central. Outro exemplo são os venenos que alteram a ação do neurotransmissor GABA, como o fipronil, que antagoniza os canais de cloro mediados por GABA, afetando a neurotransmissão inibitória e causando excitação neuronal excessiva, causando tremores, paralisia muscular, convulsões, perda de coordenação e, em casos graves, falência respiratória e morte (Martinis *et al.*, 2018).

As citotoxinas são substâncias que afetam diretamente as células, podendo causar destruição celular. Muitas vezes, esses venenos podem ter um efeito de destruição em larga escala dos tecidos, como ocorre com os venenos de cobras e aranhas, que causam necrose e hemorragia (Olson, 2014).

As toxinas que afetam a síntese de proteínas, como a ricina e a toxina botulínica, interferem nos processos celulares ao bloquear a síntese de proteínas essenciais para a célula, resultando em falência celular e morte. A toxina botulínica pode também causar a paralisia flácida, que compromete os músculos respiratórios, levando à asfixia (Casparsen, 2023).

As toxinas que alteram a função enzimática, como os venenos de cobras peçonhentas, podem atuar em enzimas-chave no processo de coagulação sanguínea, como a trombina, levando à hemorragia e à falência de múltiplos órgãos (Olson, 2014).

### 3.3 OBJETIVO DA ANÁLISE FORENSE EM CASOS DE ENVENENAMENTO

A análise forense em casos de envenenamento tem como objetivo principal determinar, com precisão, a presença e o tipo de substância tóxica envolvida, bem como o impacto dessa substância no organismo. Esse processo fornece informações

fundamentais para fornecer a causa da morte e ajudar na investigação criminal. A toxicologia forense busca mostrar se a morte ocorreu por envenenamento acidental, suicídio ou homicídio, utilizando técnicas científicas para assegurar a confiabilidade dos resultados.

Casos de envenenamento podem apresentar desafios únicos para a investigação, já que, muitas vezes, as substâncias tóxicas não causam marcas visíveis no corpo, e podem ser confundidas com outras condições de saúde, como insuficiência respiratória ou falência múltipla dos órgãos (Chiaradia, 2008).

Por isso, o perito deve identificar o veneno causador, a quantidade que foi administrada e vincular a causa aos sintomas. A análise quantitativa e qualitativa, feita por técnicas avançadas como a cromatografia líquida e a espectrometria de massas, possibilita essa diferenciação, determinando se a vítima foi envenenada intencionalmente ou se o quadro tóxico resultou de uma exposição acidental (Alencar *et al.*, 2022).

### 3.4 EXAMES TOXICOLÓGICOS LABORATORIAIS

A identificação de venenos em contextos forenses geralmente depende de uma série de métodos laboratoriais avançados, sendo a toxicologia forense a área responsável por essas investigações. Técnicas analíticas como cromatografia gasosa (CG), cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e espectrometria de massa são comumente empregadas. Essas metodologias permitem a detecção e quantificação de venenos em amostras biológicas, como sangue, urina, órgãos e outros fluidos corporais (Centro de Ciências Forenses, 2024).

A cromatografia é um conjunto de técnicas baseadas na separação de misturas de substâncias químicas por suas diferentes interações, com uma fase estacionária (geralmente um material sólido ou líquido) e uma fase móvel (geralmente um líquido ou gás). Durante o processo, a amostra é aplicada sobre a fase estacionária, e a fase móvel a transporta ao longo de uma coluna ou superfície plana, separando as substâncias com base em suas propriedades físicas e químicas, como afinidade por

cada fase, tamanho da molécula, polaridade e solubilidade. Na detecção de drogas, a cromatografia é usada para isolar, identificar e quantificar as substâncias presentes em uma amostra. Pode ser aplicada de várias formas, dependendo do tipo de droga que se deseja detectar, da complexidade da amostra e da sensibilidade exigida (Simões, 2017).

A **espectrometria** é uma técnica analítica utilizada para identificar e quantificar substâncias com base na interação delas com radiação eletromagnética (como luz, micro-ondas ou radiação gama) em diferentes comprimentos de onda. A técnica mede a intensidade da radiação absorvida ou emitida pelas moléculas de uma amostra, o que pode gerar informações sobre sua estrutura molecular, composição e quantidade. A espectrometria de massas é uma das técnicas mais precisas para a identificação de venenos, permitindo a detecção de substâncias em baixas concentrações. Ela é útil para identificar venenos orgânicos e inorgânicos, como pesticidas (organofosforados), metais pesados (arsênio, mercúrio) e substâncias sintéticas (como fentanilo) (Andrei, 2014).

