Revista
PERÍCIA FEDERAL

Ano XIX | Revista nº52 | Dezembro 2023

PROGRAMA OURO ALVO

Peritos criminais federais têm a habilidade de rastrear a origem do ouro proveniente de apreensões e garimpos, utilizando análises e confrontos com padrões.

Entrevista

Secretário extraordinário de Controle de Desmatamento e Ordenamento Ambiental Territorial no Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, André Lima.

APCF
Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais

Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais

Diretoria Executiva Nacional

Willy Hauffe Neto
Presidente

Luiz Spricigo Junior
Vice-Presidente

Marcos de Almeida Camargo
Secretário-geral

Alexandro Mangueira L. de Assis
Suplente de Secretário-Geral

Gregson Afonso Lopes Chervenski
Diretor Financeiro

André Luiz da Costa Morisson
Suplente de Diretor Financeiro

Erick Simões da Câmara e Silva
Diretor de Assuntos Jurídicos

Bruno Gomes de Andrade
Suplente de Diretor de Assuntos Jurídicos

Erich Adam Moreira Lima
Diretor de Administração e Patrimônio

Mariana Mota Ferraz de Oliveira
Suplente de Diretor de Ad. e Patrimônio

Marco Giovanni Clemente Conde
Diretor de Comunicação

Levi Roberto Costa
Suplente de Diretor de Comunicação

Carlos Antônio A. de Oliveira
Diretor de Assuntos Parlamentares

Francisco Helmer Almeida Santos
Suplente de Diretor de Assuntos Parlamentares

Evandro Mário Lorens
Diretor Técnico-Social

Meiga Aurea Mendes Menezes
Suplente de Diretor Técnico-Social

João Luiz Moreira de Oliveira
Diretor de Aposentados e Pensionistas

Paulo Roberto Fagundes
Suplente de Diretor de Aposen. e Pensionistas

Conselho Fiscal Deliberativo

Iracema Gonçalves de Alencar
Presidente

Ricardo Alves Castelo Costa
Vice-Presidente

Ismael Cabral de Menezes
Membro Titular

Wander Oliveira Morais Junior
1º Suplente

Fabricio Fonseca Theodoro
2º Suplente

Francisco De Sales De Lima
3º Suplente

Conselho de Ética

Clênio Guimarães Belluco
Presidente

Vânia Mercia De Lima
Vice-Presidente

Emanuel Renan Cunha Coelho
Membro Titular

Itamar Almeida De Carvalho
1º Suplente

Luiz Mariano Junior
2º Suplente

João Vitor De Sá Hauck
3º Suplente

Diretorias Regionais

ACRE
Diretora Regional: Marinei Augusto Simoes
Vice-diretora: Aline Merlini
Diretor Financeiro: Luiz Augusto Matos da Silva
E-mail: apcf.ac@apcf.org.br

ALAGOAS
Diretor Regional: Jorge Cley De Oliveira Rosa
Vice-diretor: Luiz Alberto Guimaraes de Sousa
Diretor Financeiro: Raimundo H. da Silva Junior
E-mail: apcf.al@apcf.org.br

AMAPÁ
Diretor Regional: Vinicius Souza dos Santos
Vice-diretor: Daniel Melz
Diretor Financeiro: Davi Caniçali
E-mail: apcf.ap@apcf.org.br

AMAZONAS
Diretor Regional: David Clebson de Melo Silva
Diretor Financeiro: Daniel Martins de Campos
E-mail: apcf.ma@apcf.org.br

BAHIA
Diretora Regional: Maria Helena Carvalho Duran
Vice-diretor: Osvaldo Dalben Júnior
Diretor Financeiro: Rosa Maria Pastor de Oliveira
Representante de Aposentados: Gutemberg de Albuquerque
E-mail: apcf.ba@apcf.org.br

CEARÁ
Diretor Regional: Eurico Monteiro Montenegro
Vice-diretora: Maria da Conceicao Cavalcante Lucena
Diretor Financeiro: Thalles Evangelista Fernandes de Souza
E-mail: apcf.ce@apcf.org.br

JUAZEIRO
Diretor Regional: Deosio Cabral Ferreira
E-mail: apcf.ba@apcf.org.br

DISTRITO FEDERAL
Diretor Regional: Enelson Candeia da Cruz Filho
Vice-diretor: Dangelo Victor Goncalves Silva
E-mail: apcf.df@apcf.org.br

ESPÍRITO SANTO
Diretor Regional: Leonardo Resende
Vice-diretor: Adauto Zago Pralon
Diretor Financeiro: Cristiano Martins Pinto
E-mail: apcf.es@apcf.org.br

GOIÁS
Diretor Regional: Isleamer Abdel K. dos Santos
Vice-diretor: Clayton José Ogawa
Diretor Financeiro: Ricardo Alves Castelo Costa
E-mail: apcf.go@apcf.org.br

MARANHÃO
Diretor Regional: Joao Gabriel Cordeiro D. Prazeres
Vice-diretor: Fernando Nascimento Santos
Diretor Financeiro: Gustavo Vieira da Silva
E-mail: apcf.ma@apcf.org.br

MATO GROSSO
Diretor Regional: Thiago Rosa Sampaio
Vice-diretor: Laís César Sacramento
Diretor Financeiro: Wilson Hideo Yamamoto
E-mail: apcf@mt.org.br

MATO GROSSO DO SUL
Diretor Regional: Adoniram Judson Pereira Rocha
Vice-diretor: Luiz Fernando Gouvea Luthold
Diretor Financeiro: Denis Derkian Martins Pereira
Representante de Aposentados: Luiz de Melo Alves Filho
E-mail: apcf@ms.org.br

DOURADOS
Diretor Regional: Conrado Bernardi Petersen
E-mail: apcf.ms@apcf.org.br

MINAS GERAIS
Diretor Regional: Luigi Pedroso Martini
Vice-diretor: Marcus Vinicius de Oliveira Andrade
Diretor Financeiro: Marcelo Carvalho Lasmar
E-mail: apcf.mg@apcf.org.br

JUIZ DE FORA
Diretor Regional: Luiz Fernando dos Santos
Substituto: José Ricardo Rocha Silva
E-mail: apcf.mg@apcf.org.br

UBERLÂNDIA
Diretor Regional: Jorge Eduardo de Sousa Aguiar
Substituto: Glycon Sousa Rodrigues
E-mail: apcf.mg@apcf.org.br

PARÁ
Diretor Regional: Stoessel Farah Sadalla Neto
Vice-diretor: Thiago Fernando Gavazza de Vasconcelos
Diretor Financeiro: Moisés Alberto Rodrigues Quezada
E-mail: apcf.pa@apcf.org.br

SANTARÉM
Diretor Regional: Alexandre Caixeta Marangoni
Substituto: Gustavo Caminoto Geiser
E-mail: apcf.pa@apcf.org.br

PARANÁ
Diretor Regional: Marcos Antônio da Silva
Diretor Financeiro: Devair Aloísio
E-mail: apcf.pr@apcf.org.br

LONDRINA
Diretor Regional: Percio Almeida Fistarol Filho
Substituto: Roberto Mauricio Americo do Casal
E-mail: apcf.pr@apcf.org.br

PARAÍBA
Diretor Regional: Agadeilton Gomes L. de Menezes
Vice-diretor: Felipe Gonçalves Murga
Diretor Financeiro: José Viana Amorim
E-mail: apcf.pb@apcf.org.br

PERNAMBUCO
Diretora Regional: Valéria Espíndola de L. C. de Lira
Vice-diretor: Assis Clemente da Silva Filho
Diretor Financeiro: Ricardo Saldanha Honorato
Representante de Aposentados: Rinaldo José Prado Santos
E-mail: apcf.pe@apcf.org.br

PIAUÍ
Diretor Regional: Lauro Cezar Kyoshi Ito
Vice-diretor: Thales Pinheiro Rodrigues
Dir. Financeiro: Everardo Mendes Vilanova e Silva
E-mail: apcf.pi@apcf.org.br

RIO DE JANEIRO
Diretor Regional: Levi Roberto Costa
Vice-diretora: Rosemery Correa de Oliveira Almeida
Diretor Financeiro: Michel dos Santos Bitana
Representante de Aposentados: Adriano Arantes Brasil
E-mail: apcf.rj@apcf.org.br

RIO GRANDE DO NORTE
Diretor Regional: Francisco Bernardo Sales de Aguiar
Vice-diretor: Emerson Kennedy Ribeiro de Andrade
Diretor Financeiro: Galileu Batista de Sousa
E-mail: apcf.rn@apcf.org.br

RIO GRANDE DO SUL
Diretor Regional: Renato Letizia Garcia
Vice-diretor: Marco Antonio Zatta
Diretor Financeiro: Ricardo Penck Benazzi
E-mail: apcf.rs@apcf.org.br

RONDÔNIA
Diretor Regional: Maynah dos Nascimento Bezerra
Vice-diretor: João Marcos de Aguiar
Diretor Financeiro: Gustavo de Amorim Fernandes
E-mail: apcf.ro@apcf.org.br

RORAIMA
Diretor Regional: André Pinheiro Machado Ross
Vice-diretor: Uilian Stefanello de Mello
Diretor Financeiro: Rai Roberto Dantas da Cunha
E-mail: apcf.rr@apcf.org.br

SANTA CATARINA
Diretor Regional: Regis Signor
Vice-diretor: Cesar Augusto de Freitas Lima
Diretor Financeiro: Raul Lima de Almeida Rosa
E-mail: apcf.sc@apcf.org.br

SÃO PAULO
Diretor Regional: Euler Nobre Vilar
Vice-diretor: Claudio Saad Netto
Diretor Financeiro: Mc Donald Parris Junior
E-mail: apcf.sp@apcf.org.br

ARAÇATUBA
Diretor Regional: José Altino Morais Siqueira Campos
Substituto: Mario Sergio Gomes de Faria
E-mail: apcf.sp@apcf.org.br

CAMPINAS
Diretor Regional: Lorival Campos Moreira
Vice-diretor: Pedro Rafael da Silva
E-mail: apcf.sp@apcf.org.br

SANTOS
Diretora Regional: Priscila Dias Sily
Substituto: Sergio Henrique da Silva
E-mail: apcf.sp@apcf.org.br

SOROCABA
Diretor Regional: Adriano Jorge Martins Correa
Substituto: Ricardo Bernhardt
E-mail: apcf.sp@apcf.org.br

SERGIPE
Diretor Regional: Paulo Venicio da Silva
Vice-diretor: Alex Souza Sardinha
Diretor Financeiro: Reinaldo do Couto Passos
Representante de Aposentados Reinaldo do Couto Passos

TOCANTINS
Diretor Regional: Joao Espinola da Silva
Vice-diretor: Carlos Antonio Almeida de Oliveira
Diretor Financeiro: Luiz Claudio B. de M. Daldegan
E-mail: apcf.to@apcf.org.br



Sumário

04 **Entrevista**
André Lima

10 **Peritos que fazem história**
Jesus Antonio Velho

16 **Programa Ouro Alvo**

33 **Rastreabilidade isotópica do ouro**
Perito criminal federal Fábio Augusto Salvador

38 **Uma dinâmica diferente nos crimes financeiros e o uso da lei de Benford**
Perito criminal federal
Vitor Gomes Figueiredo

42 **Mercúrio no Amazonas: uma perspectiva forense em 2023**
Perito criminal federal
Ricardo Lívio

51 **Os primeiros resultados do Projeto Gold Rush**
Manoel Lázaro Frazão Jr e
Guilherme de Oliveira Gonçalves

55 **O problema do mercúrio Bacia Amazônica**
Jérémie Garnier

57 **Fronteiras em Ciências Forenses**

77 **Metodologia forense para valoração de danos às obras de arte**
Perito criminal federal
Felipe Ferreira Paulúcio

80 **SINAB**

82 **Programa Brasil M.A.I.S**
Por Bruna Ricco

84 **Impacto invisível**
Aline Borges Teixeira,
José Rocha de Carvalho e
Jesus Antonio Velho

88 **APCF em Ação**
Por Bruna Ricco

Prezados (as) leitores (as),

A revista Perícia Federal está de cara nova. A edição nº 52 ganha um novo *layout* e traz um especial sobre o Programa Ouro Alvo. A grande reportagem detalha o trabalho dos peritos criminais federais para rastrear a origem do ouro proveniente de apreensões e garimpos. Além da matéria de capa, outros artigos tratam da temática.

A APCF é uma grande entusiasta e apoiadora do Programa. Em 2019, apresentamos à Câmara dos Deputados uma sugestão de projeto de lei que trata do controle do transporte e da comercialização do ouro extraído no Brasil. Este trabalho resultou na proposição do Projeto de Lei (PL) 5131/2019, por iniciativa do deputado Camilo Capiberibe (PSB/AP). Tal projeto foi debatido e, ainda que sua tramitação não tenha sido concluída, resultou em diversas outras proposições, como o PL 836/2021, de iniciativa do senador Fabiano Contarato (REDE/ES). Este PL tem como objetivo estabelecer parâmetros sobre a comercialização do ouro, além de auxiliar no combate ao ouro ilegal. A proposta está sob relatoria do senador Jorge Kajuru, na Comissão de Meio Ambiente do Senado Federal.

O entrevistado da edição é o secretário extraordinário de Controle de Desmatamento do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, André Lima. Na coluna *Peritos que fazem história*, o colega Jesus Antonio Velho fala sobre a trajetória do perito criminal federal Fábio Augusto Salvador, ex-diretor técnico-científico. Ainda, ele assina em conjunto um artigo que fala sobre como os vieses cognitivos afetam a perícia criminal. Destaque para o Programa Brasil M.A.I.S, que recebeu premiações e também para o artigo do colega Felipe Paulucio, que fala da metodologia de valoração de obras de arte.

Na seção científica *Fronteiras em Ciências Forenses* desta edição, dois artigos que tem o DNA como temática . E para fechar, na coluna APCF em Ação, detalhes das principais ações da APCF neste semestre.



Willy Hauffe Neto
Presidente da Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais

A revista Perícia Federal é uma publicação da APCF e não se responsabiliza por informes publicitários nem opiniões e conceitos emitidos em artigos assinados.

Revista da Perícia Federal

Coordenação e Edição
Danielle Ramos
revista@apcf.org.br

Redação:
Danielle Ramos
Bruna Ricco

Capa, arte e diagramação:
AbrilDesign

Revisão:
Tania Maria Pena Tosta da Silva.
Texto Soluções

CTP e Impressão:
Athalaia Gráfica e Editora

Tiragem:
5.000 exemplares

Correspondência para:
Revista Perícia Federal
SHIS QI 09, conjunto 11, casa 20
Lago Sul - Cep: 71.625-110 Brasília/DF
Telefones: (61) 3345-0882/3346-9481
E-mail: apcf@apcf.org.br

Assinatura da revista:
www.apcf.org.br

A entrevista da edição nº 52 da revista Perícia Federal é com o secretário extraordinário de Controle de Desmatamento e Ordenamento Ambiental Territorial no Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, André Lima.



Crédito: *Divulgação/MMA*

André é advogado pela Universidade de São Paulo (USP) e mestre em Gestão e Política Ambiental pela Universidade de Brasília (UnB). Ele foi secretário do Meio Ambiente do Distrito Federal de 2015 a 2017. Empreendedor socioambiental, também coordenou os projetos #Radar Clima e Sustentabilidade e Painel Parlamento Socioambiental do Instituto Democracia e Sustentabilidade, além de colunista do Portal Congresso em Foco. Foi ainda pesquisador sênior associado do Imaflora e autor do livro 30 anos da Constituição de 88 e os Direitos Socioambientais

Até o mês de novembro deste ano, a redução do desmatamento na Amazônia foi de 50,5% em relação ao mesmo período no ano passado. A perícia da Polícia Federal coordena o Programa Brasil M.A.I.S. – Meio Ambiente Integrado e Seguro (que fornece imagens de alta resolução em periodicidade diária para mais de 375 instituições públicas brasileiras) uma ferramenta essencial para o combate ao desmatamento quando ele ainda está acontecendo. Como o senhor avalia a aplicação desta e de outras tecnologias para a preservação do meio ambiente e combate ao desmatamento?

O programa Brasil M.A.I.S, que a perícia da Polícia Federal coordena, e ferramentas como o Prodes e o Deter são de grande importância. Quanto maior a transparência e mais ferramentas críveis e consistentes, melhor. A virtude do Brasil M.A.I.S é fornecer imagens de alta resolução, pegando os pequenos desmatamentos em tempo real, o que é importante para detectar crimes ambientais. Ele tem maior precisão, por exemplo, para detectar crimes como o desmatamento em Áreas de Preservação Ambiental (APP) e em reservas legais.

Sistemas como o Brasil M.A.I.S são complementares, mas é importante destacar que o Governo Federal tem a sua ferramenta oficial de monitoramento de desmatamento em tempo real, o Deter, e o sistema de contabilidade das taxas anuais de desmatamento, o Prodes. Quando muitos outros sistemas são disponibilizados, principalmente para municípios e para algumas entidades – sejam privadas ou públicas – pode haver uma confusão sobre qual é o dado oficial.

Para infrações ambientais, o Deter dá conta, até porque já detecta degradação e aponta tendências. São centenas de milhares de polígonos de um hectare, talvez dezenas de milhares de polígonos de 10 hectares e milhares de polígonos acima de 40 a 50 hectares. Mas quanto mais sistemas operacionais disponíveis e gratuitos para a sociedade e para os órgãos públicos, melhor.

Uma das metas do Governo Federal é zerar o desmatamento até o ano de 2030 e um dos eixos de atuação elencados pelo Ministério do Meio Ambiente é a de tolerância zero com o crime, com as infrações e ilegalidades. Durante a COP 28 o senhor ponderou que é necessária uma estratégia para separar o que é desmatamento legal do ilegal. Isso também é algo que deve ser aplicado para a questão da mineração – temática que tem ganhado cada vez mais holofotes e atuação da perícia criminal federal em ações repressivas no combate ao garimpo e exploração ilegal de minérios. O senhor avalia que a atuação conjunta do Ministério do Meio Ambiente e da Polícia Federal, por meio de sua perícia criminal, pode ajudar o Governo Federal a alcançar esta meta?

O trabalho conjunto é fundamental, sobretudo nas grandes operações e nas operações mais estratégicas. A operação conjunta da Polícia Federal com o Ibama e outras instituições ligadas à segurança pública é absolutamente necessária porque os crimes são conexos: o crime ambiental acontece junto com a infração ambiental, com o crime fiscal, com a sonegação e, algumas vezes, até com o narcotráfico.

A ação coletiva mostra muito mais coesão, força e presença de Estado, atacando um dos principais fatores da criminalidade: a impunidade. A ausência do Estado ou sua presença esporádica e eventual gera esse sentimento generalizado de impotência estatal e de impunidade. Um exemplo é que o Ibama apreende e destrói um maquinário e duas semanas depois os criminosos já têm dinheiro para colocar dois no lugar. É muito importante que os projetos desenhados pelo Ibama e pela Polícia Federal tenham coordenação entre si. Não devemos instalar unidades e postos avançados duplicados, deixando lacunas, espaços vazios. A estrutura não permite que tenhamos helicópteros para todos, é preciso atuar em conjunto. Os princípios da eficiência administrativa, da moralidade, da efetividade são tão importantes quanto a competência jurisdicional de cada órgão. Essa articulação, que já ocorreu com muita força na Terra Yanomami, ou mesmo na Operação Arco de Fogo, tem que ser melhorada. Já avançamos, mas precisamos acelerar esse processo.

Ainda sobre a questão do desmatamento, uma das grandes dificuldades dos órgãos ambientais é a mensuração, fiscalização e a manutenção das multas aplicadas aos grandes desmatadores – tanto na Região Amazônica, quanto nos demais biomas brasileiros. Quanto à valoração dos danos ambientais, identificamos esforços que vem sendo empreendidos tanto nos órgãos ambientais,

federais e estaduais, no Ministério Público quanto junto à perícia da Polícia Federal. Na sua opinião, como a perícia da Polícia Federal pode atuar, com conhecimentos técnicos-científicos, contribuindo para com a manutenção das multas e seu efetivo pagamento?

A perícia pode ajudar na manutenção das multas administrativas e, eventualmente, em casos de maior relevância. Mas a perícia é fundamental, sobretudo, para a punição e sanções penais. É essencial, no caso da Amazônia, que a perícia trabalhe em conjunto com as unidades de investigação para aprofundar a investigação dos crimes ligados à corrupção, tanto nos órgãos ambientais quanto nos órgãos fundiários, mas principalmente na grilagem de terras. Mais de 50% dos crimes e infrações ambientais ocorrem em terras públicas, sejam elas federais ou estaduais. Uma ação muito forte de toda a corporação, inclusive da perícia da Polícia Federal, na grilagem de terras pode ser a maior contribuição para o alcance da meta do desmatamento zero até 2030. Não me refiro apenas a "pegar o peão lá na ponta", porque a gente sabe que o povo lá na ponta tem suas necessidades, ganha sua diária, muitas vezes não sabe nem que o que está fazendo é crime. Mas a investigar os mandantes e chegar nas fontes pagadoras ou nas fontes que recebem. Essa pode ser a grande contribuição, sem prejuízo de investigar os crimes ligados às atividades madeireiras em Terras Indígenas, à exploração clandestina de madeira em Unidades de Conservação ou à questão do garimpo.

A grilagem de terras é muito forte porque está associada também a essa grande pressão por grandes obras de infraestrutura, que valorizam as terras e criam aquele viés de fato consumado. E aí quem chegou primeiro demanda regularização fundiária, pede alteração da legislação agrária no Congresso Nacional, e acaba conseguindo mudanças, flexibilizações na legislação ambiental, devido à força dessas bancadas.

O que pode ser prioridade é o combate à grilagem de terras, sobretudo em terras federais. Estamos falando de mais de 60 milhões de hectares de terras só na Amazônia, das quais 31 milhões são florestas públicas federais.



Crédito: *Divulgação/MMA*



Crédito: *Divulgação/MMA*

A crise da invasão e exploração ilegais das Terras Indígenas Yanomami e de outras etnias segue em sua escalada, mesmo com inúmeras operações de combate ao garimpo ilegal realizadas na região e a desmobilização de diversas áreas de exploração que impactam diretamente a saúde dos indígenas, ainda não foi possível eliminar as ameaças. A perícia da Polícia Federal possui um projeto de monitoramento da saúde, levantando principalmente a contaminação das águas por efluentes de garimpo com mercúrio e outros elementos tóxicos. Considerando a função de fiscalização dos órgãos ambientais e a atuação da perícia criminal principalmente após a realização do dano, o senhor vê espaço para uma articulação que proponha uma parceria para uma atuação preventiva?

É um dos grandes desafios, talvez um dos maiores, porque as áreas são públicas e o Estado não está lá cuidando delas. Já encaminhamos para a destinação mais de 10 milhões de hectares só em 2023. Temos mais 6 milhões no prelo para o primeiro trimestre de 2024 e pretendemos somar 10 milhões até o final de 2024, ou seja, 20 milhões de hectares de florestas públicas federais encaminhadas para a destinação.

Mas o desafio é que a destinação dessas áreas é lenta por natureza, porque declara-se interesse para a destinação na Câmara Técnica do Ministério do Desenvolvimento Agrário, tomam-se algumas medidas para tentar bloquear qualquer tipo de ato administrativo, comercial, jurídico sobre essas áreas, através do bloqueio delas via um mecanismo da Secretaria do Patrimônio da União. Aí precisam ser feitos os estudos ambientais, etnológicos, antropológicos, para identificar se aquela área é ou não de uma determinada população, se tem atributos que justifiquem a criação de uma Unidade de Conservação de proteção integral



Crédito: *Divulgação/MMA*

ou de uso sustentável. Há uma série de estudos, audiências públicas, e tudo isso leva, na melhor das hipóteses, um ano ou dois. Depois há a jornada política que é o convencimento dos atores, prefeitos, governadores. Muitas vezes, mesmo sendo terra pública federal, para se criar uma Unidade de Conservação, mesmo de uso sustentável, existe resistência dos governos estaduais, governos locais, poder político local ou regional. A destinação dessas áreas é uma maratona. Isso toma um, dois, três anos ou mais.

O grande desafio é o cuidado dessas áreas. A Polícia Federal e as corporações a elas associadas e de apoio, como os peritos, têm que priorizar essas áreas públicas federais na investigação e na solução rápida dos crimes ambientais. Isso pode gerar o sentimento de potência do Estado, pode anular o sentimento de impunidade, e com isso ganhar tempo para fazer os estudos e para destinar as áreas. Porque depois de destinar as áreas, a gente vai ter que ir a campo garantir sua proteção.

O que observamos é que só 2% do desmatamento na Amazônia aconteceu em Terras Indígenas, menos de 7% em Unidades de Conservação. Ainda são taxas altas, mas comparadas aos 25% em assentamentos e 50% em terras públicas federais, já é um sinal de um nível de proteção importante. O combate à grilagem, que é roubo de patrimônio público, além de crime ambiental, deve ser uma das prioridades da Polícia Federal e dos peritos, em apoio a essas investigações.

Atualmente muitas populações residentes em Unidades de Conservação vem se autoafirmando como populações tradicionais, apesar de apresentarem comportamento e valores destoantes de outras populações que já se encontravam habitando essas áreas, exemplificamos com o caso de garimpeiros e pecuaristas, que mesmo não tendo vínculo com os saberes tradicionais como as populações ribeirinhas e extrativistas insistem em ser reconhecidos como tal. Esta nova dinâmica de ocupação pode ser uma ameaça à integridade de Unidades de Conservação de proteção integral, como os Parques Nacionais e Reservas Biológicas? Em sua opinião como essa imprecisão sobre a adequada identificação das populações tradicionais e a garantia de seus direitos poderia ser superada?

