



CURSO DE BIOMEDICINA

ANDRÉ LUÍS DE OLIVEIRA

**ATUAÇÃO DO BIOMÉDICO NA DETECÇÃO DE DROGAS ILÍCITAS E
EMERGENTES COM VALIDADE FORENSE NO BRASIL**

**Cuiabá/MT
2026**

ANDRÉ LUÍS DE OLIVEIRA

**ATUAÇÃO DO BIOMÉDICO NA DETECÇÃO DE DROGAS ILÍCITAS E
EMERGENTES COM VALIDADE FORENSE NO BRASIL**

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

Orientador(a): Prof. Thais Kelly Souza
Teixeira da Silva

**Cuiabá/MT
2026**

ANDRÉ LUÍS DE OLIVEIRA

**ATUAÇÃO DO BIOMÉDICO NA DETECÇÃO DE DROGAS ILÍCITAS E
EMERGENTES COM VALIDADE FORENSE NO BRASIL**

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:
Departamento de Biomedicina – FASIPE

Professor(a) Avaliador(a):
Departamento de Biomedicina – FASIPE

Professor(a) Avaliador(a): Prof.
Departamento de Biomedicina – FASIPE

Profº. Me.
Coordenador do Curso de Biomedicina
FASIPE - Faculdade CPA

**Cuiabá- MT
2026**

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 2026.

Assinatura do Orientador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a minha trajetória até aqui. À minha família, pelo apoio, incentivo e compreensão nos momentos de dificuldade. Aos amigos, que estiveram presentes ao longo dessa caminhada, oferecendo apoio e motivação. E a todos que acreditaram no meu esforço e me incentivaram a seguir em frente, tornando possível a realização deste objetivo.

AGRADECIMENTO

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela oportunidade de chegar até aqui e pela força ao longo de toda essa trajetória.

À minha família, pelo apoio, incentivo e compreensão durante todos os momentos, sendo fundamentais para a realização deste trabalho.

À minha orientadora, pela orientação, paciência e contribuição para o desenvolvimento deste estudo, compartilhando conhecimentos essenciais para a sua construção.

Aos professores do curso de Biomedicina, pelos ensinamentos transmitidos ao longo da graduação, que foram fundamentais para minha formação acadêmica e profissional.

Aos colegas e amigos, pelo apoio, incentivo e pelos momentos compartilhados durante essa jornada.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

EPÍGRAFE

“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez.”

— George Bernard Shaw

DE OLIVEIRA, André Luís. **ATUAÇÃO DO BIOMÉDICO NA DETECÇÃO DE DROGAS ILÍCITAS E EMERGENTES COM VALIDADE FORENSE NO BRASIL**, 2026. 49 folhas. Monografia de Conclusão de Curso- FASIPE- Faculdade de CPA.

RESUMO

A toxicologia forense tem se consolidado como uma área essencial para a produção de provas no sistema de justiça, sobretudo diante do aumento do consumo de drogas ilícitas e do surgimento constante de novas substâncias psicoativas, que tornam as análises laboratoriais mais complexas e exigem maior rigor técnico. Nesse cenário, a atuação do biomédico ganha destaque, uma vez que esse profissional participa diretamente de todas as etapas do processo analítico, desde a coleta até a emissão do laudo. No entanto, o problema deste estudo está relacionado à forma como a atuação do biomédico pode interferir nas amostras biológicas, ocasionando contaminação ou degradação das substâncias e, conseqüentemente, comprometendo a validade forense dos resultados. A relevância da pesquisa se justifica pela necessidade de fortalecer a prática pericial, considerando que falhas no processo analítico podem impactar diretamente decisões judiciais e a confiabilidade da prova toxicológica. Assim, o objetivo geral foi investigar a contribuição do biomédico na detecção de drogas ilícitas e emergentes em matrizes biológicas, considerando os riscos que podem afetar a integridade das amostras, enquanto os objetivos específicos envolveram a caracterização das principais substâncias analisadas, a compreensão das matrizes biológicas utilizadas, a descrição dos métodos analíticos e a identificação das principais fontes de erro no processo. Para isso, foi realizada uma pesquisa qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, por meio de revisão bibliográfica narrativa, com levantamento de dados em bases como PubMed, SciELO, Google Acadêmico e Periódicos CAPES, adotando critérios de inclusão de estudos publicados entre 2020 e 2025, disponíveis na íntegra e diretamente relacionados ao tema, sendo excluídos materiais duplicados, desatualizados ou sem rigor científico. Ao todo foram usados 21 artigos para compor as referências. Os resultados evidenciaram que a fase pré-analítica concentra a maior parte dos erros laboratoriais, destacando-se problemas como falhas na identificação, contaminação e armazenamento inadequado das amostras, além de apontar que a ausência de padronização e capacitação profissional contribui significativamente para esses erros. Também foi possível verificar que a adoção de estratégias como protocolos operacionais padronizados, uso de sistemas de rastreabilidade e treinamento contínuo pode reduzir falhas e aumentar a confiabilidade dos resultados, corroborando a hipótese proposta e reforçando a importância da atuação do biomédico na garantia da validade analítica e forense da prova toxicológica.

Palavras-chave: Biomédico; Cadeia de custódia, Toxicologia forense.

DE OLIVEIRA, André Luís. **THE ROLE OF THE BIOMEDICAL PROFESSIONAL IN THE DETECTION OF ILLICIT AND EMERGING DRUGS WITH FORENSIC VALIDITY IN BRAZIL**, 2026. 49 pages. Course Completion Monograph - FASIPE - Faculty of CPA.

ABSTRACT

Forensic toxicology has become an essential area for producing evidence in the justice system, especially given the increase in illicit drug use and the constant emergence of new psychoactive substances, which make laboratory analyses more complex and require greater technical rigor. In this scenario, the role of the biomedical scientist becomes prominent, since this professional participates directly in all stages of the analytical process, from collection to the issuance of the report. However, the problem addressed in this study is related to how the biomedical scientist's actions can interfere with biological samples, causing contamination or degradation of substances and, consequently, compromising the forensic validity of the results. The relevance of this research is justified by the need to strengthen forensic practice, considering that failures in the analytical process can directly impact judicial decisions and the reliability of toxicological evidence. Thus, the overall objective was to investigate the contribution of biomedical professionals in the detection of illicit and emerging drugs in biological matrices, considering the risks that can affect the integrity of the samples, while the specific objectives involved the characterization of the main substances analyzed, the understanding of the biological matrices used, the description of the analytical methods, and the identification of the main sources of error in the process. To this end, a qualitative, exploratory, and descriptive research was conducted through a narrative literature review, with data collected from databases such as PubMed, SciELO, Google Scholar, and CAPES Journals, adopting inclusion criteria of studies published between 2020 and 2025, available in full and directly related to the topic, excluding duplicate, outdated, or scientifically unrigorous materials. In total, 21 articles were used to compose the references. The results showed that the pre-analytical phase accounts for the majority of laboratory errors, highlighting problems such as identification failures, contamination, and inadequate sample storage. Furthermore, the results indicated that the lack of standardization and professional training significantly contributes to these errors. It was also possible to verify that the adoption of strategies such as standardized operational protocols, the use of traceability systems, and continuous training can reduce errors and increase the reliability of results, corroborating the proposed hypothesis and reinforcing the importance of the biomedical professional's role in ensuring the analytical and forensic validity of toxicological evidence.

Keywords: Biomedical scientist; Chain of custody; Forensic toxicology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aumento das Substâncias Psicoativas (NSP) ao longo dos anos	23
Figura 2 – Fluxo da análise toxicológica	25
Figura 3 – Fluxograma da fase pré-analítica	29
Figura 4 – Principais fontes de erro na análise toxicológica forense	32

Quadro 1 – Principais atribuições do biomédico na toxicologia forense.....	19
Quadro 2 – Classificação das drogas ilícitas segundo seus efeitos.....	21
Quadro 3 – Principais técnicas utilizadas na toxicologia forense.....	25
Quadro 4 – Etapas e pontos críticos da cadeia de custódia na toxicologia forense	35
Quadro 5 – Comparação das matrizes biológicas e suas janelas de detecção.....	44

LISTA DE ABREVIACÕES

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

EMCDDA – European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction

GC – Cromatografia Gasosa

GC-MS – Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas

HPLC – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência

ISO – International Organization for Standardization

LC – Cromatografia Líquida

LC-MS/MS – Cromatografia Líquida acoplada à Espectrometria de Massas em Tandem

MJSP – Ministério da Justiça e Segurança Pública

NSP – Novas Substâncias Psicoativas

POPs – Procedimentos Operacionais Padronizados

TF – Toxicologia Forense

UNODC – United Nations Office on Drugs and Crime

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Justificativa.....	16
1.2 Problematização.....	17
1.3 Hipótese.....	18
1.4 Objetivos.....	18
1.4.1 Objetivo Geral.....	18
1.4.2 Objetivos Específicos.....	18
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 Toxicologia Forense e a Atuação do Biomédico.....	19
2.1.1 Inserção do biomédico na toxicologia forense.....	19
2.1.2 Principais atribuições do biomédico na área forense.....	20
2.1.3 O biomédico como elo entre ciência e justiça.....	21
2.2 Drogas Ilícitas e Novas Substâncias Psicoativas (NSP).....	21
2.2.1 Classificação das drogas ilícitas e seus efeitos.....	22
2.2.2 Novas Substâncias Psicoativas (NSP): definição e características.....	22
2.2.3 Problemas analíticos na detecção de novas drogas.....	23
2.2.4 Relevância das NSP no Brasil.....	23
2.3 Métodos Analíticos na Toxicologia Forense.....	24
2.3.1 Técnicas cromatográficas na análise toxicológica.....	25
2.3.2 Espectrometria de massas e identificação de substâncias.....	25
2.3.3 Triagem e análise confirmatória.....	26
2.3.4 Validação de métodos analíticos.....	27
2.3.5 Desafios analíticos frente às novas substâncias psicoativas.....	27
2.4 Matrizes Biológicas na Toxicologia Forense.....	28
2.5 Fase Pré-Analítica e a Atuação do Biomédico na Qualidade da Amostra	29
2.5.1 Etapas da fase pré-analítica e seus pontos críticos.....	30
2.5.2 Interferência da atuação do biomédico na qualidade da amostra.....	31
2.5.3 Impacto dos erros pré-analíticos nos resultados toxicológicos.....	31
2.5.4 Relação entre fase pré-analítica e validade forense.....	32
2.6 Principais Fontes de Erro na Análise TF.....	32
2.6.1 Erros pré-analíticos e suas implicações.....	33
2.6.2 Erros analíticos: limitações técnicas e metodológicas.....	34
2.6.3 Erros pós-analíticos e interpretação dos resultados.....	34

