

## BALÍSTICA FORENSE: TÉCNICAS DE ANÁLISE PARA A VERIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE DISPARO DE ARMA DE FOGO

Wilma Graciete Silva Gomes<sup>1</sup>

André Luís Lima De Oliveira<sup>2</sup>

Lívia Paulia Dias Ribeiro<sup>3</sup>

### Resumo

Este trabalho teve como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica dos principais métodos instrumentais de análise aplicados à balística forense para identificação de resíduos deixados após disparos de arma de fogo na mão do atirador. Essas técnicas ajudam a determinar a origem dos tiros, identificar armas usadas em crimes, selecionar suspeitos, vítimas e cenas de crime. Resíduos de chumbo, bário e antimônio são os elementos mais comuns após disparos, os quais são analisados em laboratório através de técnicas Colorimétricas, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) Espectroscopia óptica e Espectroscopia de Absorção Atômica (EAA). No entanto, essas análises têm limitações, que incluem desde o tempo de disparo, limpeza da arma e uso de luvas. É importante a decisão do método de análise para manter a integridade das evidências, pois os peritos devem seguir padrões éticos e científicos rigorosos para resultados confiáveis e justos.

**Palavras-chave:** Balística forense; resíduos de arma; lesões perfurocontusas.

### Abstract

The work aimed to present a bibliographic review of the main instrumental methods of analysis dedicated to forensic ballistics for the identification of residues left after the discharge of a firearm in the shooter's hand. These techniques assist in determining the origin of shots, identifying weapons used in crimes, selecting suspects, victims, and crime scenes. Residues of lead, barium, and antimony are common after discharges and are analyzed in the laboratory using widely adopted techniques such as colorimetry, Scanning Electron Microscopy (SEM), Optical Spectroscopy, and Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). Nevertheless, these analyses have limitations, including the time elapsed since the discharge, firearm cleaning, and glove usage. The choice of the analysis method is crucial to maintaining the integrity of evidence, as experts must adhere to strict ethical and scientific standards for reliable and just results.

**Keywords:** Forensic ballistics; firearm residues; penetrating-contusive injuries.

---

<sup>1</sup> UNILAB, ICEN-Instituto de Ciências Exatas e da Natureza, Discente, wilmagrasilva18@gmail.com

<sup>2</sup> UNILAB, ICEN-Instituto de Ciências Exatas e da Natureza, Coorientador, andre.oliveira@unilab.edu.br

<sup>3</sup> UNILAB, ICEN-Instituto de Ciências Exatas e da Natureza, Orientadora, liviapaulia@unilab.edu.br

## INTRODUÇÃO

A balística forense é uma área científica onde os conhecimentos de Física e Química são aplicados para o estudo de armas de fogo (AF), suas munições e efeitos de disparo causados por projéteis. Armas de fogo são “armas que arremessam projéteis empregando a força expansiva dos gases, gerados pela combustão de um propelente confinado em uma câmara, normalmente solidária a um cano, que tem a função de dar continuidade à combustão do propelente, além de direção e estabilidade ao projétil” (Anexo III do decreto nº 10.030/2019).

A arma de fogo é, em essência, uma máquina térmica, baseada nos princípios da termodinâmica, isto é, converte a energia química do propelente em energia cinética do projétil. Para seu funcionamento apresenta seguintes características: aparelho arremessador (arma); carga de projeção (pólvora), e o projétil. Sua utilização independe da força física (exceto a força relacionada com o pressionamento do gatilho), por esse motivo a maioria delas são projetadas e construídas por engenheiros mecânicos e metalúrgicos (TOCCHETTO, 2021).

A balística forense integra a criminalística e pode se dividir em quatro ramos a saber: balística interna, balística de transição, balística externa e balística terminal (SILVINO JÚNIOR, 2021).

A balística interna é tudo que acontece no interior de uma arma de fogo, estuda o “processo de ignição do propelente, a queima do propelente na câmara, a pressurização da câmara, o primeiro movimento do projétil, e obturação da câmara, as dinâmicas internas do projétil, e as dinâmicas do cano durante o ciclo de fogo” Silvino Júnior (2021, p. 37). Ou seja, concentra-se na análise da estrutura, dos mecanismos internos, além disso, abrange o estudo de composição química do propelente utilizado na munição, os raiamentos do cano, sistema de percussão e o funcionamento da arma de fogo.

Ao disparar uma arma, resíduos sólidos e gasosos são expelidos juntamente com o projétil dando início a balística de transição, que analisa o comportamento do projétil durante o período em que começa o seu movimento fora da arma, porém, ainda é influenciado pelos gases remanescentes do disparo (SILVINO JÚNIOR, 2021).

A balística externa engloba a trajetória do projétil, desde a saída da boca do cano da arma até atingir o alvo. Nesse ramo da balística é feita a análise da velocidade do projétil, a força de rotação, as propriedades físicas (distribuição da massa e do peso), as dinâmicas e a estabilidade do projétil, o tempo de voo, o ângulo e a queda do projétil causado pela ação da gravidade (TOCCHETTO, 2021).

A interação entre o projétil e o alvo, denomina-se balística terminal, envolve o estudo da penetração do alvo por um projétil, sendo o alvo, geralmente, constituído por um material substancialmente mais denso do que o ar. De acordo com Tocchetto (2021), também é conhecido como "balística dos efeitos" na qual o projétil interage com um corpo material qualquer, como corpo humano, superfície metálica, uma vestimenta, uma vidraça etc. A pesquisa abrange uma gama de tópicos, incluindo o estudo das mecânicas da penetração, os efeitos de armadura, padrões resultantes de fragmentos pulverizados e a letalidade associada, a sobrepressão da explosão, os impactos não letais e os efeitos nos tecidos vivos, envolvendo medicina legal.

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica das principais técnicas e avanços metodológicos na balística forense para identificar os resíduos deixados por arma de fogo com o propósito de fornecer informações críticas para investigações criminais e processos judiciais.

## **METODOLOGIA**

Este trabalho parte de uma revisão bibliográfica, baseada em pesquisa qualitativa, por meio das pesquisas realizadas na área de química forense, em plataformas digitais e com ferramentas de inteligência artificial como OA.mg, R Discovery, Consensus, Elicit, Perplexity que entregam resultados de diversos indexadores e bases de artigos, além de livros impressos. A pesquisa bibliográfica é aquela em que se faz uma abordagem de estudos já publicados sobre o tema e que serve como embasamento para diferentes assuntos. Conforme Cristóvão da Cruz (2023), a pesquisa bibliográfica é um estudo elaborado a partir de materiais já existentes, e se constitui principalmente de livros e artigos científicos.

As palavras-chaves usadas na pesquisa foram: balística forense; resíduos de arma; lesões perfurocontusas, isto é, em português, e no inglês: Forensic ballistics; firearm residues; penetrating-contusive injuries. Os critérios para inclusão dos artigos foram os publicados entre 2014 a 2023 que abordam os métodos analíticos para determinar resíduos de Pb/Ba/Sb na mão do atirador, e aqueles que não tinham relação com a temática são excluídos. Assim, ao final desse processo foram selecionadas 33 referências para elaboração e discussão deste trabalho por meio da leitura exploratória dos artigos encontrados, em uma abordagem qualitativa, a síntese, e os fechamentos de artigos englobando as técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), testes colorimétricos na identificação dos resíduos, espectroscopia de

absorção atômica (AAS), espectroscopia óptica, tipos de tiros e lesões perfurocontusas, assim como artigos que falam sobre mecanismo de formação de Resíduos nas mãos do atirador.