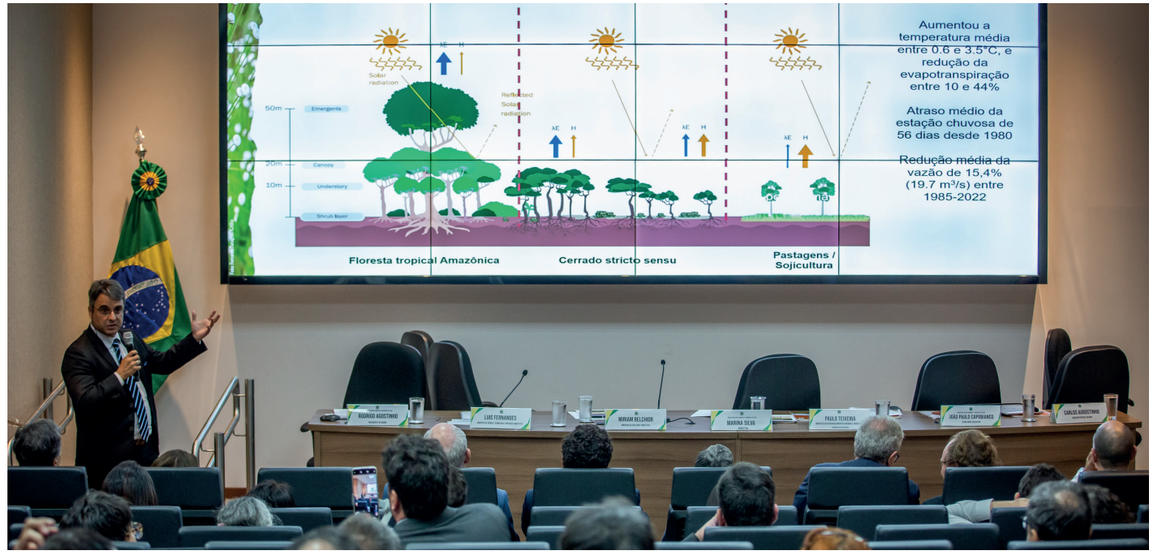
É uma situação desafiadora porque a legislação brasileira trata da autodeterminação e, obviamente, a atividade pecuária extensiva em escala não é uma atividade considerada tradicional, assim como o garimpo. Apesar dessa autodeterminação, no que diz respeito às Unidades de Conservação, é fundamental garantir o tipo de uso tradicional. O tipo de uso tradicional amazônico é pesca, extração, extrativismo, eventualmente uma pecuária para uso comunitário.

Essas unidades, esses espaços territoriais especialmente protegidos têm regras. Por exemplo, uma comunidade indígena não tem o direito de desmatar na Mata Atlântica 80% da sua área para plantar soja ou para plantar milho. No caso das Unidades de Conservação, das áreas protegidas, a tradicionalidade é relacionada ao uso sustentável que justificou a criação daquela determinada unidade. Isso precisa ser obviamente fiscalizado, definido em plano de manejo.

Em caso de abuso, deve haver a devida punição: onde há atividade de garimpo, eventualmente tem envolvimento de comunidades locais, mas há os mandantes, os pagantes, quem organiza a tropa. Na maioria absoluta das vezes não são indígenas, não são tradicionais. Nesses casos, a investigação da cadeia de pagadores e de financiadores dessas atividades pode ser também uma ação importante da Polícia Federal e, obviamente, da perícia também.

Deixe uma mensagem aos peritos criminais da Polícia Federal.

Reforço o convite para que haja uma representação da perícia da Polícia Federal nas Subcomissões dos Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia e no Cerrado e nos ajude nos planos para os demais biomas. Não há outro jeito de chegar ao desmatamento zero até 2030 que não seja pela colaboração máxima possível entre os órgãos que têm competências socioambientais. Vocês são muito bem-vindos e o ideal é que a gente possa trabalhar juntos, somar esforços e multiplicar potência. Um abraço a todos e que tenhamos um ano de 2024 com mais vitórias e com um trabalho mais colaborativo.



Crédito: *Divulgação/MMA*

Peritos que fazem história: **conheça a trajetória de Fábio Salvador**

Por *Jesus Antonio Velho*



Em continuidade à série "Peritos que fazem história", a Revista Perícia Federal dedica esta edição ao PCF Fábio Augusto da Silva Salvador, um dos expoentes da Perícia Criminal Federal. Ele atuou como Diretor Técnico-Científico e chefe do Setor Técnico-Científico da Superintendência da Polícia Federal no Paraná – SETEC/SR/PF/PR

Salvador é natural de São Paulo, capital. Graduou-se em Geologia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Rio Claro, em 1983. Fez mestrado e doutorado na área de Engenharia de Minas na Universidade de São Paulo (USP).

Ingressou no serviço público no ano de 1993, foi aprovado em concurso para uma única vaga de perito criminal geólogo à época na Polícia Civil do Estado de São Paulo, onde atuou principalmente em perícias de locais de crime e demais áreas gerais da perícia. Somente em 1998, foi criada a Superintendência da Polícia Técnico-Científica do Estado de São Paulo, que passou a abrigar os peritos criminais.

Em 2002, ao concluir os estudos relativos ao doutorado, Fábio Salvador prestou o concurso público para perito da Polícia Federal e foi aprovado, ingressando em 2003. Sua primeira lotação foi no Setor Técnico-Científico (SETEC) de Porto Velho-Rondônia. Salvador relata "após o primeiro entusiasmo em poder aplicar a geologia em prol da justiça, deparei-me com a realidade das perícias estaduais, denominada "clínica geral" da Criminalística. A minha primeira ocorrência foi uma vistoria em chassi adulterado de veículo apreendido; a partir daí, sucederam-se perícias em locais de crime contra o patrimônio, homicídios culposos e acidentes de trânsito, incêndios, exames preliminares em drogas, em produtos adulterados e reconstituições de cenas de crime."

Em 2004, conseguiu transferência para o SETEC em Curitiba, onde além de realizar perícias nas mais diversas áreas, ocupou a função de chefe do Grupo de Perícias de Sobreaviso (Local de Crime) por cerca de três anos e de chefe do SETEC, de 2014 a 2018, período em que foi responsável por coordenar a realização das perícias solicitadas no âmbito da Operação Lava Jato.

No início de 2019, foi convidado pelo Diretor-Geral da PF à época, Maurício Valeixo, para assumir o mais alto cargo da Perícia Federal, o de Diretor Técnico-Científico (DITEC) e se mudou para Brasília-DF, onde permaneceu até 2020, quando o então ministro Sérgio Moro pediu exoneração do cargo, e com a sua saída também foram exonerados diretores da Polícia Federal.

Apesar de uma gestão curta (17 meses), o período em que o PCF Fábio Salvador ficou à frente da Perícia Federal foi marcado pela criação de grandes projetos estratégicos e pela aproximação da perícia federal com universidades, Salvador teve ainda importante atuação para a preservação da atuação eficiente da Criminalística que culminou com a edição da Instrução Normativa nº 163, além de consolidar a competência da DITEC para coordenar nacionalmente as solicitações de exames periciais. Fábio Salvador deixou o exemplo de que um gestor pode ser competente, dedicado e ao mesmo tempo acessível.

Em 2022, Salvador foi aprovado em processo seletivo da Academia Nacional de Polícia para cursar um programa de pós-doutorado, e encontra-se atualmente desenvolvendo o projeto *Aplicação de isótopos de Pb no rastreamento de ouro*, junto ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo e o resultado dessa pesquisa é uma das entregas do Programa Ouro Alvo da Polícia Federal, que tem o próprio Fábio Salvador como um dos idealizadores.

Agora, para apresentar mais detalhes dessa brilhante trajetória, e, ao mesmo tempo, inspirar novos transformadores da Criminalística, apresentamos de forma resumida, um bate-papo com o PCF Salvador.



Uma carreira marcada por atuação ampla e com muita dedicação. Perito Criminal Federal Fábio Augusto Salvador, na imagem 01, ao centro, em partida para perícia de meio ambiente em lixões às margens do Rio Tietê na região metropolitana de São Paulo (década de 90); na imagem 02, à esquerda, atuando na Operação Arco de Fogo na Amazônia (2005); na imagem 03 em exames em campo de local de crime minerário no interior do Paraná (2012); na imagem 04 em atividade de pesquisa no Instituto de Geociências da USP (2023).

Quais os maiores desafios de sua carreira como perito criminal?

Complexo. Manter a forma física para dar o máximo na rua e no campo; conseguir interagir perfeitamente em grupos e equipes de profissionais do mais alto nível; propor projetos factíveis; superar as dificuldades burocráticas e administrativas do poder executivo da República, impor as ciências exatas e biológicas como condutoras de casos criminais, assinar cada laudo com convicção.

Como chefe do SETEC em Curitiba você foi responsável por coordenar os trabalhos de perícia relacionados à operação Lava Jato...quais os desafios/dificuldades desse período? Qual o legado que ficou para Criminalística desse conjunto de esforços?

Entre tanta coisa que a história ainda vai contar, faço homenagem a todos os peritos criminais federais que passaram por Curitiba entre 2014 e 2018 – mais de uma centena de colegas de todo o país que se juntaram aos trinta e quatro PCF do SETEC/PR, para trabalharem de forma impressionante, inovadora e sustentada pela cadeia de custódia e garantia da qualidade da prova.

Em 2017, aconteceu a primeira edição da Interforensics, realizada em Brasília com a presença de mais de 1,5 mil participantes e 175 palestrantes de dezenas de países, "A Criminalística como farol no combate a crimes transnacionais complexos: um legado da Operação Lava Jato" foi eleito o melhor trabalho em cartaz do evento. Indico seu conteúdo como importante resumo da época nas ciências forenses.

Recomendo fortemente também, para aqueles que quiserem conhecer os melhores depoimentos sobre os fatos da Operação Lava Jato a leitura da Edição número 38 da revista Perícia Federal, de dezembro de 2016, especial sobre a operação. Não vejo hoje uma linha a retocar nos depoimentos lá expostos.



Fábio Salvador junto ao poster "A Criminalística como farol no combate a crimes transnacionais complexos: um legado da Operação Lava Jato", eleito melhor trabalho da Interforensics em 2017.

No que tange a sua área específica de atuação, geologia forense, como você avalia a sua contribuição para o desenvolvimento dela no Brasil?

Creio que contribuo de maneira muito semelhante aos demais geólogos peritos criminais da Polícia Federal e, importante, geologia forense não é feita apenas por geólogos: agrônomos, químicos, biólogos e outros especialistas constroem o dia a dia as geociências forenses.

Tive a sorte de contar com equipes fantásticas quando estive em cargos de chefia que me permitiram a liberdade de desenvolver projetos integrados de geologia forense e divulgar os resultados de tantos colegas, das perícias do Brasil e de colegas acadêmicos. A Geologia Forense hoje é reconhecida como especialidade científica em grande parte das universidades e institutos de pesquisa. É ciência aplicada respeitada em inúmeros países, com intensa produção científica e contribuição a resolução de casos criminais. A IFG – "Initiative on Forensic Geology" reconhece o Brasil hoje como o centro de maior crescimento global nas geociências forenses.



Geólogos Forenses da Polícia Federal em Congresso Científico em La Plata – Argentina (2017), o último à direita, PCF Fábio Salvador.

Quando começou a se interessar por microvestígios? Qual a sua participação na idealização e construção do Laboratório de Microvestígios da Polícia Federal?

Fácil! Quando virei perito criminal. Costumo dizer que o melhor cargo do mundo é o de Diretor Técnico-Científico da Polícia Federal. Com a equipe que tínhamos, com o apoio da administração, com o Centro Nacional de Difusão das Ciências Forenses sendo concluído só não proporia aos colegas a construção do Laboratório de Microvestígios se estivesse alheio ao que ocorre nas melhores criminalísticas e polícias científicas do planeta. Se tem vestígios no conceito, temos que buscar trabalho nisso, trabalho, objetivos e soluções para a Criminalística. Faço referência especial para o estudo dos solos para fins forenses que o Laboratório de Microvestígios domina.

Você foi também um dos idealizadores do Programa Ouro Alvo, qual foi a sua inspiração para criação desse programa? Quais os desafios para torná-lo uma realidade?

A inspiração para o Programa Ouro Alvo (POA) veio dos conhecimentos especialíssimos difusos entre alguns colegas idealistas e muito cientes da importância da rastreabilidade científica do ouro, da inteligência pericial necessária e do alinhamento da demanda de alguns diligentes colegas delegados: qual a proveniência do ouro apreendido pela PF?

Não se trata de resposta simples, em termos forenses, mas perfeitamente possível na atualidade.

O POA tem projetos específicos com intenções convergentes, um núcleo duro resistente às dificuldades impostas por déficit de pessoal dedicado, deslindes institucionais pouco ágeis e comprometimento verdadeiro da alta administração pública, para impulsionar o Programa Ouro Alvo para além da Polícia Federal, do Ministério da Justiça e do Poder Executivo. Trata-se de bem da União único e de todos os brasileiros.

Além disso, há tantas controvérsias forenses na cadeia produtiva do ouro em amplidão global que o Brasil, por ser um dos componentes principais dessa cadeia, licitamente e não, tem imensa responsabilidade de aperfeiçoar, por meio da ciência, os quatro pilares do Programa Ouro Alvo: o técnico-científico, o econômico-financeiro, o ambiental e os bancos de dados.

Além do Ouro Alvo, na sua atuação como DITEC, foram "plantadas" as sementes de vários projetos/programas, que prosseguem em franco desenvolvimento. De quais mais se orgulha? Por quê?

Eu me orgulhava muito do GOIA (Guarda, Observação, Investigação e Análise de Patrimônio Histórico, Bens Culturais e Obras de Arte), mas ele perdeu impulso. O LabMicro (Laboratório de Microvestígios) é o de maior potencial para o INC (Instituto Nacional de Criminalística) e estados a meu ver, principalmente no apoio a solução de crimes contra a pessoa. O Brasil MAIS bateu asas e voou. O MED (Mecanismo de Equalização da Demanda), construção de tantos, creio ter sido incorporado na cultura organizacional da criminalística. O PROCAD está demorando para voltar, mas foi impressionante a repercussão. O LANIF (Laboratório Nacional de Isótopos Forenses) é uma feliz realidade. O Centro Nacional de Difusão de Ciências Forenses foi formatado e executado aproveitando todos os espaços disponíveis da melhor maneira em prol da Justiça brasileira. Voltamos melhores peritos criminais em moedas, não perdemos atribuições e buscamos propor alternativas para o aprimoramento de cada uma das áreas da perícia.



Fábio Salvador, na época como Diretor Técnico-Científico da Polícia Federal, em entrevista.

Atualmente você se encontra desenvolvendo um pós-doutorado na Universidade de São Paulo, comente um pouco sobre as suas atividades/projeto e o que te motivou a seguir esse caminho.

O Programa Ouro Alvo a todo instante encara encruzilhadas. Há a necessidade de capacitação em diferentes áreas do conhecimento para buscar os resultados almejados. Reitero, rastreabilidade é conceito extremamente debatido, difundido e aplicado para muitas coisas e o ouro, principalmente, necessita ser rastreado em toda sua cadeia produtiva, através de assinaturas geoquímicas e isotópicas discriminantes e indicadoras de proveniência. Rastreabilidade se une, e não se confunde, com conformidade para definirem os procedimentos mais seguros no controle do metal brasileiro e latino-americano.

Ouro pode ser cientificamente rastreado e o tema de meu projeto é apenas uma das ferramentas possíveis. Cabe a plêiade de interessados nessa rastreabilidade oferecerem os meios e a sustentação continuada para conseguirmos certificação de ouro transnacional.

Qual a sua visão de futuro para as ciências forenses e para a Perícia Criminal Federal?

Nietzsche afirma que o otimismo é superficial e aparece em períodos de decadência. Tenho sido otimista desde quando tomei posse como perito criminal e, mesmo assim, prevejo enfraquecimento da importância da prova técnico-científica de maneira geral na persecução penal. Casos de repercussão são insignifican-

tes em relação a imensa massa de casos criminais que também e sempre precisam de perícia técnico-científica adequada, todos os dias nos estados do Brasil. A influência dos operadores de direito nos encaminhamentos dos inquéritos policiais, denúncias e processos no que diz respeito a provas e evidências é muito grande. Isso significa menor rigor sobre repetibilidade, cadeia de custódia, preservação, manuseio e outros exemplos de preceitos irrefutáveis da Criminalística.

Claro, nosso recurso humano é inigualável no universo forense nacional, daí sempre podermos pelejar com vigor para a construção da melhor Polícia Científica que a população brasileira exige.

A grande contribuição do PCF Salvador para o desenvolvimento da Criminalística em diferentes áreas do conhecimento, e a sua grande capacidade de gestão e desenvolvimento institucional é consenso entre os peritos que já tiveram a oportunidade de conviver com ele, conforme pode ser observado nos depoimentos abaixo.



"O Salvador é uma das grandes referências na geologia forense, assim como em outros temas da criminalística. Dedicado às Ciências Forenses tanto como perito como quanto gestor, tendo sido um excelente Diretor Técnico Científico. Competente e acessível, defendeu a perícia nas diversas esferas de atuação, e suas ideias e ações ficarão gravadas na história da perícia criminal federal."

PCF Erich Adam Moreira Lima
Chefe do Setor de Perícia em Geologia da Polícia Federal



"Trabalhar com o Salvador foi um verdadeiro exercício de sintonia, o famoso "na hora sai". Em uma semana, ele era meu chefe e eu responsável pelo grupo de local de crime, na semana seguinte, sem muito aviso, nos tornamos chefe e sub-chefe do SETEC/PR, no meio da Lava Jato. A sintonia criada e desenvolvida nos levou a uma parceria de trabalho de anos. Salvador, com sua mente rápida, suas ideias grandiosas, é um dos grandes exemplos da necessidade da proximidade entre ciência e perícia."

PCF Luiz Spricigo Junior
Ex-Diretor do Instituto Nacional de Criminalística



"Convivo com o Salvador desde 2005 e, ao longo desse período, testemunhei toda dedicação, perseverança e empolgação que o Salvador tem com a ciência, com a pesquisa e o desenvolvimento científico da Criminalística. Ele é um cara visionário, empolgado, sempre defensor do avanço científico da perícia e do protagonismo do perito e da criminalística. Além disso, quando teve a oportunidade, enquanto Diretor Técnico-Científico – ainda que num brevíssimo período de tempo, conseguiu deixar um legado importante para a Criminalística, com vários projetos que hoje estão em andamento, principalmente na área ambiental. Ele é um exemplo para todos nós, contagiando com a vontade e o prazer em sermos peritos criminais e em nos esforçarmos na busca de uma Criminalística de qualidade, sobretudo do protagonismo que a perícia tem que ter".

Marcos de Almeida Camargo
Ex-presidente da Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais (APCF)



"O Salvador, destacado perito criminal federal e meu antigo chefe na operação Lava Jato, é uma figura exemplar na área forense. Sua visão vai além das fronteiras da investigação, defendendo uma abordagem colaborativa que envolve todas as áreas da Polícia Federal, reconhecendo que a verdadeira eficácia emerge quando há cooperação multidisciplinar. Sua postura proativa estende-se à área Acadêmica, incentivando a colaboração entre a instituição policial e a comunidade acadêmica para impulsionar o desenvolvimento contínuo das Ciências Forenses. Seu comprometimento com a perícia o tornam uma figura inspiradora no complexo cenário da investigação criminal no Brasil".

PCF Rodrigo Lange
Ex-diretor de Tecnologia da Informação e Comunicação do Ministério da Justiça e Segurança Pública

PROGRAMA OURO ALVO



Por *Danielle Ramos e peritos criminais federais Fernanda Claas Ronchi, Gustavo Caminoto Geiser e Erich Adam*

Peritos criminais federais têm a habilidade de rastrear a origem do ouro proveniente de apreensões e garimpos, utilizando análises e confrontos com padrões. Essa prática é fundamental no combate a crimes como lavagem de dinheiro, trabalho escravo, usurpação de bens da União, e delitos ambientais, todos associados à extração ilegal de ouro no Brasil e na América Latina. Confira um especial sobre esse tema na edição número 52 da revista Perícia Federal!

"É impossível rastrear o ouro". Foi em razão dessa afirmação, levada em tom de desafio pelos peritos criminais federais, que nasceu o Programa Ouro Alvo, em 2019. Durante um evento do Conselho de Controle de Atividades Financeiras (Coaf), dedicado ao debate sobre o aperfeiçoamento do sistema brasileiro de prevenção e combate à lavagem de dinheiro e ao financiamento do terrorismo, falou-se sobre a rastreabilidade documental (conformidades) e a rastreabilidade geoquímica do ouro. Nessa reunião, foram discutidas divergências de opiniões e levantou-se a questão da suposta inviabilidade de rastrear o minério.

"Naquele momento o Brasil estava passando por uma pressão externa, por ocupar o centro de lavagem de ouro na América Latina, em razão de uma série de fragilidades na legislação. Como já havia um laudo do Setor Técnico-Científico de Manaus, assinado pelo perito criminal federal Ricardo Lívio – utilizando Fluorescência de raios X – que afirmava que as ligas metálicas questionadas do ouro apreendido eram incompatíveis com as de ouro reciclado e que a maior parte das amostras analisadas possuíam características inequívocas de que se tratava de ouro de garimpo. Então, aceitamos o desafio de mostrar que, sim, era possível rastrear o ouro", narra o perito criminal federal Erich Adam, chefe do Setor de Perícias em Geologia do Instituto Nacional de Criminalística (INC).

Diante da necessidade brasileira, nasceu, então, o Programa Ouro Alvo (POA). "A ferramenta foi criada para a criminalística, que se intensificaram muito a partir de 2018, destaca o perito criminal federal e ex-diretor Técnico-Científico da Polícia Federal, Fábio Salvador. Ele ressalta que os responsáveis pelos inquéritos, persecuções penais e processos criminais passaram a questionar a perícia criminal sobre aspectos associados as ilicitudes identificadas em investigações que necessariamente requerem avanços no conhecimento técnico-científico para obtenção das melhores respostas. "A principal nova questão nos casos de ouro apreendido, encaminhados para exames periciais, é: qual a origem do ouro apreendido?", ressalta.

O programa teve início por meio de um projeto da Diretoria Técnico-Científica (DITEC/PF), com o apoio da Diretoria de Investigação e Combate ao Crime Organizado e à Corrupção (DICOR/PF). Seu objetivo principal é fornecer soluções técnico-científicas integradas para atender efetivamente às crescentes demandas periciais relacionadas aos estudos especializados da natureza dos materiais auríferos apreendidos e alvos de investigações. O propósito é oferecer subsídios para combater as ilicitudes geradas ao longo da cadeia produtiva do ouro. O programa busca complementar as iniciativas periciais já existentes, com destaque para as unidades técnico-científicas na Região Norte, tais como SETEC/SR/PF/AM, SETEC/SR/PF/AP, NUTEC/PF/SNM/PA e SETEC/SR/PF/RR.

A origem

Considerando a elevada importância econômica e distribuição mundial do ouro, a capacidade de identificar sua proveniência é um fator crítico e desafiador para garantir uma cadeia de abastecimento responsável, desde a jazida até o consumidor final, especialmente dentro de áreas afetadas por conflitos.

Com o Programa Ouro Alvo, os peritos criminais federais conseguem rastrear a origem do ouro apreendido ou coletado em garimpos, por meio de análises físicas, químicas, isotópicas e geoquímicas, que permitirão descrever a natureza do material e, em última análise, determinar a origem geográfica da jazida do minério apreendido. "O programa busca entender esta cadeia produtiva do ouro. Procura-se identificar as rotas científicas e tecnológicas, utilizando as estruturas da Universidade de Brasília (UnB) e da Universidade de São Paulo (USP), para poder afirmar que o ouro de uma determinada região tem uma assinatura química, geoquímica, mineralógica, morfológica, que permita dizermos que ouro veio de uma região e não veio de outra", completa Fábio Salvador.



Foto: André Zimmerer



Foto: André Zimmerer

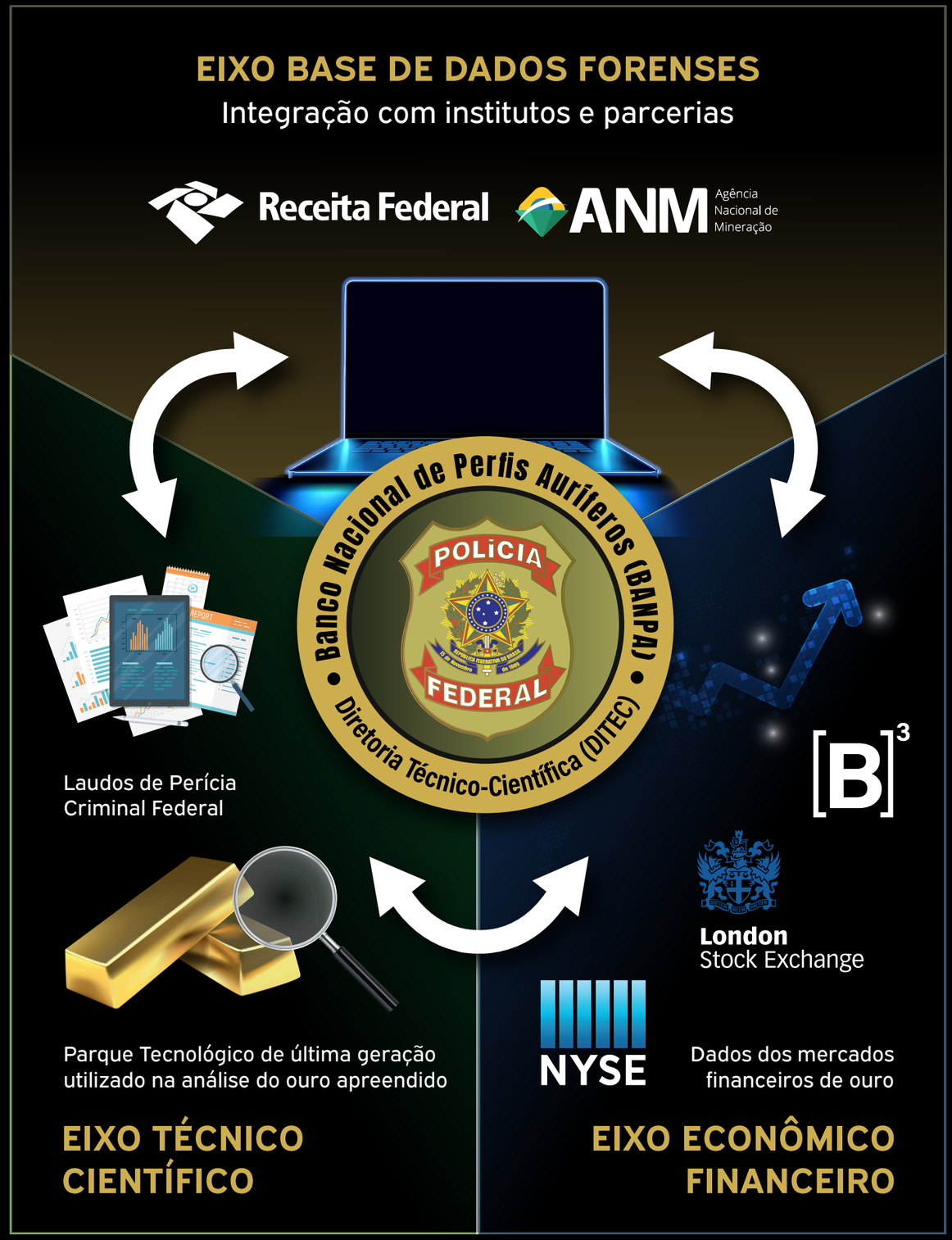
Para enfrentar esse desafio, foram estabelecidos diferentes eixos: integração e análise de dados; econômico-financeiro e técnico-científico. No que diz respeito à parte técnico-científica, o exame primordial – de maneira simplificada – é conduzido por equipamentos de análise baseados em dispositivos de Fluorescência de raios X, que revelam rapidamente a composição química presente no material em questão. Isso permite a tomada de decisão sobre a provável origem do material, que é posteriormente somada a outras análises. No caso das barras, mesmo após passar pelo processo de fusão e refino, o ouro mantém uma assinatura, uma identidade que persiste na forma de elementos traços – uma espécie de DNA do ouro.