2.6.4	Impacto dos erros na validade forense da prova.....	35
2.6.5	Estratégias para redução de erros na prática laboratorial.....	35
2.7	Cadeia de Custódia na Toxicologia Forense.....	36
2.8	Validade Analítica e Validade Forense da Prova.....	39
2.9	Boas práticas para redução de erros na TF.....	41
3.	METODOLOGIA.....	43
4.	DISCUSSÃO E RESULTADOS.....	44
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
	REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

A toxicologia forense constitui um campo multidisciplinar essencial para a administração da justiça, sendo responsável pela detecção, identificação e quantificação de substâncias tóxicas em contextos legais. Nesse cenário, a atuação do profissional biomédico assume papel de destaque devido à sua formação voltada às análises laboratoriais e biológicas, fundamentais para a identificação de drogas ilícitas e substâncias psicoativas emergentes. A crescente complexidade do panorama criminal, associada à constante modificação das substâncias circulantes no mercado ilícito, impõe desafios contínuos à toxicologia forense, tornando indispensável a atuação de profissionais capacitados para garantir a confiabilidade analítica e a validade científica das provas toxicológicas (BARBOSA et al., 2022; BRASIL, 2025; SANTOS; PACHECO, 2023).

Historicamente, a toxicologia forense evoluiu em resposta à necessidade de identificar substâncias químicas em amostras biológicas destinadas à investigação criminal e à elucidação de causas relacionadas a intoxicações, overdoses e mortes suspeitas. Com os avanços científicos e tecnológicos, ampliou-se a capacidade de detecção de compostos cada vez mais complexos, incluindo as Novas Substâncias Psicoativas (NSP), que representam um desafio crescente para os laboratórios forenses devido à rápida disseminação e constante modificação estrutural. Entre essas substâncias destacam-se os nitazenos, opioides sintéticos de elevada potência associados a graves riscos toxicológicos e elevado potencial de overdose (BRASIL, 2025; SANTOS; PACHECO, 2023).

A atuação do biomédico na toxicologia forense fundamenta-se na aplicação de métodos analíticos sensíveis e específicos, bem como na compreensão das características das diferentes matrizes biológicas utilizadas nas análises toxicológicas. A seleção adequada dessas matrizes, como sangue, urina, cabelo, saliva e unhas, exerce influência direta sobre a detecção e quantificação das substâncias investigadas, considerando fatores como janela de detecção, estabilidade química e possibilidade de contaminação (LOMBA et al., 2023; KUWAYAMA et al., 2016). Cada matriz apresenta vantagens e limitações próprias, exigindo conhecimento técnico especializado para interpretação correta dos resultados laboratoriais.

Além da capacidade analítica, a atuação biomédica também está diretamente relacionada ao rigor metodológico exigido no contexto pericial. Nesse sentido, a cadeia de custódia representa um dos principais pilares da toxicologia forense, sendo definida como o conjunto de procedimentos destinados ao registro, rastreabilidade e preservação das evidências biológicas desde a coleta até a emissão do laudo pericial (CASTELARI, 2018). A ocorrência de falhas durante qualquer etapa desse processo, especialmente na fase pré-analítica, pode comprometer significativamente a integridade da amostra e, conseqüentemente, a validade jurídica da prova toxicológica (ASSUNÇÃO, 2020).

A versatilidade da toxicologia forense permite sua aplicação em diferentes contextos clínicos e criminais, incluindo investigações de mortes suspeitas, acidentes de trânsito, intoxicações, monitoramento do uso de substâncias ilícitas e crimes facilitados por drogas. Nesse contexto, a pesquisa e o desenvolvimento de métodos analíticos capazes de detectar drogas ilícitas e substâncias emergentes em diferentes matrizes biológicas tornam-se fundamentais para o avanço das ciências forenses e para a confiabilidade das análises periciais realizadas no Brasil (SANTOS; PACHECO, 2023; BRASIL, 2025).

Apesar dos avanços tecnológicos e metodológicos observados nos últimos anos, a toxicologia forense ainda enfrenta importantes desafios relacionados à padronização laboratorial, capacitação técnica e controle de qualidade analítica. Estudos demonstram que grande parte dos erros laboratoriais ocorre durante a fase pré-analítica, envolvendo problemas relacionados à coleta, armazenamento, transporte e identificação inadequada das amostras biológicas (BARBOSA et al., 2022; LOMBA et al., 2023). Além disso, a ausência de protocolos padronizados e a insuficiente qualificação técnica em alguns laboratórios podem comprometer a rastreabilidade das evidências e a confiabilidade dos resultados obtidos.

2. OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo Geral

Investigar a contribuição do biomédico na detecção de drogas ilícitas e emergentes em matrizes biológicas.

2.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as principais drogas ilícitas e emergentes investigadas na toxicologia forense no Brasil;
- Discorrer sobre as matrizes biológicas utilizadas em análises toxicológicas;
- Descrever os procedimentos técnicos, boas práticas laboratoriais e principais fontes de erros no processamento de amostras;

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Toxicologia Forense e a Atuação do Biomédico

A toxicologia forense pode ser entendida como a área da ciência responsável por identificar e interpretar a presença de substâncias químicas no organismo humano com finalidade legal. Diferente da toxicologia clínica, que está voltada ao tratamento de intoxicações, a toxicologia forense atua diretamente na produção de provas para o sistema de justiça, sendo fundamental em investigações criminais, acidentes e mortes suspeitas. Assim, a análise de substâncias como drogas ilícitas, medicamentos e venenos permite esclarecer circunstâncias que, muitas vezes, não são evidentes apenas pela observação clínica ou pericial (SANTOS; PACHECO, 2023; XAVIER et al., 2025).

Essa área ganha ainda mais importância cenário atual, marcado pelo aumento do consumo de drogas e pela constante introdução de novas substâncias psicoativas no mercado ilícito. Essas mudanças tornam as investigações mais complexas, exigindo métodos analíticos cada vez mais sensíveis e profissionais capacitados para interpretar resultados laboratoriais com precisão. A toxicologia forense, além de ser protagonista na detecção de substâncias, envolve também a compreensão de seus efeitos no organismo e sua relação com o contexto investigado (BRASIL, 2025; BARBOSA et al., 2022).

3.1.1 Inserção do biomédico na toxicologia forense

Dentro desse contexto, o biomédico ocupa um espaço importante por sua formação voltada às análises laboratoriais e ao estudo de processos biológicos. Ao

longo da graduação, esse profissional desenvolve conhecimentos em áreas como bioquímica, farmacologia, biologia molecular e análises clínicas, o que o capacita para atuar diretamente na identificação de substâncias em diferentes tipos de amostras biológicas (PRITSCH, 2020; SANTOS; PACHECO, 2023).

Na prática, o biomédico pode atuar em laboratórios forenses, institutos de criminalística e centros de pesquisa, participando de etapas essenciais da investigação. Sua atuação envolve desde o recebimento e processamento das amostras até a realização de análises laboratoriais e interpretação dos resultados. Em muitos casos, esses dados são utilizados como prova técnica em processos judiciais, o que aumenta a responsabilidade do profissional em garantir a confiabilidade das informações produzidas (BARBOSA et al., 2022).

3.1.2 Principais atribuições do biomédico na área forense

A atuação do biomédico na TF não se limita a uma única etapa do processo analítico. Pelo contrário, ela envolve diferentes momentos que exigem atenção técnica e rigor metodológico. Podemos ver isso de forma mais clara no quadro a seguir (Quadro 1).

Quadro 1 – Principais atribuições do biomédico na toxicologia forense

Etapa	Atividade	Importância
Coleta de amostras	Participação na coleta de sangue, urina, cabelo, entre outros	Evita contaminação e garante integridade da amostra
Processamento	Preparação da amostra para análise	Influencia diretamente na detecção das substâncias
Análise laboratorial	Uso de técnicas como GC-MS e LC-MS/MS	Permite identificar e quantificar substâncias
Interpretação	Avaliação dos resultados obtidos	Relaciona dados laboratoriais com o caso investigado
Emissão de laudo	Elaboração de relatório técnico	Documento utilizado no processo judicial

Fonte: Adaptado de Santos e Pacheco (2023) e Barbosa et al. (2022).

Além das atividades técnicas, o biomédico também precisa lidar com aspectos éticos e legais. Isso inclui o respeito à cadeia de custódia, o correto registro das etapas analíticas e a garantia de que os resultados possam ser reproduzidos e validados. Pequenos erros, como uma identificação incorreta da amostra ou falhas no armazenamento, podem comprometer completamente o resultado da análise, afetando diretamente o andamento de um processo judicial (ASSUNÇÃO, 2020; LOMBA et al., 2023).

3.1.3 O biomédico como elo entre ciência e justiça

Um dos pontos mais importantes da atuação do biomédico na toxicologia forense é sua função como intermediador entre o conhecimento científico e o sistema jurídico. Diferente de outras áreas laboratoriais, em que os resultados ficam restritos ao ambiente clínico, na TF os dados produzidos precisam ser compreensíveis e defensáveis em um tribunal.

Isso significa que o biomédico além de realizar análises, também precisa garantir que os métodos utilizados sejam validados, que os resultados sejam confiáveis e que todo o processo esteja devidamente documentado. Em outras palavras, não basta detectar uma substância: é necessário provar que aquele resultado é tecnicamente correto e juridicamente aceitável (SANTOS; PACHECO, 2023; BARBOSA et al., 2022).