E por fim, método de ensaio imunoenzimático (ELISA) é utilizado para detectar venenos específicos, como os encontrados em venenos biológicos (toxinas de cobra, venenos de insetos). Ele envolve o uso de anticorpos que se ligam ao veneno presente na amostra, permitindo sua identificação rápida e eficaz (Martinis, 2018).

Essas técnicas são essenciais para a determinação precisa de venenos em casos de envenenamento, contribuindo significativamente para investigações forenses, seja em investigações post-mortem ou em vítimas que ainda estão vivas.

### 3.5 EFEITOS DA DECOMPOSIÇÃO DO CORPO SOBRE A ANÁLISE TOXICOLÓGICA

A decomposição de um corpo impacta diretamente nas análises toxicológicas, especialmente em toxicologia forense. Com o passar do tempo, os tecidos e fluidos biológicos sofrem alterações devido à autólise (degradação celular) e à atividade de microorganismos, o que pode modificar as concentrações das substâncias tóxicas

originalmente presentes. Processos como redistribuição post-mortem podem fazer com que substâncias se movimentem entre tecidos e cavidades corporais, causando concentrações alteradas que dificultam a interpretação dos resultados toxicológicos (Instituto Nacional de Justiça, 2024).

A preservação rápida, com refrigeração adequada do corpo, é crucial para minimizar as variações na composição química dos tecidos. Mesmo assim, em casos avançados de decomposição, amostras alternativas, como ossos, cabelo e tecido muscular, podem ser utilizadas. O sucesso das análises depende, então, da escolha cuidadosa dos métodos, como espectrometria de massa e cromatografia, que são sensíveis a baixas concentrações e adequados para amostras degradadas (Casparsen, 2024).

### 3.6 DESAFIOS ATUAIS NA DETECÇÃO DE VENENOS EM CASOS DE DECOMPOSIÇÃO AVANÇADA

A toxicologia forense desempenha um papel crucial na elucidação de mortes suspeitas, especialmente em contextos de envenenamento. Contudo, a detecção de substâncias tóxicas em corpos em estado avançado de decomposição representa um desafio significativo para os peritos. A degradação dos tecidos, a perda de fluídos biológicos e as alterações químicas pós-morte dificultam a identificação precisa de agentes tóxicos, comprometendo a acurácia dos laudos periciais.

A decomposição cadavérica é um processo dinâmico que envolve transformações físicas, químicas e microbiológicas. Durante esse processo, os tecidos corporais sofrem autólise e putrefação, levando à formação de produtos de degradação que podem interferir nas análises toxicológicas. Estudos indicam que a decomposição pode alterar a concentração e a estrutura de substâncias tóxicas, tornando sua detecção mais complexa (Antonucci *et al.*, 2023).

Além disso, a redistribuição post-mortem de drogas e venenos pode ocorrer, resultando em concentrações variáveis em diferentes tecidos. Essa redistribuição complica a interpretação dos resultados toxicológicos, exigindo uma abordagem

cautelosa na análise e na inferência das causas da morte. As técnicas tradicionais de análise toxicológica, como a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), e a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), são eficazes na detecção de uma ampla gama de substâncias. No entanto, em casos de decomposição avançada, essas técnicas enfrentam limitações devido à degradação dos analitos e à presença de interferentes provenientes da decomposição. Por exemplo, a detecção de pesticidas organofosforados em tecidos em decomposição pode ser comprometida pela formação de produtos de degradação que mascaram os picos analíticos característicos dessas substâncias (Oliveira *et al.*, 2019).

Além disso, a presença de compostos endógenos, resultantes da putrefação, pode gerar falsos positivos ou dificultar a identificação precisa dos venenos. Diante das limitações das técnicas convencionais, a pesquisa científica tem investido em métodos analíticos mais sensíveis e específicos. A espectrometria de massas de alta resolução (HRMS) e a espectrometria de massas com tempo de voo (TOF-MS) têm se mostrado promissoras na detecção de substâncias tóxicas em amostras degradadas. Essas técnicas permitem a identificação de compostos com maior precisão, mesmo em concentrações muito baixas. Além disso, abordagens baseadas em metabolômica têm sido exploradas para identificar padrões de metabolitos associados à exposição a determinados venenos, mesmo quando os compostos originais não são mais detectáveis. Essas estratégias oferecem uma nova perspectiva na análise toxicológica post-mortem, especialmente em casos de decomposição avançada (Ferreira *et al.*, 2021).