"São características químicas de uma determinada região específica onde o ouro se encontra naturalmente, seja em uma formação rochosa, no solo ou no leito de um rio. É precisamente por meio das análises de uma amostra que conseguimos rastrear a origem do ouro, identificando não apenas a localização de sua extração, mas também discernindo se passou pelo processo de garimpagem artesanal ou pela extração industrial em uma mina. Por meio de análises isotópicas, mineralógicas e geoquímicas, é possível discernir e caracterizar os depósitos de ouro em diferentes regiões", explica a perita criminal federal e gerente-adjunta do programa, Fernanda Claas Ronchi.

O Ouro Alvo nasceu com o objetivo de desenvolver mecanismos e ferramentas para identificar a origem e rastrear o ouro extraído no país ou em regiões fronteiriças, com foco nos estados da região amazônica. "O programa visa combater um problema recorrente no Brasil e na América Latina de maneira geral, que são as ilicitudes que ocorrem na cadeia produtiva do ouro, desde o momento da sua extração até a sua comercialização. Trata-se de um programa amplo, de caráter eminentemente técnico-científico, investigativo e econômico-financeiro", reforça o perito criminal federal Fábio Salvador.

Quanto às demais frentes, podemos ressaltar os esforços de integração e análise de dados, como, por exemplo, a estruturação do sistema DELPHOS – Módulo Mineração. Esse sistema agrega dados disponíveis sobre a produção e comercialização de ouro, permitindo que diversas unidades da Polícia Federal, que investigam o tema, terem acesso aos dados de maneira organizada. O DELPHOS tem sido utilizado tanto na perícia, quanto nas investigações focadas nas fraudes de lavagem de ouro e comercialização de ouro irregular, viabilizando o acesso aos dados brutos e oferecendo informações imprescindíveis por meio do cruzamento de diferentes bases de dados. Ademais, toda a estruturação do BANPA foi desenvolvido por meio deste eixo.

Já no eixo econômico-financeiro, o foco está na integração entre a perícia em geologia e a perícia contábil-econômica, possibilitando que o conhecimento acumulado em uma área ajude a outra de forma interdisciplinar. Isso permite conclusões mais profundas e análises mais assertivas e, consequentemente, resultados mais relevantes ao sistema de justiça.



Em busca do ouro

"Com a força dos braços cavamos a terra, colhemos o ouro que hoje recobre a igreja dos brancos".

Ofertório
Milton Nascimento



A história da exploração de ouro no Brasil remonta ao período colonial, quando o país ainda era uma colônia portuguesa. "O ouro foi descoberto em terras brasileiras no final do século XVII, e desde então, desempenha um papel crucial na formação histórica e econômica do Brasil, moldando sua sociedade, economia e cultura. Embora o ciclo do ouro tenha perdido sua predominância no final do século XVIII, seu legado continua influenciando o Brasil contemporâneo de diversas maneiras. O país é um reflexo de sua história multifacetada, que inclui períodos de prosperidade e desafios que continuam moldando sua trajetória ao longo dos séculos", explica Ronchi.

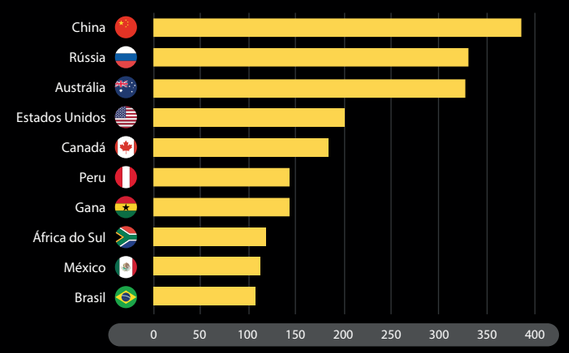


Maquinário localizado em operação ilegal na região sudoeste do Pará

Apesar de aquele ciclo ter findado, o Brasil ainda se destaca como um dos principais produtores de ouro no cenário mundial, exercendo uma influência significativa na indústria global de mineração. "A produção aurífera no país é resultado da interação de fatores geológicos favoráveis, evidenciando a relevância histórica e econômica do Brasil no cenário internacional da mineração. Nesse contexto, torna-se evidente a necessidade de enfrentar os desafios e responsabilidades inerentes à exploração desse recurso natural", completa a perita.

10 maiores países produtores de ouro

Produção anual em toneladas



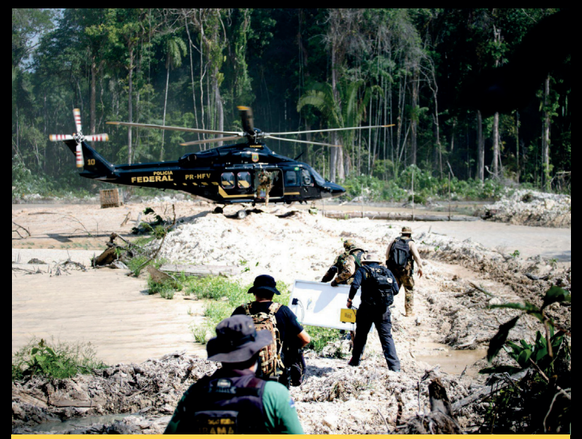
Fonte: Adaptado do Conselho Mundial do Ouro, World Gold Council, ano de 2019



A mineração aurífera é considerada um dos empreendimentos mais rentáveis do mundo e nas últimas décadas viu-se o preço desta *commodity* disparar. "Este aumento do preço internacional desencadeou uma nova corrida do ouro nas terras tupiniquins. Esse fenômeno reflete a dinâmica do mercado global de *commodities*, onde o ouro, como um ativo de refúgio, muitas vezes responde às condições econômicas e geopolíticas em constante mudança. O aumento nos preços do ouro estimulou o interesse da exploração de novos locais ou mesmo a reativação de antigos", detalha Ronchi. O pesquisador Bruno Manzolli da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) complementa: "Acrescente a este cenário a lacuna legislativa que fundamenta a garantia de origem do ouro (de garimpo) na palavra do vendedor e na boa-fé do comprador, o que facilita a entrada do ouro ilegal no mercado lícito".

Nesse sentido, a exploração de ouro no Brasil continua a expandir suas fronteiras de maneira acelerada, penetrando profundamente na Amazônia, abrangendo as Terras Indígenas e Unidades de Conservação. "Devido à necessidade, por meio de técnicas de ciências de dados, geoprocessamento e sensoriamento remoto, estabelecemos um protocolo para identificar nas imagens de satélite de alta resolução, fornecidas pelo programa Brasil M.A.I.S., diversas áreas que foram atribuídas como origem do ouro, porém sem evidências de exploração", explica o pesquisador Bruno Manzolli da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Pesquisadores do Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) e do Laboratório de Gestão de Serviços Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em parceria com o Ministério Público Federal, afirmam que, em média, 31% da produção de ouro no Brasil, de 2019 a 2022, tem indícios de irregularidades. Já o Instituto Escolhas, em seu estudo de 2022, sugere que aproximadamente 50% da comercialização de ouro apresenta indícios de ilegalidade. Assim, considerando a importância estratégica de se garantir um ambiente de legalidade para um ativo econômico tão importante para o país, o Programa Ouro Alvo foi classificado em 2020 como prioritário pelo Ministério da Justiça.



Operação policial no interior da Terra Indígena Munduruku

Comercialização de ouro com indícios de ilegalidade (kg e %)
Produção anual em toneladas

Ano	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
Produção estimada de ouro no país (kg)	79.213	86.670	75.918	71.752	82.083	91.953	487.588
Ouro com indícios de ilegalidade (kg)	**32.853**	**44.063**	**34.400**	**33.743**	**41.537**	**42.395**	**228.991**
Ouro de títulos que sobrepõem Terras Indígenas ou Unidades de Conservação	2.201	2.731	1.713	152	528	1.843	9.169
Terras Indígenas	2.201	2.431	733	14	-	26	5.406
Unidades de Conservação	-	300	980	138	528	1.817	3.763
Ouro de "títulos fantasmas" (sem indícios de extração)	14.161	14.544	11.579	16.862	16.703	18.948	92.796
Ouro de títulos onde há indícios de extração para além dos limites permitidos	1.045	4.150	156	9.200	13.064	14.687	42.302
Ouro sem a informação dos títulos de origem	15.446	22.638	20.952	3.467	-	485	62.988
Ouro exportado sem registros que correspondam à produção oficial	-	-	-	4.061	11.241	6.433	21.736
% de ouro com indícios de ilegalidade	**41%**	**51%**	**45%**	**47%**	**51%**	**46%**	**47%**

Estimativa do ouro com indícios de ilegalidade. A produção de ouro foi estimada com base nos registros de recolhimento dos dados de Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM) e dados do Mapbiomas. Fonte: Modificado do Instituto Escolhas. "Raio X do Ouro: mais de 200 toneladas podem ser ilegais". São Paulo, 2022.

Impactos

"Eu gostaria que os brancos escutassem nossas palavras e pudessem sonhar eles mesmos com tudo isso, porque, se os cantos dos xamãs deixarem de serem ouvidos na floresta, eles não serão mais poupados do que nós".

Davi Kopenawa em A Queda do Céu
Palavras de um xamã Yanomami



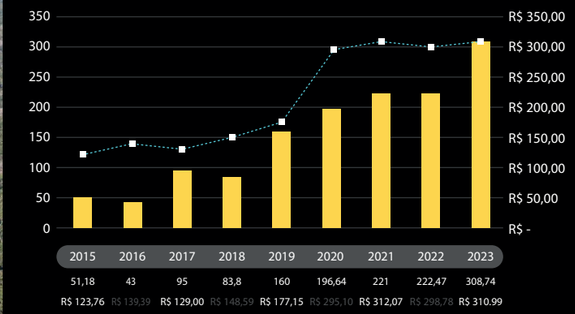
Coleta de amostras ambientais para detecção de mercúrio na Terra Indígena Yanomami



Imagens aéreas do dano ambiental no interior da Terra Indígena Munduruku

Histórico de apreensões de ouro pela Polícia Federal

Apreensões e Quilogramas



Fonte: Polícia Federal



Um dos impactos mais visíveis dessa nova corrida pelo ouro é o aumento das áreas de garimpo. "Em relação ao crescimento das áreas de garimpo em Terras Indígenas e Unidades de Conservação um estudo recente do Mapbiomas indica que, entre 2010 e 2021, as áreas de garimpos em Terras Indígenas aumentou cerca de 457%, indo de 3.500 hectares para 19.500 hectares; já a área em unidades de conservação cresceu de 19.500 hectares para 60.000 hectares, um crescimento de cerca de 207%."

Dados do Programa Brasil M.A.I.S., da Polícia Federal, que utilizam satélites de maior resolução, indicam que entre 2019 e 2022, foram emitidos mais 112.000 alertas de mineração ilegal, totalizando cerca de 498.000 hectares, destacando-se os cerca de 23.900 e 8.600 hectares de área desmatada para garimpos em Unidades de Conservação e em Terras Indígenas, respectivamente. "Dados do referido programa indicam que, entre 2020 e 2022, as três Terras Indígenas mais afetadas foram, em ordem decrescente: as TIs Kayapó, Munduruku e Yanomami. Além disso, dados do Sistema DETER do INPE mostram que, entre 2017 e 2022, as áreas desmatadas em Unidades de Conservação e Terras Indígenas aumentou, respectivamente, cerca de 152% e 315%, com destaque para as mesmas TIs que lideraram o ranking de desmatamento por mineração entre 2019 e 2022", explica o perito criminal federal Ricardo Moraes.

Conforme estipulado pela Constituição Federal Brasileira em seu artigo 20, inciso IX, todos os recursos minerais são considerados bens da União. Portanto, uma vez que o ouro é classificado como recurso mineral, cabe à Polícia Federal combater atividades ilícitas ao longo da cadeia produtiva desse metal precioso. "Diante do aumento constante das atividades ilícitas relacionadas à extração e comercialização de ouro, a Polícia Federal viu-se compelida a desenvolver uma variedade de estratégias e meios para combater eficazmente esse tipo de crime. O enfrentamento dessa crescente expansão delituosa demandou a implementação de medidas mais robustas e inovadoras por parte da PF, a fim de assegurar a integridade da cadeia produtiva do ouro e coibir práticas ilegais nesse setor", reforça a perita criminal federal Fernanda Ronchi.

Desde o início do Programa Ouro Alvo, entre 2019 e 2023, a PF apreendeu aproximadamente 1.108 quilogramas de ouro em operações realizadas pelo Brasil no combate ao garimpo e à extração ilegal de ouro. "Somente entre 2015 e 2021 a quantidade de ouro apreendida pela Polícia Federal subiu mais de 300%", pontua o gerente do POA Erich.

Atualmente, o ouro extraído de lavras ilegais é transportado livremente, bastando portar a cópia de uma Permissão de Lavra Garimpeira (PLG) legal, muitas vezes obtida com terceiros. Na prática, quando o portador não possui a permissão e é submetido à fiscalização, outro indivíduo pode apresentar uma PLG e alegar titularidade sobre o ouro, a fim de que o minério seja liberado.

Legislação

§ 2º Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.

§ 3º As condutas e atividades considerada lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, as sanções penais e administrativas independentemente da obrigação de reparar os danos causados

Art. 225 da Constituição Federal

Devido à pressão da sociedade civil internacional, os principais países importadores impuseram restrições à cadeia de suprimentos que seguem os princípios de *due diligence*. A lei americana conhecida como "*Dodd-Frank Act*", bem como o Regulamento da UE 2017/821 do Parlamento Europeu, exigem que as empresas que usam ouro e outros metais estratégicos busquem determinar se esses materiais foram extraídos de áreas de conflito. Juntamente com o financiamento do crime organizado e terrorismo, a mineração ilegal de ouro é um problema global.

Dessa forma, analisando as fragilidades no controle da produção e comercialização de ouro no Brasil, uma das constatações foi a de que o marco regulatório brasileiro poderia ser aperfeiçoado, para garantir o adequado registro das transações, e a rastreabilidade do ouro transacionado. O assunto foi exaustivamente debatido junto aos demais órgãos do governo e da sociedade civil, e algumas mudanças na lei se mostraram necessárias. Algumas modificações, como a implementação obrigatória da Nota Fiscal Eletrônica para as compras de ouro já foram adotadas, bem como a suspensão, por decisão do Supremo Tribunal Federal (STF), da "presunção de boa fé", que permitia ao comprador de ouro se eximir da responsabilidade por comprar ouro com indícios de irregularidades. Porém, outras alterações mais complexas no arcabouço legal brasileiro ainda estão em debate.

Em abril de 2019, o perito criminal federal Gustavo Caminoto Geiser e o delegado de Polícia Federal Gecivaldo Vasconcelos Ferreira foram convidados a expor em uma Audiência Pública da Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Câmara dos Deputados, as principais fragilidades do atual arcabouço legal e debateram as possíveis soluções.

No mesmo ano, a Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais (APCF) apresentou à Câmara dos Deputados uma sugestão de projeto de lei que trata do controle do transporte e da comercialização do ouro extraído no Brasil. Este trabalho resultou na proposição do Projeto de Lei (PL) 5131/2019, por iniciativa do deputado Camilo Capiberibe (PSB/AP). Embora sua tramitação não tenha sido concluída, o projeto resultou em diversas outras proposições, como o PL 836/2021, de iniciativa do senador Fabiano Contarato (REDE/ES). Este tem como objetivo estabelecer parâmetros sobre a comercialização do ouro, além de auxiliar no combate ao ouro ilegal. A proposta atualmente está sob relatoria do senador Jorge Kajuru na Comissão de Meio Ambiente do Senado Federal.

Tal projeto também tem o acompanhamento da APCF, que, além de propor melhorias ao texto, sugeriu proposta para criar em lei o Banco Nacional de Perfis Auríferos (BANPA), garantindo às demais instituições envolvidas a existência de um banco de dados seguro que sirva como prova para a acreditação do ouro brasileiro. Nesse sentido, o foco não é apenas a retirada do ouro ilegal do mercado, mas principalmente oferecer mecanismos para que o ouro brasileiro seja reconhecido internacionalmente como um produto seguro e limpo, facilitando sua aceitação nos mercados internacionais mais exigentes, e quiçá servindo como modelo para outros países.

Outra importante participação da APCF foi na audiência pública promovida, em abril de 2023, pela Comissão Temporária Externa do Senado Federal criada para acompanhar a situação dos Yanomami e a saída dos garimpeiros. Na oportunidade, foi debatido sobre a rastreabilidade da lavra e comercialização do ouro com objetivo de auxiliar na resolução do conflito existente em terras indígenas. Como resultado, a Comissão apresentou no relatório final o Projeto de Lei n° 3587/2023, que visa estabelecer procedimentos para certificação de ouro produzido com padrões de sustentabilidade socioambiental, regula a compra, venda e transporte de ouro como ativo financeiro, institui o sistema de rastreamento da produção de ouro em território nacional e cria o BANPA.

O Projeto de Lei está em tramitação conjunta nas Comissões de Assuntos Econômicos; Ciência, Tecnologia, Inovação e Informática; e Serviços de Infraestrutura. No tocante ao BANPA, a proposição legislativa o individualizou dentro do Capítulo III, classificando-o como um "sistema de informações e gerenciamento de dados destinado ao armazenamento, análise e caracterização de amostras de ouro, em qualquer estado de pureza ou refino, e de dados relacionados aos perfis auríferos das províncias brasileiras e do ouro importado ou em circulação no território nacional".



Esponja de ouro de garimpo

A implementação do Banco Nacional de Perfis Auríferos, está em consonância com o dispositivo legal contido na Lei nº 12.850/2013, que prevê a criação de unidades especializadas no combate ao crime organizado, permitindo assim, a partir da aplicação de técnicas científicas, com o apoio de recursos humanos e materiais, o enfrentamento a partir da especialização dos policiais, e emprego de técnicas periciais avançadas no combate aos ilícitos associados ao ouro ilegal.

A instrumentalização deste dispositivo legal permitirá não somente a otimização e redução no tempo de elaboração dos laudos periciais de ouro apreendido em operações de polícia judiciária, mas, principalmente na orientação proativa das equipes que atuam no combate às ilicitudes na cadeia produtiva do ouro ilegal – a partir da cooperação entre a Polícia Federal e diferentes instituições e agências estatais, como Polícia Civil, Ministério Público, Agência Nacional de Mineração – ANM, Banco Central do Brasil – BACEN, Conselho de Controle de Atividades Financeiras – COAF e Receita Federal do Brasil – RFB.



Foto da sessão da Comissão Temporária Externa do Senado Federal

A tecnologia a serviço da rastreabilidade

"Um dado é apenas um dado, contudo quando analisado em conjunto, se torna informação".

Adaptado de Russel Ackoff

BANPA

O Banco Nacional de Perfis Auríferos (BANPA) surgiu da necessidade de centralizar, integrar e disponibilizar todos os dados provenientes das análises dos diversos materiais auríferos apreendidos em procedimentos de polícia judiciária da Polícia Federal em território nacional, bem como de materiais coletados de campanhas de amostragem. Essa centralização possibilita a correta classificação dos dados inseridos, em especial no que se refere à origem da amostra, tipo e método de obtenção do material, bem como o esclarecimento de outras questões relacionadas à legalidade dos bens minerais auríferos, garantindo que as amostras de referência sejam completamente seguras quanto à sua fonte, e as amostras questionadas inseridas tenham todas as garantias da cadeia de custódia. Por meio desses dados armazenados, são feitos os confrontos nas análises das amostras questionadas.

Atualmente este banco de dados lógico armazena principalmente dados de análises espectrométricas de Fluorescência de raios X portátil, oriundos de exames periciais nas diversas unidades de perícia do país e pesquisas coordenadas pelas Universidades parceiras. Estas informações estão sendo organizadas pelo Instituto Nacional de Criminalística (INC), juntamente com os Setores Técnicos-Científicos (SETECs) e Núcleos Técnico-Científicos (NUTECs). O BANPA ainda está em expansão para compreender os dados de Microscopia Eletrônica de Varredura com EDS (MEV-EDS), Microssonda eletrônica e LA-(MC)-ICP-MS (elementos traços e isótopos de Pb, Ag e Cu)", pontua o pesquisador da Universidade de Brasília, Manoel L. Frazão Jr.

As amostras de ouro em suas diferentes formas de apresentação e respectivos suportes podem ser obtidas por diversas fontes, incluindo aquelas apreendidas pela Polícia Federal em suas diligências investigativas, amostras doadas pelas mineradoras e garimpos legais, parceiros do Programa Ouro Alvo, e aquelas coletadas em amostragens controladas pela perícia criminal diretamente em áreas de produção por meio das campanhas de amostragem, com cadeia de custódia assegurada.

"Uma das grandes vantagens do BANPA é por que temos num mesmo banco de dados as amostras de referência, provenientes de áreas legalizadas, de apreensões, e também de áreas de garimpos ilegais, obtidas durante as operações policiais. Isso permite um confronto mais completo e uma análise estatística mais robusta dos dados, com uma nuvem de pontos muito mais ampla do que uma coleção acadêmica poderia obter." afirma o perito criminal federal Gustavo Geiser.

A amostragem de materiais auríferos apreendidos pela PF está respaldada pelo Código de Processo Penal (Decreto Lei 3.689/1941, modificado pela Lei 13.964/2019), que prevê a coleta de amostras para contraprova, a serem armazenadas nos institutos de perícia, e também por decisão do Diretor Técnico-Científico da PF, por meio do ofício nº 090/2022-DITEC/PF. Este ofício disciplinou internamente a coleta de alíquotas representativas dos materiais periciados pelos peritos criminais, bem como seu envio ao INC para estudos aprofundados de proveniência e composição da ouroteca.

A Ouroteca (coleção de amostras de ouro) é um repositório físico do BANPA, que possui alíquotas de amostras oriundas dos materiais questionados enviados à perícia, guardadas no INC, como contraprova, e padrões de referência doados por mineradoras ou coletados nas campanhas de amostragem. "As amostras de referência vêm sendo coletadas progressivamente em minerações de larga escala (LSM) e garimpos legais (ASM) e em amostragens criminalísticas das apreensões de ouro. Paralelamente, está em andamento a organização do Banco Nacional de Joias e Ligas de Metais Preciosos (BANJO), a partir das centenas de apreensões realizadas anualmente em operações policiais, com análises químicas e gemológicas de joias e ligas refinadas de metais preciosos em diferentes formas de apresentação", explica o perito criminal Salvador.

Perícia e investigação

por Luís Flávio Zampronha, delegado de Polícia Federal e oficial de ligação na Europol

A exploração ilegal de ouro no Brasil é uma questão crítica que demanda uma abordagem abrangente e estratégica. Além de investigar as operações internas e práticas locais, é de suma importância que as investigações se estendam ao entendimento do mercado internacional de ouro e às suas estruturas. Compreender como essa *commodity* é negociada globalmente é crucial para abordar efetivamente as raízes do problema.

O mercado internacional de ouro é complexo e muitas vezes opaco, com diversas transações ocorrendo em níveis globais. Ao analisar essa dimensão, as investigações podem identificar possíveis elos entre a exploração ilegal no Brasil e as cadeias de suprimentos internacionais. Isso não apenas contribui para responsabilizar os agentes envolvidos, mas também ajuda a criar estratégias mais eficazes para conter o comércio ilegal.

Do mesmo modo, é fundamental apontar as fragilidades presentes na legislação dos países importadores de ouro. Muitas vezes, lacunas e falta de regulamentação adequada nesses países permitem que ouro extraído ilegalmente seja facilmente introduzido nas cadeias de suprimentos globais. Recomendar a implementação de *due diligence* (diligência prévia) por parte das empresas é uma medida crucial nesse sentido.

A adoção de *due diligence* pelos países importadores de ouro envolve a verificação rigorosa da origem e legalidade do produto adquirido. Isso inclui a rastreabilidade da *commodity* desde sua extração até sua chegada aos mercados internacionais. Ao fortalecer as práticas de *due diligence*, os países importadores podem desempenhar um papel significativo na desencorajamento do comércio ilegal de ouro, ao mesmo tempo em que promovem práticas sustentáveis e éticas na indústria.

Além disso, é imperativo destacar a importância da colaboração internacional e da adoção de investigações conjuntas para lidar eficazmente com a exploração ilegal de ouro. Propõe-se estabelecer uma estratégia de investigação que englobe não apenas a parte exportadora, mas também a importadora da cadeia logística do ouro, envolvendo ativamente a Polícia Federal brasileira e as polícias dos países importadores.

A cooperação entre as autoridades policiais é essencial para rastrear e desmantelar redes criminosas que operam em nível transnacional. Estabelecer uma estratégia de investigação integrada permitirá um intercâmbio mais eficiente de informações, recursos e expertise entre os países envolvidos. Essa abordagem colaborativa não apenas fortalece as investigações, mas também aumenta a probabilidade de responsabilização de todos os envolvidos na cadeia de exploração ilegal de ouro.

Ao envolver ativamente as polícias dos países importadores, podemos abordar as lacunas e fragilidades existentes em ambos os extremos da cadeia logística. A troca de informações sobre padrões de comércio suspeitos, identificação de intermediários ilícitos e monitoramento de empresas envolvidas são aspectos cruciais dessa estratégia conjunta.