Essa responsabilidade se torna ainda maior quando se considera que muitos casos dependem exclusivamente de provas toxicológicas para sua resolução. Situações como intoxicações, overdoses, crimes facilitados por drogas e mortes suspeitas frequentemente exigem análises detalhadas para esclarecer o que ocorreu. Nesses casos, a atuação do biomédico pode ser decisiva para a elucidação dos fatos (XAVIER et al., 2025).

3.2 Drogas Ilícitas e Novas Substâncias Psicoativas (NSP)

O cenário da toxicologia forense tem passado por mudanças importantes nas últimas décadas, principalmente devido ao aumento do consumo de drogas e à diversidade de substâncias disponíveis no mercado ilícito. Esse contexto exige uma adaptação constante dos métodos analíticos e dos profissionais envolvidos, já que a identificação dessas substâncias se tornou mais complexa e dinâmica. Nesse ambiente, o estudo das drogas ilícitas e das novas substâncias psicoativas ganha

protagonismo, pois está diretamente ligado à capacidade de investigação e produção de provas confiáveis (XAVIER et al., 2025; BARBOSA et al., 2022).

As drogas ilícitas podem ser definidas como substâncias cujo consumo, produção ou comercialização são proibidos por lei. Entre as mais conhecidas estão a cocaína, a maconha, as anfetaminas e os opioides. Essas substâncias atuam no sistema nervoso central, alterando funções cognitivas, comportamentais e fisiológicas. Em contexto forense, sua identificação em matrizes biológicas pode ajudar a esclarecer situações como intoxicações, acidentes de trânsito, mortes suspeitas e crimes facilitados pelo uso de drogas (SANTOS; PACHECO, 2023).

3.2.1 Classificação das drogas ilícitas e seus efeitos

Uma forma comum de organizar as drogas ilícitas é a partir de seus efeitos no sistema nervoso central. Essa classificação facilita a compreensão do impacto dessas substâncias no organismo e sua relação com determinados tipos de ocorrência forense.

Quadro 2 – Classificação das drogas ilícitas segundo seus efeitos

Classe	Exemplos	Principais efeitos
Depressoras	Álcool, benzodiazepínicos, opioides	Redução da atividade cerebral, sedação, diminuição dos reflexos
Estimulantes	Cocaína, anfetaminas, crack	Aumento do estado de alerta, euforia, agitação
Perturbadoras	LSD, ecstasy, maconha	Alterações sensoriais, distorção da percepção, alucinações

Fonte: Adaptado de Xavier et al. (2025).

Essa classificação ajuda a entender, por exemplo, por que determinadas substâncias estão associadas a comportamentos específicos, como agressividade, perda de consciência ou alteração da percepção da realidade. Esses efeitos são frequentemente analisados em conjunto com os resultados laboratoriais, contribuindo para a interpretação dos casos investigados (XAVIER et al., 2025).

3.2.2 Novas Substâncias Psicoativas (NSP): definição e características

Nos últimos anos, o surgimento das chamadas Novas Substâncias Psicoativas (NSP) tem grandes problemas para a toxicologia forense. Essas substâncias são desenvolvidas com o objetivo de imitar os efeitos de drogas já conhecidas, mas com pequenas modificações em sua estrutura química. Essas alterações dificultam sua identificação e, muitas vezes, fazem com que não estejam incluídas nas listas de substâncias controladas no momento em que começam a circular (BRASIL, 2025; XAVIER et al., 2025).

As NSP incluem diferentes grupos, como canabinoides sintéticos, catinonas sintéticas, opioides sintéticos e outras substâncias de ação variada. Um ponto importante é que essas drogas podem apresentar efeitos mais intensos e imprevisíveis quando comparadas às drogas tradicionais, aumentando os riscos para a saúde e a dificuldade de análise laboratorial (FABRIS, 2024).

É preciso mencionar que a velocidade com que novas substâncias são introduzidas no mercado torna o acompanhamento por parte dos órgãos de controle e dos laboratórios um processo contínuo. Isso exige atualização constante dos bancos de dados analíticos e desenvolvimento de novos métodos de detecção (BARBOSA et al., 2022).

3.2.3 Problemas analíticos na detecção de novas drogas

A identificação de drogas ilícitas já apresenta um certo grau de complexidade, mas esse cenário se torna ainda mais desafiador quando se trata das NSP. Um dos principais problemas está relacionado à ausência de padrões de referência e de dados espectrais disponíveis, o que dificulta a confirmação da identidade das substâncias detectadas (FABRIS, 2024).

Outro fator relevante é a necessidade de métodos analíticos altamente sensíveis. Muitas dessas substâncias estão presentes em concentrações muito baixas nas amostras biológicas, exigindo o uso de técnicas avançadas, como a cromatografia acoplada à espectrometria de massas. Mesmo com essas tecnologias, a interpretação dos resultados pode ser complexa, principalmente quando há presença de metabólitos pouco conhecidos (LOMBA et al., 2023).

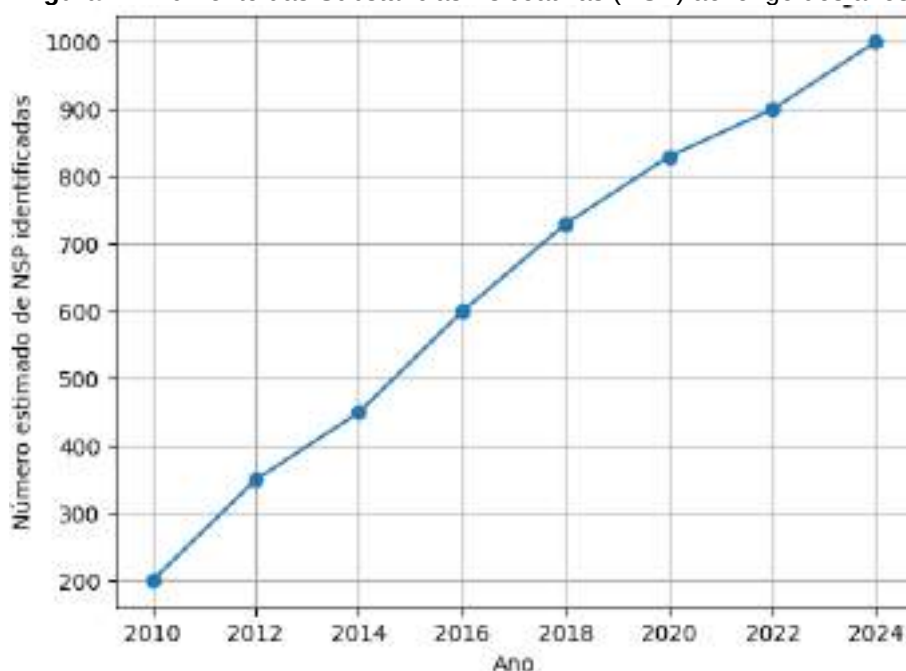
A constante modificação das estruturas químicas também interfere diretamente na eficácia dos métodos de triagem. Testes rápidos, por exemplo, podem não reconhecer novas substâncias, gerando resultados inconclusivos ou falsos

negativos. Isso reforça a necessidade de análises confirmatórias mais detalhadas e de profissionais capacitados para lidar com essas limitações (BARBOSA et al., 2022).

3.2.4 Relevância das NSP no Brasil

No Brasil, o crescimento da circulação de novas substâncias psicoativas (Figura 1) tem sido observado com preocupação por órgãos de segurança pública e saúde. Dados do Ministério da Segurança Pública apontam a presença de opioides sintéticos de alta potência, como os nitazenos, que apresentam risco elevado de overdose e morte. A detecção dessas substâncias em apreensões e casos clínicos reforça a necessidade de aprimoramento das técnicas laboratoriais e da atuação pericial (BRASIL, 2025).

Figura 1 – Aumento das Substâncias Psicoativas (NSP) ao longo dos anos.



Fonte: Adaptado de UNODC (2023) e EMCDDA (2024).

Além dos riscos à saúde, a presença dessas substâncias impacta diretamente o trabalho pericial. A dificuldade em identificar e quantificar essas drogas pode comprometer a interpretação dos casos e a produção de provas consistentes. Isso coloca o biomédico em uma posição de responsabilidade, exigindo domínio técnico e atualização constante para acompanhar as mudanças no perfil das substâncias analisadas (XAVIER et al., 2025; BARBOSA et al., 2022).

3.3 Métodos Analíticos na Toxicologia Forense

A identificação de substâncias em amostras biológicas é uma das etapas mais importantes da toxicologia forense, pois é a partir dela que se obtêm evidências capazes de sustentar uma investigação. Para isso, são utilizados métodos analíticos que permitem detectar e quantificar compostos químicos mesmo em concentrações muito baixas. A escolha da técnica adequada depende de fatores como o tipo de substância, a matriz biológica analisada e o objetivo da investigação, sendo fundamental para garantir resultados confiáveis (LOMBA et al., 2023; SANTOS; PACHECO, 2023).

O avanço tecnológico tem ampliado a capacidade de análise nos laboratórios forenses. Atualmente, é possível identificar uma grande variedade de substâncias, incluindo drogas tradicionais e compostos novos, com alto grau de precisão. Por outro lado, essa evolução também exige profissionais capacitados para operar equipamentos complexos e interpretar dados que nem sempre são simples de analisar (FABRIS, 2024).

3.3.1 Técnicas cromatográficas na análise toxicológica

Entre os métodos mais utilizados na toxicologia forense, destacam-se as técnicas cromatográficas, que permitem separar os componentes presentes em uma amostra. Essa separação é essencial quando se trabalha com matrizes biológicas, que possuem uma grande quantidade de substâncias que podem interferir na análise.