## DESENVOLVIMENTO

### 1. Uso de armas de fogo e ferimentos

#### 1.1 Classificação das lesões

As lesões causadas pelos projéteis de arma de fogo são influenciadas por séries de variáveis, tais como tipo de propelente, o calibre e a velocidade do projétil, a distância entre o atirador e o alvo, a trajetória do disparo e a área específica do corpo atingido (FERREIRA, 2020). De maneira geral, essas lesões podem ser classificadas como **perfurocontusas**, nas quais o projétil penetra e danifica os tecidos ao mesmo tempo. As lesões perfurocontusas produzidas por projétil de arma de fogo, podem apresentar características distintas nos orifícios de entrada e saída, cujas particularidades podem variar dependendo do tipo de arma utilizada (FRANÇA, 2017).

Os ferimentos de entrada causados por projétil possuem orlas ou halos de contusão, escoriação e enxugo, que dizem respeito às modificações provocadas pelo projétil no corpo humano, além disso podem ser observadas zonas como de tatuagem, esfumaçamento e chamuscamento junto a pele, resultante da carga explosiva que ocorre no momento do disparo fazendo com que a lesão tenha certas características (TOCHETTO, 2021; FRANÇA, 2017).

Os ferimentos perfurocontusos exibem uma característica denominada orla de contusão, que corresponde a uma região equimótica. Essa área é caracterizada por um halo rosado que circunda o orifício de entrada. É importante observar que esse halo é mais visível em indivíduos de pele clara, como ilustrado na Figura 1, sendo mais difícil de identificar em pessoas de pele mais escura (FRANÇA, 2017).

**Figura 1** - Imagem de uma orla de contusão/equimótica causada por projétil de arma de fogo na pele de um indivíduo



**Fonte:** Vasconcellos (2020).

De acordo com especialistas na área de medicina legal, a epiderme é removida devido ao atrito causado pelo projétil na Orla de Escoriação. Isso resulta na formação de dois anéis distintos: um anel de diâmetro maior, originado pela ruptura da derme (conhecido como orla de contusão), e outro de diâmetro menor, que é formado devido à exposição da derme (chamada orla de escoriação), como demonstrado na Figura 02. Durante esse processo, pequenos vasos sanguíneos são tracionados e rompidos, levando a formação de escoriação ao redor do ferimento (FRANÇA, 2017). A Figura 2 também apresenta imagem de uma orla de enxugo e escoriação causada por projétil de arma de fogo na pele de pessoa que foi baleada.

**Figura 2** - Imagem de uma de orla de enxugo e escoriação causada por projétil de arma de fogo na pele de um indivíduo



**Fonte:** Laboratório de Odontologia e Antropologia Forenses e Medicina Legal. Disponível em: [malthus.com](http://malthus.com)

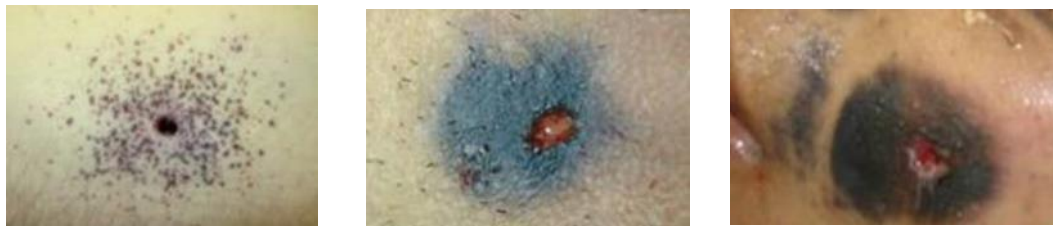
A Orla de Enxugo é resultado da remoção dos resíduos do projétil. Geralmente, apresenta uma coloração escura, e assume uma forma circular nos casos de disparo perpendiculares, enquanto adquire uma forma oval ou elíptica em casos de disparos oblíquos. Durante sua passagem pela derme, o projétil é “enxugado”, ou seja, limpa-se das impurezas e sujeiras que possam ter sido trazidas do cano da arma. Os resíduos de pólvora e fuligem depositados na superfície do corpo, deixam um anel na derme, sendo comumente chamado de orla de enxugo. Vale ressaltar que essa orla de enxugo cobre parcialmente a orla de escoriação, e a sobreposição dessas duas orlas é conhecido como “anel de FISCH” (VASQUES, 2015).

Geralmente, as orlas ou halos formados no orifício de entrada de uma lesão, representam os efeitos primários do tiro, e não depende da distância em que o tiro foi efetuado. Apresenta justamente, características somente do alvo atingido (uma perfuração na pele). Não há mais nenhum resquício ao redor do ferimento, isso é devido às ações mecânicas do projétil.

De acordo com França (2017), é possível identificar no orifício de entrada Zona de tatuagem, isto é, as partículas nela contidas possuem uma massa maior do que a fuligem. Nessa região permanecem os grãos de pólvora e as partículas metálicas decorrentes da atração do projétil no cano da arma, que impactam o alvo como verdadeiros projéteis secundários, podendo

em algumas ocasiões se alojar na pele para criar verdadeiras tatuagens. Por outro lado, a Zona de Esfumaçamento é gerada quando a fumaça produzida pelo disparo atinge o alvo e se deposita ao redor do ferimento de entrada, formando o que é conhecido como a zona de esfumaçamento. Além disso, tem a Zona de Chamuscamento que ocorre devido à ação do calor e dos gases quentes que saem do cano da arma. Esses elementos têm o efeito de queimar os pelos e a camada mais externa da pele, sendo também denominada de "zona de queimadura" (VASQUES, 2015).

**Figura 3** - Imagens diferentes tipos de ferimentos causados pela perfuração de projétil



(A) Zona de tatuagem

(B) Zona de chamuscamento

(C) Zona de esfumaçamento

**Fonte:** Laboratório de Odontologia e Antropologia Forenses e Medicina Legal. Disponível em: [malthus.com](http://malthus.com)

Efeitos secundários do tiro apresentam zonas características, isto é, pequenos pigmentos de pólvora incombusta que se impregnam na pele. Os gases tendem a expandir e pode haver uma deformação no orifício de entrada, e ele depende muito da distância em que o disparo foi efetuado.

Os orifícios de entrada podem ser ocasionados por tiros a distância, curta distância ou encostado. Essa variação interfere, inclusive, nas características das lesões, dependendo da proximidade do cano da arma com o anteparo, criando orlas ou zonas específicas. Desse modo, as características dos ferimentos de entrada dependem, basicamente, de três fatores principais: tipo de munição empregada (projétil unitário ou projéteis múltiplos), ângulo de inclinação em que o projétil penetrou a pele e a distância em que foi efetuado o disparo. Os ferimentos de entrada são bem definidos, bordas invertidas e com suas orlas e zonas características a depender da distância.