Em síntese, investigações sobre a exploração ilegal de ouro no Brasil devem transcender as fronteiras nacionais e abordar as dinâmicas complexas do mercado internacional. Investigações conjuntas internacionais não apenas desencorajam atividades ilegais, mas também contribuem para a construção de uma resposta global eficaz contra a exploração ilegal de ouro. Ao trabalhar em conjunto, os países exportadores e importadores podem desenvolver políticas mais robustas, implementar medidas preventivas e fortalecer a cooperação internacional para preservar não apenas os recursos naturais do Brasil, mas também a integridade das cadeias de suprimentos globais de ouro.

Campanhas de amostragem

O confronto de materiais padrões com aqueles questionados é um dos pilares fundamentais das ciências forenses. A partir deste princípio viu-se a necessidade de se possuir uma base robusta de padrões de referência para comparação, seja de amostras de minérios obtidos de diferentes origens, mas também de diferentes métodos de concentração ou em diferentes estágios de beneficiamento. Para tanto, e em especial considerando a necessidade absoluta de garantir a fidedignidade de tais padrões, foram organizadas campanhas para coleta de amostras de referência *in loco*. Essa prática é essencial para a construção de evidências sólidas e confiáveis nas investigações criminais e processos judiciais.

A realização das campanhas de amostragem visa a coleta de materiais auríferos padrões em locais estratégicos relacionados à importância metalogenética e à casuística forense para a definição de perfis característicos chaves. As amostras estão sendo coletadas em diferentes regiões produtoras do Brasil, tipologias, mineração/garimpos em áreas legais, irregulares ou ilegais.

"As amostras coletadas são compostas por ouro *in natura*, minerais associados às mineralizações e produtos gerados durante e após o beneficiamento do ouro. As análises morfológicas, geoquímicas e

isotópicas serão imprescindíveis para a determinação das assinaturas geoquímicas das jazidas auríferas brasileiras" explica o mestrando da UnB Manoel L. Frazão Jr.



As campanhas, armazenamento e destinação das amostras coletadas estão sendo todas organizadas de forma centralizada pelo INC, com o apoio dos SETECs e NUTECs. Estes materiais coletados estão sendo progressivamente estudados por alunos do Projeto GoldRush, bem como pelos peritos criminais federais.

Todas essas informações são registradas no Banco Nacional de Perfis Auríferos, permitindo o cruzamento destes dados com os de materiais apreendidos pela Polícia Federal já cadastrados no banco, possibilitando ainda resultados tardios de materiais já analisados e que, num primeiro momento, não permitiram resultados conclusivos. Todos os materiais fisicamente coletados fazem parte do acervo da Ouroteca.

Até o presente momento já foram realizadas 6 campanhas de amostragem, em 5 estados brasileiros: Paraná, Amapá, Mato Grosso, Roraima (Terra Indigena Yanomami) e Pará. Inicialmente as campanhas foram direcionadas às mineradoras, por facilidade de contato e acesso, além de ter ambientes mais seguros e controlados para desenvolver e entender os desafios enfrentados durante uma campanha de amostragem. "Depois de visto os pontos a serem ajustados, buscamos apoio de outras empresas e garimpos, em localidades que demandam um planejamento mais complexo e robusto. Atualmente desenvolvemos um método muito consistente e reprodutível para a realização das coletas de amostras padrões, tudo sob uma cadeia de custódia muito rigorosa." diz o perito Wladimir Hermínio de Almeida, coordenador das campanhas de coleta do POA.

Em especial no Pará, onde as distâncias são continentais, a questão logística é desafiadora, mas as questões de segurança também são um desafio à parte. "Rodamos dois dias em áreas sem sequer um posto de combustível. Mas o maior problema foram os conflitos. Duas vezes a campanha de amostragem no sudoeste do Pará teve que ser adiada por questões de segurança. Uma, por causa dos confrontos da população de Novo Progresso com a Polícia Rodoviária Federal, no final de 2022, e outra, já em 2023, após uma operação do IBAMA contra a garimpagem ilegal na região, que deixou um clima tenso que preferimos evitar. Além disso, principalmente no que se refere ao acesso aos garimpos legalizados, há ainda que se vencer a desconfiança e construir parcerias para termos todas as autorizações e doação das amostras. " explica o perito Gustavo Geiser.



Amostragem em mesa gravimétrica no interior da Terra Indígena Yanomami.

"As campanhas de amostragem do POA envolvem um processo de estabelecimento de contato e construção de confiança com um setor que possui um histórico de relacionamento conflituoso com agentes da lei. Isso envolve a necessidade de você estabelecer um clima de transparência, demonstrando que a equipe de amostragem está ali para fazer pesquisa e apoiar iniciativas de *compliance* que visem à regularização do setor. Essa abordagem tem convencido uma parte do setor de que, realmente, é de boa fé, voltada a buscar uma situação mais pacífica para realizar suas atividades. Isso para nós é importante

Para reconhecer a área de mineração, seus dados de geologia, seus processos tecnológicos, o perfil, o porte infraestrutural e financeiro, todas as informações nos ajudam a identificar sítios de amostragem com mais precisão. Decidir a quantidade, que tipo de amostra, qual o peso ou a quantidade dessa amostra, tudo isso vai melhorar o resultado que a gente pode obter e encaminhar para as análises posteriores. Damos preferência a áreas que possibilitam a demonstração do ciclo completo, desde a extração do minério bruto, até o produto final, fundido.

Além disso, atendemos a pedidos específicos de pesquisadores, como, por exemplo, das pesquisas de resíduos ou origem de mercúrio utilizado na mineração. Para obter acesso às áreas e processos, é necessário um processo de convencimento, para que o minerador ou garimpeiro quebre essa barreira ou essa defesa que ele tem ao franquear acesso a sua área ou seu processo." conclui o PCF Wladimir Hermínio de Almeida, coordenador das campanhas de coleta do POA.

Outro desafio, no que se refere aos confrontos de materiais questionados com os padrões do BANPA, é a recorrente entrada em território nacional de ouro estrangeiro, oriundo dos garimpos nos países vizinhos. "Como o Programa Ouro Alvo visa combater as ilicitudes na cadeia produtiva do ouro, a ideia é que o POA e a Polícia Federal trabalhem em conjunto com os países vizinhos, para a coleta de amostras e caracterização desse ouro, expandindo o BANPA para um Banco Internacional de Perfis Auríferos", finaliza o oficial de inteligência criminal da INTERPOL Ricardo Moraes, ex-gerente do programa ouro alvo.

Módulo de Identificação de Fraudes (Delphos-Mineração)

Por peritos criminais federais Ricardo Moraes e Felippe Pires Ferreira

A extração ilegal de ouro ocorre por uma combinação de diversos fatores, dentre eles podemos atribuí-la a uma legislação permissiva, uma cotação do ouro elevada – que mais que dobrou nos últimos cinco anos – e falta de fiscalização do Estado. Nesse sentido, observou-se a falta de uma ferramenta que integrasse os dados minerários da Agência Nacional de Mineração (ANM) com outros dados para identificar possíveis fraudes e ilícitos ao longo da cadeia produtiva do ouro.

Diante desse cenário, o Módulo de Identificação de Fraudes em Mineração de Ouro (Delphos-Mineração) começou a ser desenvolvido no final de 2020 pelos peritos criminais federais Felippe Pires Ferreira e Ricardo Cordeiro Vitoria de Moraes. Em 2023, a ferramenta foi utilizada pelo PCF Moraes durante o Programa de Mestrado Profissional em Economia da Universidade de Brasilia, patrocinado pelo Ministério da Justiça e Segurança Publica (MJSP), cujo tema de dissertação foi "Mecanismos e ferramentas de combate à lavagem de dinheiro por meio de mineração ilegal de ouro e o impacto da comercialização de ouro nos estados de Mato Grosso e Pará".

A necessidade de desenvolver essa ferramenta também decorreu da análise realizada durante a Ação 03/2021 da Estratégia Nacional de Combate à Corrupção e à Lavagem de Dinheiro (ENCCLA). O tema em questão foi o aprimoramento dos mecanismos de rastreabilidade e fiscalização da cadeia produtiva do ouro, com o objetivo de integrar as ações dos órgãos intervenientes e mitigar os riscos de uso do comércio desse metal para lavagem de dinheiro.

O Delphos-Mineração utiliza dados provenientes da Polícia Federal, ANM, INPE, MDIC e BACEN. A Polícia Federal fornece os alertas de ocorrência de garimpos, via sensoriamento remoto, do Programa Brasil M.A.I.S.; e para os dados minerários são utilizadas as bases da ANM, que incluem o Anuário Mineral Brasileiro, Cadastro Mineiro, SIGMINE e CFEM. Os dados do INPE envolvem DETER e PRODES, também com dados de sensoriamento remoto relacionados à atividade mineral. Do MDIC, são utilizados dados do SISCOMEX, enquanto os dados do BACEN abrangem a cotação de ouro e informações sobre postos e agências autorizados a comprar ouro de garimpo.

"O Módulo de mineração do Delphos se baseia em três princípios: a construção de base de conhecimento pericial, o cruzamento de dados de fontes diversas e essa proatividade na análise de produção de dados. E desses surgiu o módulo de mineração, que tem esse viés de cruzamento de dados, de proatividade, para a gente identificar anormalidades dentro da cadeia produtiva do ouro", explica o perito e coordenador do eixo de análise de dados do programa Felippe Pires Ferreira.

A ferramenta é inédita, de fácil utilização e intuitiva. Desde a sua criação, o Delphos-Mineração tem sido empregado com êxito pela Polícia Federal. Além de permitir a consulta de diversas informações relevantes para verificar possíveis indícios de fraude, a ferramenta possibilita uma rápida e eficiente identificação de lavras fantasmas, utilizadas para legalizar ouro de origem diversa ao local de origem, adquirentes sem permissão e "super produtores" de ouro.

O módulo, além de ajudar a perícia criminal federal, tem contribuído para a deflagração de operações como a Ganância, Golden Greed e Ouropel.

A união entre a ciência e a perícia

"A análise pericial deve sempre seguir o método científico"

Princípio fundamental da perícia criminal

A ciência e a perícia criminal são intrinsecamente relacionadas, visto que os estudos científicos, frequentemente produzidos em ambientes acadêmicos, servem como a base para o desenvolvimento de métodos forenses viáveis e passíveis de reprodução. A aplicação da ciência na perícia é essencial para a administração da justiça, desempenhando um papel central na busca pela verdade em processos judiciais. Isso contribui para a confiabilidade do sistema legal, para a proteção dos direitos individuais e para a promoção de uma sociedade mais justa e segura.

Na maioria das vezes, as requisições de perícia apresentam quesitos com respostas mais simples ou que demandam análises já consolidadas. No entanto, com frequência, a instrução do inquérito exige um exame pericial que ainda não possui método específico, ou a existente ainda é incipiente. Isso foi evidenciado nas demandas relacionadas à identificação de ouro, teor, origem legal ou ilegal e de proveniência geográfica.

Diante dessa necessidade de desenvolver métodos científicos e inovações tecnológicas, foi criado, dentro do POA, um Eixo Técnico-Científico, que objetiva fornecer embasamento e suporte científico a todas as perícias analíticas associadas à cadeia produtiva do ouro.

Para o desenvolvimento desse projeto, estabeleceu-se uma parceria com a Universidade de Brasília (Unb) e a Universidade de São Paulo (USP), resultando na criação do Programa GoldRush - PROCAD/SENASP/2020. As pesquisas são coordenadas entre a Polícia Federal e a academia, contando com o apoio da Agência Nacional de Mineração (ANM - Eixo 6 do Plano de Ação da ACT PF/ANM), do Serviço Geológico do Brasil (CPRM - Projeto Ouro Brasil) e do Centro de Tecnologia Mineral (ACT PF/CETEM).

O estabelecimento de meios científicos forenses para a viabilizar a rastreabilidade do ouro apreendido, com o objetivo de confrontar a legalidade de sua origem, é de fundamental importância para fortalecer os exames periciais e assegurar a adequada persecução penal. Isso assegura que as conclusões dos laudos periciais sejam adequadas para o enquadramento legal das situações investigadas, proporcionando a robustez necessária para resistir ao contraditório adequado. "As análises forenses de materiais minerais, ambientais, ligas metálicas e preciosas, utilizando equipamentos de espectrometria por Fluorescência de raios X, com calibrações específicas, foram desenvolvidas na busca de soluções eficientes para atender a essas crescentes demandas periciais. Isso permite que os peritos criminais realizem análises mais rápidas, com maior qualidade técnica, preservando os materiais para fins probatórios, quando comparadas com as técnicas anteriormente utilizadas" complementa o perito criminal federal Caio Tadao Joko, coordenador do eixo técnico-científico.

A rastreabilidade geoquímica não é um método inédito. O Instituto Federal Alemão de Geociências e Recursos Naturais (BGR) desenvolveu uma assinatura analítica utilizando uma abordagem em diferentes frentes para verificar e auditar a rastreabilidade por meio do projeto TRACE ("Traceability of heterogeneity"). Da mesma forma, outros estudos internacionais vêm sendo conduzidos para investigação dos perfis de composição do ouro. Em 2018, em um estudo pioneiro financiado pelo *World Wildlife Fund for Nature* (WWF), e conduzido pelo Serviço Geológico Nacional da França (BRGM) foi utilizado pela primeira vez uma combinação de composições de elementos menores em matrizes de ouro e dados de microinclusões em ouro para determinar a origem de quatro amostras de ouro supostamente oriundas da Guiana Francesa.

Nessa esteira, o Eixo Técnico-Científico tem como objetivo desenvolver e aplicar ferramentas geoquímicas e isotópicas para o rastreamento do ouro e das contaminações em ecossistemas causadas pelas atividades de extração mineral, por meio do aprimoramento e a implantação de métodos analíticos em amostras coletadas durantes as campanhas de amostragem do POA ou apreendidos pela Polícia Federal.

Os estudos contemplam a caracterização dos diferentes tipos de materiais auríferos operados ilegalmente e das principais províncias auríferas, jazidas fontes dessas casuísticas, verificando parâmetros físicos, químicos, mineralógicos e isotópicos do ouro e de seus minerais paragenéticos. Essas análises possibilitam a individualização, confronto e compatibilidades do ouro apreendido e circulante legalmente que se agregarão ao conjunto de padrões auríferos da Ouroteca da Polícia Federal. Além disso, os dados obtidos durante os estudos estão sendo incorporados ao Banco Nacional de Perfis Auríferos (BANPA).

Além disso, a Diretoria Técnico-Científica da Polícia Federal organizou, em 2022, o Primeiro Seminário Internacional sobre Rastreabilidade e Ilicitudes na Cadeia Produtiva do Ouro na América Latina, reunindo pesquisadores e representantes de diversos países que se debruçam nessa temática, a fim de se conhecer iniciativas similares dos outros países, sejam na academia ou na iniciativa privada.

Atualmente o projeto possui diversos estudos concluídos ou em andamento, e conta com a colaboração de discentes em diversos níveis acadêmicos (graduação, mestrado, doutorado e pós-doutorado), brasileiros e estrangeiros. "Estes estão desenvolvendo estudos com foco na criação de métodos de preparo e separação de ouro oriundos de diferentes materiais geológicos, efeitos físicos e químicos causados pela geometalurgia em ouro, identificação do comportamento morfológico e geoquímico gerados durante as etapas de beneficiamento do ouro, aplicação de técnicas analíticas para aquisição de química de elementos maiores, menores e traços e isótopos de Pb por meio da utilização da Fluorescência de raios X, MEV-EDS, Microssonda Eletrônica, LA-(MC)-ICP-MS, aplicação de *machine learning* em dados presentes no BANPA, isótopos de Hg, correlação com depósitos minerais e caracterização nanogeoquímica do ouro", explica o mestrando da UnB Manoel L. Frazão Jr.

Projeto Gold Rush
Um olhar da ciência

Por Dra. Maria Emilia Schutesky, UnB, Coordenadora do Projeto Gold Rush



Foto: André Zimmerer

Além da investigação científica fomentada pela CAPES no Edital PROCAD Segurança Pública, ressalto a relevância da parceria com a Polícia Federal. Essa colaboração possibilita a aproximação da ciência pura com a aplicação em geologia forense e perícia criminal. Dessa forma, podemos gerar conhecimento, colaborar com os colegas peritos e, ao mesmo tempo, retribuir à sociedade o investimento feito na pesquisa nacional, por meio do combate ao comércio ilegal de ouro.

Nesses dois anos de projeto, enfrentamos alguns desafios: o desafio analítico, ao buscar e desenvolver novos métodos que proporcionem maior confiabilidade à rastreabilidade; desafios científicos, considerando a complexidade do cenário geológico-metalogenético que temos no nosso país, aliado à amplitude geográfica em escala continental, muitas vezes de difícil acesso; e desafio institucional e governamental, no sentido da necessidade de conscientizar os setores público e privado sobre a importância de iniciativas de combate ao comércio ilegal de ouro, como o Programa Ouro Alvo da Polícia Federal.

Hoje, sabemos que o ouro apresenta características microquímicas e isotópicas particulares de acordo com as condições de formação, tornando a rastreabilidade do ouro uma realidade cada vez mais próxima. Estamos investigando como o processo de beneficiamento ao longo da cadeia produtiva, seja por amalgamação com mercúrio ou cianetação, impacta na composição original do ouro. Dessa forma, poderemos propor os melhores parâmetros para rastrear a assinatura primária da fonte, mesmo ao analisar materiais apreendidos em operações da Polícia Federal, os quais geralmente já constituem ouro processado. Nosso objetivo não é apenas realizar pesquisa científica, mas também oferecer um produto aplicável à realidade pericial nacional.

Agora, o maior desafio está sendo adquirir um maior volume de dados, que sejam representativos das diferentes regiões do país, para, dessa forma, integrar geologia, geoquímica e inteligência artificial na identificação da origem do ouro.

Glossário do POA: uma linguagem padronizada

Uma nomenclatura única e padronizada é de fundamental importância para a comunicação efetiva entre a perícia e os operadores de direito. A uniformidade na terminologia evita mal-entendidos e interpretações equivocadas e permite o debate sobre as análises e resultados. Isto é de vital importância no meio técnico-científico, onde a precisão na comunicação é crucial para evitar erros e garantir resultados confiáveis.

"Durante o desenvolvimento dos estudos do POA, observou-se uma discrepância entre as nomenclaturas acerca de produtos, tipologias, equipamentos e processos utilizados pelos peritos criminais federais e demais instituições. Um mesmo material de ouro possui no meio científico, comercial ou mesmo no jargão popular diferentes terminologias, como por exemplo "ouro esponja", "torta" e "bolacha" ou mesmo o mercúrio, que também é chamado de "azogue". Esses termos podem gerar erros e confusões tanto entre os peritos como entre os operadores de direito", comenta o mestrando da UnB Manoel L. Frazão Jr., participante do projeto Gold Rush.

Neste sentido, está sendo desenvolvido o glossário do POA, que possui como objetivo ser um alicerce para uma comunicação robusta e eficiente ao proporcionar clareza, eliminar ambiguidades, promover colaboração e agilizar processos periciais.

"O glossário, eu diria, não é só para os peritos, é para conseguir traduzir as oitivas, é para conseguir dialogar tanto com a documentação técnica, quanto com textos científicos de áreas diferentes e com o meio popular do garimpeiro ou qualquer outro envolvido no garimpo. O glossário não é só útil para a perícia, mas, sim um produto da perícia útil para todo o sistema legal brasileiro", comenta o perito criminal federal Gustavo Caminoto Geiser, do Núcleo Técnico-Científico da Delegacia de Polícia Federal em Santarém-PA. Dessa forma, o glossário é muito mais que uma entrega do Programa Ouro Alvo, é um dicionário de comunicação entre os diferentes atores na cadeia produtiva do ouro.

Este glossário abrange os tipos de ouro analisados pela perícia federal, processos e formas de beneficiamento do ouro, litologias minerais, tipos de extração, ferramentas e equipamentos utilizados no garimpo, jazidas e toda a cadeia produtiva do ouro de forma simples, intuitiva e objetiva com figuras ilustrativas de todos as nomenclaturas.

O desenvolvimento deste glossário é uma iniciativa inédita para a perícia federal no tocante à padronização de nomenclaturas das perícias de ouro. Este projeto está sendo desenvolvido em conjunto com os estudantes de mestrado do Projeto GoldRush da Universidade de Brasília.

Quer saber mais sobre o Programa Ouro Alvo?

Ouça aqui o episódio do podcast Perícia Federal que fala do assunto!

PODCAST Perícia Federal

Rastreabilidade isotópica do ouro. **Viável e promissora**

Por *Perito criminal federal Fábio Augusto Salvador*



"As dificuldades não devem ser rejeitadas; são fonte do crescimento humano. Em vez de rejeitá-las, deveríamos acolhê-las e utilizá-las como ferramenta para o aprendizado"

Nietzsche

Rastreabilidade é um conceito cada vez mais discutido na criminalística, direito internacional e inteligência policial e que necessita estar fundamentado em um método científico e cadeia de custódia rigorosa. A garantia de qualidade e legalidade de bens e valores transacionados ao redor do mundo e o processo de globalização econômica colocaram em confronto diferentes sistemas transnacionais e seus controles. Ressalta-se daí a importância de um método científico para integrar soluções abrangentes, reprodutivas e auditáveis aplicadas à determinação de procedência do ouro.

O ouro é historicamente o mais importante bem mineral metálico, seja como ativo financeiro, mercadoria, lastro monetário ou insumo para produtos tecnológicos e joalheria. Tanto os *stakeholders* na cadeia produtiva do ouro como os órgãos de fiscalização e controle da atividade minerária e da economia do ouro ainda não

se preocuparam devidamente com o domínio da rastreabilidade do metal, desde seus depósitos minerais até em suas diferentes fases de refino. Muito tem sido feito, de fato, no sentido de propor conformidade burocrática das atividades minerárias e transações financeiras, que são importantes, porém suscetíveis a burlas.

O trânsito descontrolado do ouro produzido em minerações de pequena e grande escala através do Brasil e da América do Sul é reconhecido e quantificado em termos de dólares ou toneladas "não auditáveis". Localizar origens e a dinâmica de trânsito do ouro para o exterior, em diferentes formas de apresentação, em produtos de refino desconhecidos e com origem indefinida de suas matérias primas, inicia o ambiente ideal para o combate a ilegalidades.

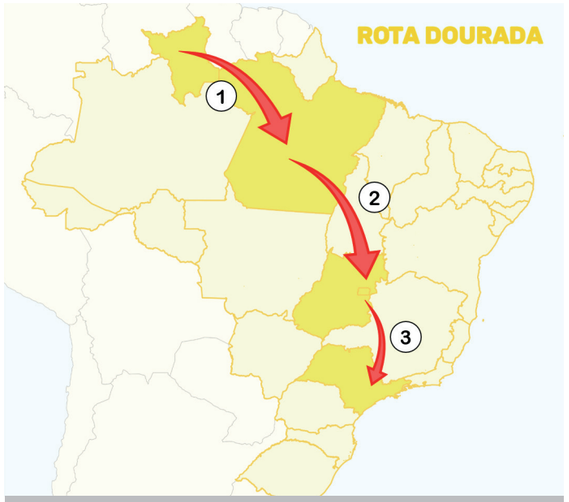


Figura 01: *Representação esquemática de três rotas internas do ouro traficado no Brasil e pelo menos quatro nós para rastreabilidade das etapas de produção e refino, antes de sair do país. O início da cadeia desconsidera o possível fluxo de internalização de ouro de países vizinhos.*

Análises em amostras de ouro que chegam para o exame de peritos criminais, na forma de barras de ouro fundidas de forma bruta (*bullion doré*), lingotes, ouro esponja, amálgamas, pepitas, minério de ouro, minério em tapetes, cavacos, joias, semijoias e bijuterias, permitem sua caracterização para fins forenses, por meio de microscopia ótica e eletrônica de varredura, métodos analíticos geoquímicos e isotópicos.

As principais atividades de exploração aurífera consistem em garimpo/mineração artesanal, mineração de pequena escala (MPE), mineração de média escala (MME) e industrial. No que diz respeito ao meio físico explorado, as atividades podem ser realizadas na água e em terra. As principais formas de extração incluem o uso de balsas/dragas comumente utilizadas por garimpeiros de forma ilegal, túneis rudimentares e pequenos poços (garimpos e MPE), cavas ao céu aberto (garimpo, MPE e MME e industrial) ou minas subterrâneas (MME e industrial).

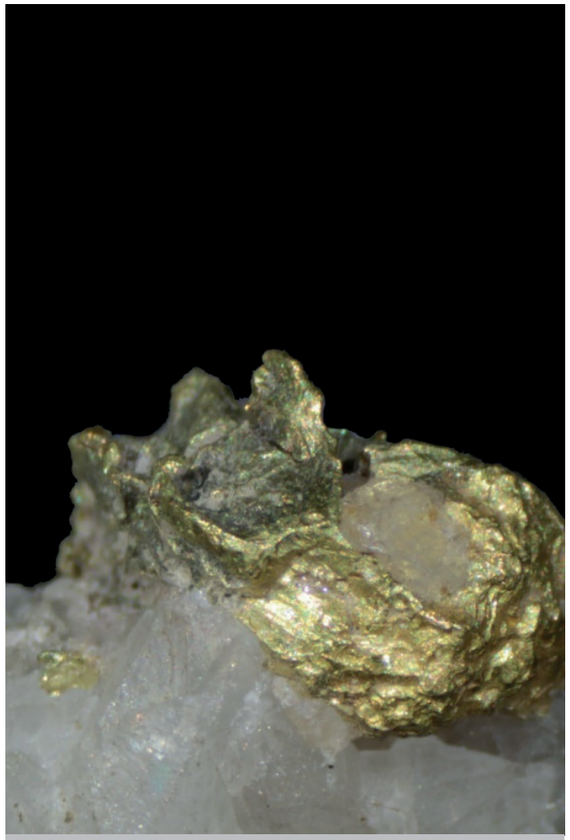


Figura 02: *Ouro em quartzo. Fonte: INC/DITEC.*

"A Aplicação de isótopos de Pb no rastreamento de ouro" – O projeto de pesquisa de pós-doutorado

O uso de análise de sinais de razões isotópicas em ouro e prata em rastreabilidade é tradicionalmente aplicado na geoarqueologia para definição de proveniência de peças históricas. Resultados práticos de identificação de origem de moedas e outros artefatos atestam a viabilidade da aplicação dessa técnica em associação com dados geoquímicos e petrológicos dos depósitos de ouro e seus produtos correlacionados.