As duas técnicas mais empregadas são a cromatografia gasosa (GC) e a cromatografia líquida (LC). A escolha entre elas depende principalmente das características da substância a ser analisada. Compostos voláteis e termicamente estáveis são mais adequados para análise por GC, enquanto substâncias mais complexas ou termolábeis são geralmente analisadas por LC (DORTA et al., 2018; LOMBA et al., 2023).

3.3.2 Espectrometria de massas e identificação de substâncias

A cromatografia, por si só, permite separar os compostos, mas não é suficiente para identificá-los com precisão. Por isso, ela é frequentemente associada à espectrometria de massas, formando sistemas como GC-MS e LC-MS/MS. Essa combinação é considerada padrão na toxicologia forense, pois permite identificar substâncias com alto grau de confiabilidade (Quadro 3).

A espectrometria de massas funciona a partir da fragmentação das moléculas, gerando padrões específicos que podem ser comparados com bancos de dados. Isso possibilita a identificação mesmo quando a substância está presente em pequenas quantidades. Além disso, essa técnica permite quantificar os compostos, o que é importante para avaliar a concentração da droga no organismo (FABRIS, 2024; LOMBA et al., 2023).

Quadro 3: Principais técnicas utilizadas na toxicologia forense

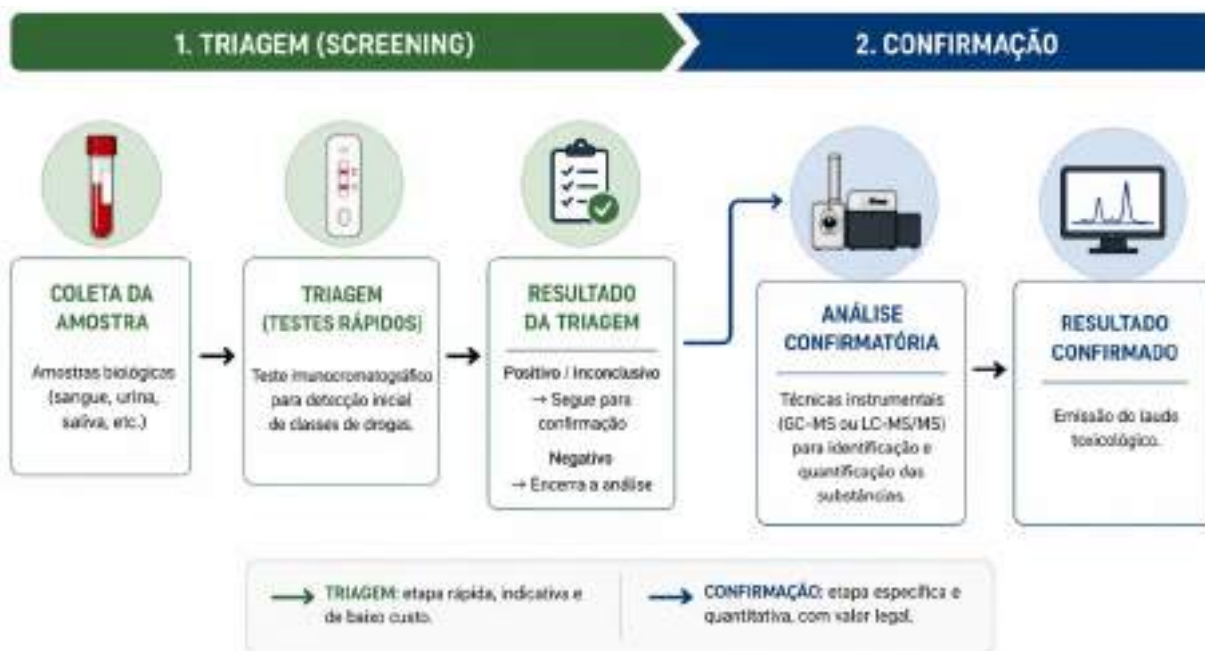
Técnica	Aplicação	Vantagens	Limitações
GC-MS	Drogas voláteis e estáveis	Alta precisão e identificação confiável	Não indicada para substâncias termolábeis
LC-MS/MS	Drogas complexas e NSP	Alta sensibilidade e versatilidade	Custo elevado
Imunoensaios	Triagem inicial	Rápido e de baixo custo	Menor especificidade

Fonte: Adaptado de Lomba et al. (2023) e Fabris (2024).

3.3.3 Triagem e análise confirmatória

As análises costumam ocorrer em duas etapas: triagem e confirmação (Figura 2). A triagem tem como objetivo identificar rapidamente a possível presença de substâncias, sendo geralmente realizada por métodos mais simples e rápidos, como imunoensaios. Esses testes são úteis para direcionar a investigação, mas podem apresentar resultados inespecíficos (SANTOS; PACHECO, 2023).

Figura 2: Fluxo de análise toxicológica.



Fonte: Adaptação do autor (2026)

Após a triagem, é realizada a análise confirmatória, que utiliza técnicas mais sofisticadas, como GC-MS ou LC-MS/MS. Essa etapa é essencial para garantir a validade do resultado, pois fornece dados mais precisos e confiáveis. Em muitos casos, apenas os resultados confirmatórios são considerados válidos em contexto jurídico (LOMBA et al., 2023).

3.3.4 Validação de métodos analíticos

Para que os resultados obtidos em laboratório sejam aceitos como prova, os métodos utilizados precisam passar por um processo de validação. Esse processo avalia parâmetros como precisão, exatidão, sensibilidade, especificidade e reprodutibilidade, garantindo que o método seja adequado para a finalidade proposta (FABRIS, 2024).

A validação também é importante para assegurar que o método seja capaz de detectar substâncias em diferentes matrizes biológicas e em diferentes condições. Isso se torna ainda mais relevante quando se trata de novas substâncias psicoativas, que podem apresentar comportamentos distintos em relação às drogas tradicionais (LOMBA et al., 2023).

3.3.5 Desafios analíticos frente às novas substâncias psicoativas

A análise de drogas emergentes apresenta desafios adicionais, principalmente devido à falta de informações disponíveis sobre essas substâncias. Muitas NSP não possuem padrões de referência ou dados espectrais amplamente disponíveis, o que dificulta sua identificação.

A constante modificação das estruturas químicas pode reduzir a eficácia de métodos já estabelecidos. Isso exige o desenvolvimento de novos protocolos analíticos e atualização frequente dos bancos de dados utilizados nos laboratórios (FABRIS, 2024; BARBOSA et al., 2022).

Outro ponto importante é a presença de metabólitos desconhecidos, que podem dificultar a interpretação dos resultados. Nesses casos, o conhecimento técnico do profissional se torna essencial para avaliar os dados obtidos e evitar conclusões equivocadas (LOMBA et al., 2023).

3.4 Matrizes Biológicas na Toxicologia Forense

A análise toxicológica depende diretamente do tipo de material biológico utilizado, pois é a partir dele que se torna possível detectar, identificar e interpretar a presença de substâncias no organismo. Essas amostras, conhecidas como matrizes biológicas, variam conforme o objetivo da investigação e o contexto do caso, podendo incluir sangue, urina, cabelo, saliva e unhas. A escolha da matriz é um fator determinante para a qualidade do resultado e para a interpretação correta dos dados obtidos (LOMBA et al., 2023; KUWAYAMA et al., 2022).

Cada matriz possui características próprias que influenciam diretamente a detecção das substâncias, como a forma de incorporação do analito, a estabilidade química e a chamada janela de detecção, que corresponde ao período em que a substância pode ser identificada após o consumo. Por esse motivo, a seleção inadequada da matriz pode levar a resultados inconsistentes ou até mesmo à ausência de detecção, mesmo quando houve exposição à substância. Esse aspecto ganha ainda mais importância no contexto forense, onde a interpretação do resultado pode impactar diretamente decisões judiciais (KINTZ, 2021; LOMBA et al., 2023).

O sangue é frequentemente considerado a matriz de referência em toxicologia forense, especialmente em situações que envolvem intoxicação aguda ou avaliação do estado do indivíduo no momento do evento. Por refletir de forma mais direta a concentração da substância circulante, ele permite estabelecer relações mais precisas

entre a presença da droga e seus efeitos no organismo. Porém, sua utilização apresenta limitações, como a curta janela de detecção e a necessidade de coleta invasiva, o que pode dificultar sua obtenção em determinadas circunstâncias (KINTZ, 2021).

A urina, por outro lado, é amplamente utilizada em testes toxicológicos devido à facilidade de coleta e ao maior período de detecção das substâncias e seus metabólitos. Embora não permita determinar com precisão o momento do consumo, ela é eficiente para indicar exposição recente, sendo bastante utilizada em triagens laboratoriais. Essa característica a torna uma matriz útil em diferentes contextos, como investigações criminais, monitoramento ocupacional e exames toxicológicos de rotina (LOMBA et al., 2023; VERSTRAETE, 2022).

Nos últimos anos, matrizes alternativas têm ganhado espaço na toxicologia forense, principalmente em situações em que as matrizes tradicionais não estão disponíveis ou não são adequadas. O cabelo, por exemplo, permite avaliar o uso de substâncias ao longo de semanas ou meses, já que os compostos são incorporados à estrutura capilar durante o crescimento. Essa característica torna essa matriz especialmente útil para investigações retrospectivas, como em casos de uso crônico de drogas ou análise de histórico toxicológico (KUWAYAMA et al., 2022).

As unhas apresentam características semelhantes ao cabelo, com a vantagem de serem mais resistentes a condições ambientais adversas. Um estudo de Kuwayama et al. (2025) tem demonstrado seu potencial em análises post-mortem, especialmente quando outras matrizes estão degradadas ou indisponíveis. Apesar disso, ainda existem desafios relacionados à padronização dos métodos e à interpretação dos resultados, o que limita seu uso mais amplo.

A saliva, também conhecida como fluido oral, tem sido utilizada principalmente em contextos que exigem detecção rápida e não invasiva, como fiscalização de condutores. Sua principal vantagem está na facilidade de coleta, que pode ser realizada sem necessidade de ambiente clínico. Por outro lado, a quantidade reduzida de amostra e a possibilidade de contaminação externa exigem cuidados adicionais na análise e interpretação dos resultados (VERSTRAETE, 2022).