Característica do orifício de saída do projétil: é evidenciado somente quando o projétil transfixou o corpo, tendo um diâmetro maior que o orifício de entrada. Sua forma é irregular, pois o projétil frequentemente se deforma em seu trajeto pelos tecidos orgânicos, resultando em bordas evertidas com sangramento maior. Além disso, na presença de um anteparo, pode apresentar uma orla equimótica e de contusão, como mencionado por Leandro (LEANDRO, 2016).

Para a identificação das lesões produzidas por projétil de arma de fogo é de suma importância entender sua estrutura levando em consideração orifícios de entrada e saída, mecanismo de ação e particularidades de cada ferimento, uma vez que esses elementos vão ajudar na avaliação e interpretação do acontecimento (REIS et al., 2018).

## 1.2 Tipos de tiros

Os ferimentos perfurocontusos provocados por arma de fogo podem ser causados por disparos efetuados em distâncias variáveis, e através do estudo dessas lesões, o perito consegue identificar a distância em que aquele tiro foi realizado, no caso existem três tipos: tiro efetuado a longa distância ou à distância, tiro efetuado a curta distância e tiro efetuado de forma encostada (CROCE et al., 2017).

No tiro a curta distância a área de queimadura deve-se a ação dos gases superaquecidos que alcançam a vítima, os pelos que porventura existirem na região mostram-se crespos e quebradiços. Ou seja, se a vítima está a uma distância curta daquela arma de fogo, não só o projétil vai atingi-la, mas também a fuligem, os gases superaquecidos e a pólvora incombusta.

Tiros à distância é caracterizado quando o orifício de entrada apresenta características próprias, isto é, a vítima só vai apresentar efeitos primários do tiro, que são lesões provocadas unicamente pela ação do projétil. Não apresentam os efeitos secundários de lesão, ou seja, não apresentam os sinais próprios de disparos a curta distância (TOCHETTO, 2021).

É importante salientar que a ausência de sinais de tiros a curta distância não implica necessariamente que o disparo tenha ocorrido à distância, devido a possibilidade de o atirador ter utilizado um anteparo, como por exemplo um pedaço de borracha ou papelão, entre a boca do cano da arma e o corpo da vítima.

Quando os tiros são disparados com a boca do cano da arma encostada ou apoiada na superfície do corpo da vítima, tanto os gases da combustão como os grânulos de pólvora e a fumaça penetram no orifício de entrada juntamente com o projétil. Dessa forma, não se formam as zonas de tatuagem e esfumaçamento na superfície de pele da vítima (RIBEIRO, 2014).

Lesões causadas por projétil de arma de fogo apresentam características diferentes na qual, o perito ao analisar consegue diferenciar um homicídio do suicídio, pois uma vítima de suicídio não apresenta características de lesões por projétil de arma de fogo de tiro a longa distância.

Ao ser produzido um tiro, os resíduos projetados para fora da arma saem pela boca do cano, juntamente com o projétil, pela parte anterior das câmaras, entre o tambor e o cano, e pela

parte posterior das câmaras, entre a região posterior do tambor e a culatra, nos revólveres (LIMA, et al, 2022) como ilustra a figura 4.

**Figura 4** - Nuvens de fumaça após o disparo de arma produzem resíduos de disparo (GSR).



**Fonte:** Difusora ON, 2022. Disponível em: <https://difusoraon.com/2022/11/12/homem-e-morto-por-disparos-de-arma-de-fogo-no-cruzeiro-santa-barbara/>

### 1.3 Mecanismo de formação de resíduo de disparo de arma de fogo

O resíduo resultante do disparo de uma arma de fogo, também conhecido como Gunshot Residue (GSR) em inglês, é formado por partículas geradas durante o disparar de uma arma, resultante da combustão da mistura iniciadora e do propelente (BLAKEY et al., 2018).

Durante o disparo de arma de fogo, o gatilho é acionado, produz-se um choque mecânico contra a base da espoleta gerando faísca que dá início ao processo de combustão da pólvora, produzindo de forma instantânea grande concentração de gases, que ao se expandir dentro da cápsula da munição, expulsam o projétil pelo cano da arma. O projétil ao atingir o alvo atua por pressão, havendo afastamento e rompimento das fibras, assim, o alvo também é atingido por compressão de gases que acompanha o projétil (ALMEIDA JÚNIOR, 2017).

O material gasoso produzido é composto por produtos oriundos da deflagração da pólvora (como dióxido de carbono, monóxido de carbono, vapor d'água, nitritos e óxido de nitrogênio), e da mistura iniciadora como compostos de bário (Ba), chumbo (Pb) e antimônio (Sb).

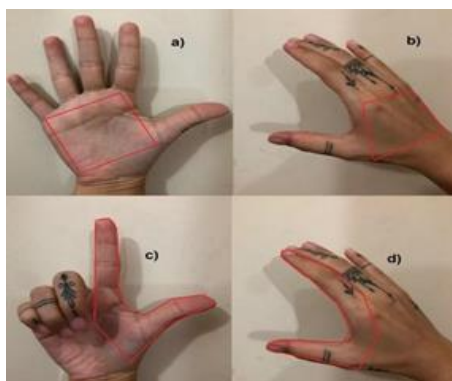
Além dos gases são produzidos microfragmentos de Pb que são retirados do projétil no momento da passagem pelo cano da arma, o qual possui ranhuras em forma de raiais, constituindo o principal resíduo oriundo do disparo. Esses resíduos, alguns autores denominaram-lhes por partículas residuais de tiro, que atingem, principalmente mãos e braços dos atiradores, também pode ficar no corpo da pessoa, no chão ou próximo ao local onde a força de impacto atuou e caiu (BLAKEY *et al.*, 2018).



## 1.4 Resíduos de tiro nas mãos do atirador

Os resíduos de tiro são compostos especialmente formados por elementos derivados da explosão da espoleta que contêm chumbo (Pb), bário (Ba) e antimônio (Sb) além de pólvora fundida presente nas mãos, rosto e roupas do atirador. Sua coleta segue alguns protocolos: ele é feito na mão do atirador em regiões ilustradas na Figura 5, por meio da técnica de *stub* (fita adesiva) ou *swab* (haste flexível com algodão na extremidade), que são atualmente os métodos mais utilizados na coleta dos resíduos GSR devido à eficiência e simplicidade desses métodos, podendo ser aplicados em vários tipos de materiais, como pele, roupa e cabelo (GASSNER *et al.*, 2016).

**Figura 5** - Identificação da localização de resíduo de pólvora nas mãos do atirador.



Fonte: Salino, 2021

A análise química de chumbo e bário consiste na coleta prévia de amostra das mãos do suspeito mediante aplicação de tiras de fita adesiva do tipo esparadrapo nas mesmas e subsequente imobilização dessas tiras em superfície de papel de filtro Figura 5, ocorre nas regiões da palma (a), dorso (b), pinça-palmar (c) e pinça-dorsal (d), no entanto, a presença de resíduo GSR no suspeito confirma que esteve ou não no local do crime (SALINO, 2021).

A coleta adequada dos resíduos GSR é fundamental para a obtenção de resultados confiáveis. Estudos recentes têm se concentrado no aprimoramento desses métodos, buscando aumentar a eficiência e a precisão na coleta dos resíduos (PEREIRA, 2022).