A interpretação dos resultados toxicológicos em corpos em decomposição avançada requer cautela, considerando as implicações legais e éticas envolvidas. A possibilidade de resultados inconclusivos ou falsos negativos pode impactar diretamente na determinação da causa da morte e na responsabilização de possíveis autores. Portanto, é fundamental que os laudos periciais reflitam as limitações metodológicas e as incertezas associadas às análises realizadas. A detecção de venenos, em casos de decomposição avançada, continua sendo um desafio significativo na toxicologia forense. As limitações das técnicas analíticas convencionais, aliadas às complexidades introduzidas pela decomposição, exigem o desenvolvimento e a implementação de métodos mais robustos e sensíveis.

Investimentos em pesquisa, capacitação de profissionais e atualização tecnológica são essenciais para aprimorar a acurácia das análises toxicológicas, e garantir a justiça nos processos legais.

### 3.7 AVANÇOS RELEVANTES EM MÉTODOS DE DETECÇÃO DE VENENOS EM CADÁVERES

Avanços recentes na toxicologia forense melhoraram significativamente a detecção e identificação de venenos em amostras post-mortem. Um progresso notável é o desenvolvimento de técnicas de espectrometria de massa mais eficientes e específicas, como espectrometria de massa em tandem com cromatografia líquida (CL-MS/MS), e espectrometria de massa com cromatografia gasosa (CG-MS), agora são usadas com mais frequência, para detectar novas substâncias psicoativas (NPS) e opioides sintéticos em investigações forenses (Lomba *et al*, 2024).

Um método inovador desenvolvido pelo Gabinete do Examinador Médico de Miami-Dade combina CL-MS/MS com CG-MS, permitindo uma identificação mais detalhada e precisa de substâncias em fluidos post-mortem. Este método pode rastrear rapidamente centenas de substâncias simultaneamente, melhorando a eficiência e reduzindo a probabilidade de falsos positivos ou negativos. Como resultado, o tempo necessário para identificar venenos foi reduzido, e a especificidade da detecção melhorou bastante (Ramos *et al*, 2020).

Além disso, estudos sobre a distribuição de venenos como o metanol e seus metabólitos em amostras post-mortem destacaram o valor de técnicas detalhadas de espectrometria de massa. Isto ajuda não só a confirmar a presença de venenos, mas também a mapear a sua propagação por meio de vários tecidos do corpo, o que é crucial para a compreensão do impacto toxicológico (Borges *et al*, 2021).

Estes avanços tecnológicos prometem uma análise forense mais completa, precisa e rápida, permitindo uma melhor gestão das investigações post-mortem, e oferecendo uma base mais confiável para resultados jurídicos e relacionados com a saúde.

### 3.8 AVANÇOS TECNOLÓGICOS, NOVOS MÉTODOS DE DETECÇÃO E IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS ANTÍDOTOS E TRATAMENTO EM CASOS DE ENVENENAMENTO

Essas técnicas permitem a identificação de compostos com maior precisão, mesmo em concentrações muito baixas. Além disso, abordagens baseadas em metabolômica têm sido exploradas para identificar padrões de metabolitos associados à exposição a determinados venenos, mesmo quando os compostos originais não são mais detectáveis. Essas estratégias oferecem uma nova perspectiva na análise toxicológica post-mortem, especialmente em casos de decomposição avançada (Ferreira *et al.*, 2021).

Novas variantes de espectrometria de massa e técnicas de cromatografia, incluindo cromatografia de camada delgada e gás, têm sido aprimoradas para lidar com uma gama maior de toxinas em diferentes tipos de matrizes. Combinadas, essas tecnologias podem separar e identificar venenos complexos com precisão, essencial para investigações de envenenamento. Também novas ferramentas de biossensores para impressão digital biológica agora podem capturar informações detalhadas, como idade, uso de medicamentos e gênero, diretamente de vestígios biológicos. (Borges *et al.*, 2022).

As tecnologias como realidade aumentada (AR) e inteligência artificial permitem a criação de modelos virtuais de cenas de crime e a análise preditiva de padrões de envenenamento. Esses modelos podem simular cenários de exposição e auxiliar na identificação de toxinas, aprimorando o treinamento e a precisão das investigações (Vieira e Santos, 2025).

Além do avanço tecnológico das técnicas também deve-se atentar ao avanço dos antídotos e dos tratamentos, visto que desenvolvimento de novos antídotos e tratamentos para envenenamento é fundamental para aumentar a eficácia no atendimento a casos de intoxicações graves, que podem envolver uma variedade crescente de substâncias tóxicas, desde produtos químicos industriais a substâncias

sintéticas de ação rápida. Avanços recentes na toxicologia clínica mostram que antídotos eficazes podem reduzir a toxicidade sistêmica, melhorar a taxa de sobrevivência e prevenir danos permanentes, especialmente em envenenamentos severos, como os causados por organofosforados e opioides sintéticos, como o fentanil. (Silva *et al*, 2021).