A escolha da matriz biológica também está diretamente relacionada ao comportamento da substância no organismo, incluindo processos de absorção, distribuição, metabolismo e excreção. Substâncias com rápida metabolização podem desaparecer do sangue em poucas horas, mas permanecer detectáveis na urina por

períodos mais longos. Já compostos lipofílicos tendem a se acumular em tecidos e podem ser detectados em matrizes como cabelo e unhas por mais tempo (KINTZ, 2021).

3.5 Fase Pré-Analítica e a Atuação do Biomédico na Qualidade da Amostra

A fase pré-analítica corresponde ao conjunto de etapas que antecedem a análise laboratorial propriamente dita, envolvendo desde a coleta da amostra até o seu preparo inicial para processamento. Apesar de muitas vezes receber menos atenção do que as etapas analíticas, essa fase é amplamente reconhecida como a principal fonte de erros em análises laboratoriais, incluindo aquelas realizadas no contexto da toxicologia forense. Estudos recentes indicam que a maior parte das falhas ocorre nesse momento, o que reforça a necessidade de controle rigoroso e padronização dos procedimentos envolvidos (LIN et al., 2025; LOMBA et al., 2023).

A importância da fase pré-analítica (Figura 3) é ainda maior, pois qualquer comprometimento da amostra pode impactar diretamente a validade jurídica do resultado. Diferentemente de análises clínicas, em que erros podem ser corrigidos com uma nova coleta, na toxicologia forense muitas vezes a amostra é única, irrepetível e vinculada a um evento específico. Dessa forma, a qualidade da coleta, do armazenamento e do transporte assume um papel central na confiabilidade da prova pericial (SANTOS; PACHECO, 2023; BARBOSA et al., 2022).

Figura 3 - Fluxograma da fase pré-analítica



Fonte: Adaptado de Santos & Pacheco (2023)

3.5.1 Etapas da fase pré-analítica e seus pontos críticos

A fase pré-analítica envolve uma sequência de procedimentos interdependentes, nos quais pequenos desvios podem comprometer toda a análise subsequente. A coleta da amostra é o primeiro momento crítico, pois exige a escolha correta da matriz biológica, conforme o tipo de investigação. Uma coleta inadequada pode resultar em volume insuficiente, contaminação ou até mesmo na perda de informações relevantes para o caso.

Após a coleta, a identificação da amostra se torna um ponto sensível. Erros de rotulagem, troca de recipientes ou falhas no registro podem levar à associação incorreta entre o material analisado e o indivíduo investigado. Esse tipo de erro é particularmente grave em contexto forense, pois pode comprometer completamente a credibilidade do laudo (BARBOSA et al., 2022).

O acondicionamento e o transporte também exercem influência direta sobre a integridade da amostra. Variações de temperatura, exposição à luz e atrasos no processamento podem causar degradação de substâncias, principalmente em casos de drogas mais instáveis, como algumas novas substâncias psicoativas. Esse processo pode reduzir a concentração do analito ou até torná-lo indetectável, gerando resultados falsamente negativos (LOMBA et al., 2023).

3.5.2 Interferência da atuação do biomédico na qualidade da amostra

A atuação do biomédico na fase pré-analítica vai além da execução de procedimentos técnicos, envolvendo decisões que impactam diretamente a qualidade do material analisado. A escolha da matriz biológica, por exemplo, exige conhecimento sobre a farmacocinética das substâncias e sobre as características de cada tipo de amostra. Uma decisão inadequada nesse momento pode dificultar a detecção ou levar a interpretações equivocadas dos resultados.

Durante a coleta e o manuseio da amostra, o biomédico precisa adotar medidas que evitem contaminação cruzada, como o uso de materiais estéreis e a separação adequada das amostras. Além disso, o registro correto das informações, incluindo identificação do paciente, horário da coleta e condições de armazenamento, é fundamental para garantir a rastreabilidade do processo (SANTOS; PACHECO, 2023).

A forma como a amostra é armazenada também depende diretamente da conduta do profissional. Temperaturas inadequadas, uso incorreto de conservantes ou

armazenamento prolongado antes da análise podem alterar a composição da amostra. Em casos envolvendo substâncias instáveis, essas alterações podem comprometer completamente a detecção, evidenciando a responsabilidade técnica do biomédico nessa etapa (LOMBA et al., 2023).

3.5.3 Impacto dos erros pré-analíticos nos resultados toxicológicos

Os erros ocorridos na fase pré-analítica podem se manifestar de diferentes formas, afetando tanto a detecção quanto a interpretação das substâncias analisadas. A contaminação da amostra, por exemplo, pode levar à presença de compostos que não estavam originalmente presentes, resultando em falsos positivos. Esse tipo de erro pode gerar consequências graves, como a incriminação indevida de um indivíduo.

Por outro lado, a degradação das substâncias pode reduzir sua concentração ou eliminar completamente sua presença detectável, levando a falsos negativos. Esse cenário é especialmente preocupante em casos criminais, pois pode contribuir para a não identificação de substâncias relevantes para a investigação (LIN et al., 2025).

Os erros de identificação ou registro podem comprometer a associação entre o resultado e o indivíduo analisado, tornando o laudo inválido do ponto de vista jurídico. Esses problemas demonstram que a confiabilidade da análise toxicológica depende não apenas da tecnologia empregada, mas também da qualidade das etapas iniciais do processo (BARBOSA et al., 2022).

3.5.4 Relação entre fase pré-analítica e validade forense

A validade forense de um resultado toxicológico está diretamente ligada à integridade da amostra e à rastreabilidade de todo o processo analítico. Nesse sentido, a fase pré-analítica representa um dos principais pontos de vulnerabilidade, pois concentra etapas em que a intervenção humana é mais intensa e, consequentemente, mais suscetível a erros.

Para que um resultado seja aceito em contexto jurídico, é necessário que todo o processo, desde a coleta até a análise, seja devidamente documentado e conduzido de acordo com protocolos estabelecidos. Falhas nessa etapa podem ser utilizadas para questionar a confiabilidade da prova, independentemente da qualidade da análise laboratorial (SANTOS; PACHECO, 2023).

Essa relação reforça a importância da padronização dos procedimentos e da capacitação dos profissionais envolvidos. A adoção de práticas como identificação

padronizada, uso de checklists e controle rigoroso das condições de armazenamento contribui para reduzir erros e aumentar a confiabilidade dos resultados (BARBOSA et al., 2022).

3.6 Principais Fontes de Erro na Análise TF

A confiabilidade de uma análise toxicológica não depende exclusivamente da sofisticação dos métodos laboratoriais, mas de todo o processo que envolve a obtenção e o tratamento da amostra. Nesse sentido, os erros podem surgir em diferentes etapas e comprometer tanto a detecção quanto a interpretação dos resultados. Na TF, esses erros assumem uma dimensão ainda mais crítica, pois podem influenciar diretamente decisões judiciais, afetando a responsabilização ou a absolvição de indivíduos (LOMBA et al., 2023; BARBOSA et al., 2022).

De modo geral, as fontes de erro podem ser agrupadas em três categorias: pré-analíticas, analíticas e pós-analíticas (Figura 4). Embora todas sejam relevantes, a literatura aponta que a fase pré-analítica concentra a maior parte das falhas, principalmente por envolver maior intervenção humana e menor grau de automação. Ainda assim, erros nas etapas analítica e pós-analítica também podem comprometer significativamente a validade dos resultados (LIN et al., 2025).

Figura 4 – Principais fontes de erros na análise toxicológica forense.



Fonte: Adaptado de Lin et al. (2025)

3.6.1 Erros pré-analíticos e suas implicações

Os erros pré-analíticos estão relacionados às etapas que antecedem a análise laboratorial, incluindo coleta, identificação, transporte e armazenamento das amostras. Esses erros são frequentemente associados a falhas humanas, ausência de padronização e condições inadequadas de manuseio. Um exemplo comum é a identificação incorreta da amostra, que pode levar à associação equivocada entre o resultado e o indivíduo analisado, comprometendo totalmente a validade do laudo (BARBOSA et al., 2022).

A contaminação cruzada também representa uma fonte importante de erro nessa fase. Ela pode ocorrer quando há contato entre amostras diferentes ou quando materiais inadequados são utilizados durante a coleta e o preparo. Esse tipo de falha pode introduzir substâncias que não estavam originalmente presentes, gerando resultados falsos positivos que impactam diretamente a interpretação do caso (LOMBA et al., 2023).

A degradação das substâncias presentes na amostra também deve ser observada. Fatores como temperatura inadequada, exposição à luz e demora no processamento podem alterar a composição química do material analisado. Em casos envolvendo drogas instáveis, essas alterações podem reduzir a concentração do analito ou impedir sua detecção, resultando em falsos negativos (LIN et al., 2025).

3.6.2 Erros analíticos: limitações técnicas e metodológicas

Mesmo com o uso de tecnologias avançadas, a etapa analítica também está sujeita a erros. Esses problemas podem estar relacionados à calibração inadequada dos equipamentos, falhas na validação dos métodos ou interferência de substâncias presentes na matriz biológica. Em análises toxicológicas, especialmente aquelas que envolvem baixas concentrações de analitos, pequenas variações podem impactar significativamente os resultados (FABRIS, 2024).

A escolha inadequada do método analítico também pode comprometer a detecção das substâncias. Técnicas como imunoensaios, por exemplo, são úteis para triagem, mas apresentam menor especificidade quando comparadas a métodos confirmatórios como GC-MS ou LC-MS/MS. Isso pode levar a resultados inespecíficos ou inconclusivos, exigindo confirmação por técnicas mais precisas (LOMBA et al., 2023).

A presença de novas substâncias psicoativas impõe desafios adicionais, uma vez que muitas delas não possuem padrões de referência ou dados espectrais disponíveis. Isso dificulta a identificação correta e aumenta a dependência do conhecimento técnico do profissional para interpretação dos resultados (FABRIS, 2024).