## 2. Métodos de análise para identificação de resíduos de gsr

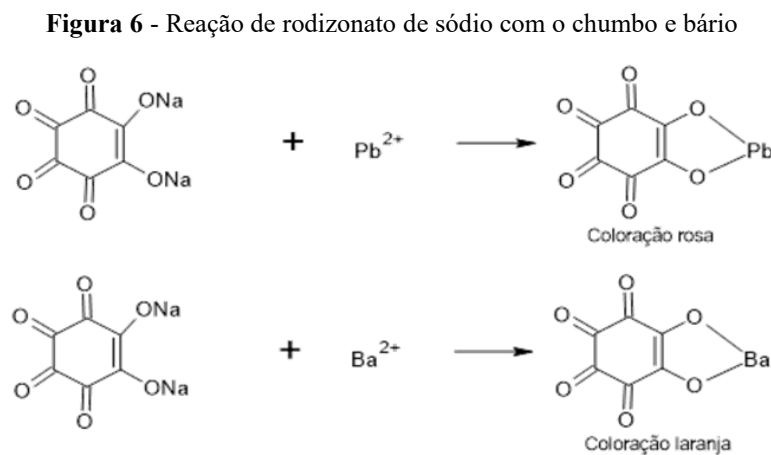
### 2.1 Testes colorimétricos na Identificação de resíduos GSR

A princípio eram realizados apenas testes colorimétricos com fins qualitativos para identificar a presença de GSR. Mas ao longo dos estudos, perceberam que esses testes não

atingiam os objetivos com eficiência, isto é, tinham probabilidade maior de apresentarem resultados falsos positivos. Estudo recente realizado junto a perícia oficial de natureza criminal de estados brasileiros e distrito federal demonstra que a maioria dos estados brasileiros realizam exame residuográfico pelo método colorimétrico que utiliza rodizonato de sódio, que embora muito utilizado, não vem sendo recomendado (BRASIL, 2021).

O teste colorimétrico com rodizonato de sódio é muito utilizado em ensaios qualitativos clássicos para verificar a presença de chumbo (Pb) e bário (Ba) devido ao composto oxidante nitrato de bário constituinte na espoleta proveniente do disparo de armas de fogo (Bruni, et al., 2019). Partículas de chumbo podem ser resultantes do agente detonador presente na espoleta.

O método é realizado borrifando-se uma solução acidificada de rodizonato de sódio em diferentes meios de coleta (stub ou swab) contendo os resíduos. Assim, resultando em uma reação química entre rodizonato de sódio e o chumbo que leva uma mudança na coloração da solução tornando-se rosa, e na presença de bário coloração laranja (Figura 6) (VANINI, 2014).



**Fonte:** Adaptado de Vanini (2014)

Historicamente, o primeiro teste químico documentado para identificação do GSR foi o teste de parafina, também chamado de teste dérmico de nitrato. Este teste apresenta algumas limitações, pois, como indica apenas os nitratos presentes nas amostras; partículas relacionadas com o uso de fertilizantes, fármacos e urina podem ser indicadas pelo teste, gerando assim um alto nível de falsos positivos. Foram desenvolvidos outros tipos de testes com algumas melhorias, como o teste de Griess e de Harrison-Gilroy que já também estão quase em desuso devido ao nível de falsos positivos que também apresentam (ABREU, 2017). Para melhor

compreensão desses métodos colorimétricos, foram selecionados três (3) artigos baseados no uso desses testes, em que discutir-se-á os resultados desses estudos, conforme Quadro 1 abaixo.

**Quadro 1** - Autores que trabalharam com testes colorimétricos de parafina, Griess, Teste de Harrison e Gilroy, em seus estudos experimentais.

Autores	Revista	Resultados
GANDY, Lauren et al.	<b>Forensic Chemistry</b> , v. 8, p. 1-10, 2018.	<b>Teste de parafina:</b> O material foi coletado das mãos do suspeito utilizando-se cera parafínica. Na sequência, foi borrifada uma solução 0,25% de <i>N, N'</i> - Difenilbenzidina em ácido sulfúrico concentrado. O resultado de teste deu positivo para a presença de nitratos e nitritos com coloração azul. Outro teste foi feito com matérias comuns do dia a dia e deram resultados positivos. Concluiu-se que o teste não é recomendado, pois não conseguir-se-á diferenciar os resíduos coletados de disparo, e dos materiais do dia a dia.
LIDORIO, Rodrigo Boneli.	<b>Engenharia Química-Tubarão</b> , 2020.	<b>Teste colorimétrico de Griess:</b> Nessa análise é identificado a presença de íons nitritos provenientes do disparo de arma de fogo utilizando a sequência de Griess-Ilosvay. No estudo foram aplicados os reagentes em amostras coletadas em Swabs úmido; algodão embebido e fitas adesivas, friccionadas e coladas na pele da mão de um atirador. Testes de tiros foram realizados para determinar a eficiência de armas de fogo encaminhadas para exames periciais. Após a conclusão dos testes, verificou-se ser mais preciso o método de coleta realizado com algodão embebido. Observa-se resultados negativos na maioria dos testes realizados com Swabs e com fitas adesivas, o que não aconteceu com chumaço de algodão. Verificou-se em cada caso algumas variações na tonalidade da cor, dependendo possivelmente da concentração de nitritos presentes nas superfícies. As determinações colorimétricas foram realizadas visualmente e por meio de instrumentos ópticos e foi possível identificar a coloração vermelha-violácea.
SEROL, Miguel et al.	<b>Molecules</b> , v. 28, n.14, p.5550, 2023.	<b>Teste de Harrison e Gilroy:</b> Após coletar GSR presente nas mãos usando um Swab umedecido com ácido clorídrico diluído, o Swab era tratado com iodeto de trifetilmetilarsênio. O surgimento de pontos laranja confirmava a presença de antimônio. O Swab também era tratado com rodizonato de sódio e o surgimento de pontos vermelhos indicavam a presença de bário e / ou chumbo. Na terceira secagem, o Swab era tratado, na ausência de luz, com ácido clorídrico, dando resultado uma coloração azul confirmando a presença de chumbo.

Colorimetria é uma técnica de análise baseada na comparação de cores geradas por uma reação química, e, em determinadas situações, é possível realizar a avaliação do resultado obtido a olho nu (Bruni, et al., 2019). No entanto, a maneira mais precisa e confiável de verificar a coloração resultante de uma reação é por meio de um espectrofotômetro, equipamento

laboratorial que quantifica a intensidade da cor produzida na reação. Testes colorimétricos na identificação de GSR tem suas vantagens, isto é, são simples, de baixo custo, apresentam uma boa sensibilidade, rapidez e os equipamentos são portáteis, o perito pode fazer análise na hora e obter resultados. Embora seja uma ferramenta útil na investigação forense, mas apresenta grandes limitações com relação às amostras, há grandes chances de apresentarem resultados falsos positivos ou falsos negativos.

O teste colorimétrico para a identificação de GSR (Resíduos de Disparo) é um procedimento químico utilizado na investigação criminal e análises forenses que se baseia na detecção de substâncias específicas depositadas na pele ou roupas de uma pessoa que tenha manuseado ou disparado uma arma de fogo. Esses resíduos incluem compostos como nitratos, nitritos e partículas metálicas provenientes da munição (Pb/Ba/Sb). Algumas indicações para o uso dessa metodologia incluem investigação de cenas de crime, determinação de disparos recentes, análise de evidências e vítimas de lesões por arma de fogo.