Desenvolvido na Universidade de São Paulo (USP), com o apoio da Polícia Federal, o objetivo do projeto de pesquisa de pós-doutorado é proporcionar aprendizado e treinamento nos fundamentos teóricos dos sistemas isotópicos U –Th – Pb com ênfase na técnica Pb – Pb. O projeto também abrange a pesquisa do estado atual da arte em aplicações de isótopos de Pb na caracterização de fontes de metais e em metalogenia, além da seleção e preparação de amostras de ouro e de minério de ouro para análises isotópicas, treinamento prático em técnicas analíticas para determinar composição isotópica de chumbo (Pb) em amostras geológicas, treinamento prático em análises isotópicas por espectrometria de massa, tratamento dos dados isotópicos obtidos em diagramas apropriados e a interpretação geológica dos resultados isotópicos obtidos para caracterização de fontes de metais. Além disso, a pesquisa visa o desenvolvimento de técnicas inovadoras para a aplicação de isótopos de Pb no rastreamento de ouro com reprodutibilidade.



Figura 03: *Túnel subterrâneo da Mineração Tabiporã/PR*



Figura 04: *Bullion de ouro – ouro semirrefinado produzido nas fundições das minerações – contendo acima de 70% de ouro e tendo a prata como principal impureza.*

Para as pesquisas e análises na USP, ao longo do período de pesquisa em 2023/2024, estão sendo selecionadas amostras para encaminhamento aos laboratórios do Instituto de Geociências da USP (IGc), a fim de gerar dados analíticos de natureza geoquímica e isotópica, que serão posteriormente inseridos no BANPA.

Nas etapas de preparação e análise do ouro estão integrados o Laboratório de Separação e Preparação de Amostras (LSP), com tratamento de amostras para inserção nos equipamentos do Laboratório de Química Isotópica (LQI), no Laboratório de Espectrometria de Massas (LEM) e no Laboratório LA-MC-ICPMS da USP.

Como a análise de traços de metais usando técnicas de espectroscopia requer a preparação de padrões de referência com concentrações exatas de cada metal potencialmente presente, testes analíticos específicos prévios servem para garantir a conformidade dos procedimentos laboratoriais.

O uso de padrões internacionais para comparações, o total controle sobre contaminações e medição de erros compõem, juntamente com a cadeia de custódia, a base das pesquisas científicas sobre rastreabilidade do Programa Ouro Alvo. Desde amostras com ouro na estrutura cristalina de sulfetados até amostras de ouro livre, puro e beneficiado, protocolos adequados permitem uma quantificação precisa e a identificação de variações nas quantidades de chumbo no ouro, o que é crucial para determinar sua proveniência.

Cavacos obtidos por perfurações nas barras de ouro apreendidas pela PF podem conter variáveis concentrações de chumbo. Eventuais testes e lavagens por HNO3 são exigências para descontaminações das furadeiras usadas para a escarificação.

Sinais no espectrômetro de massa podem ser prejudicados quando ocorrerem defeitos na purificação ou saturação de suportes da amostra, bem como por excessos de Pb e amostras insuficientes, o que afeta a composição dos erros analíticos totais.

Todo controle das etapas de análise isotópica é realizado em associação com as análises prévias feitas por Fluorescência de raios X, bem como com análises estatísticas necessárias às interpretações geoquímicas de interesse da rastreabilidade no âmbito do Programa Ouro Alvo.

Análises com equipamentos de *laser ablation* podem se tornar um método preciso e célere para fins forenses. Em conjunto com uma sala limpa para a preparação de amostras de chumbo, essas análises podem fornecer dados suficientes para responder a questionamentos em inquéritos policiais, atender às demandas da defesa da ordem jurídica, do regime democrático, dos interesses sociais e individuais indisponíveis e a todo o processo criminal.

A autonomia do INC para a conclusão dessas etapas analíticas sustentadoras de provas técnico-científicas é o principal objetivo da linha de rastreabilidade geoquímica e isotópica. A construção de gráficos de razões isotópicas de Pb, considera os valores 206Pb/204Pb e os valores de 207Pb/ 204Pb e 208Pb/204Pb.

A meta principal da pesquisa é desenvolver uma metodologia que permita fazer afirmações seguras sobre as semelhanças e diferenças nos sinais isotópicos entre amostras, indicando possibilidade de minérios de ouro com origens distintas ou misturas em diferentes proporções de ouro de locais variados.

Interpretações geocronológicas dos resultados analíticos das razões isotópicas de amostras sem origem definida e amostras com origem garantida, colhidas *in situ*, podem associar a assinatura isotópica do minério de ambientes geológicos definidos a peças apreendidas.



Figura 05: *Cavacos de ouro obtidos de barras por perfuratriz.*

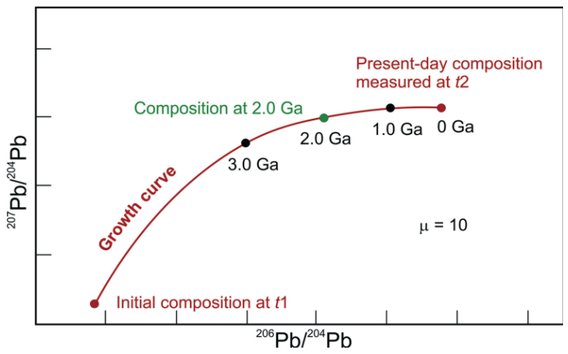


Figura 06: *Curva de crescimento de estágio único. As proporções de isótopos de Pb mudam ao longo de uma curva de crescimento, desde a composição inicial em t1 até a composição atual em t2. O caminho da curva de crescimento. A curva de crescimento representa uma sequência de pontos de tempo (Halla, J., 2018).*

Sobre as propostas analíticas e laboratoriais

A necessidade de interação de conhecimentos científicos de maneira integrada para a resolução dos principais questionamentos apresentados aos peritos criminais federais pelas autoridades policiais e judiciárias fez com que cada instituição parceira orientasse seus esforços para campos específicos:

Geologia básica dos depósitos minerados,

Morfologias de grão de ouro,

Mineralogia de minérios primários e aluvionares,

Análise de vestígios em suportes (tapetes, bateias, calhas, cuias, lingoteiras),

Composição química de produtos de beneficiamento,

Composição isotópica natural e em produtos beneficiados,

Aplicação de marcadores artificiais em barras de ouro.

O LA-ICP-MS tem sido usado para impressões digitais forenses de ouro desde a década de 1990. Essa técnica foi desenvolvida para tentar distinguir ouro roubado ou realocado.

A Austrália e a África do Sul têm criado, à semelhança da Polícia Federal do Brasil, bancos de dados para materiais de referência de ouro extraído e processado. A Austrália decidiu não incorporar a análise regular de ouro dos produtores de ouro por lei.

Em contrapartida, o governo da África do Sul aprovou o "*Precious Metals Act, 2005*". A cada seis meses, cada produtor de ouro licenciado deve enviar uma amostra representativa de diferentes estágios de produção (ouro nativo e doré) para o Laboratório de Ciências Forenses dos Serviços de Polícia da África do Sul (FSL).

De acordo com Dixon (2014), a maioria das amostras armazenadas no banco de dados de ouro da África do Sul consiste em perfurações de barras de ouro doré, que são o produto da atividade de mineração.

As ligas e joias de ouro têm teores distintos de ouro relacionados à sua finura. Em geral, os teores de zinco e cobre são mais altos em ligas e joias de ouro do que em barras de ouro. Ni e Co às vezes ocorrem em joias, mas não de forma consistente. O chumbo está presente em baixas concentrações em todos os depósitos naturais de ouro e também é encontrado em diferentes concentrações nos lingotes provenientes de minas. Níveis de Sn, bem como a presença de Hg e Pb, indicam processamento bruto (amalgamação e fundição em baixa temperatura).

Apesar de as concentrações de chumbo no ouro nativo serem normalmente baixas, em amostras pequenas, o uso de soluções em e LA-MC-ICP-MS pode ser útil para amostras de ouro arqueológico e nativo.

Essa técnica, eventualmente complementar à espectrometria de massas, fonte sólida – TIMS e de plasma – ICPMS, que serão aplicadas para a determinação da composição isotópica do chumbo presente nas amostras de ouro, fornecendo dados que serão interpretados e que sustentarão as conclusões de laudos periciais e trabalhos acadêmicos.

Análises microscópicas óticas mantêm sua importância na interpretação de vestígios forenses e, em conjunto com imageamentos por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e microanálises químicas por espectrometria de energia dispersiva de raios X, sempre podem antecipar e acompanhar as etapas de pesquisa das evidências associadas ao ouro.

Bibliografia

ALBARÈDEA, F.; DESAULTY, A-M; BLICHERT-TOFT, J. A geological perspective on the use of Pb isotopes in archaeometry. Archaeometry, v.54, p. 853-867, 2012.

CASSINI, L. V.; JULIANI, C. Hydrothermal Alteration and Gold Mineralization of the Patrocínio Village on the Tapajós Mineral Province, Northern Brazil.. In: 8 Hutton Symposium on Granites and Related Rocks, 2015, Florianópolis. Book of Abstracts. Florianópolis, 2015. v. 1. p. PT.087.

CORTEZ, J.; FARIAS FILHO, B.; FONTES, L.; PASQUINI, C.; RAIMUNDO, I.; PIMENTEL, Maria Fernanda; DE SOUZA LINS BORBA, F. . A Simple Device for Lens-to-Sample Distance Adjustment in Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). APPLIED SPECTROSCOPY, v. 71, p. 634-639, 2017.

CRUNDWELL, G. R. (2009): Enhancing the validity of the SAPS gold fingerprinting database through improved.

DIXON, R. D. (2014): Provenance of illicit gold with emphasis on the Witwatersrand basin. Dissertation. University of Pretoria, Pretoria (SA). Faculty of Natural and Agricultural Sciences.sample-collection techniques.

HALLA, J. Pb isotopes – A multi-function tool for assessing tectonothermal events and crust-mantle recycling at late Archaean convergent margins. Lithos, University of Helsinki, Finland, 320–321, p. 207-221, 2018.

HOLMQVIST, E.; WESSMAN, A.; MÄNTTÄRI, I.; LAHAYE Y. Lead isotope and geochemical analyses of copper-based metal artefacts from the Iron Age water burial in Levänluhta, Western Finland. Journal of Archaeological Science: Reports v.26, 2019.

HRUSCHKA, Felix; MELCHER, Frank; KAIN-BÜCKNER, Birgit Analytical tools to constrain the origin of gold from conflict--affected and high-risk áreas. Scoping study based on the RD Congo., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2016. 143p. ISBN: -943566-35-2

JULIANI, C.; RYE, R. O.; NUNES, Carmen Maria Dantas; SILVA, Rafael Hernandes Corrêa; MONTEIRO, L.V.S.; NEUMANN, Reiner; ALCOVER NETO, A.; BETTENCOURT, Jorge Silva; SNEE, L. W. . Paleoproterozoic high-sulfidation mineralization in the Tapajós Gold Province, Amazonian craton, Brazil: geology, mineralogy, alunite argon age and stable isotopes constraints. Chemical Geology , v. 215, p. 95-125, 2005.

POCHON, Anthony; DESAULTY, Anne-Marie; BAILY, Laurent; LACH, Phillippe. Challenging the traceability of natural gold by combining geochemical methods: French Guiana example. Applied Geochemistry, v. 129, 2021. 15p.

ROBERTS, Richard J.; DIXON, Roger D.; MERKLE, Roland K. W. Distinguishing Between Legally and Illegally Produced Gold in South Africa. Journal Of Forensic Sciences, [S.L.], v. 61, p. 230-236, 25 ago. 2015. Wiley.

SILVA, Maria da Glória da. Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras/ Organizadores Maria da Glória da Silva, Manoel Barretto da Rocha Neto, Hardy Jost [e] Raul Minas Kuyumjian... – Belo Horizonte: CPRM, 2014. 589 p.

STANDISH, C. D., MERKEL S. W., HSIEH Yu-Te, KERSHAW J. Simultaneous lead isotope ratio and gold-lead-bismuth concentration analysis of silver by laser ablation MC-ICP-MS. Journal of Archaelogical Science, v. 125, 2021.

STOS-GALE, Z. A.; GALE, N.H. Metal provenancing using isotopes and the Oxford archaeological lead isotope database (OXALID) / Published online: Springer-Verlag 2009.

WATLING, R.John; HERBERT, Hugh K.; DELEV, Dianne; ABELL, Ian D.. Gold fingerprinting by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, [S.L.], v. 49, n. 2, p. 205-219, fev. 1994. Elsevier BV.

Uma dinâmica diferente nos crimes **financeiros e o uso da lei de Benford**

Por *Perito criminal federal*
Vitor Gomes Figueiredo



"Follow the money"

Henry Peterson

O garimpo ilegal, tanto quanto qualquer outro crime de motivação financeira, precisa, necessariamente, de fazer com que os ganhos obtidos ilegalmente tenham a aparência de ganhos lícitos, evitando assim a descapitalização pelo aparelho estatal. Essa atividade, de fazer parecer lícito um recurso de origem criminosa, é chamada de "Lavagem de Dinheiro" ou "branqueamento de capitais".

Em geral, criminosos utilizam o sistema financeiro com auxílio de artifícios contábeis e fiscais para dissuadir a origem criminosa de seus patrimônios. Nos garimpos ilegais, a legislação permissiva e a impressionante falta de meios de controle estatal desde a extração, refino, venda até a exportação de ouro, proporcionaram que a atividade de lavagem de dinheiro se torne relativamente simples.

Nesse crime, inclusive, é igualmente adequado falar em "esquentamento de ouro" como sinônimo de lavagem de dinheiro. Isso pelo fato de que o ponto principal da dissimulação de legalidade do capital adquirido pela venda do ouro ilegalmente extraído está na entrada do ouro no primeiro elo formal da cadeia: pelas mineradoras por meio de fraudes documentais ou pelas adquirentes do metal por meio do falseamento da origem do ouro.

Outro método muito comum é a utilização de pessoas físicas como fornecedoras fictícias de ouro na figura de garimpeiros de fachada. Neste, um arranjo empresarial criminoso utiliza-se de pessoas jurídicas supostamente aptas a adquirir ouro de pessoas físicas (como postos de compra de ouro - PCOs ou joalherias) para emitir notas fiscais de compra tendo essas pessoas físicas (geralmente aos milhares) como falsos fornecedores.

Outros tipos de fraudes envolvendo ouro são possíveis e muitas delas se utilizam de DTVMs (Distribuidoras de Títulos e Valores Mobiliários) que atuam nesse mercado adquirindo ouro-metal e transformando-o, em um processo meramente escritural, em ativo financeiro. Ainda que as tipologias sejam muitas, o esquentamento do ouro pela dissimulação de origem por meio de artifícios contábeis e fiscais é onipresente.

A grande dificuldade de fiscalização e de investigação do aparato estatal neste tipo de fraude decorre do fato de que fraudes bem elaboradas se utilizam de grandes quantidades de operações, misturando as de origem legal com inúmeras outras de origem ilegal.

Essa operação, que é conhecida como "mesclagem", se beneficiou muito com o avanço tecnológico de sistemas contábeis e fiscais. Com o avanço dos *softwares* e o barateamento de computadores, com mais capacidade de processamento, é cada vez mais viável que programas façam enormes quantidades de operações simuladas em meio a operações reais, tornando muito difícil que auditorias ou investigações consigam separar o joio do trigo.

Outro ponto que faz com que a garimpagem ilegal se diferencie de outros crimes nos métodos de lavagem de dinheiro é que o recurso monetário entra no sistema financeiro já "limpo". Isso ocorre porque na emissão das notas fiscais de compra do ouro a empresa adquirente consegue justificar seus estoques do metal precioso e vendê-lo a terceiros sem grandes dificuldades. Além disso, os compradores ficavam isentos de verificação da origem do ouro, em um conceito conhecido como presunção de "boa-fé", recentemente suspenso pelo STF.

Assim, diferentemente da maioria dos crimes, os recursos financeiros obtidos pela venda do ouro ilegal já estão disponíveis como dinheiro limpo assim que entram no sistema bancário, alterando completamente a forma de atuação do aparelho estatal na investigação desses crimes.

Esse tipo de fraude, que vem se tornando cada vez mais sofisticada, requer do aparelho estatal não só conhecimento técnico, mas também ferramentas computacionais e técnicas de análises de dados avançadas

Vieses da mente humana

É comum que os agentes de esquemas de lavagem de dinheiro necessitem "inventar" operações lícitas para mesclar os recursos de origem criminosa (ilícita) com os recursos de fontes legítimas. Nesse momento criminosos deixam vestígios de fraude: vieses na criação de números aleatórios.

Periodicamente as empresas terão quantidades de ouro em estoque muito superiores à quantidade de ouro comprada de origem lícita, obrigando-as a inventarem operações de compra do metal para maquiar a origem de garimpo ilegal. Nesse momento fica claro que uma única nota fiscal, com um único beneficiário deixaria fácil o trabalho de fiscais, policiais e outros agentes de repressão ao crime. Logo, a alternativa é simular centenas e até milhares de pequenas operações realizadas entre outra quantidade de centenas ou milhares de fornecedores.

Nessa etapa quantidades de ouro e valores de notas fiscais terão de ser inventados de forma a dar lastro à movimentação financeira (os pagamentos efetuados pela empresa criminosa) e ao estoque de ouro a ser vendido. Durante esse processo a aleatoriedade natural deixa de ser preponderante uma vez que, sem perceber, todo humano inventa conjuntos numéricos com vieses numéricos relacionados à predileção por números que nos parecem naturais.

As notas fiscais de compra de ouro de pessoas físicas, emitidas pelas empresas adquirentes, tem seu valor relacionado a menos três variáveis naturais: a cotação do ouro, a quantidade e a pureza. Assim sendo, a operação de compra de ouro de garimpo de uma quantidade suficientemente grande de garimpeiros, quando realizada de forma lícita, ocorre de forma incremental, ou seja: é mais comum que um vendedor tenha entre 100 e 199 gramas de ouro do que entre 200 e 299 gramas, e assim por diante.

Dado que a percepção humana de aleatoriedade tem o próprio viés humano, ao inventar um conjunto numérico pessoas tendem a desconsiderar a natureza incremental dos números e inevitavelmente acabam por gerar vieses propositais e não propositais, o que não ocorreria em um ambiente econômico livre de fraudes.

A consequência é que um conjunto grande o suficiente de dados naturais tem uma distribuição e comportamentos característicos, os quais não ocorrem em dados manipulados. Essa discrepância pode ser evidenciada em exames exploratórios e estatísticos, os quais serão abordados neste artigo[1].

Lei de Benford

A Lei de Benford (ou Lei Newcomb-Benford) tem sua origem na observação feita pelo astrônomo Simon Newcomb, em 1881, de que as primeiras páginas dos livros de logaritmos da época estavam mais desgastadas do que as últimas. Essa observação fez com que o astrônomo hipotetizasse que os números não ocorrem de

[1] Neste artigo será utilizado como exemplo um conjunto de notas fiscais utilizado em laudo de perícia criminal em um caso real de esquentamento de ouro, o qual contém aproximadamente 64 mil notas fiscais emitidas entre 2019 e 2022 por empresa que adquiria ouro de origem ilegal.

forma homogênea, como seria natural imaginar, mas sim, em uma escala logarítmica onde dígitos menores surgiriam com mais frequência do que dígitos maiores.

Somente 57 anos após a observação de Newcomb, em 1938, é que a lei toma corpo no mundo científico, quando surgem os estudos de Frank Benford. Benford realizou estudos empíricos em 20 domínios diferentes, indo da área de rios à população de cidades americanas passando por pesos moleculares, e concluiu que em todos os casos os números seguiam uma distribuição de dígitos conforme observara Newcomb.



Foto: André Zimmerer

Mark Negrini em apresentação no Interforensics, em agosto de 2023

Em 1972, o economista Hal Varian sugeriu que a lei fosse útil para detectar fraudes em dados socioeconômicos e, em 1995, a lei foi provada matematicamente por Theodore Hill causando grande interesse pela comunidade científica. Em 1996, Mark Nigrini demonstrou que a lei era útil para detectar fraudes contábeis-financeiras e fiscais, este autor que tem sido a grande referência seminal para peritos, auditores e fiscais do mundo todo quando o assunto é o uso da Lei de Benford na detectação de fraudes.

Pela Lei, o primeiro dígito de um número segue uma distribuição aproximadamente igual a da Figura 1, calculada por uma função logarítmica. Ainda, a Lei previu também a distribuição esperada para os dois primeiros dígitos de um número, conforme Figura 2.

Figura 1 - Distribuição esperada do 1 dígito pela Lei de Benford

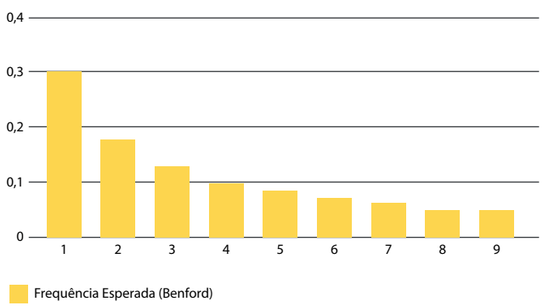
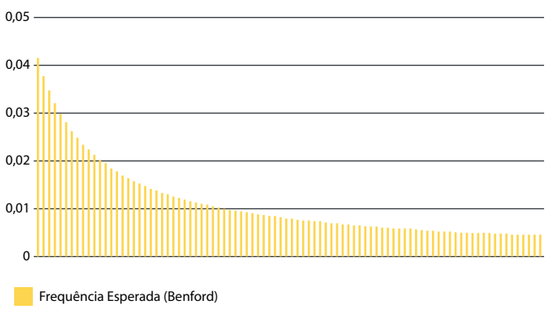


Figura 2 - Distribuição esperada dos 2 primeiros dígitos pela Lei de Benford



Em um conjunto tão grande de notas fiscais (NF), como é o caso do exemplo utilizado neste artigo, sem a interferência humana, seria esperado que o conjunto de notas seguisse uma distribuição aproximadamente igual a da Lei de Benford, no entanto isso não ocorreu como se vê nas Figura 3.

Já na Figura 4, observamos que os dois primeiros dígitos mais repetidos são os dígitos 18 e 19, ocorrendo em frequência muito superior à esperada, evidenciando a interferência humana na criação dos valores de notas fiscais.

Figura 3 - Distribuição do primeiro dígito do valor das NF

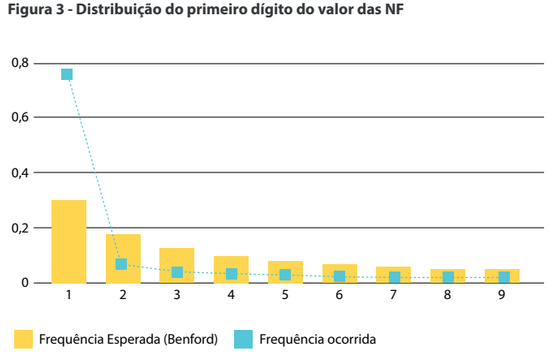
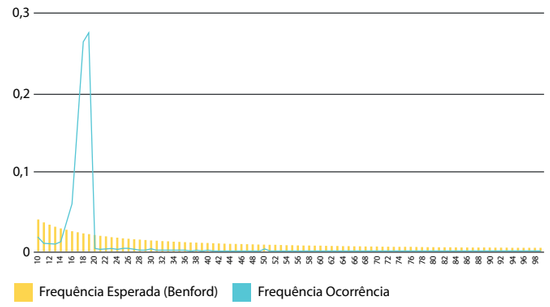
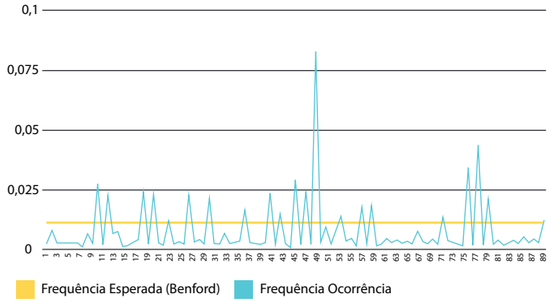


Figura 4 - Distribuição dois primeiros dígitos do valor das NF



Na sequência examinou-se a ocorrência dos dois últimos dígitos, que de acordo com a teoria, têm frequência esperada de 1% para cada par de dígitos finais. No gráfico da Figura 5 observa-se que o dígito 54 apareceu aproximadamente 8 vezes mais do que o esperado, revelando um viés humano.

Figura 5 - Distribuição dos 2 últimos dígitos (centavos) dos valores das NF



O resultado prático da utilização de técnicas estatísticas de exploração dos dados foi a redução de 64 vezes o tamanho de notas fiscais de interesse investigativo e de 50 vezes a quantidade de pessoas de interesse. Isso porque essa técnica permite direcionar os esforços em operações e pessoas com alta probabilidade de fraude, no esforço de identificar operações ilícitas em uma base de dados altamente mesclada.

Em meados dos anos 2000, as cortes americanas começaram a aceitar a lei de Benford como prova de fraudes. Atualmente a análise dos dígitos pela Lei de Benford é largamente utilizada como marcador de análises de auditoria, perícia cível e perícia criminal, estando presente em *softwares* de auditoria e de análises de dados.

Tresholders

O termo *Tresholder* refere-se a valores muito próximo a um determinado limite. Um exemplo de tresholder são operações em valores muito próximos aos limites de isenção de pagamento ou retenção de tributos.

No caso em tela, um sinal de fraude pode ser visto na grande quantidade de compra de ouro com valor muito próximo ao limite de retenção de imposto de renda de R$ 19.039,80 por nota fiscal de compra de ouro por pessoa física.

Na figura 6 temos um histograma relacionando a frequência relativa do conjunto de notas fiscais com um intervalo de valor (no gráfico apresentamos apenas o valor máximo). Nele podemos observar que quase metade das notas fiscais emitidas estavam entre R$ 17 mil e R$ 19.039,80, justamente o *tresholder* de imposto de renda retido na fonte.

Esse tipo de artifício é usado por criminosos em pelo menos dois interesses: 1) como uma forma de evasão fiscal; e 2) como meio de viabilizar laranjas inconscientes. Uma vez que nem todas as pessoas (e seus respectivos CPFs) utilizadas nos documentos fiscais são laranjas conscientes (tipo de partícipe que cede seus dados em conluio criminoso) – uma parte são nomes e CPFs de pessoas que não fazem parte e muitas vezes sequer tem conhecimento do esquema.