3.6.3 Erros pós-analíticos e interpretação dos resultados

Os erros pós-analíticos ocorrem após a obtenção dos dados laboratoriais e estão relacionados principalmente à interpretação e ao registro das informações. Nessa etapa, a análise dos resultados deve considerar o contexto clínico e forense do caso. A interpretação isolada de valores laboratoriais pode levar a conclusões equivocadas, especialmente quando não são considerados fatores como tempo de exposição, metabolismo da substância e tipo de matriz analisada (KINTZ, 2021).

Falhas na elaboração do laudo também representam um risco alto. Informações incompletas, ausência de descrição dos métodos utilizados ou inconsistências nos dados apresentados podem comprometer a credibilidade do documento. Em contexto jurídico, esses problemas podem ser explorados para questionar a validade da prova, independentemente da qualidade da análise realizada (SANTOS; PACHECO, 2023).

3.6.4 Impacto dos erros na validade forense da prova

A ocorrência de erros ao longo do processo analítico pode afetar diretamente a validade forense dos resultados, ou seja, sua aceitação como prova em um processo judicial. Resultados falsos positivos podem levar à incriminação indevida, enquanto falsos negativos podem dificultar a identificação de substâncias relevantes para a investigação. Em ambos os casos, as consequências vão além do ambiente laboratorial, impactando decisões judiciais e a própria percepção de justiça (BARBOSA et al., 2022).

Falhas na documentação ou na rastreabilidade da amostra podem levar à exclusão da prova, mesmo quando os resultados laboratoriais são tecnicamente corretos. Isso reforça a importância de um controle rigoroso em todas as etapas do processo, garantindo que os dados produzidos sejam não apenas precisos, mas também juridicamente defensáveis (LOMBA et al., 2023).

3.6.5 Estratégias para redução de erros na prática laboratorial

A redução dos erros na TF depende da adoção de medidas que envolvem tanto aspectos técnicos quanto organizacionais. A padronização dos procedimentos, por meio da implementação de protocolos operacionais (POPs), contribui para a uniformidade das práticas e redução da variabilidade entre análises. O uso de sistemas de identificação automatizada, como códigos de barras ou QR Codes, pode minimizar erros de rotulagem e garantir maior rastreabilidade das amostras (BARBOSA et al., 2022).

A capacitação contínua dos profissionais também desempenha um papel importante, mais ainda diante da constante evolução das substâncias analisadas e das técnicas laboratoriais. A realização de controles de qualidade e participação em ensaios de proficiência permite avaliar a precisão dos métodos utilizados e identificar possíveis falhas no processo analítico (FABRIS, 2024). Essas estratégias contribuem para aumentar a confiabilidade dos resultados e fortalecer a validade forense das análises, reduzindo o risco de erros que possam comprometer a interpretação dos dados e o desfecho das investigações.

3.7 Cadeia de Custódia na Toxicologia Forense

A cadeia de custódia é um elemento essencial na produção da prova pericial, mais ainda na TF, onde a confiabilidade do resultado depende diretamente da integridade da amostra analisada. Esse conceito refere-se ao conjunto de procedimentos destinados a garantir que a evidência biológica mantenha sua autenticidade desde o momento da coleta até sua apresentação no contexto judicial (Quadro 4). Mais do que um protocolo técnico, a cadeia de custódia funciona como um mecanismo de garantia da confiabilidade do processo analítico, assegurando que o material examinado corresponde exatamente àquele coletado no cenário investigado (UNODC, 2022).

Quadro 4 - Etapas e pontos críticos da cadeia de custódia na toxicologia forense

Etapas	Descrição	Pontos Críticos	Risco de Erro	Impacto no Laudo
Coleta da amostra	Obtenção do material biológico (sangue,	Escolha da matriz inadequada; coleta	Contaminação; perda de representativid	Resultados falsos positivos ou negativos

	urina, cabelo, etc.) conforme o objetivo da análise	contaminada; volume insuficiente	ade	
Identificação e registro	Rotulagem da amostra e registro das informações (nome, data, hora, coletor)	Troca de etiquetas; registro incompleto ou incorreto	Erro de vinculação da amostra ao indivíduo	Invalidação total da prova
Acondicionamento	Armazenamento inicial em recipientes adequados com controle de temperatura e preservação	Uso de recipiente inadequado; ausência de conservantes	Degradação da substância	Redução da concentração ou não detecção
Transporte	Deslocamento da amostra até o laboratório sob condições controladas	Exposição a calor, luz ou tempo excessivo	Alteração química da amostra	Resultados inconsistentes
Recebimento no laboratório	Conferência da amostra e registro de entrada no sistema	Falha na conferência; ausência de documentação	Quebra da rastreabilidade	Questionamento jurídico da prova
Armazenamento	Manutenção da amostra até o momento da análise	Temperatura inadequada; armazenamento prolongado	Degradação do analito	Comprometimento da análise
Análise laboratorial	Processamento e identificação das substâncias presentes	Método inadequado; falha técnica	Resultado impreciso	Baixa confiabilidade do laudo
Registro e	Registro de	Lacunas no	Falha na	Possível

documentação	todas as etapas e resultados obtidos	histórico; informações incompletas	cadeia de custódia	exclusão da prova
Emissão do laudo	Elaboração do documento técnico com os resultados e interpretação	Dados inconsistentes; ausência de descrição metodológica	Interpretação equivocada	Fragilidade jurídica do laudo

Fonte: Adaptado de UNODC (2022), ISO (2022) e Peters et al. (2023).

O controle da cadeia de custódia inicia-se no momento da coleta da amostra, etapa em que a identificação correta e o registro das informações são fundamentais para evitar desvios posteriores. A documentação deve conter dados detalhados sobre a origem da amostra, o responsável pela coleta, o horário e as condições em que o procedimento foi realizado. Esse registro inicial estabelece o vínculo entre a evidência e o caso investigado, sendo indispensável para a rastreabilidade do material ao longo de todo o processo pericial (UNODC, 2022).

À medida que a amostra é transferida entre diferentes etapas, como transporte, armazenamento e análise, torna-se necessário manter um registro contínuo de cada movimentação. Esse controle permite reconstruir o percurso da evidência e identificar eventuais falhas no processo. A ausência de registros ou a presença de inconsistências pode gerar dúvidas sobre a autenticidade da amostra, comprometendo sua aceitação como prova válida em um processo judicial. Por esse motivo, a cadeia de custódia é frequentemente analisada com rigor em contextos legais, sendo considerada um dos critérios para validação da prova pericial (ISO 21043-2, 2022).

Muita atenção também envolve as condições físicas e ambientais às quais a amostra é submetida. A preservação adequada é indispensável para evitar alterações químicas que possam interferir nos resultados analíticos. Variações de temperatura, exposição à luz e tempo prolongado de armazenamento podem levar à degradação de substâncias, especialmente no caso de compostos instáveis, como algumas novas substâncias psicoativas. Dessa forma, o controle ambiental passa a integrar a cadeia

de custódia, ampliando sua função para além do registro documental (PETERS et al., 2023).

A cadeia de custódia das amostras tem uma importância crítica no ponto de vista jurídico, pois sua consistência pode ser determinante para a aceitação ou rejeição da prova. Em processos judiciais, a defesa pode questionar a validade de um laudo com base em falhas no registro ou na manipulação da amostra, mesmo quando os resultados laboratoriais são tecnicamente corretos. Isso demonstra que a validade forense não está relacionada apenas à precisão analítica, mas também à transparência e à confiabilidade do processo como um todo (BUSARDO; ZAAMI, 2021).

A atuação do profissional responsável pela análise, incluindo o biomédico, é vital. Cabe a ele garantir que todas as etapas sejam devidamente registradas e conduzidas de acordo com normas estabelecidas. Esse cuidado envolve desde a conferência da identificação da amostra até o monitoramento das condições de armazenamento, exigindo atenção constante e responsabilidade técnica. A ausência de padronização ou o descumprimento de protocolos pode comprometer a rastreabilidade e gerar questionamentos sobre a integridade da evidência (PETERS et al., 2023).

Nos últimos anos, o uso de tecnologias digitais contribuiu para o fortalecimento da cadeia de custódia. Sistemas informatizados de gerenciamento laboratorial permitem o registro automatizado das etapas, reduzindo a possibilidade de erros humanos. Ferramentas como códigos de barras e QR Codes possibilitam a identificação única das amostras, facilitando o controle e a rastreabilidade em tempo real. Essas soluções têm sido recomendadas em diretrizes internacionais como forma de aumentar a confiabilidade dos processos forenses (UNODC, 2022).

3.8 Validade Analítica e Validade Forense da Prova

A confiabilidade de um resultado toxicológico depende da forma como esse resultado foi obtido e documentado ao longo do processo. Nesse sentido, dois conceitos precisam ser considerados de forma integrada: a validade analítica e a validade forense. O primeiro está relacionado à qualidade técnica do método utilizado, enquanto o segundo envolve a aceitação desse resultado no âmbito jurídico. A distinção entre esses dois níveis de validação é fundamental para compreender por

que um resultado tecnicamente correto pode não ser aceito como prova (PETERS et al., 2023; BUSARDO; ZAAMI, 2021).

A validade analítica refere-se à capacidade de um método produzir resultados confiáveis, precisos e reprodutíveis. Para que isso seja alcançado, é necessário que o método passe por um processo de validação que avalie parâmetros como precisão, exatidão, sensibilidade, especificidade e limite de detecção. Esses critérios garantem que a técnica utilizada seja adequada para identificar e quantificar substâncias nas condições em que a análise é realizada. Em toxicologia forense, onde muitas vezes se trabalha com concentrações muito baixas, a validação analítica é indispensável para evitar resultados imprecisos ou inconsistentes (KANG et al., 2022).

A aplicação desses critérios envolve o uso de controles de qualidade, calibração de equipamentos e verificação contínua do desempenho do método. A ausência de validação ou o uso de técnicas inadequadas pode comprometer a confiabilidade dos resultados, mesmo quando a substância é corretamente identificada. Por essa razão, a validade analítica representa a base técnica sobre a qual a análise toxicológica é construída (PETERS et al., 2023).