## 2.2 Técnicas instrumentais de análise na identificação de resíduos GSR

Com o passar do tempo, o aperfeiçoamento dos métodos de análise trouxe novas alternativas para a detecção desses resíduos de disparos, devido ao avanço na área de perícia criminal, iniciaram-se as análises a partir de métodos instrumentais. Entre os principais, destacou-se neste trabalho a Espectroscopia Óptica, Espectroscopia de Absorção Atômica e a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

### 2.2.1 Espectroscopia de decomposição induzida por laser (LIBS)

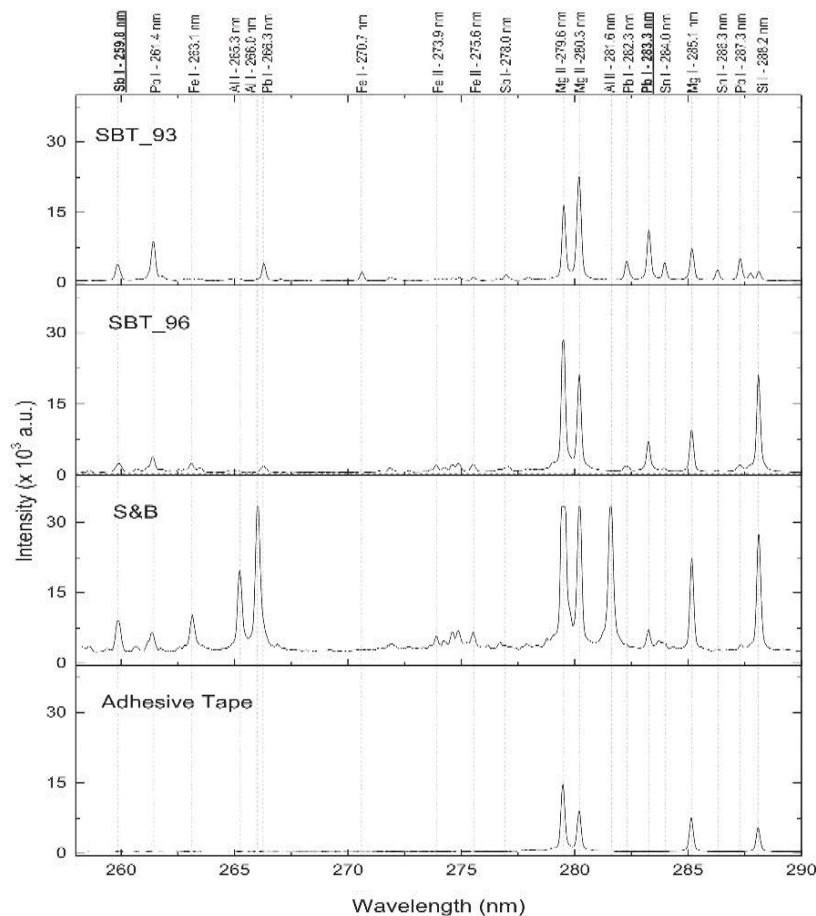
A espectroscopia de decomposição induzida por laser (LIBS) consiste na interação entre um laser potente de curta duração e a superfície da amostra fornecendo análise multielementar. O potencial de imagem LIBS na presença de um laser permite a visualização de partículas de GSR em múltiplos comprimentos de onda detectáveis por um espectrômetro acoplado ao sistema. No quadro 2 foi mencionado um estudo experimental sobre a técnica.

**Quadro 2** – Estudo realizado com a técnica de espectroscopia óptica na identificação de GSR.

<b>Autores</b>	<b>Revista</b>	<b>Resultados</b>
LÓPEZ-LÓPEZ, María et al.	<b>Forensic science international</b> , v. 273, p. 124-131, 2017.	As amostras de três munições diferentes (SB-T 93+, SB 96+ e S&B) foram coletadas da roupa com uma pinça metálica e colocadas em uma fita dupla-face fixada em uma lâmina de vidro. As medições LIBS foram realizadas em duas regiões espectrais diferentes: uma entre 258-289 nm, otimizada para o sistema de detecção de Andor, e outra entre 446-463 nm, otimizada para o sistema de detecção de

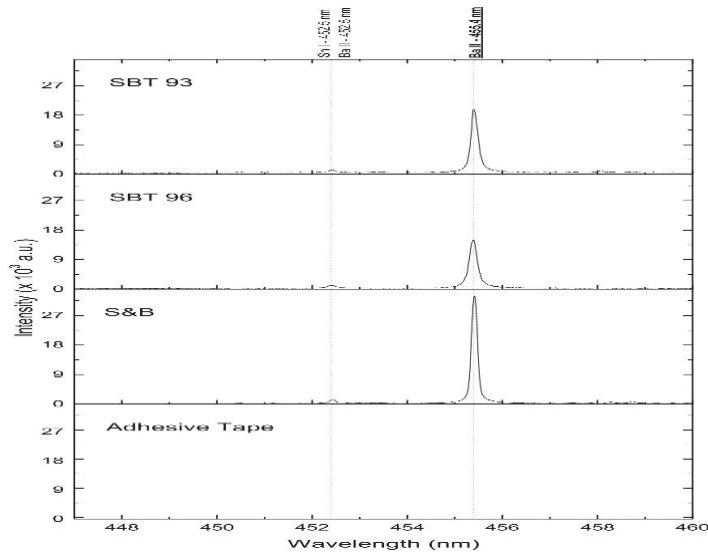
		<p>Princeton. Os tempos de atraso e largura da porta foram ajustados para otimizar a análise de 1 <math>\mu</math>s e 30 <math>\mu</math>s (Andor) e 2 <math>\mu</math>s e 30 <math>\mu</math>s, (Princeton).</p> <p>Os espectros das partículas de GSR foram registrados simultaneamente para ambas as regiões espectrais. As partículas provenientes de cada tipo de munição apresentaram espectros semelhantes em termos de composição e intensidade. Além disso, o espectro da folha adesiva onde as partículas foram depositadas também foi obtido. Na região espectral entre 258–289 nm, foram observadas linhas de emissão de Sb, Pb, Mg, Si, Fe e Sn, sendo que a presença de Mg foi atribuída à folha adesiva, mas sem interferência nas linhas dos elementos de interesse. Na região espectral entre 446–463 nm, foram observadas linhas de emissão de Ba II, Sn I e Ba II, sem interferência da folha adesiva. Através desses resultados concluíram que as partículas de GSR das diferentes munições apresentaram padrões espectrais distintos e que a técnica LIBS foi eficaz na análise dessas partículas, permitindo a identificação dos elementos presentes.</p>
--	--	---

**Figura 07** - Espectros LIBS de partículas GSR individuais de munição SB-T 93+, SB-T 96 e S&B e a folha adesiva na região espectral de 258–289 nm. Tempo de atraso de 2 $\mu$ s e Porta de 30 $\mu$ s. Linhas de emissão em negrito.



**Fonte:** LÓPEZ-LÓPEZ et al. (2017).

**Figura 08** - Espectros LIBS de partículas GSR individuais de munição SB-T 93+, SB-T 96 e S&B e a folha adesiva na região espectral de 446–463 nm. Tempo de atraso de 1  $\mu$ s e Porta de 30  $\mu$ s. Linha de emissão em negrito.