Além disso, em situações onde os antídotos tradicionais não têm alta eficácia ou disponibilidade, novas combinações e alternativas de administração vêm sendo estudadas para aumentar a acessibilidade e melhorar os resultados clínicos, especialmente em países com acesso limitado a cuidados intensivos. Dessa forma, o desenvolvimento contínuo de antídotos é crucial não apenas para responder a novas ameaças químicas, mas também para aprimorar tratamentos e reduzir a mortalidade em emergências de envenenamento.

### 3.9 CASOS DE SUCESSO: APLICAÇÃO PRÁTICA DOS AVANÇOS TECNOLÓGICOS EM CASOS REAIS DE ENVENENAMENTO

Estudos demonstram que a toxicologia forense foi crucial para identificar venenos, como o chumbinho (carbofurano), substância bastante utilizada em homicídios. Este estudo também apontou a necessidade de modernizar a infraestrutura laboratorial no Brasil, sobretudo em regiões em que a capacidade técnica ainda é limitada. (Souza, 2024).

A análise de casos de envenenamento por nicotina, especialmente relacionados ao uso de líquidos de cigarros eletrônicos, evidenciou a importância de métodos analíticos avançados para a detecção de níveis tóxicos dessa substância. A utilização de técnicas como a espectrometria de massas permitiu a identificação precisa da nicotina em amostras biológicas, contribuindo para a elucidação de casos suspeitos. (Solano *et al*, 2021).

Em casos complexos envolvendo substâncias radioativas, como o polônio-210, a aplicação de tecnologias avançadas foi essencial para a detecção e quantificação do agente tóxico. A utilização de espectrometria alfa, e outras técnicas especializadas,

permitiu a confirmação da presença do polônio em amostras biológicas, sendo decisiva para a investigação criminal (Souza, 2024).

A incorporação de tecnologias avançadas na toxicologia forense tem fortalecido a justiça criminal, proporcionando evidências científicas robustas que sustentam processos judiciais. A precisão na identificação de substâncias tóxicas e a capacidade de estabelecer nexos causais entre a exposição e os efeitos adversos são fundamentais para a responsabilização legal dos envolvidos. Entretanto, é imprescindível que o uso dessas tecnologias seja acompanhado de regulamentações claras e considerações éticas, garantindo que a busca pela verdade não comprometa os direitos individuais e a equidade no sistema de justiça (Travassos, 2024).

Os avanços tecnológicos na toxicologia forense têm desempenhado um papel crucial na investigação e resolução de casos de envenenamento. A aplicação prática dessas inovações em casos reais evidencia sua relevância na justiça criminal, destacando a necessidade contínua de investimento em pesquisa, desenvolvimento e regulamentação para aprimorar a eficácia e a ética nas investigações forenses.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A análise dos dados obtidos por meio da revisão de literatura evidencia a importância da toxicologia forense como ferramenta essencial na elucidação de casos de envenenamento humano. Os resultados demonstraram que, embora existam diversos métodos analíticos eficazes para a detecção de substâncias tóxicas em amostras biológicas e não biológicas, ainda há limitações relacionadas à sensibilidade, tempo de resposta e disponibilidade de recursos em diferentes regiões.

Verificou-se que os venenos mais frequentemente envolvidos em casos forenses incluem pesticidas, medicamentos controlados e substâncias ilícitas, sendo que muitos desses casos envolvem intenções criminosas ou suicidas. Além disso, a literatura destaca a importância da capacitação contínua dos profissionais envolvidos na cadeia forense, bem como a necessidade de protocolos padronizados que possibilitem uma atuação mais eficiente e segura nas investigações.

Portanto, conclui-se que a atuação integrada entre a medicina legal, a toxicologia e as técnicas laboratoriais avançadas é imprescindível para o sucesso da análise forense em casos de envenenamento. A padronização dos procedimentos, aliada ao investimento em tecnologia e formação profissional, representa um avanço significativo na qualidade das investigações e, conseqüentemente, na promoção da justiça.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, K.; SAMPAIO, C.; ALVES, F. **Toxicologia forense: estudo bibliográfico sobre as técnicas relacionadas à química analítica nas investigações criminais.** *Revista Brasileira de Criminalística*, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 59-64, 2022.