Por outro lado, a validade forense está relacionada à forma como o resultado é produzido, registrado e apresentado. Um laudo só pode ser considerado válido do ponto de vista jurídico quando todo o processo atende a requisitos de rastreabilidade, integridade e transparência. Isso inclui a manutenção da cadeia de custódia, a documentação adequada das etapas analíticas e a descrição clara dos métodos utilizados. A ausência desses elementos pode gerar dúvidas sobre a autenticidade da amostra ou sobre a confiabilidade do resultado, levando à sua contestação (ISO 21043-2, 2022).

A relação entre validade analítica e validade forense pode ser compreendida a partir da seguinte lógica: a primeira garante que o resultado está tecnicamente correto, enquanto a segunda assegura que esse resultado pode ser utilizado como prova. Um método pode apresentar excelente desempenho analítico, mas, se a amostra tiver sido mal identificada ou se houver falhas na documentação, o laudo perde sua força jurídica. Isso demonstra que a confiabilidade da análise depende tanto da técnica quanto da forma como o processo é conduzido (BUSARDO; ZAAMI, 2021).

Essa distinção se torna ainda mais relevante em situações em que a análise toxicológica é determinante para a conclusão de um caso. Em investigações de morte, acidentes ou crimes relacionados ao uso de substâncias, a interpretação do resultado

pode influenciar diretamente a decisão judicial. Por esse motivo, a integração entre rigor técnico e controle processual é essencial para garantir que os dados produzidos sejam aceitos sem questionamentos (PETERS et al., 2023).

A atuação do profissional responsável pela análise, incluindo o biomédico, tem impacto direto na garantia desses dois níveis de validade. Cabe a ele assegurar que os métodos utilizados sejam adequadamente validados e que todas as etapas sejam registradas de forma clara e completa. Esse cuidado envolve desde a verificação da qualidade da amostra até a elaboração do laudo final, exigindo atenção constante aos detalhes e cumprimento rigoroso dos protocolos estabelecidos (KANG et al., 2022).

Dessa forma, a validade analítica e a validade forense devem ser entendidas como dimensões complementares da análise toxicológica. A ausência de qualquer uma delas compromete a confiabilidade do resultado e limita sua utilização em investigações. Quando esses dois aspectos são atendidos de forma integrada, a análise passa a reunir condições técnicas e jurídicas suficientes para sustentar decisões fundamentadas, fortalecendo a credibilidade da prova pericial.

3.9 Boas práticas para redução de erros na TF

A qualidade de uma análise toxicológica está diretamente ligada à forma como os procedimentos são executados ao longo de todas as etapas, desde a coleta da amostra até a emissão do laudo. A adoção de boas práticas laboratoriais busca reduzir a variabilidade dos processos e garantir que os resultados obtidos sejam consistentes, reproduzíveis e confiáveis. Em toxicologia forense, esse cuidado ganha ainda mais relevância, já que os dados produzidos podem influenciar decisões judiciais e demandam alto grau de rigor técnico (PETERS et al., 2023).

A padronização dos procedimentos é uma das principais estratégias utilizadas para minimizar erros. Protocolos operacionais padronizados, conhecidos como POPs, orientam a execução das atividades e reduzem a dependência de decisões individuais durante o processo. Quando bem estruturados, esses documentos descrevem cada etapa de forma clara, incluindo materiais necessários, condições de execução e critérios de aceitação dos resultados. Essa uniformização contribui para a redução de falhas humanas e melhora a consistência entre diferentes análises realizadas no laboratório (ISO 21043-2, 2022).

A rastreabilidade das amostras precisa ser tratada com grande importância em todo o processo. Sistemas de identificação baseados em códigos de barras ou QR

Codes permitem acompanhar o percurso do material desde a coleta até o descarte, registrando automaticamente cada etapa. Esse tipo de tecnologia reduz erros de rotulagem, evita trocas de amostras e facilita a recuperação de informações durante auditorias ou revisões técnicas. A digitalização desses registros também contribui para maior transparência e organização dos dados (UNODC, 2022).

A capacitação contínua dos profissionais sempre influenciara a qualidade dos resultados. A TF passa por constantes mudanças, impulsionadas pelo surgimento de novas substâncias e pelo desenvolvimento de métodos analíticos mais sensíveis. Assim, a atualização técnica permite que os profissionais acompanhem essas transformações e mantenham a qualidade das análises realizadas. Treinamentos periódicos, participação em cursos e atualização em literatura científica são práticas que fortalecem a atuação técnica e reduzem a ocorrência de erros (PETERS et al., 2023).

O é tão importante quanto qualquer outro elemento já citado, pois visa garantir a confiabilidade das análises. Ensaio de proficiência, uso de amostras controle e validação de métodos permitem avaliar o desempenho do laboratório e identificar possíveis falhas antes que elas impactem resultados reais. Esse acompanhamento contínuo contribui para a manutenção de padrões elevados de qualidade e para a credibilidade dos dados produzidos (PETERS et al., 2023).

A integração entre procedimentos técnicos, controle rigoroso e capacitação profissional cria um ambiente mais seguro para a realização das análises toxicológicas. Quando essas estratégias são aplicadas de forma consistente, há uma redução significativa de erros e um aumento na confiabilidade dos resultados. Esse conjunto de práticas fortalece a validade das análises e contribui para que os dados produzidos possam ser utilizados de forma segura em investigações e processos judiciais.

4. METODOLOGIA

O presente estudo se trata de uma pesquisa de natureza qualitativa, com abordagem exploratória e descritiva, desenvolvida por meio de revisão bibliográfica, com o objetivo de analisar a atuação do biomédico na detecção de drogas ilícitas e emergentes em matrizes biológicas, considerando os fatores que podem interferir na validade forense dos resultados. Essa escolha metodológica se justifica pela necessidade de reunir e discutir conhecimentos já consolidados na literatura científica, permitindo uma compreensão ampla sobre os processos analíticos, as fontes de erro e os elementos que influenciam a confiabilidade da prova toxicológica.

A pesquisa foi realizada a partir da consulta a bases de dados científicas reconhecidas, como PubMed, SciELO e Google Acadêmico, além de documentos institucionais e diretrizes técnicas de órgãos nacionais e internacionais. Para a busca dos estudos, foram utilizados descritores em português e inglês, combinados por operadores booleanos, incluindo termos como “toxicologia forense”, “biomédico”, “forensic toxicology”, “pre-analytical phase”, “chain of custody” e “new psychoactive substances”.

Foram adotados critérios de inclusão que priorizaram artigos científicos publicados entre os anos de 2020 e 2025, que abordassem diretamente a temática

proposta, incluindo estudos sobre métodos analíticos, matrizes biológicas, fase pré-analítica, cadeia de custódia e validade da prova. Também foram considerados documentos institucionais e relatórios técnicos, como publicações do Ministério da Justiça e de organismos internacionais, quando apresentavam relevância para o desenvolvimento do estudo. Por outro lado, foram excluídos trabalhos duplicados, estudos sem acesso ao texto completo, publicações anteriores ao período estabelecido. Ao todo, foram utilizados 21 artigos para compor a pesquisa.

Após a seleção dos materiais, foi realizada inicialmente uma leitura exploratória simples, seguida de uma leitura analítica e interpretativa dos conteúdos, para de identificar os principais pontos discutidos pelos autores. As informações foram organizadas de acordo com os objetivos do estudo, permitindo a construção de uma análise integrada sobre os fatores que influenciam a detecção de substâncias e a validade dos resultados toxicológicos.

5. DISCUSSÃO E RESULTADOS

A análise dos estudos selecionados permite observar que a atuação do biomédico na toxicologia forense está diretamente relacionada à confiabilidade dos resultados laboratoriais, sendo um fator de suma importância para a validade da prova. A literatura revisada concorda ao apontar que, mesmo com os inúmeros avanços alcançados pela tecnologia nos últimos anos, a qualidade do resultado ainda depende de muito das etapas iniciais do processo analítico, nas quais há maior interferência humana.

Nesse sentido, autores como Y. Lin et al. (2025) demonstram que a fase pré-analítica concentra a maior parte dos erros laboratoriais, podendo ultrapassar 90% dos casos analisados. Esse dado é consistente com as observações de Lomba et al. (2023), que mostram a vulnerabilidade dessa etapa em análises toxicológicas, sobretudo quando há falhas na coleta, identificação ou armazenamento das amostras. Esse ponto reforça a ideia de que a atuação do biomédico nesse momento é decisiva para a integridade da análise.

Ao relacionar esses achados com a problemática proposta, observa-se que a possibilidade de contaminação ou degradação das amostras está associada a ausência de padronização e ao manejo inadequado dos materiais. Barbosa et al.

(2022) evidenciam que a falta de uniformidade nos laboratórios forenses brasileiros contribui para a ocorrência de erros, enquanto Santos e Pacheco (2023) destacam a necessidade de capacitação contínua dos profissionais para reduzir essas falhas. Esses autores dialogam ao apontar que a qualidade do resultado não depende apenas do método, mas da forma como ele é aplicado.

A discussão também mostra que os desafios se intensificam com a introdução das novas substâncias psicoativas. Estudos como os de Fabris (2024) e Xavier et al. (2025) mostram que essas substâncias apresentam maior complexidade analítica, devido à ausência de padrões de referência e à constante modificação estrutural. Esse cenário amplia a responsabilidade do biomédico, que precisa interpretar resultados em condições de incerteza, muitas vezes com dados limitados. Peters et al. (2023) reforçam esse ponto ao destacar que a toxicologia forense moderna exige integração entre conhecimento técnico, atualização constante e interpretação crítica dos dados.

A cadeia de custódia também possui grande influência na validade da prova. Diretrizes internacionais, como as da United Nations Office on Drugs and Crime (2022) e da International Organization for Standardization (2022), apontam que a rastreabilidade da amostra é tão importante quanto a precisão analítica. Busardo e Zaami (2021) complementam essa discussão ao afirmar que a validade forense depende da qualidade técnica do exame e da transparência e consistência do processo. Dessa forma, mesmo resultados analiticamente corretos podem ser invalidados caso haja falhas no registro ou na manipulação da amostra.