**Fonte:** LÓPEZ-LÓPEZ et al. (2017).

LIBS é uma técnica simples e rápida (menos de 2 minutos por amostra) e é classificada como não destrutiva, devido a sua velocidade de análise é possível combiná-lo com outros métodos como (MEV, Espectroscopia de raios-x por dispersão de energia), permitindo a obtenção dos dados precisos e exatos, não requer preparação de amostra. Apresenta uma faixa de comprimento de onda de detecção que abrange desde ultravioleta ao infravermelho, capturando muitos elementos inorgânicos simultaneamente (TREJOS *et al.*, 2018). Além disso, avanços recentes na tecnologia tornaram o uso de LIBS portátil no campo de ciências forenses, facilitando o trabalho dos investigadores forenses, baseada na análise simultânea das partículas características dos resíduos de arma de fogo. A portabilidade permite a utilização de equipamentos de LIBS em cenas de crime, mesmo em áreas de difícil acesso. Requer quantidades mínimas de amostra e causa pouca destruição, o que é vantajoso para preservar evidências.

A desvantagem da técnica é que requer calibração adequada para garantir resultados precisos, alguns elementos podem apresentar linhas espectrais que se sobrepõem a outras, criando interferências espectrais que dificultam a identificação precisa dos elementos e também em amostras de concentração muito baixo de elementos de interesse. Os equipamentos de LIBS podem ser relativamente caros em comparação com algumas técnicas analíticas, o que pode limitar sua disponibilidade em alguns laboratórios ou agências forenses.

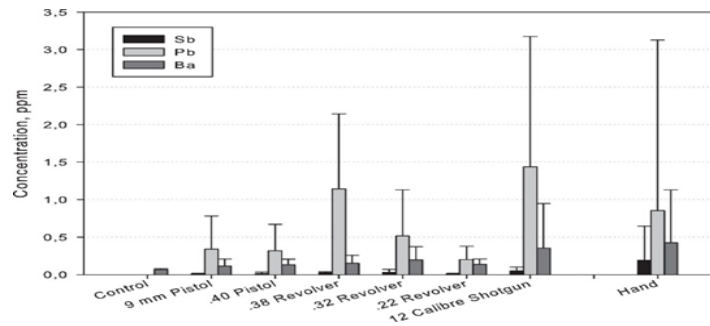
LIBS pode ser usada para comparar os padrões de elementos presentes nos resíduos de disparo encontrados em cena de crime com os resíduos provenientes da arma de fogo suspeita, oferece resultados em tempo real, e pode ser útil para investigadores que precisam de informações imediatas em cena de crime.

### 2.2.2 Espectroscopia de Absorção Atômica em forno de grafite (EAAFG)

A técnica é usada nos laboratórios para identificação e quantificação de bário, chumbo e antimônio proveniente no GSR. ALISTE *et al.*, (2016) utilizavam a técnica para a identificação de GSR. A pesquisa foi realizada na sala de tiro balístico do laboratório de criminalística regional La Serena (Chile), doravante PDI. Os pesquisadores retiravam 10 amostras das narinas do sujeito, após o disparo de seis armas, pistola (9 mm; 0,40); revólver (.38; .32; 0,22<sup>uma</sup>); espingarda (12). Análises foram feitas em triplicata totalizando 60 amostras, os disparos foram feitos em cada uma das armas e coletadas em diferentes momentos após o disparo: 3, 6, 9 e 12h, de acordo com os resultados do quadro 3.

**Quadro 3** – Estudo realizado com a técnica de Espectroscopia de Absorção Atômica na identificação de GSR.

Autores	Revista	Resultados
ALISTE, M.; CHÁVEZ, L. G.	Forensic Science International; v.261; 2016.	A coleta foi feita no muco nasal e teve como resultado a maior concentração de Sb, Pb e Ba é observada para espingardas, em comparação com pistolas e revólveres. Pistolas de calibre 9 mm e .40 têm concentrações de GSR semelhantes. Entretanto, observa-se no revólver tipo arma que a concentração de Pb diminui com a diminuição dos calibres. As concentrações dos elementos Pb e Sb das amostras de controle não estão incluídas porque estão abaixo do limite de detecção do instrumento. O Ba está presente na composição química dos cotonetes, por isso é necessário subtrair a concentração de Ba nas amostras controle das amostras GSR. Nas amostras no tempo zero, o Pb tem a concentração mais alta e o Sb tem concentrações mais baixas, mas a presença de Sb e Pb poderia ser estabelecida com alto nível de certeza, se um indivíduo estivesse próximo da arma no momento do disparo. Nas amostras manuais no tempo zero, a concentração de Sb, Pb e Ba é superior à da maioria das armas apresentadas.

**Figura 09:** Concentração de Sb, Pb e Ba do GSR no tempo zero.

Fonte: ALISTE et al. (2016).

Essa técnica possui a vantagem de ter menos custo e menos tempo de análise, é simples e de boa sensibilidade. Porém, possui a restrição de identificação dos analitos, uma vez que a quantificação é de todos os átomos do analito presente. Não sendo possível distinguir se os elementos presentes na amostra estavam em sua forma metálica ou combinando com outros elementos. Também é monoelementar, isto é, analisa um metal por vez.

A EAA como é uma técnica quantitativa, precisa ser realizada por pessoas treinadas e conforme protocolos e procedimentos forenses. A metodologia pode ser usada para determinar a presença e a concentração de elementos metálicos como chumbo, bário e antimônio em uma amostra, auxiliando na identificação do tipo de arma usada em um crime. Em combinação com outras técnicas, pode ser usada para estimular a distância entre a arma de fogo e a superfície atingida com base na análise da distribuição e concentração de elementos que compõem os resíduos.

A Espectroscopia de Absorção Atômica (EAA) emerge como uma ferramenta importante na análise forense de Resíduos de Disparo de Arma de Fogo (GSR). Ao longo desta pesquisa, foram feitas revisão da literatura dos autores que optaram por fazer pesquisa experimental e alcançaram resultados. Vários estudos experimentais têm explorado a técnica da EAA na detecção e quantificação de elementos específicos presentes nos resíduos de disparo, aplicando a EAA por chama, que utiliza uma fonte de chama para excitar os átomos, e a EAA por plasma, que emprega um estado altamente energizado da matéria, apesar da relevância intrínseca desses estudos suas referências tem anos de publicação muito distante.

Portanto, para manter a integridade e a atualidade desta pesquisa, optou-se por não incluir referências mais antigas, priorizando assim a incorporação de descobertas mais recentes e alinhadas com os desenvolvimentos científicos contemporâneos.



### 2.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplado a um espectrômetro de raio X por dispersão de energia (EDS) é um método que permite que partículas microscópicas provenientes principalmente da mistura iniciadora (espoleta e pólvora) coletadas com um adesivo nas mãos do atirador e em locais próximos ao disparo, podem ser localizadas e caracterizadas através dessa técnica por meio de ampliação de imagens dessas partículas, permitindo assim distinguir detalhes não vistos a olho nu. A arma utilizada nesse estudo é proveniente de um processo criminal que foi apresentado para exame na agência forense de Kosovo durante a investigação, munições foram colocadas na arma para pesquisa no laboratório.