Esse segundo grupo de pessoas, os laranjas inconscientes, caso tenham documentos fiscais com retenção de imposto de renda, cairão automaticamente na malha fina fiscal. Isso pelo fato de que desconhecem as retenções e consequentemente deixarão de declará-las ao fisco na declaração de ajuste anual. Essas pessoas ao serem comunicadas pelo órgão fiscal de estão na malha fina, poderiam pôr em risco o esquema ao denunciar às autoridades competentes o uso indevido de seus dados fiscais.

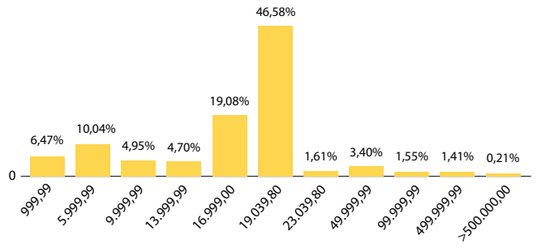
Follow the Money

Se por um lado a lavagem de dinheiro (ou esquentamento de ouro) não segue a mesma lógica da maior parte dos esquemas tradicionais de lavagem de dinheiro, por outro, é inevitável que fraudes fiscais sejam realizadas.

Assim sendo, a metodologia padrão utilizada por peritos e investigadores pode não ser suficiente para materializar o esquentamento do ouro e as fraudes fiscais e contábeis. Por conta disso esses atores devem se atentar que esse tipo de esquema não requer empresas de fachada, remessas à *offshore* ou o uso de laranjas como sócios, uma vez que o ouro fica "esquentado", quando da compra ilegal, de modo que o recurso financeiro é incorporada ao sistema financeiro já limpo, sem a necessidade de lavagem.

Técnicas de análises exploratórias e estatística de dados são extremamente úteis para a delimitação do foco investigativo ou pericial, além de serem capazes de produzir indícios da existência de fraudes. Tais ferramentas, juntamente com os esforços de análise laboratorial do ouro para determinação de origem, são essenciais para garantir o combate aos ilícitos relacionados à extração ilegal de ouro, e sua consequente lavagem e comercialização.

Figura 6 - Frequência Relativa



Mercúrio no Amazonas: uma perspectiva forense em 2023

Por *Perito criminal federal Ricardo Lívio*



O problema do mercúrio é, antes de tudo, uma consequência direta do mercado macroeconômico do ouro.

O mercúrio, por muitas décadas, foi e ainda persiste indissociável da mineração de ouro em ambientes amazônicos, mais especificamente os rios amazônicos mineralizados. Nessas regiões, em resposta às condições naturais de jazimento do minério e à cultura garimpeira regional, desenvolvem-se formas de processar o minério que, mesmo com adaptações locais, são todas dependentes do uso de mercúrio, tido como um insumo imprescindível.

As minerações de ouro artesanais e de pequena escala (ASGM – *artisanal and small scale gold mining)*, no Amazonas, fazem uso de mão de obra fornecida pelas populações rurais próximas e migrantes de outros garimpos, onde adquiriram prévia experiência. Essas atividades ocorrem principalmente em regiões ermas, distantes de centros urbanos, como nos municípios de Japurá, Jutaí e Maués. De forma oposta, também ocorrem no Rio Madeira, que cruza municípios no Amazonas e somam mais de 150 mil habitantes. O alto valor de mercado do ouro, associado às limitadas oportunidades econômicas nas regiões onde ocorrem, torna essa atividade uma opção de ganho de vida para os ribeirinhos.

As mesmas características tornam a mineração uma forma de enriquecimento, geralmente ilícita, para aqueles que possuem capital para investir. As atuais técnicas de extração do minério operam em condições em que um pré-financiamento é exigido. Os lucros obtidos com a mineração de ouro, com ou sem a outorga da Agência Nacional de Mineração (ANM), fomenta um método produtivo voltado para o investimento lucrativo na obtenção do produto – o ouro.

O modelo de negócios dos investidores baseia-se no pré-financiamento da extração, com a aquisição de meios e logística. Eles controlam as trocas econômicas ao gerenciar o fornecimento dos insumos e acesso aos mercados para extração, processamento, beneficiamento e comercialização do metal. Os insumos podem ser resumidos da seguinte forma: a) em uma plataforma de extração, representada por balsas nos rios amazônicos e meios para manutenção; b) uma draga para retirar o minério do meio ambiente e direcioná-lo ao processamento; c) mercúrio na fase final de processamento do minério e d) uma grande quantidade de combustível. Controlar o fornecimento de combustível e mercúrio é gerir a produção de ouro de garimpo. O combustível é utilizado na extração do minério, enquanto o mercúrio assegura ao fornecedor acesso ao ouro no momento da recuperação do metal, permitindo a separação do metal valioso do rejeito sem valor financeiro – momento em que o valor surge.

O ouro

O gráfico da figura 1 mostra variações no preço do ouro nos últimos 30 anos no mercado mundial. Entre os anos 90 e 2003, observa-se um aparente período de estabilidade econômica. Até 2013, houve uma rápida ascensão, possivelmente refletindo um cenário geopolítico instável e a crise financeira de 2008. Estabiliza novamente até 2019, a partir do qual volta a crescer em um cenário de covid-19 e instabilidade geopolítica.

No Amazonas, a reativação de antigos garimpos e a abertura de novos foi progressiva. A partir de 2016, as denúncias de garimpos começaram a chegar com mais frequência, acelerando progressivamente até 2020, a partir do qual houve rápida expansão.

Garimpo

Os garimpos são tratados aqui como Minerações Auríferas Artesanais e/ou de Pequena Escala (ASGM - *Artisanal and Small-Scale Gold Mining*), que realizam práticas extrativistas de mineração em jazidas, utilizando técnicas não industriais, geralmente rudimentares. O legislador, no Decreto-lei nº 318, de 1967, artigo 70, menciona o uso de "instrumentos rudimentares, aparelhos manuais ou máquinas simples e portáveis". Também especifica que a extração deve ocorrer em depósitos secundários que concentrem minérios em solos transportados por águas (aluvionares), por gravidade (coluvionar) ou mesmo sem transporte algum (eluvio).



Figura 01: *Variação do valor do ouro ao longo do tempo*

A Lei nº 11.685, de 2 de junho de 2008, conhecida como Estatuto do Garimpeiro, é mais permissiva e simplifica ao considerar a extração mineral para fins econômicos que possam ocorrer independentemente de prévios trabalhos de pesquisa, em minérios desagregados. Essas definições legais têm pouca correspondência com a realidade atualmente encontrada em campo nos garimpos do Amazonas.

No Amazonas

No Amazonas, os garimpos trabalham o minério de três formas principais e suas derivações. São processos que se adaptam às formas de jazimento do minério, bem como às condições geográficas, como distância de centros regionais, logística, cultura garimpeira, capacidade de investimento inicial, entre outras. Esses processos também são setorizados no estado (Figura 02):

a. Garimpos tipo Madeira: São construídos a partir de plataformas flutuantes, conhecidas como balsas, possuem casco de madeira. Utilizam hastes maleáveis para dragar o fundo do rio, adaptando-se melhor ao relevo subfluvial. Operam motores a diesel e dragas, geralmente de pequeno porte. Esses garimpos operam principalmente em aglomerações lineares, pertencentes ao mesmo proprietário ou grupo (Figura 03). Também podem ocorrer no Rio Jutaí, embora sem a formação de aglomerados. Esses garimpos operam próximos a centros urbanos, aproveitando as facilidades logística disponíveis.

b. Garimpo tipo Rio Boia: Estes garimpos atuam na mineração dos rios em regiões remotas da Amazônia ocidental. Utilizam plataformas flutuantes com casco de metal, empregando motores e dragas de grande porte. A extração do minério é realizada com hastes de metal resistente que draga as margens de rios meandrantes com grandes planícies de inundação, causando obliteração completa das matas ciliares e seus solos. Essas práticas também resultam em assoreamento no leito do rio e transformam completamente a geomorfologia (Figura 04). As balsas possuem grandes estruturas e têm capacidade de operar por meses, sem a necessidade de sair da área.

c. Garimpos que seguem a tradição do Tapajós: Lavram desde solos até o minério primário, como rochas intemperizadas, principalmente a partir da terra, utilizando maquinário como tratores, caminhões e retroescavadeiras (Figura 05). Esses garimpos ocorrem na região de Maués e apresentam condições geológicas associadas às mineralizações do Tapajós; também sendo encontrados de forma dispersa no sul do estado.

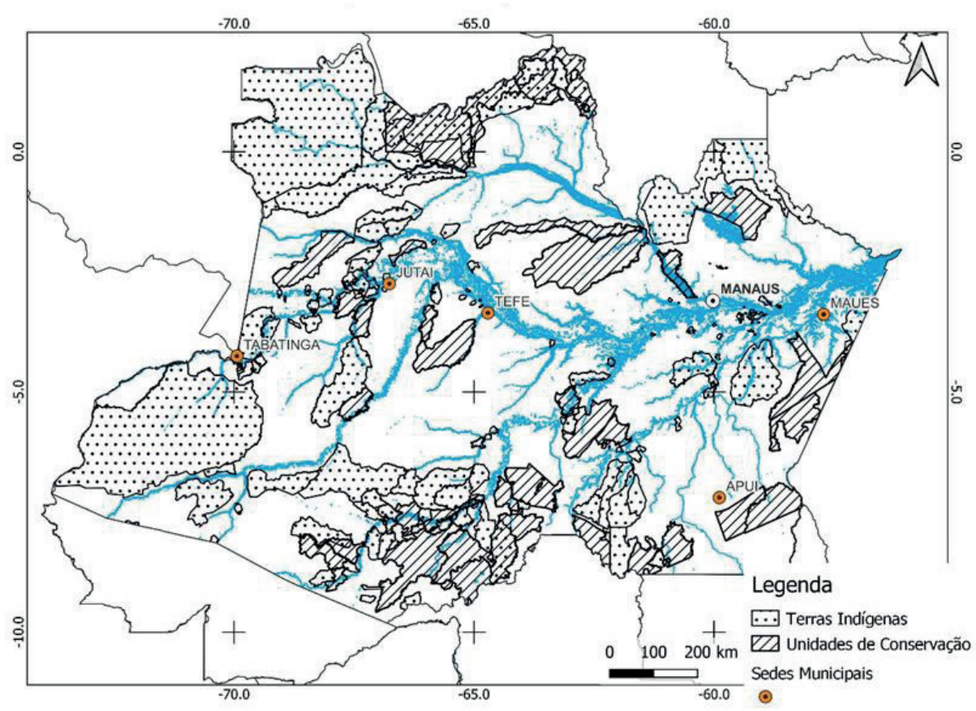


Figura 02: *Regiões com as principais ocorrências de garimpo no Amazonas – Laudo 930/23 SETEC/AM*



Figura 03: *Extração ilegal de ouro no rio Madeira – Laudos 581/22 e 610/22 SETEC/AM*



Figura 04: *Extração ilegal de ouro no rio Boia – Laudo 228/22 SETEC/AM*



Figura 05: *Extração ilegal de ouro em terra – garimpo Abacaxis – Laudos 366/23 e 713/15 SETEC/AM*

O processamento do minério, nos dois primeiros tipos de garimpo, é essencialmente dependente do mercúrio. No terceiro tipo, por características do próprio minério atualmente lavrado, é parcialmente dependente do mercúrio. O exaurimento progressivo dos depósitos secundários direciona a atividade para o material menos intemperizado, menos oxidado, que exigem o processamento com cianetação.

O Mercúrio

O uso do mercúrio (chamado azougue pelos garimpeiros) na atividade mineira deriva de sua capacidade de formar liga com o ouro, resultando o amalgama mercúrio-ouro. A OMS (Organização Mundial de Saúde) considera o mercúrio uma das seis substâncias mais danosas à saúde humana e ao meio ambiente. Trata-se de um metal pesado, poluente, com ampla distribuição global; identificado pelo símbolo Hg e número atômico 80. Possui densidade de 13.58 kg/m^3 e é líquido em condições ambientais de temperatura e pressão. Ele é encontrado na natureza em três apresentações principais: forma elementar Hg^0 (mercúrio metálico), formas iônica Hg^{+1} e Hg^{+2}; em compostos organomercuriais. Entre essas formas, as orgânicas são as que representam mais risco de contaminação para os seres vivos. Podem afetar o sistema nervoso central, o cardiovascular, renal e endócrino. Seus efeitos se manifestam ao longo de gerações, sendo mais graves em mulheres grávidas.

A presença do mercúrio como contaminante representa um risco significativo para o ecossistema e para a saúde humana, mesmo em concentrações mínimas encontradas na água e nos alimentos. As propriedades de bioacumulação e a persistência do mercúrio no ecossistema acentuam sua capacidade de contaminação ao longo do tempo.

Legislação

O avanço mais recente na regulamentação do uso de mercúrio no Brasil é o Decreto nº 9.470, de 14 de agosto de 2018, que promulga a Convenção de Minamata sobre Mercúrio. Em seu artigo 1º, expressa o objetivo de proteger a saúde humana e o meio ambiente das emissões e liberações antropogênicas de mercúrio e de compostos de mercúrio. Reconhecendo na legislação brasileira que o mercúrio é uma substância com efeitos negativos importantes à saúde humana e ao meio ambiente.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (Ibama) é o órgão responsável pelo monitoramento do mercúrio no Brasil. O pragmatismo pericial direciona o uso das resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), pertinentes a cada caso estudado, como parâmetro oficial de comparação.

Perícia

A atuação da Polícia Federal nos garimpos ocorre por meio de operação ostensiva de desintrusão. O objetivo é cessar a atividade criminosa naquele momento, utilizando o poder/dever de polícia, conferido aos órgãos de Estado, preservando a vida e os bens de direito. Para garantir eficiência e segurança, as operações policiais devem limitar-se ao cenário apenas o tempo necessário para cumprir os objetivos principais, sendo a perícia de Local de Crime uma dessas etapas.

As possibilidades de interação com o ambiente, sob uma perspectiva pericial, permitem a materialização de crimes por meio da constatação da atividade ilegal, do uso de produtos ilegais, da coleta de materiais e documentação relevantes, incluindo a coleta de amostras.

As amostras coletadas para avaliar a contaminação ambiental possuem, a curto prazo, caráter exclusivamente prospectivo. A amostragem prospectiva desempenha um papel crucial na identificação e caracterização de provas materiais, sendo recursos rápidos e valiosos para as decisões no âmbito do inquérito.

Perícia nas operações Uiara e Minamata

A primeira preocupação reside na qualidade das amostras e a sua representatividade, considerando o significado natural e pericial. É essencial responder à pergunta: A mineração artesanal de ouro é responsável pelo mercúrio presente na biosfera? As operações Uiara no Rio Madeira e a Minamata no Rio Boia foram os primeiros estudos em campo para verificar a contaminação por mercúrio.

Foram oportunidades para coletar amostras diretamente das balsas de garimpo em plena atividade. Com o advento da recuperadora de mercúrio, chamada retorta, surgiu a argumentação que a poluição por mercúrio havia sido solucionada. A retorta é utilizada no final do processamento do minério para separar o ouro do mercúrio: utiliza calor para evaporar o mercúrio do amalgama em um circuito aberto que permite a recuperação de uma parte considerável do mercúrio por condensação (Figura 06). Embora na prática não atinja uma eficiência superior a 90%, mesmo que atingisse, o mercúrio já está envolvido no processamento do minério em estágios anteriores. O mercúrio é o responsável por separar o metal dos minerais, extrair o ouro do sedimento arenoso. Esses processos geram resíduos que são descartados no meio ambiente.

A premissa a ser testada consistiu em verificar se os sedimentos e a água utilizados no processamento do minério e descartadas no meio ambiente após o uso possuem teores de mercúrio. Foram coletadas amostras de água e sedimentos dos tambores de concentração de minério (Figura 07). Nesta etapa de processamento de minério, o mercúrio é adicionado ao sedimento que contém o ouro; o ouro se une ao mercúrio líquido e ambos se separam das areias por densidade. No fundo do tambor, permanece o amalgama (liga Au+Hg), enquanto os sedimentos e a água, localizados na parte superior, são descartados no meio ambiente imediatamente após a retirada do amalgama. Ambos foram amostrados e analisados.

Os resultados indicam que todas as amostras de processo analisadas apresentam contaminação por mercúrio superiores aos padrões de qualidade estabelecidos na resolução Conama, que regulamenta o lançamento de efluentes. No caso da água descartada, os valores

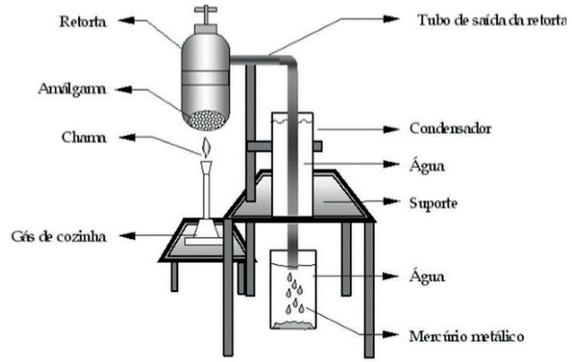




Figura 06: *Modelo de uma recuperadora de mercúrio e modelo real encontrado em garimpos. Laudos 228/22 e 964/22 SETEC/AM.*



Figura 07: *Coleta de amostras descartadas do processamento de minério – amostras de referências – Laudos 1357/21 e 228/22.*

de mercúrio são até 40 vezes superiores ao limite máximo, enquanto para os sedimentos, a contaminação é 13 vezes superior.

Amostras coletadas diretamente no meio ambiente proximo às balsas, incluindo sedimentos que assoreiam o rio e a água, foram analisadas. Essas amostras chegam a apresentar, no Rio Boia, por exemplo, teores de mercúrio na água 65 vezes superiores ao considerado seguro para o consumo, mesmo após um tratamento leve.

As amostras ambientais do Rio Boia, tanto no ambiente próximo quanto no distante das dragas, apresentavam valores semelhantes. Esses estudos possibilitaram materializar que as balsas lançam mercúrio no meio ambiente em teores muito superiores a qualquer padrão nacional ou internacional de qualidade de água e sedimento.

Perícia na terra indígena Yanomami

Em 2021, durante operações ostensivas de desintrusão de garimpo ilegal, realizada pela DELEMAPH/SR/RR dentro da Terra Indígena Yanomâmi (TIY), foram coletadas amostras de quatro dos principais rios garimpados, em locais priorizados pela operação. São amostras de água retiradas dentro do garimpo (Figura 08), ainda amostras consideradas prospectivas. Os resultados analíticos mostram indícios graves de contaminação por mercúrio, os quais requerem investigação mais aprofundada, por meio de estudo sistemático. Os corpos d'água apresentam valores até 83 vezes acima dos normatizados pelo Conama para água de consumo (água tipo 1).

Em janeiro de 2023, a DRPJ/SR/RR solicitou a complementação do trabalho na TIY. Foi sugerida a aplicação de técnicas analíticas capazes de identificar e quantificar mercúrio em cabelo humano. Seguindo a sequência: o garimpo contamina o meio ambiente físico com mercúrio e, este, por sua vez, contamina o meio ambiente biológico, incluindo os seres humanos.

A exposição ambiental ao mercúrio antrópico nos garimpos ocorre principalmente pelo consumo de alimentos contaminados, como peixe, caça e até mesmo vegetais, além da ingestão de água contaminada e inalação de vapores. O garimpo contamina o meio ambiente, e as propriedades de biomagnificação e permanência na cadeia trófica concentram o mercúrio nos seres vivos à medida que avança na cadeia alimentar, tornando-se mais elevado.

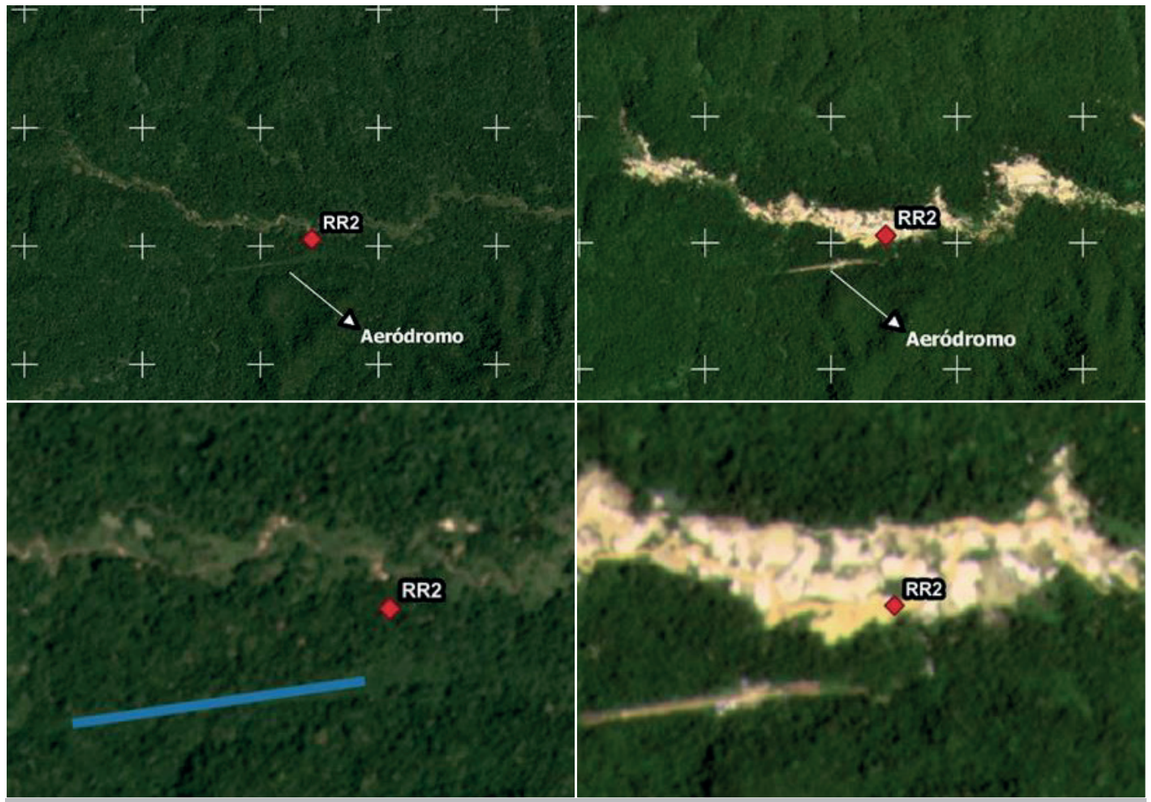


Figura 08: *Local em que foram coletadas amostras de água marca o local de coleta em 2021, rio completamente obliterado pelo garimpo. Laudo 318/22 SETEC/AM.*

Amostras de cabelo são usadas como biomarcadores para avaliar os riscos de exposição de Hg e identificar suas fontes. São uma boa amostra forense para investigação da saúde humana, devido à conveniência e à possibilidade de obter amostras não invasivas (sem a necessidade de expor o corpo a cortes, furos contusões ou contato com fluidos, como sangue ou urina). Além disso, são de fácil armazenamento e conservação.

Nos estudos de toxicidade ambiental, o cabelo é comumente coletado de populações próximas a fontes de poluição pontual ou que têm o hábito de consumir alimentos contaminados. O mercúrio pode ser incorporado ao cabelo durante a formação da haste capilar, através da difusão do sangue para o crescimento ativo do folículo. A concentração de mercúrio nos cabelos reflete, portanto, a concentração no organismo.

A APF Ana Guth, egressa do sistema de saúde de Roraima, e a enfermeira da CASAI Benedita Telles, indicaram que Povos Originários Yanomâmi (POY) de diversas comunidades estavam recebendo tratamento de saúde na Casa de Saúde Indígena (CASAI). A concentração de pessoas e a perenidade inerente aos cabelos permitiriam coletar amostras provenientes de diversas localidades da TIY em um único local.

Após reuniões com representantes do Ministério da Saúde, especialmente a Fiocruz, representantes da FUNAI, coordenação do Distrito Sanitário Especial Indígena (DSEI) Yanomami, Secretaria de saúde e a Hutukara Associação Yanomami, o acesso às pessoas foi autorizado. Essa última entidade, na pessoa de Davi Kopenawa Yanomami, exerceu a função de representante socioétnica dos POY; proporcionou o acesso às comunidades na CASAI, atuou como interlocutor junto às lideranças locais, desempenhou o papel de tradutor e facilitador nas negociações.

A coleta de amostras de cabelos realizou-se na CASAI/RR. No total, foram coletadas amostras de 43 indivíduos, representando 5 etnias, 14 regiões e 30 comunidades na Terra Indígena Yanomâmi de Roraima, Amazonas e um indivíduo da Venezuela (Figuras 09). A estrutura física do CASAI é dividida em prédios para atendimento médico e social, além de casas destinadas a hospedar os enfermos e seus acompanhantes. Essas casas eram ocupadas principalmente por pessoas da mesma comunidade, ou, em termos de hierarquia, mesma região ou etnia: Yanomâmi, Yekuana, Sanumã, Xiriana, Xirixana (informações de campo). As comunidades Yanomâmi têm a tendência de não coabitarem no mesmo espaço, seja natural ou urbano. Para a coleta de amostras, foram selecionados os indivíduos saudáveis que acompanhavam os enfermos.

Os resultados obtidos confirmam a presença de mercúrio nos cabelos de todas as pessoas que forneceram amostras; em distintos níveis de exposição. A Organização Mundial da Saúde (OMS[1]) estabelece limites para a contaminação por mercúrio em cabelo humano, os quais não devem ultrapassar 1 micrograma por grama (µg/g – equivalente a ppm). Os limites superiores de contaminação encontram-se de 2 a 10 µg/g.

[1] World Health Organization



Figura 09: *Coleta de amostras biológicas dos POY – Laudo 282/23 SETEC/AM.*

O gráfico da Figura 10 apresenta os resultados agrupados, conforme classificação que divide os níveis de exposição em quatro graus: a) < 1 µg/g; b) entre 1 e 2,2 µg/g; c) entre 2,2 e 10 µg/g e d) > 10 µg/g; de acordo com o padrão de segurança ou limites permitidos para cabelo humano recomendados pela USEPA (1 µg/g) e Organização Mundial da Saúde (2,2 µg/g), sendo o limite de 10 µg/g de preocupação.