A distinção entre validade analítica e validade forense, discutida ao longo da revisão, se confirma como um dos pontos centrais deste estudo. Kang et al. (2022) destacam a importância da validação metodológica para garantir precisão e reprodutibilidade, enquanto outros autores demonstram que esses critérios, isoladamente, não asseguram a aceitação jurídica da prova. A integração entre rigor técnico e controle processual surge, portanto, como condição essencial para a confiabilidade dos resultados.

Dessa forma, os resultados desta pesquisa mostram categoricamente que a atuação do biomédico exerce influência direta sobre a validade da prova toxicológica, não apenas pela execução técnica das análises, mas pelo controle rigoroso das etapas que antecedem e sucedem o processo analítico. A integração entre conhecimento científico, padronização de procedimentos e responsabilidade profissional emerge como o principal fator para garantir resultados confiáveis e

juridicamente válidos. A seguir, um quadro (Quadro 5) trazendo um resumo dos principais achados durante a pesquisa bibliográfica.

Quadro 5 - Resumo dos estudos utilizados na discussão

Autor/Ano	Título	Objetivo do Estudo	Contribuição para as conclusões
Assunção (2020)	Toxicologia forense: atuação do biomédico	Revisar a atuação do biomédico na perícia	Fundamentou a importância do biomédico no processo forense
Barbosa et al. (2022)	Diagnóstico dos laboratórios forenses	Avaliar estrutura dos laboratórios no Brasil	Evidenciou falta de padronização e impacto na qualidade
Brasil (2025)	Estudo sobre nitazenos	Analisar riscos de novas drogas no Brasil	Contextualizou a relevância das NSP no cenário nacional
Busardo & Zaami (2021)	Toxicologia e direito	Relacionar análise toxicológica e sistema jurídico	Fundamentou validade forense da prova
Castelari (2018)	Toxicologia forense como ciência multidisciplinar	Apresentar fundamentos da área	Contribuiu com base conceitual da toxicologia
EMCDDA (2024)	European Drug Report	Monitorar tendências de drogas	Sustentou crescimento das NSP
Fabris (2024)	Métodos LC-MS para NSP	Desenvolver técnicas analíticas	Evidenciou desafios técnicos na detecção
ISO (2022)	ISO 21043-2	Padronizar processos forenses	Estruturou cadeia de custódia
Kintz (2021)	Drug testing em cabelo	Analisar matrizes biológicas	Contribuiu para interpretação toxicológica
Kuwayama et al. (2016)	Saliva e impressões digitais	Avaliar matrizes alternativas	Ampliou discussão sobre amostras biológicas
Kuwayama et al. (2022)	Hair analysis	Estudar análise em cabelo	Fundamentou detecção prolongada

Kuwayama et al. (2025)	Drogas em unhas	Avaliar estabilidade em unhas	Contribuiu para análise post-mortem
Lin et al. (2025)	Erros pré-analíticos	Avaliar falhas laboratoriais	Demonstrou predominância da fase pré-analítica
Lomba et al. (2023)	Matrizes biológicas na TF	Analisar uso de amostras	Reforçou importância da escolha da matriz
Peters et al. (2023)	Toxicologia moderna	Revisar avanços da área	Integra técnica, interpretação e prática
Pritsch (2020)	Fundamentos da toxicologia	Apresentar conceitos básicos	Base teórica inicial do estudo
Santos & Pacheco (2023)	Atuação do biomédico	Analisar papel profissional	Destacou responsabilidade técnica
UNODC (2022)	Chain of custody guidelines	Padronizar evidências forenses	Fundamentou rastreabilidade
Verstraete (2022)	Testes em fluido oral	Avaliar uso da saliva	Complementou análise de matrizes
Xavier et al. (2025)	Drogas e saúde pública	Relacionar drogas e impacto social	Contextualizou relevância do tema

Fonte: Adaptação do autor (2026).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu compreender que a atuação do biomédico na toxicologia forense está diretamente relacionada à confiabilidade dos resultados obtidos em análises de drogas ilícitas. Ao longo da pesquisa, ficou evidente que, mesmo diante de avanços tecnológico, a qualidade da prova toxicológica ainda depende de forma decisiva da correta execução dos procedimentos, principalmente nas etapas iniciais do processo.

A análise da literatura demonstrou que a fase pré-analítica representa o principal ponto de vulnerabilidade, sendo responsável pela maior parte dos erros laboratoriais. Problemas como identificação incorreta, contaminação e armazenamento inadequado das amostras podem comprometer completamente os resultados, independentemente da qualidade dos métodos analíticos utilizados. Nesse sentido, a atuação do biomédico se destaca não apenas pela realização das análises, mas pelo controle rigoroso das condições que garantem a integridade da amostra.

Os objetivos propostos foram alcançados, uma vez que o estudo permitiu caracterizar as principais drogas analisadas, compreender o uso das diferentes matrizes biológicas, descrever os métodos analíticos e identificar as principais fontes de erro ao longo do processo. A hipótese levantada também foi corroborada, ao indicar que a adoção de medidas simples, como padronização de procedimentos, uso de sistemas de identificação e capacitação profissional, pode contribuir para a redução de falhas e aumento da confiabilidade dos resultados.

Conclui-se que a atuação do biomédico exerce influência direta na validade analítica e forense da prova toxicológica, sendo essencial para garantir que os resultados obtidos sejam não apenas tecnicamente corretos, mas também juridicamente aceitos.

REFERÊNCIAS

ASSUNÇÃO, F. D. **Toxicologia forense: um estudo de revisão bibliográfica sobre a atuação do biomédico na perícia criminal**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 5, n. 1, p. 120-135, 2020.

BARBOSA, L. C. S. et al. **Diagnóstico dos Laboratórios de Química e Toxicologia Forense das Polícias Científicas do Brasil**. Brasília: Centro de Excelência para a Redução da Oferta de Drogas Ilícitas (CdE), Ministério da Justiça e Segurança Pública, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), 2022.

BRASIL, Ministério da Justiça e Segurança Pública (MJSP). (2025, 24 de janeiro). **Estudo inédito analisa riscos dos nitazenos, novo tipo de droga presente no Brasil**.

BUSARDO, F. P.; ZAAMI, S. **Forensic toxicology and the law: state of the art and perspectives**. Current Pharmaceutical Biotechnology, v. 22, n. 14, p. 1855–1863, 2021.

CASTELARI, G. M. **Toxicologia forense: ciência multidisciplinar que abrange o estudo dos agentes tóxicos nas ciências forenses**. Revista Ambiente Acadêmico, v. 4, n. 1, p. 1-15, 2018.

EUROPEAN MONITORING CENTRE FOR DRUGS AND DRUG ADDICTION (EMCDDA). **European Drug Report 2024: Trends and Developments. Luxembourg**: Publications Office of the European Union, 2024. Disponível em: <https://www.emcdda.europa.eu>. Acesso em: 23 abr. 2026.

FABRIS, A. L. **Aplicação da Toxicologia Analítica Verde no desenvolvimento de metodologias baseadas em LC-MS para detecção de Novas Substâncias Psicoativas em amostras biológicas**. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 21043-2: Forensic sciences** — Part 2: Recognition, recording, collecting, transport and storage of items. Geneva: ISO, 2022.

KINTZ, P. **Analytical and practical aspects of drug testing in hair**. *Forensic Science International*, v. 321, p. 110707, 2021.

KUWAYAMA, K. et al. **Effectiveness of saliva and fingerprints as alternative specimens to urine and blood in forensic drug testing**. *Drug Testing and Analysis*, v. 8, n. 7-8, p. 644-651, jul./ago. 2016.

KUWAYAMA, K. et al. **Effects of natural environments on drug contents in nails**. *Forensic Toxicology*, v. 43, n. 1, p. 1-9, 2025.

KUWAYAMA, K. et al. **Micro-segmental hair analysis: detailed procedures and applications in forensic toxicology**. *Forensic Toxicology*, v. 40, n. 1, p. 1-12, 2022.

KUWAYAMA, K.; MIYAGUCHI, H.; KANAMORI, T.; TSUJIKAWA, K.; KISHI, T. **Effects of natural environments on drug contents in nails: comparison of drug residual rates between nails and hair to determine the drug-use history of corpses in unnatural death cases**. *Forensic Toxicology*, v. 43, n. 1, p. 1-9, 2025.

LIN, Y. et al. **Pre-analytical phase errors constitute the vast majority of errors in clinical laboratory testing**. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, v. 63, n. 9, p. 1709-1715, 2025.

LOMBA, M. R. S. et al. **O uso de matrizes biológicas e testes analíticos presentes na Toxicologia Forense**. *Revista Brasileira de Criminalística*, v. 12, n. 4, p. 88-102, 2023.

PETERS, F. T. et al. **Current perspectives in forensic toxicology**. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v. 415, p. 1–15, 2023.

PRITSCH, I. C. **Toxicologia forense: o estudo dos agentes tóxicos nas ciências forenses**. *Revista Criminalística e Medicina Legal, Curitiba*, v. 5, n. 1, p. 19-26, 2020.

SANTOS, A. A. B. dos; PACHECO, C. S. V. **Atuação do biomédico na toxicologia forense**. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, São Paulo*, v. 9, n. 10, p. 3940-3952, 22 nov. 2023.

UNITED NATIONS OFFICE ON DRUGS AND CRIME (UNODC). **Guidelines for forensic evidence handling and chain of custody**. Vienna: UNODC, 2022.

VERSTRAETE, A. G. **Oral fluid testing for drugs of abuse: recent developments**. *Therapeutic Drug Monitoring*, v. 44, n. 2, p. 217-224, 2022.

XAVIER, L. D. et al. **Toxicologia forense frente a interseção drogas de abuso e saúde pública**. *Revista Acadêmica Ciência e Tecnologia*, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2025.