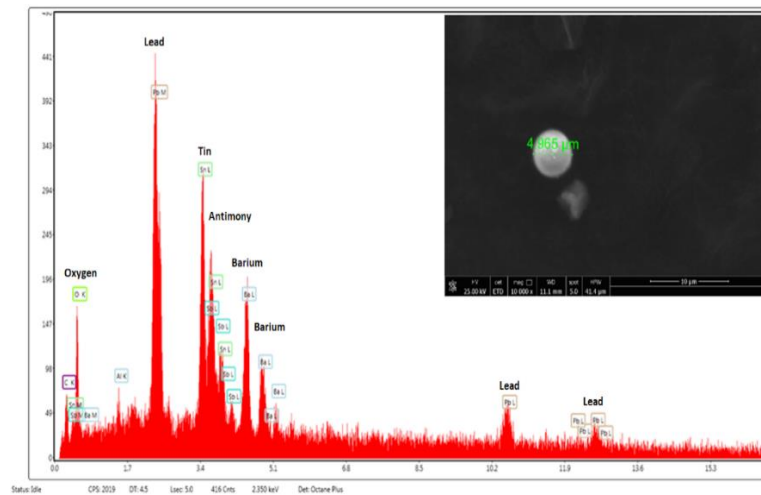
No teste participavam nove pessoas (especialistas do Laboratório de Balística da República do Kosovo). Cada pessoa dava um tiro; o grupo usava a mesma arma. A experiência foi realizada ao ar livre, em intervalos de tempo diferentes de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, e 8 horas após o disparo de arma de fogo, as amostras foram coletadas na mão direita de cada atirador usando Stubs de cobre. Foram Analisados dois (2) trabalhos com uso MEV e os resultados se encontram no (quadro 4).

**Quadro 4** - Autores que trabalharam com a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em seus estudos experimentais.

Autores	Revista	Resultados
TAHIRUKAJ, M.; Surleva A.; Vizureanu P.; Olluri B.; Sandu A. V.	Applied Sciences. V.12; 2022.	Os resultados dos testes de GSR produzidos pelo disparo das armas estudadas pelo método SEM/EDS otimizado são apresentados na Figura 10 e na Figura 11. Como pode ser visto nos espectros apresentados, as partículas esféricas identificadas por MEV continham Pb, Sb e Ba ao mesmo tempo. Além disso, foram identificados potássio, estanho e alumínio (Figura 10), bem potássio, ferro e enxofre (Figura 11).
ROMOLO, Francesco Saverio et al.	<b>Science &amp; Justice</b> , v. 59, n. 2, p. 181-189, 2019.	Antes dos testes de tiro, a culatra e a câmara da espingarda Ithaca Gun foram limpas para GSR. Nas amostras retiradas da espingarda, as únicas características de partículas GSR encontradas foram do tipo PbBaSb e nenhuma partícula contendo Sn foi encontrada no interior da arma. Durante os testes de tiro, dois cartuchos S&B calibre 12 e dois cartuchos de tungstênio MG2 calibre 12 da Baschieri & Pellagri foram descarregados e amostras GSR foram coletadas dentro da caixa do cartucho e da culatra e da câmara da espingarda Ithaca Gun mais uma vez. A característica das partículas GSR da munição S&B eram partículas de PbBaSb contendo Al. Muitas partículas esféricas de AlBa também foram encontradas em amostras da munição S&B. A característica dos resíduos GSR da munição Baschieri & Pellagri eram apenas partículas de PbBaSb. Na amostra retirada da

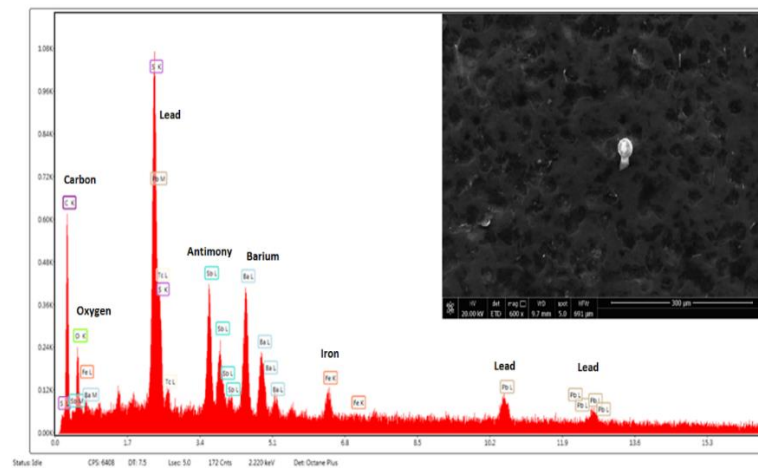
		espingarda após o disparo, foram encontrados muitos PbBaSb característicos de partículas GSR e 8 PbBaSbSn, juntamente com 8 PbSbSn consistentes com partículas GSR.
--	--	---

**Figura 10** - Imagem SEM típica e espectro EDS de partículas GSR gerada a partir da descarga de uma arma de fogo de alto calibre (modelo: rifle Zastava M70AB2; cal. 7,62 X 39 mm).



Fonte: TAHIRUKAJ et al.; 2022.

**Figura 11**: Uma imagem SEM típica e espectro EDS de partículas GSR geradas a partir da descarga de uma arma de fogo de baixo calibre (pistola Glock 19 (9 X 19 mm)).



Fonte: TAHIRUKAJ et al.; 2022.

A vantagem de MEV é a possibilidade de elevada ampliação e resolução das imagens e simultânea análise elementar das partículas encontradas. Apesar de ser considerado uma das melhores técnicas para análise de GSR, sua desvantagem é que o processo demanda um tempo excessivo de operação para varredura e caracterização das partículas de GSR. Também em relação ao equipamento é o seu elevado custo de aquisição e manutenção quando comparados

com outras técnicas, e não há nas perícias oficiais dos estados brasileiros equipamentos suficientes para atender a elevada demanda (BRASIL, 2021).

A MEV é amplamente empregada para identificar a composição química das partículas constituintes de resíduos de disparo. Em combinação com outras técnicas analíticas podem fornecer informações valiosas para auxiliar na resolução de casos envolvendo armas de fogo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos vestígios resultantes de disparos de armas de fogo, por meio da balística forense desempenha um papel imprescindível nas investigações criminais. Embora as técnicas de análises mencionadas no trabalho, apresentam algumas limitações, isto é, existem possibilidades de interferências nos resultados, mas combinando com outros métodos instrumentais, podem trazer resultados satisfatórios.

Ciências forenses é uma área muito importante que complementa o sistema judiciário na busca da verdade e na resolução de casos, sobretudo em situações que envolvem homicídios, suicídios e incidentes de tiros, fornecendo esclarecimentos em contextos complexos e, assim, contribuindo substancialmente para a administração da justiça.

A constante evolução da tecnologia e das metodologias científicas têm aprimorado progressivamente a eficácia da balística forense, reduzindo o tempo de análise das partículas constituintes de resíduo GSR. Assim, contribuir para a obtenção de evidências precisas e confiáveis que auxiliem na resolução de casos relacionados a disparo de arma de fogo, com intuito de promover a justiça e a segurança pública.

O melhor método de análise na identificação de GSR dependerá dos recursos disponíveis, das necessidades específicas da investigação e das condições do local de crime. Muitas vezes, uma abordagem combinada, utilizando diferentes técnicas, pode fornecer uma análise mais abrangente e confiável.