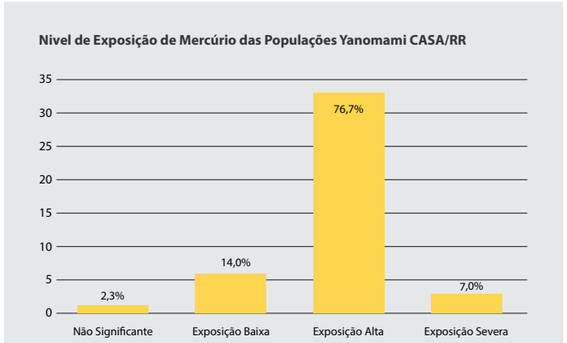


Figura 10: *Histograma dos resultados analíticos para as amostras de cabelo dos POY.*

Esses valores indicam, respectivamente, exposição insignificativa ao Hg, exposição dietética ao MeHg (baixa exposição) e exposição elementar/inorgânica ao Hg (exposição alta). Esses limites foram estabelecidos com base em estudos que avaliam os efeitos tóxicos do mercúrio na saúde humana.

Os resultados indicam que a maior parte dos indivíduos provenientes da TIY que forneceram amostras vivem sob alta exposição

ao mercúrio: 76,7%. Sob baixa exposição ao mercúrio vivem aproximadamente 14% dos indivíduos e 2,3% vivem sob exposição insignificante. Três indivíduos (7% dos indivíduos analisados) retornaram valores superior a 10µg/g de mercúrio no cabelo, indicando que vivem sobre severa exposição ao mercúrio.

A distribuição espacial dos dados é ilustrada na Figura 11, na qual os círculos representam os resultados de amostras de cabelo. O mapa de fundo apresenta a concentração de garimpos, quanto mais vermelho mais garimpos próximos, caracterizando um mapa de calor (kernel). De forma simplificada, é evidente que há uma correlação entre a contaminação e a proximidade aos garimpos.

Outra observação relevante é que a maioria dos garimpos está localizada em regiões elevadas, próximas a nascentes. No entanto, chama a atenção o fato de que as pessoas mais severamente contaminadas residem mais abaixo do rio, típico para elementos com biomagnificação.

Após todas as análises, as frações de cabelo que permaneceram foram embaladas e devolvidas à Hutukara Associação Yanomami, conforme solicitado pelas lideranças.

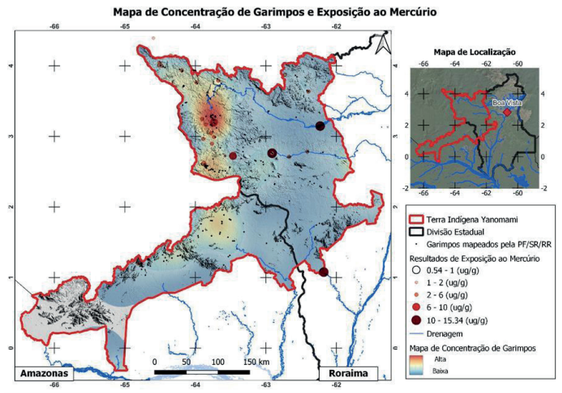


Figura 11: *Distribuição da contaminação por mercúrio na TIY.*

Conclusões

Colocar uma balsa de garimpo próximo das nascentes do Rio Juami, do Igarapé Preto, dos rios Boia, Purué, Puretê, Purus, Jutaí, com combustível, alimentação, equipe, mercúrio, vai demandar um investimento que, calculado empiricamente com informações de campo, oscila entre 4 e 7 milhões de reais para cada unidade. Essa variação é em função do tamanho da balsa, dos equipamentos utilizados, as distâncias percorridas e a reserva de combustível.

Com base em dados de produção de ouro obtidos nessas balsas, estima-se que o retorno desse investimento ocorra em um período de 6 a 8 meses em terrenos produtivos. É importante notar que algumas vezes duas, três ou mais balsas podem ser de propriedade de uma única pessoa.

No Rio Madeira funciona da mesma forma com outras proporções. É possível montar uma pequena linha de balsas com 1 milhão de reais. A proximidade de centos urbanos facilita o acesso a insumos básicos. Pequenos empreendedores locais se somam aos investidores de grande porte. Os municípios "lucram" indiretamente com a atividade de garimpo.

As minerações ilegais de ouro no Amazonas são impulsionadas pelo elevado valor de mercado desse metal, especialmente a partir de 2020, devido à maior diferença cambial entre o real e o dólar. As Atividades de Mineração de Ouro em Pequena Escala (ASGM) ocorrem sem as outorgas legais, desprezando a legislação ambiental, o que expõe as populações humanas e os nichos ecológicos à poluição e contaminação resultantes de uma atividade desprovida de preocupações, além do lucro. Aproveitam-se do excesso de mão de obra, deslocando riscos financeiros a montante no tempo e espaço.

Em um esquema informal que envolve acordos e pré-financiamento, o mercúrio é utilizado como um regulador. O fornecimento de mercúrio garante ao financiador acessar o ouro no momento exato em que este adquire sua condição de metal precioso.

A poluição é anualmente responsável por 9 milhões de óbitos no mundo; sendo 90% desses casos registrados em países de baixa e média renda. A poluição química tóxica e a poluição atmosférica são identificadas como as principais causas. O mercúrio é considerado o terceiro poluente mais preocupante em relação ao meio ambiente e à saúde pública; devido à sua persistência nos ambientes e às suas consequências deletérias, conforme relatado pela *United States Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR).

A Atividade de Mineração de Ouro em Pequena Escala é a atividade que mais fortemente contribui para as emissões de mercúrio; sendo que cerca de 2/3 de todo mercúrio presente na biosfera é proveniente de lançamentos antropogênicos. Aproximadamente 78% das emissões de mercúrio na América do Sul são provenientes da região amazônica, abrangendo Brasil e Peru. O mercúrio é um problema global devido à sua baixa temperatura de volatilização, estado líquido em temperatura ambiente, e suas formas iônicas e orgânicas, que favorecem sua mobilidade em todos os meios, especialmente a atmosfera, seguindo os rios aéreos.

Agradecimentos

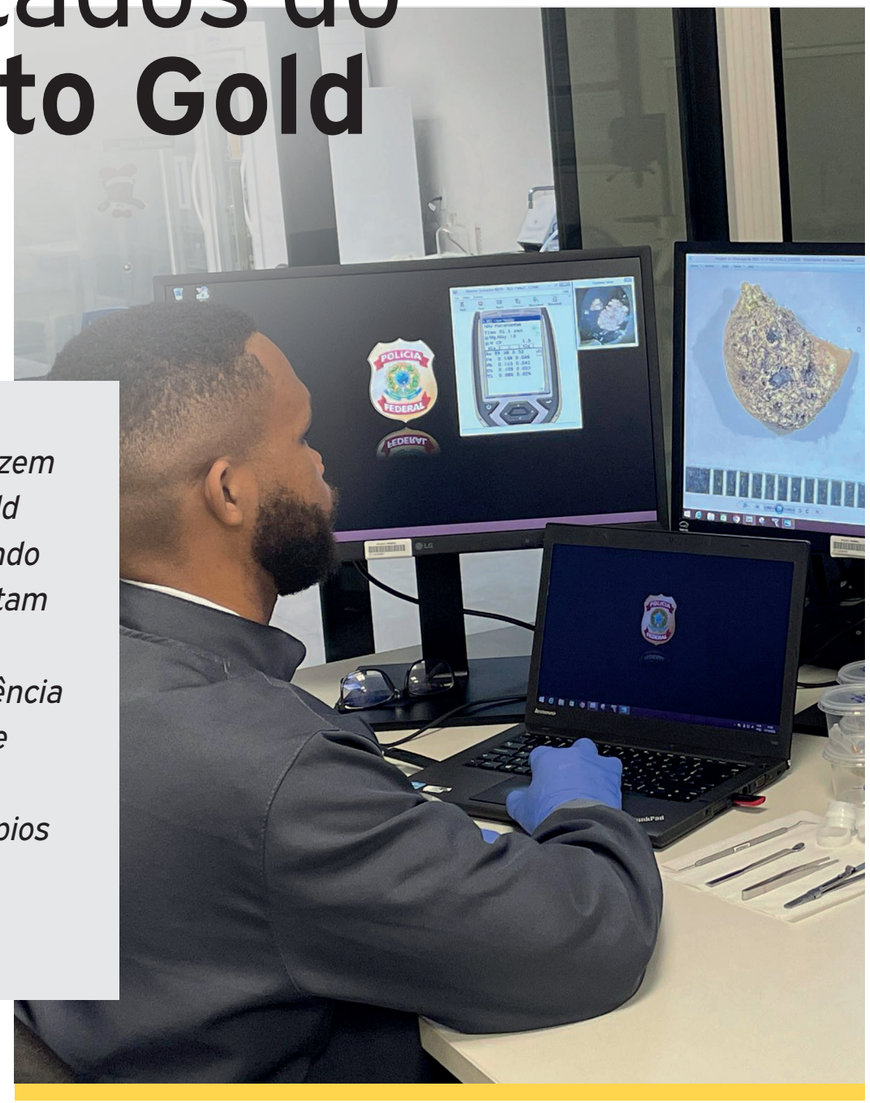
Os principais atores destes trabalhos são: SETEC/AM, SR/AM, SETEC/RR, SR/RR, CASAI/RR, GPI/RR, GPI/AM, GPI/RO, GPI/SE, GPI/PA, COT, CAOP, Hutukara Associação Yanomami

Bibliografia

A bibliografia científica e jornalística sobre contaminação por mercúrio é vasta. Dezenas de referências formam este texto. Destacando-se os trabalhos da WHO – World Health Association, FIOCRUZ, UNEP – United Nations Environment Program, Teixeira R. A., Mestanza-Ramón c. et al., Gerson J. R, Crespo-Lopez M. E.; entre muitos outros.

Os primeiros resultados do **Projeto Gold Rush**

Por *Manoel Lázaro Frazão Jr e Guilherme de Oliveira Gonçalves*



As pesquisas que fazem parte do Projeto Gold Rush estão fornecendo resultados que atestam que, sim, é possível restringir a proveniência de ouro, por meio de técnicas analíticas baseadas em princípios espectroscópicos e espectrométricos.

Um método que está em constante aprimoramento que utiliza técnicas analíticas é aplicada em estudos focados na descrição de assembleias mineralógicas associadas a jazidas auríferas e de aspectos morfológicos do ouro e de minerais, bem como na caracterização geoquímica e isotópica em amostras coletadas nas campanhas de amostragem do POA.

Para o desenvolvimento inicial do método foi selecionada uma área piloto localizada no Garimpo do Lourenço, Calçoene – AP (Fig. 1). Nessa área e em localidades próximas, ocorre um grande fluxo de ouro ilegal, proveniente tanto de atividades garimpeiras no país, quanto possíveis materiais contrabandeados da Guiana Francesa, o que torna essa problemática internacional. Deste modo,

os resultados gerados ao longo deste estudo podem auxiliar no controle do fluxo de ouro entres essas localidades, podendo ser aplicados em outras regiões do território brasileiro.

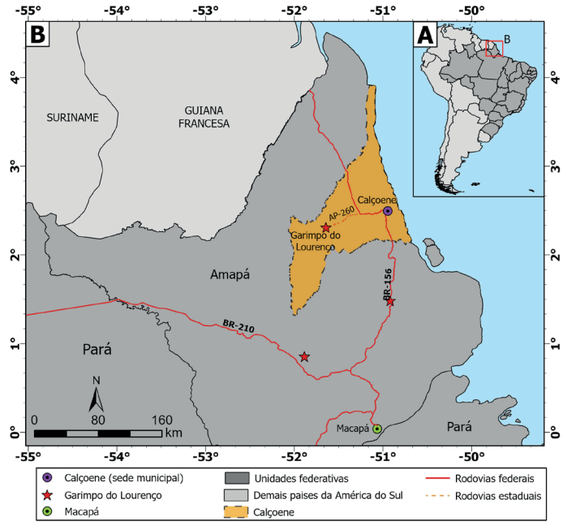


Figura 01: *Mapa de localização do Garimpo de Lourenço.*

As amostras selecionadas para realização deste estudo inicial foram todas coletadas *in loco* na campanha de amostragem Amapá, que ocorreu no começo de 2021. No Garimpo do Lourenço, o minério aurífero é extraído em duas frentes de lavra: i) associada a rocha alterada/saprolito (jazida secundária) e ii) rocha não alterada/rocha são (jazida primária), que é posteriormente beneficiado (Fig. 2). O conjunto de amostras estudadas é composto por: concentrados de minerais da jazida primária e secundária (ouro primário e secundário) – agregado de minerais associados à mineralização aurífera, ouro em veio de quartzo (ouro primário) e amostras de ouro esponja.

Fluxo da produção de ouro no garimpo do Lourenço

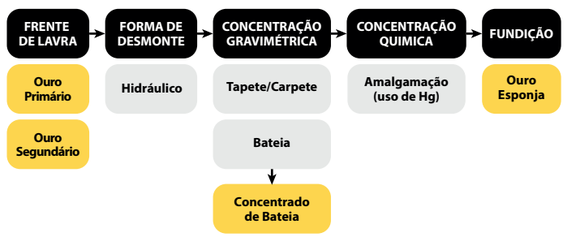


Figura 02: *Fluxo do beneficiamento realizado no Garimpo do Lourenço. Sintetiza as etapas de beneficiamento utilizadas pelos garimpeiros locais. Os itens em amarelo representam as amostras analisadas.*

O beneficiamento do ouro gera produtos diferentes, os quais podem ser afetados morfologicamente ou quimicamente pelos processos de beneficiamento. Deste modo é necessário aplicar ferramentas analíticas que possibilitem adquirir dados em uma gama de materiais – de ouro de jazida primária/secundária à barra refinada de ouro (Fig. 3).

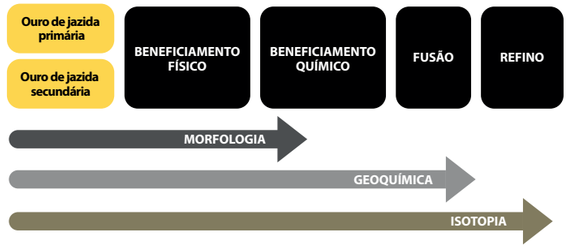


Figura 03: *Correlação de técnicas analíticas em função da etapa de beneficiamento do ouro. Morfologia – fornece dados até produtos derivados de beneficiamento rústico - ouro esponja; Geoquímica – fornece dados até produtos refinados com a presença de algumas "impurezas – outros elementos químicos"; Isotopia – aplicação em toda cadeia produtiva.*

Neste estudo são utilizadas técnicas analíticas de caráter não destrutivo: análise microscópica, Fluorescência de raios X portátil (FRX-p), Microscopia de Eletrônica de varredura (MEV-EDS) e destrutivo: Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado com Ablação por Laser (LA-ICP-MS) (Fig 4).



Figura 04: *Rotina de análises utilizada para aquisição de dados. As análises que estão destacadas em branco são passíveis de serem realizadas no Instituto Nacional de Criminalística -INC/PF.*

Os procedimentos para aquisição de dados seguem as seguintes etapas: i) identificação da assembleia mineralógica e aspectos morfológicos dos minerais, por meio de uma lupa estereoscópica com base na forma, superfície, contorno, corrosão, brilho e tamanho dos mineiras (Freyssinet et al., 1989; Horbe et al., 2019); ii) semiquantificação de elementos maiores e menores utilizando a FRX portátil e MEV-EDS; iii) identificação de aspectos morfológicos por meio de elétrons retroespalhados – MEV; iv) quantificação de elementos maiores e menores em amostras de ouro polidas utilizando o EDS e elementos traços utilizando o LA-ICP-MS. Neste estudo foram selecionados elementos que possuem afinidade com o ouro e elementos que fazem parte da assembleia mineralógica descrita no item i): (Ag, Cu, Ir, Pd, Pt, Rh – elementos robustos; As, Bi, Cr, Hg, Pb, Sb – elementos sensíveis a fundição (Schmiderer, 2009), e Nb).

Resultados e discussão

A análise mineralógica permite observar diferenças entre os minerais presentes nas duas jazidas exploradas no Garimpo do Lourenço – primária e secundária. Associado ao ouro primário estão: o quartzo, arsenopirita e biotita e ao ouro secundário: o quartzo, columbita e tantalita na forma de incrustações que foram incorporadas ao ouro durante a ação de processos supergênicos. No ouro esponja, é identificado majoritariamente quartzo, columbita e a arsenopirita de forma esporádica.

O estudo mineralógico e morfológico retrata com certa acurácia o ambiente de extração mineral, visto que os grãos de ouro primário apresentam superfícies rugosas e brilho metálico amarelo ouro, que remetem a ouro proveniente de rocha sã, enquanto grãos com formas arredondadas e superfície oxidada são associados a ambientes supergênicos - ouro secundário. O ouro esponja apresenta aspectos morfológicos semelhantes aos presentes no ouro primário e secundário, entretanto, é comumente observado grãos suturados uns aos outros (Fig. 05), o que indica processo de queima. Os minerais da jazida primária apresentam superfícies anédricas indicando que o material passou por processos de fragmentação mecânica, já os minerais de jazida secundária apresentam superfície subédrica, indicando que o ouro secundário é explorado próximo a sua fonte geológica.

Os dados geoquímicos obtidos por meio da FRX portátil permitem identificar populações de amostras distintas com base nas concentrações de ouro (Au), prata (Ag) e cobre (Cu). A Figura 06, representa um gráfico ternário com a normalização desses elementos. É possível observar que o ouro primário (triângulo verde) apresenta maior concentração de Ag se comparado com o ouro secundário (círculo laranja), essa diferença se dá devido a ação de processos supergênicos que lixíviam a Ag presente no ouro. Por outro lado, o ouro esponja (quadrado vermelho) se distribui na interface entre o ouro primário e secundário. Contudo, é nítido que a amalgamação, que gera o ouro esponja, é mais comum de ser usada em exploração de depósitos secundários.

Para validar os dados de FRX portátil, foram realizadas análises geoquímicas utilizando MEV-EDS (Fig. 07). Os dados reforçam que as amostras de ouro apresentam concentrações de ouro distintas por conta da presença da Ag, que são: ouro primário (9,78 - 8,72 %), ouro secundário (2,05 - 0,7 %) e ouro esponja (0,17 - 7,045 %). O cobre se distribui em baixas concentrações nas amostras (0,09 - 0,05 %), (0,12 - 0,09 %), (0,2 - 0,06 %), respectivamente no ouro primário, secundário e esponja.

Para dar mais robustez ao estudo foi realizada a aquisição de elementos traços via LA-ICP-MS (Fig. 8). Esses dados demonstram que as amostras de ouro primário e esponja apresentam comportamento químico similar para os elementos Pt, Ir, Rh e Pd, mas o ouro

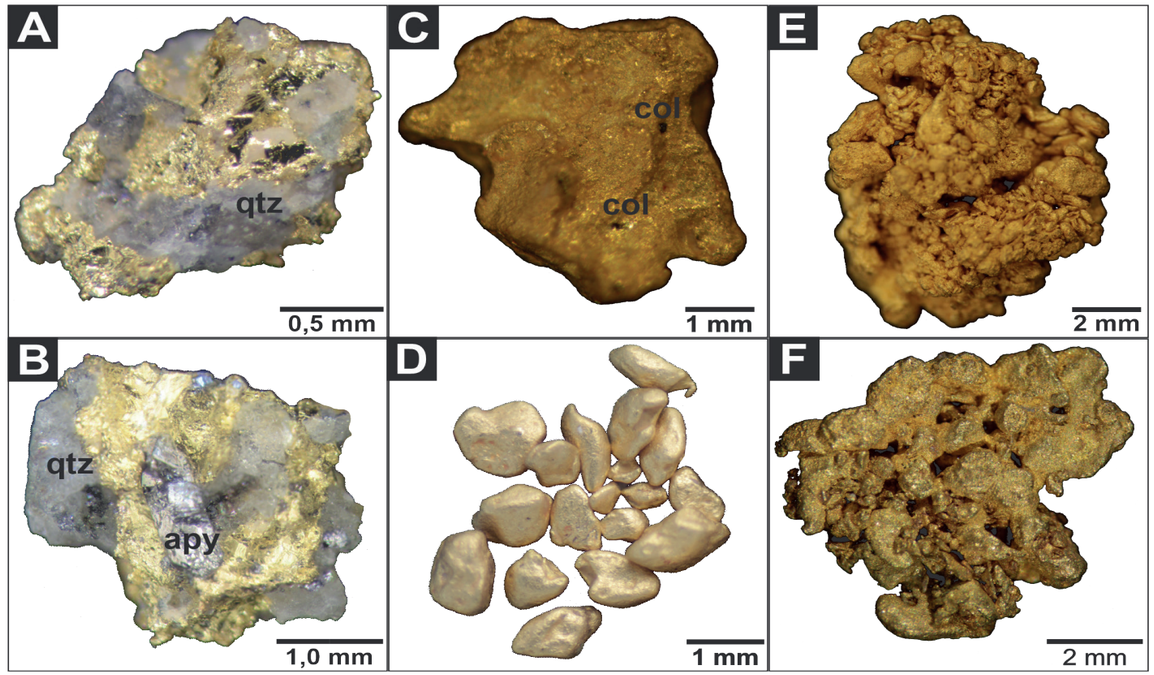


Figura 05: *Fotografias de amostras de ouro. A) e B) ouro associado a veios de quartzo (rocha sã), onde é sinalizado a presença de arsenopirita (apy) e quartzo (qtz); C) e D) partículas de ouro secundário. No item C é destacado incrustações de columbita (col); E) e F) ouro esponja.*

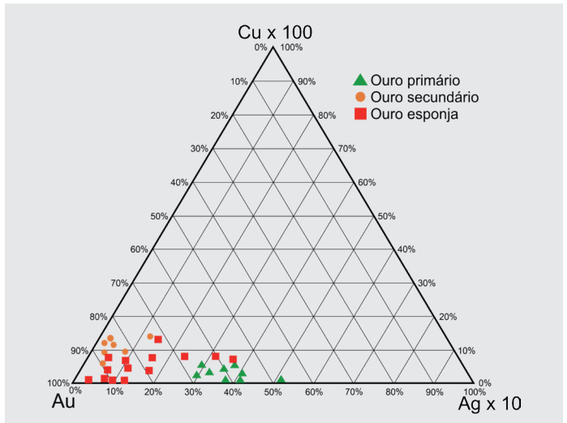


Figura 06: *Diagrama ternário Au-Ag-Cu. As amostras analisadas se concentram próximas a 100 % de Au. O grupo representado pelos triângulos em verde são amostras de ouro primário, os pontos em laranja são amostras de ouro secundário e os quadrados em vermelho são amostras de ouro esponja.*

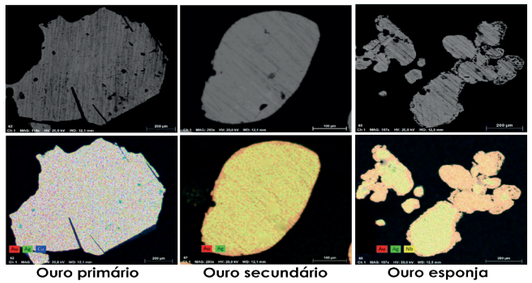


Figura 07: *Backscattered electrons (imagens superiores) e química mineral de elementos maiores e menores das amostras de ouro (imagens inferiores).*

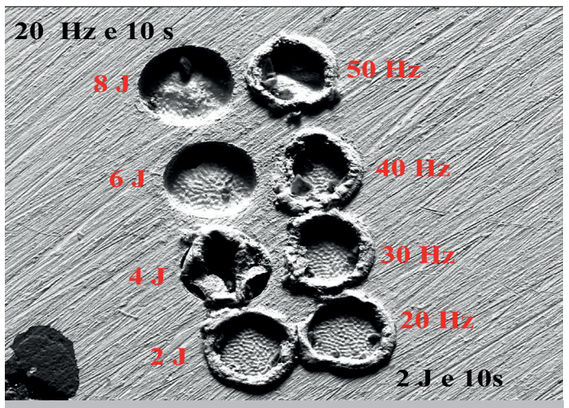


Figura 08: *Backscattered electrons das crateras formadas pela ablação a laser em diferentes configurações do equipamento.*

secundário tem maior concentração desses elementos indicando que a existe uma dispersão desses elementos associada às concreções ferruginosas e mesmo minerais nativos e/ou sulfetados na área de estudo. O Hg se mostra presente no ouro esponja mesmo após a queima da amálgama, evidenciando que o processo de beneficiamento é parcialmente eficaz. Entretanto, o Sb, Bi e Cr foram reduzidos do sistema por serem sensíveis a processos de fundição, mas o Pb foi adicionado em algum momento ao sistema como contaminante. Uma das hipóteses é que o Pb pode ser derivado de apetrechos utilizados durante o beneficiamento, ou da queima de combustível. (Fig. 09).

O cobre é mais presente no ouro secundário, devido a processos supergênicos que permitem a sua incorporação ao ouro. Além disso, a ação desses processos permitiu a formação de incrustações de columbita na superfície do ouro secundário – fonte do nióbio, as quais foram identificadas no ouro esponja também. Por outro lado, o As detectado em maiores concentrações no ouro primário, está em baixas concentrações.

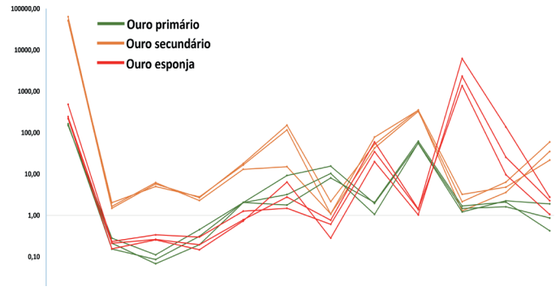


Figura 09: *Backscattered electrons das crateras formadas pela ablação a laser em diferentes configurações do equipamento.*

Aplicações em exames periciais

Sempre que possível, é importante identificar feições morfológicas do ouro, bem como dos minerais que estão presentes no material coletado/apreendido, visto que essa análise permite restringir o ambiente de extração do minério aurífero e a forma de beneficiamento utilizada – fraturamento da rocha, amalgamação, etc.

A aplicação da FRX portátil é um exame rápido que fornece dados robustos para caracterização química do ouro, principalmente em produtos derivados de um beneficiamento mais rústico (e.g., ouro esponja) ou ouro *in natura*. Em casos que seja importante validar os dados de FRX portátil ou caracterizar a microquimica do material é importante a utilização do MEV-EDS e LA-ICP-MS, respectivamente.

O problema do mercúrio Bacia Amazônica

Por *Jérémie Garnier*



A Bacia Amazônica é regularmente destacada pelos problemas ambientais e de saúde gerados pelas atividades humanas.