ANDREI, C.; FERREIRA, T.; FACCIONE, M.; FARIA, T. **Da Química Medicinal à Química Combinatória e Modelagem Molecular: um curso prático.** 2. ed. Barueri: Manole, 2014.

ANTONUCCI, A. T., CANDIDO, I. P. DE S., RODRIGUES NETO, A., SCHIAVINI, M., LEHMANN, M. F., SGANZERLA, A., & SIQUEIRA, J. E. (2023). **Morte, diagnóstico e evento.** *Revista Bioética*, 31, 2023.

**ASSOCIAÇÃO DE CRIMINALÍSTICA DO ESTADO DE MINAS GERAIS - ACEMG.** *Revista Criminalística e Medicina Legal.* Belo Horizonte: Valor Editora, v. 5, n. 1, 2020.

BORGES, R. M., RESENDE, J. V. M., MORAES, A. O. D., PEREIRA, A. K., GARRETT, R., BAUERMEISTER, A., & SILVA, A. J. R. D. **Guia para processamento de dados de cromatografia acoplada a espectrometria de massas.** *Química Nova*, 45(05), 608-620, 2022.

BORGES, R. M., RESENDE, J. V. M., MORAES, A. O. DE., PEREIRA, A. K., GARRETT, R., BAUERMEISTER, A., & SILVA, A. J. R. DA. **Guia Para Processamento De Dados De Cromatografia Acoplada A Espectrometria De Massas.** *Química Nova*, 45(5), 608-620, 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Crescimento dos acidentes por animais peçonhentos traz um alerta para o SUS,** 2023.

CAMPOS, M. **Crescimento dos acidentes por animais peçonhentos traz um alerta para o SUS.** *SciELO em Perspectiva.* Press Releases, 2023.

CÂNCER, Instituto Nacional de. **Metais pesados, câncer e os riscos ambientais,** 2024.

CASPARSEN, C. **The role of toxicology in forensic investigations.** *International Journal of Forensic Medicine*, v. 6, n. 1, p. 31-33, 2024.

CAVALCANTE VIEIRA, Andrey Bruno; RODRIGUES SANTOS, Hugo Leonardo. **Investigação criminal e tecnologias digitais: algumas reflexões sobre o policiamento preditivo e a admissibilidade de provas digitais.** *Revista Brasileira de Direito Processual Penal*, [S. l.], v. 11, n. 1, 2025.

OLIVEIRA, D; SANTIAGO, V; COSTA, A. **Perícia forense computacional: a admissibilidade e a fragilidade das evidências coletadas via computação forense**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 3978-3997, 2023.

OLIVEIRA, M. F., SANTOS, L. C., & PEREIRA, D. A. **Interferências analíticas na detecção de pesticidas em tecidos em decomposição**. *Journal of Forensic Sciences*, 64(3), 789-795. 2019.

OLSON, R. **Manual de toxicologia clínica**. 6ª edição. Porto Alegre: AMGH, 2013.

PARANÁ, Secretária de Saúde do Estado do. **Saúde alerta sobre envenenamento infantil**, 2019.

PRITSCH, I. **Toxicologia forense: o estudo dos agentes tóxicos nas ciências forenses**. Revista Criminalística e Medicina Legal. V.5, 2020, ISSN 2526-0596.

RAMOS, A. **Análise de compostos bioativos em alimentos utilizando espectrometria de massas por paper spray-uma breve revisão de literatura**. Ciências agrárias: o avanço da ciência no Brasil. Guarujá-São Paulo: Editora Científica, 2021. v. 1, 2021  
RISTENBATT, R.; HIETPAS, J.; FOREST, P.; MARGOT P. **Traceology, criminalistics, and forensic science**. *J Forensic Sci*. 2021. *Journal of Forensic Sciences (Blackwell Publishing Limited)*, v. 67, n.1. p. 28 - 32, 2021.

SILVAV. T.; COELHOL. M. M.; SANTOSD. B.; MARTINSL. S.; SANTOSG. B. **Intoxicação por medicamentos: uma revisão de literatura com abordagem no tratamento**. Revista Eletrônica Acervo Científico, v. 23, p. e6781, 28 mar. 2021.

SIMÕES, M.; SCHENKEL, P.; MELLO, P. **Farmacognosia**. Porto Alegre: ArtMed, 2017.

SOUZA, CLEBER LAGO DE. **O papel da toxicologia forense na identificação de venenos em casos criminais**.

SUL, Governo do Estado do Rio Grande do. **Droga sintética com efeitos semelhantes aos da maconha, mas mais tóxica, é identificada pelo IGP**, 2021.