## REFERÊNCIAS

ABREU, R. M. et al. Análise em microscopia eletrônica de varredura (MEV) de resíduo de tiro. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, v. 34, n. especial, p. 10-12, 2017. Disponível em: <http://ebrevistas.eb.mil.br/CT/article/view/8670>. Acesso em: 01 out.2023.

ALISTE, M.; CHÁVEZ L. G., "Analysis of gunshot residues as trace in nasal mucus by GFAAS", *forensic Sci. Int.*, v. 261, p. 14-18, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.01.034>. Acesso em: 20 nov. 2023.

ALMEIDA JÚNIOR, O. de. **Um estudo sobre o movimento dos projéteis balísticos e sua trajetória**: [livro eletrônico]. São Paulo: Blucher, p.70 2017.

BLAKEY, L. S. et al. Fate and Behavior of Gunshot Residue-A Review. **Journal of Forensic Sciences**, v. 63, n. 1, p. 9-19, 2018.

BRASIL, Lei nº 10.030, de 30 de setembro de 2019. **Decreto Aprova o Regulamento de Produtos Controlados**. Brasília- BR. Ano: 2019. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2019/decreto/d10030.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d10030.htm). Acesso em: 03 nov. 2023.

BRASIL, Perícia oficial de natureza criminal. Recomendação técnica Revogação da técnica colorimétrica rodizonato de sódio para análise de resíduos de disparo de arma de fogo. Perícia oficial de natureza criminal, 2021.

Bruni, A.T. et al. (Org.). **Fundamentos de Química Forense**: uma análise prática da química que soluciona crimes. --2. Ed.--Campinas, SP: Millennium Editora, 2019.

CRISTÓVÃO DA CRUZ, W. GESTÃO DE PESSOAS: UM ESTUDO ACERCA DO RECRUTAMENTO E SELEÇÃO DE PESSOAL. **Revista OWL (OWL Journal)**, [S. l.], v.1, n. 1, p. 14–29, 2023. Disponível em: <https://www.revistaowl.com.br/index.php/owl/article/view/6>. Acesso em: 06 nov. 2023.

CROCE, D.; JÚNIOR, D. C. **Manual de medicina legal**. 8.ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2017.

DIFUSORA, ON. Ilustração de arma de fogo disparado, 2022: Disponível em: <https://difusoraon.com/2022/11/12/homem-e-morto-por-disparos-de-arma-de-fogo-no-cruzeiro-santa-barbara/>

FERREIRA, W. L P. *Medicina legal*. 5.ed. Salvador: Editora JusPodivm, 2020.

FRANÇA, G. V. de. *Medicina Legal*. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017.

GANDY, L. et al. A novel protocol for the combined detection of organic, inorganic gunshot residue. **Forensic Chemistry**, v. 8, p. 1-10, 2018.

GASSNER, A. L.; Weyrmenn C. LC-MS Method Development and Comparison of Sampling Materials for the Analysis of Organic Gunshot Residues. *Forensic Science International* 264 (2016): 47 55. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.03.022>.

Ilustração de arma de fogo: Disponível em: <https://difusoraon.com/2022/11/12/homem-e-morto-por-disparos-de-arma-de-fogo-no-cruzeiro-santa-barbara/>. Acesso em: 12 out. 2023.

LABORATÓRIO DE ODONTOLOGIA E ANTROPOLOGIA FORENSES E MEDICINA LEGAL. **[TIRO a curta distância III]**. Brasília, DF, Faculdade de Medicina, Universidade de Brasília, [200-?]. 1 imagem. Disponível em:

[http://www.malthus.com.br/mg\\_imagem\\_zoom.asp?id=853&topico=245#set](http://www.malthus.com.br/mg_imagem_zoom.asp?id=853&topico=245#set). Acesso em: 13 nov. 2023.

LEANDRO, A. A. M. **Armas de fogo e Legítima Defesa: A desconstrução de oito mitos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2016.

LIDORIO, R. B. Exame residográfico: **Estudo da aplicação do método de Griess-Ilosvay para qualificação de eventos de disparo de arma de fogo**. Engenharia Química-Tubarão, 2020.

LIMA, A. S. et al. **Química Forense**. Revista Eletrônica-UNISEP, v. 22, n. 02, 2022. Disponível em: [http://unifia.edu.br/revista\\_eletronica/revistas/gestao\\_foco/artigos/ano2011/qui\\_forense.pdf](http://unifia.edu.br/revista_eletronica/revistas/gestao_foco/artigos/ano2011/qui_forense.pdf). Acesso em: 15 set. 2023.

LÓPEZ-LÓPEZ, M. et al. An exploratory study of the potential of LIBS for visualizing gunshot residue patterns. **Forensic science international**, v. 273, p. 124-131, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.02.012>. Acesso em: 25 nov. 2023.

PEREIRA, R. M. Aplicação das técnicas de exames residuográfico e metalográfico em análises periciais. 2022.

REIS, M. et al. **Differences in Gunpowder Tattooing on Pig Head Wounds Caused by a 380 Pistol and a 38 Revolver—A Forensic Research in South Brazil**. Journal of Advances in Medicine and Medical Research, p. 1-6, 2018.

ROMOLO, F. S. et al. **Unusual sources of Sn in GSR. An experimental study by SEM and IBA**. Science & Justice, v. 59, n. 2, p. 181-189, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2018.10.009>. Acesso em: 30 nov. 2023.

SALINO, A. C. M. Desenvolvimento de método cromatográfico para determinação de novos marcadores na identificação de resíduos de disparos de arma de fogo: uma ferramenta imprescindível para êxito nas elucidações de homicídio. 2021.

SEROL, M. et al. Chemical analysis of gunpowder and gunshot residues. **Molecules**, v. 28, n. 14, p. 5550, 2023.

SILVINO JÚNIOR, J. B. **Balística aplicada aos locais de crime**. 3. ed. Campinas: Editora Millennium, 2021.

TAHIRUKAJ, M.; Surleva A.; Vizureanu P.; Olluri B.; Sandu A. V. **Assessment of Persistence of Gunshot Residues Produced by Firearms from Criminal Cases in the Republic of Kosovo**. Applied Sciences. V.12; 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/20/10477#B12-applsci-12-10477>. Acesso em: 12 maio 2023.

TOCCHETTO, D. **Balística Forense: aspectos Técnicos e jurídicos**. 11. ed. Campinas: Editora Millennium, 2021.

TREJOS, T.; PYL C. V.; HOGGATT K. M.; ALVARADO A. L.; ARROYO L. E. **Fast identification of inorganic and organic gunshot residues by LIBS and electrochemical methods**. Forensic Chemistry v. 8, p. 146–156. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.forc.2018.02.006>. Acesso em: 23 set. 2023.

VANINI, G. **Análise de Resíduos de Disparos de Armas de Fogo usando ICP OES:** desenvolvimento de uma metodologia analítica. 98 f. Dissertação (Mestrado)- curso de Química, Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

VASCONCELLOS, E. **Lesões e mortes por projéteis de arma de fogo**, 2016. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/lesoes-e-mortes-por-projeteis-de-arma-de-fogo/1149983124>. Acesso em: 13 nov. 2023.

VASQUES, P. M. **Medicina Legal:** curso e concurso. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2015.