O desmatamento e a poluição por mercúrio ligados ao garimpo de ouro têm um lugar central aqui. Nas últimas duas décadas, a poluição por mercúrio (Hg) resultante da mineração ilegal de ouro nos países da América do Sul aumentou e tornou-se a principal causa de emissões significativas de vapor de Hg na atmosfera e liberação desse mercúrio nos cursos d'água.

A mineração de ouro na Amazônia experimentou um *boom* devido ao aumento sustentado pelos preços mundiais do ouro, que começou na década de 1980 e aumentou 500% nos últimos quinze anos. Desde então, o garimpo ilegal de ouro se espalhou pela Bacia Amazônica, causando, além de grave degradação ambiental, profundas perturbações no funcionamento de sociedades locais, tradicionais ou ameríndias, como no território Yanomami.

Diferentes impactos relacionados ao garimpo ilegal são observados na Amazônia, como desmatamento e poluição por mercúrio. O mercúrio, que ocorre naturalmente no meio ambiente

em pequenas quantidades, é utilizado em uma ampla variedade de processos e produtos. No contexto dos garimpos, o mercúrio elementar líquido é usado para amalgamar partículas finas de ouro no solo ou sedimento extraído por mineradores artesanais. O amálgama mercúrio-ouro é então aquecido, o que induz a evaporação do mercúrio e a recuperação do ouro. Esse processo resulta na liberação de vapores de mercúrio na atmosfera. O mercúrio pode, então, ser transportado pelo ar e contaminar solos e cursos de água por meio da deposição seca ou úmida durante a precipitação. As emissões de mercúrio da mineração de ouro também ocorrem localmente por intermédio de resíduos despejados nos solos e em corpos d'água. O mercúrio liberado nos solos e rios é adsorvido à superfície das partículas e transportado sobre longas distancias pelos rios.

As emissões antropogênicas de mercúrio têm sido uma preocupação crescente nas últimas duas décadas, devido a três aspectos principais de seu ciclo biogeoquímico: sua permanência no ambiente, seu transporte atmosférico por longas distâncias e sua capacidade de bioacumular e biomagnificar. Estudos mostram que populações podem ser contaminadas com mercúrio na Bacia Amazônica, principalmente através do consumo de peixes. A Organização Mundial da Saúde declarou o mercúrio como uma das seis substâncias mais perigosas para a saúde devido à sua alta toxicidade e aos riscos que representa para a saúde humana e o meio ambiente.

Uma vez introduzido no ambiente, o Hg possui um ciclo biogeoquímico complexo e ativo. Como o mercúrio não pode ser degradado, seus efeitos adversos podem afetar os ecossistemas por décadas. O mercúrio, considerado como um poluente persistente, é encontrado em solos e sedimentos, na atmosfera, na água doce e salgada, nos peixes, na vida selvagem e no corpo humano. Devido à complexidade da ciclagem biogeoquímica do mercúrio e à diversidade de fontes de emissão e seus efeitos adversos sobre o meio ambiente e a saúde humana, é essencial integrar e desenvolver uma abordagem multidisciplinar combinando hidrologia, geoquímica, ciências ambientais, medicina e ciências humanas e sociais.

Ainda existem incertezas em nosso conhecimento da biogeoquímica do mercúrio em ambientes tropicais, em escalas regionais e ecossistêmicas. Isso torna difícil distinguir e quantificar detalhadamente as emissões naturais e antropogênicas de mercúrio. Também é desafiador quantificar as emissões de retroalimentações da atividade humana, como desmatamento e ressuspensão de sedimentos do leito dos rios. Um dos avanços promissores na compreensão do ciclo do mercúrio é o uso de isótopos estáveis de mercúrio.

Dessa forma, surgiu o projeto de pesquisa Freddie Mercury (Ferramenta de Rastreabilidade e Determinação da Dinâmica do Mercúrio), em parceria entre o Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, a Polícia Federal do Brasil e o Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento (IRD da França), que propõe essa nova linha de investigação.

Neste projeto, em 2023 foram realizadas duas campanhas de amostragem na Terra Indígena Yanomami, com foco na coleta de amostras de solo e sedimentos em locais de garimpo ilegal, nos rios a jusante dos garimpos e em áreas preservadas, totalizando mais de 100 amostras. "Entre os dias 4 e 6 de setembro de 2023, o Instituto Nacional de Criminalística, juntamente com o Setor Técnico-Científico da Polícia Federal de Roraima, a Universidade de Brasília, o Exército, a Força Aérea Brasileira e a FUNAI, organizaram a campanha de amostragem no interior da Terra Indígena Yanomami, especificamente nos territórios do Surucucu, Xitei, Homoxi, cabeceira do rio Catrimâni e Paapiú" complementa o gerente do POA Erich Adam.

Nestas amostras estão sendo realizados estudos relacionados à composição mineralógica, química e especialmente a concentração de mercúrio. Essas informações devem permitir conhecer melhor as fontes de emissões de mercúrio, seus transportes nas áreas circunvizinhas e avaliar seus impactos sobre os ecossistemas.

Os primeiros resultados mostram teores variáveis de mercúrios nos solos e sedimentos, com níveis elevados indicando contaminação do meio ambiente nas áreas de garimpo ilegal. Além das técnicas forenses tradicionais, este projeto prevê o uso de traçadores inovadores. Um dos avanços promissores no entendimento do ciclo do mercúrio é o uso de isótopos estáveis. As assinaturas isotópicas do Hg permitem a discriminação entre fontes naturais e antropogênicas de mercúrio e melhorar nossa compreensão dos processos pós-emissões que afetam o destino, a biodisponibilidade e a contaminação ambiental e humana.

Enquanto atravessamos um período preocupante em relação ao desmatamento e garimpo na Amazônia, a Amazônia é, mais do que nunca, objeto de muitos riscos ambientais comprovados ou latentes. Acontecimentos recentes, ilustrados pelo aumento das queimadas e do desmatamento, bem como pela "Corrida do Ouro do Rio Madeira" e em territórios indígenas, mostram que, apesar das evidências de contaminação humana, as atividades de garimpo estão prosperando de forma alarmante. A urgência de rastrear e quantificar as emissões de mercúrio ligadas ao garimpo, entendendo o destino e os riscos dessa poluição nos ecossistemas amazônicos, é um desafio para os próximos anos.



Fronteiras em Ciências Forenses

Encarte Científico da Revista da Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais

Ano 04 | Vol. 8
Dezembro de 2023

Fronteiras em Ciências Forenses

Encarte Científico da Revista da Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais

Ano 4 - Vol. 08

Presidente da Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais:

Willy Hauffe Neto

Conselho Editorial

Alexandro Mangueira Lima de Assis (editor-chefe)
Hélio Buchmüller Lima
Jesus Antonio Velho
Marcus Vinícius de Oliveira Andrade
Meiga Aurea Mendes Menezes
Rodrigo Ribeiro Mayrink

EXPLORATORY USE OF MITOCHONDRIAL MARKERS TO INVESTIGATE A SUSPICIOUS CASE OF IMPORTING GIRAFFES TO BRAZIL

USO EXPLORATÓRIO DE MARCADORES MITOCONDRIAIS PARA INVESTIGAR UM CASO SUSPEITO DE IMPORTAÇÃO DE GIRAFAS PARA O BRASIL

USO EXPLORATORIO DE MARCADORES MITOCONDRIALES PARA INVESTIGAR UN CASO SOSPECHOSO DE IMPORTACIÓN DE JIRAFAS A BRASIL

Carlos Benigno Vieira de Carvalho[1], Renato Teodoro Ferreira de Paranaíba[2], Bruno Rodrigues Trindade[3]

1. Graduação em Ciências Biológicas, Mestrado em Ecologia e Doutorado em Biologia Animal. Perito Criminal Federal lotado no Serviço de Perícias em Genética Forense (SEPGEF) do Instituto Nacional de Criminalística (INC), da Polícia Federal (PF), com interesse principal na identificação genética de espécies animais.
Currículo Lattes: *http://lattes.cnpq.br/1118295106303499*

2. Graduação em Farmácia, Especialização em Genética Forense e Doutorado em Ciências da Saúde. Perito Criminal Federal lotado no Serviço de Perícias em Genética Forense (SEPGEF) do Instituto Nacional de Criminalística (INC), da Polícia Federal (PF), com interesse principal em identificação genética de espécies vegetais aplicada ao campo das Ciências Forenses.
Currículo Lattes: *http://lattes.cnpq.br/7013804849654706*

3. Graduação em Medicina Veterinária e Direito, Mestrado em Ciência Animal e Doutorado em Bioética. Perito Criminal Federal lotado Serviço de Perícias em Genética Forense (SEPGEF) do Instituto Nacional de Criminalística (INC), da Polícia Federal (PF). Interesse em identificação humana e de espécies animais.
Currículo Lattes: *http://lattes.cnpq.br/4757778767115921*

Ano 04 | Vol. 8
Dezembro de 2023

Abstract

Giraffes are ruminant mammals native to Africa. With their natural populations declining by around 40% over the last 30 years, giraffes have a "vulnerable" status on the International Union for Conservation of Nature Red List. For a long time, giraffes were considered to belong to a single species, *Giraffa camelopardalis*, although recent studies suggest the existence of four species and seven subspecies, with distinct distribution. In November 2021, 18 giraffes supposedly coming from wild populations of South Africa arrived in Brazil to be used in a conservation project. Shortly after their arrival, problems with their management in captivity led the Brazilian Federal Police to open an investigation into mistreatment and irregularities in the import process. Biological material from the giraffes was sent to the Federal Police DNA Laboratory for species identification and possible inferences about geographical origin through sequencing of fragments of the subunit I of cytochrome c oxidase (COI) and cytochrome b (cyt b) mitochondrial genes. Although not conclusive and indicate the need for further studies, the results showed that the giraffes were more similar to individuals from populations that occur naturally in the south of the African continent.

Keywords: Forensic, genetic identification, COI, cyt b, DNA.

Resumo

Girafas são mamíferos ruminantes nativos da África. Com as suas populações naturais diminuindo cerca de 40% nos últimos 30 anos, as girafas têm o status de "vulnerável" na Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza. Durante muito tempo, as girafas foram consideradas pertencentes a uma única espécie, *Giraffa camelopardalis*, embora estudos recentes sugiram a existência de quatro espécies e sete subespécies com distribuição distinta. Em novembro de 2021, 18 girafas supostamente provenientes de populações selvagens da África do Sul chegaram ao Brasil para serem utilizadas em um projeto de conservação. Logo após sua chegada, problemas com o manejo em cativeiro levaram a Polícia Federal a abrir uma investigação sobre maus-tratos e irregularidades no processo de importação. O material biológico das girafas foi enviado ao Laboratório de DNA da Polícia Federal para identificação das espécies e possíveis inferências sobre a sua origem geográfica por meio do sequenciamento de fragmentos da subunidade I dos genes mitocondriais citocromo c oxidase (COI) e citocromo b (cyt b). Embora não possam ser considerados conclusivos e apontem para a necessidade de mais estudos, os resultados mostraram que as girafas eram mais semelhantes a indivíduos de populações que ocorrem naturalmente no sul do continente africano.

Palavras-chave: Forense, identificação genética, COI, cyt b, DNA.

Resumen

Las jirafas son mamíferos rumiantes originarios de África. Con sus poblaciones naturales disminuyendo alrededor del 40% en los últimos 30 años, las jirafas tienen un estatus "vulnerable" en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Durante mucho tiempo se consideró que las jirafas pertenecían a una única especie, *Giraffa camelopardalis*, aunque estudios recientes sugieren la existencia de cuatro especies y siete subespecies con distinta distribución. En noviembre de 2021, 18 jirafas supuestamente provenientes de poblaciones silvestres de Sudáfrica llegaron a Brasil para ser utilizadas en un proyecto de conservación. Poco después de su llegada, problemas con el manejo en cautiverio llevaron a la Policía Federal a abrir una investigación por malos tratos e irregularidades en el proceso de importación. El material biológico de las jirafas fue enviado al Laboratorio de ADN de la Policía Federal para identificar las especies y hacer posibles inferencias sobre su origen geográfico a través de la secuenciación de fragmentos de la subunidad I de los genes mitocondriales citocromo c oxidasa (COI) y citocromo b (cyt b). Aunque no pueden considerarse concluyentes y apuntan a la necesidad de realizar más estudios, los resultados mostraron que las jirafas eran más similares a los individuos de poblaciones naturales del sur del continente africano.

Palabras clave: Forense, identificación genética, COI, cyt b, ADN.

1.Introduction

Giraffes are ruminant mammals of the Giraffidae family known for their long neck and distinctive spotty coat pattern. Native to Africa, their natural populations have suffered a 36-40% decline over the past 30 years, most likely due to habitat loss or degradation, climate change, hunting, and other factors (MULLER et al., 2018; O'CONNOR et al., 2019). Giraffes currently have a "vulnerable" status on the Red List of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) and are listed in Appendix II of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES), making a control of their trade between countries mandatory (IUCN, 2022; CITES, 2022).

For a long time, giraffes were considered to belong to a single species, *Giraffa camelopardalis*, and its various subspecies. Although this classification is still used by many, including the IUCN, genetic studies in recent years have shown that there is great variation between populations, indicating that the genus would not be monotypic (BOCK et al., 2014; FENESSY et al., 2016; WINTER; FENESSY; JANKE, 2018; PETZOLD; HASSANIN, 2020). In a recent work based on whole genomes analysis, the existence of four species and seven subspecies with distinct geographical distributions along the African continent was suggested (COIMBRA et al., 2021)

In November 2021, 18 giraffes identified as *G. camelopardalis*, supposedly coming from South African wild populations, arrived in Brazil. The import of the animals, which cost more than one million US dollars paid to an intermediary, was carried out by a Brazilian company that manages and operates wildlife parks under the justification of using them in a conservation project. Shortly after the arrival of the giraffes, problems with their handling in captivity in the state of Rio de Janeiro began to surface, including the news of the death of three individuals. After that, the Brazilian Federal Police opened a procedure to investigate the case. In addition to proving mistreatment, characterized by inadequate enclosures and insufficient food, the investigation sought to check the veracity and flaws in the information provided by the importers during the process of bringing the animals to Brazil, especially the country of origin.

Given the situation, biological material from the imported giraffes was sent to the DNA Laboratory of the Brazilian Federal Police for species testing and, if possible, to provide information about their geographic origin. The technique normally used for species testing consists of sequencing molecular markers that vary between species and comparing them with homologous sequences of known identity kept in databases (PEREIRA; CARNEIRO; AMORIN, 2008). For animal identification in the forensic area, the most common markers are the subunit I of cytochrome c oxidase (COI) and cytochrome b (cyt b) mitochondrial genes, which have been used for a long time in taxonomic and phylogenetic studies (ALACS et al., 2009; JOHNSON; WILSON-WILDE; LINACRE, 2014). Although there are differences and limitations depending on the group considered, both markers can correctly reconstruct known phylogenies and evolutionary relationships of many mammalians (TOBE; KITCHENER; LINACRE, 2010). Its use in geographic origin investigation, however, is not very common, especially due to the lack of robust populational reference databases.

Even considering that the value of COI and cyt b to investigate geographic origin can be very restricted, they can still expose a genetic pattern that are clearly incompatible with those find natural populations of giraffes from the declared place of origin of the imported animals. Therefore, the main objective of this study was to carry out some exploratory analyses to obtain information that can be useful for the investigation, also pointing out some aspects that require further examination. The case received great attention from the Brazilian media and can be considered unique in the case history of the Brazilian Federal Police, since it involved large exotic charismatic animals protected by international convention.

2. Methodology

In May 2022, the Laboratory received biological material from the 18 giraffes imported into Brazil. The items were identified by ear tag numbers or by the location of the exhumation site (in the case of dead animals). From the 15 giraffes that were still alive an oral/nasal swab was collected, whereas from the dead animals either a blood swab or 1 cm2 muscle tissue fragment obtained during their necropsies were collected. Swabs from live animals were collected through luring them to a more accessible point of the enclosure fence with some fresh leaves, avoiding any kind of containment and minimizing the stress caused by the procedure. All samples were obtained by a veterinarian. It is important to mention that Brazilian laws do not require approval by an ethics committee for animal studies carried out by official forensic laboratories, which are legally obliged to test animals in the context of criminal investigations.

DNA from samples (5993Q1-5993Q18) was extracted with the PrepFiler Express™ extraction kit using an AutoMate Express™ system (Applied Biosystems) following the manufacturer's instructions. Genetic identification followed standard protocols and primers used by the Laboratory. Segments of COI and cyt b genes were amplified with primers FishF1/FishR1 (WARD et al., 2005) and Mcb398/Mcb869 (VERMA; SINGH, 2003), respectively. 25 µl PCR reactions were performed in tubes containing 2U of AmpliTaq Gold® (Applied Biosystems), 1.5 mM of MgCl2 (Applied Biosystems), 0.2 mM of dNTPs (Promega), 0.4 mM of each primer (IDT), and 3 µl of DNA (not quantified). For the 420 base pairs (bp) cyt b fragment the cycling parameters were: an initial step of 94ºC for 11 min, 34 cycles of 94ºC for 20 s, 51ºC for 30 s, and 72ºC for 40 s; and a final step at 72º C for 10 min. For the 650 bp COI fragment, the initial and final steps were the same, but the intermediary steps con-

sisted of 35 cycles of 94ºC for 30 s, 54ºC for 30 s, and 72ºC for 1 min. Positive and negative controls were used to check for failed PCRs and contamination. Amplification products were purified with FastAP™ (Thermo Scientific) and Illustra™ Exonuclease I (GE Healthcare), sequenced on both ways using the Big Dye™ Terminator v3.1 (Applied Biosystems) sequencing kit, and purified by EDTA/ethanol precipitation, always following the manufacturers' protocols. Capillary electrophoresis was performed using an ABI 3500 genetic analyzer (Applied Biosystems). Sequences were assembled and had their quality assessed using SeqScape 3 (Applied Biosystems) and MEGA 11 (TAMURA; STECHER; KUMAR, 2021) software. To obtain similarity values (%) and check the identity of the samples, Cyt b and COI sequences were queried in GenBank (BENSON et al., 2013), and COI sequences also queried in the Species Level Barcode Records database of BOLD (RATNASINGHAM; HEBERT, 2007). The identification methodology was tested in advance with samples from three giraffes belonging to Brazilian zoos. These individuals, a female from the Brasília Zoo and two males from the Beto Carrero Zoo, in Santa Catarina, had already been analyzed previously and associated to *Giraffa giraffa* (FALKOWSKI, 2020).

Subsequently, to access a possible indication of populational origin, phylogenetic analyzes were carried out with sequences from the questioned samples and homologous cyt b and COI sequences obtained from GenBank. We used sequences of *Giraffa* individuals identified to the level of species or subspecies and *Okapia johnstoni* (okapi) as outgroup. We also included in the analyzes sequences obtained in this study from the three giraffes of Brazilian zoos. Maximum Likelihood (ML) trees were constructed using the Hasegawa-Kishino-Yano (HKY+G) model (HASEGAWA; KISHINO; YANO, 1985), and 500 bootstrap replications with MEGA 11 software.

DNA aliquots of all individuals sequenced and sexed in the present study are stored in the Laboratory at -20ºC.

3. Results

All 18 questioned samples originated sequences with the expected size, although some of them slightly shorter than others due to suboptimal sequencing readings of small segments immediately adjacent to the primers annealing sites. When comparing the same positions, however, all cyt b and COI sequences showed to be identical, and for the subsequent analyzes the sequences identified as "5993Q3" from each fragment was considered representative of the others. Samples from the Brazilian zoos also originated sequences with the expected size. GenBank accession numbers are OQ745815-OQ745818 and OR256269-OR256285 for COI sequences, and OQ744028-OQ744031 and OR259413-OR259429 for cyt b sequences.

Querying of sequence "5993Q3" of both fragments in the two databases resulted in high similarity with giraffe sequences. Querying the COI sequence in BOLD resulted in 99.38% of maximum similarity with *Giraffa camelopardalis* (3 first hits of the list of results provided by the database), emphasizing that in this database there are only 11 sequences of *Giraffa*, all identified as *G. camelopardalis* (four of them with attribution of the subspecies). On the other hand, querying the COI sequence in GenBank resulted in 100% similarity the subspecies *G. giraffa giraffa* (five first hits of the list provided by the database), although sequences of *G. tippelskirchi* also showed high similarity (>99%). Querying the cyt b sequence in GenBank resulted in 100% similarity with sequences of the subspecies *G. giraffa giraffa* (14 first hits of the list provided by the database). Two sequences from *G. g. angolensis* and two of *G. tippelskirchi* also showed the same percentage of similarity (100%).

Phylogenetic analyzes using the two markers resulted in similar clustering patterns. In both situations the questioned sequences, represented by the sequence "5993Q3" in the constructed trees, formed monophyletic clades with sequences identified as *G. g. giraffa* and the reference sequence from the Brasília Zoo (previously associated to *G. giraffa*). We decided to construct the trees with only one questioned sequence ("5593Q3"), since the use of identical sequences add no information for the phylogenetic trees and increases the computation time. The results are supported by the bootstrap values, especially for the cyt b marker (Figures 01 and 02).

4. Discussion

The cyt b and COI sequences of the 18 individuals showed to be identical, except for small differences in the total length. Although the markers used here are not suitable for kinship analyses, since they normally have low interspecific variability (TOBE; KITCHENER; LINACRE, 2010), the possibility that all individuals belong to the same maternal lineage cannot be discarded, since not a single base difference was found. If this is the case, the reproduction of these individuals in captivity would have to consider the negative consequences of inbreeding, including an increase in homozygosity, which allows for the expression of harmful recessive alleles that can affect the survival and fertility rates of the offspring of related individuals (CHARLESWORTH; WILLIS, 2009). Further studies using STRs and other markers would be recommended to clarify this issue.

As expected, querying the cyt b and COI sequences in the two databases used in this study allowed the association of all individuals to *Giraffa sp*. The results obtained here corroborate previous studies that successfully used these markers and databases to identify mammals for regulatory and forensic purposes (EATON et al., 2009; DALTON; KOTZE, 2011; SANCHES et al., 2012, D'AMATO et al., 2013, CHEN et al., 2015, DALTON; KOTZE, 2020). It is important to mention, however, that the representation of the genus *Giraffa* in GenBank is much higher than in BOLD's Species Level database, which makes it more informative in cases where animals from this group are investigated.

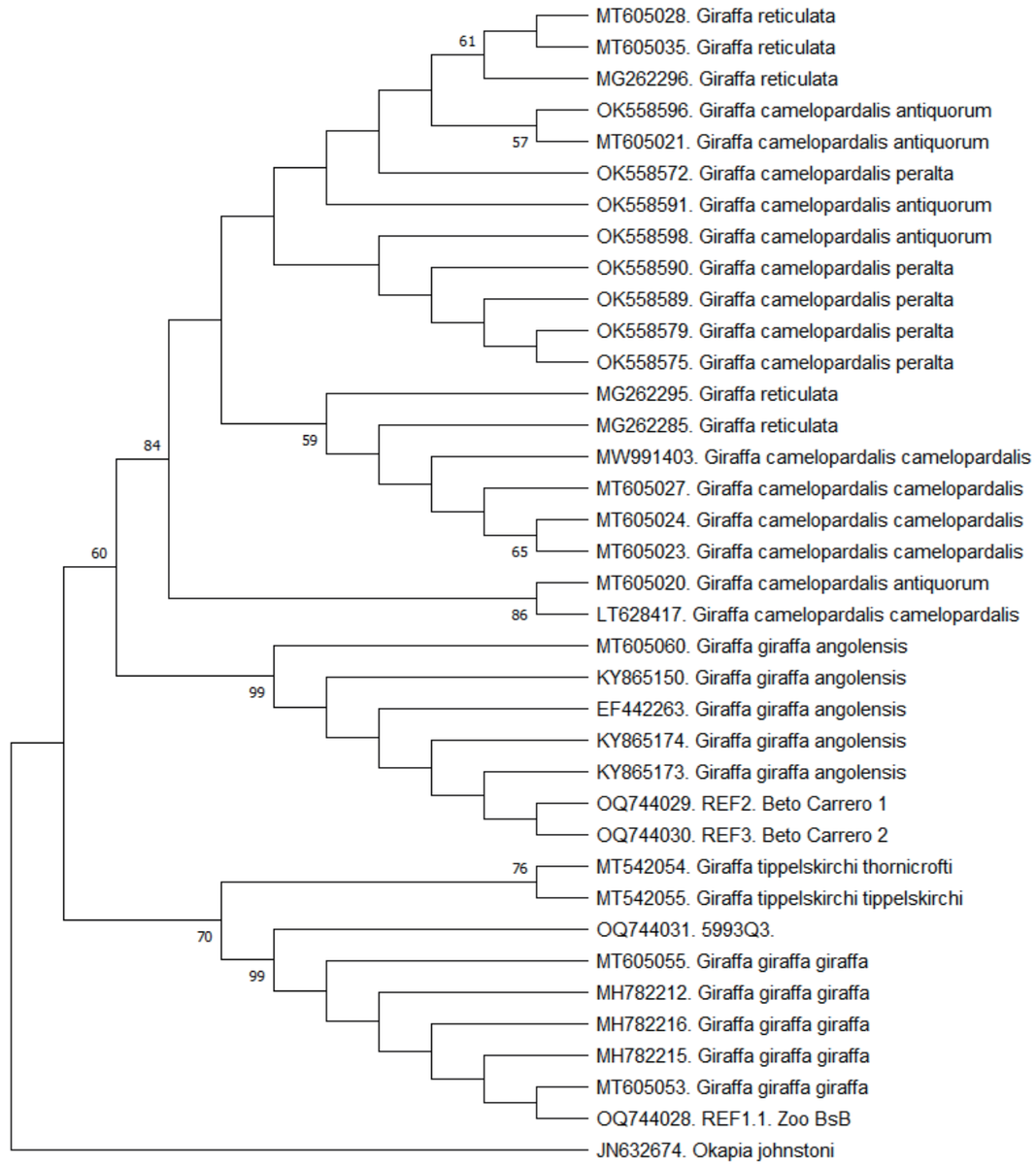


Figura 01: *Cyt b ML tree (HKY+G), bootstrap 500 (values below 50 are omitted). In the figure, "5993Q3" is the representative sequence of the 18 sequenced animals, and "REF" refers to the sequences of the animals from the Brazilian zoos sampled for this study (GenBank accession numbers are provided).*

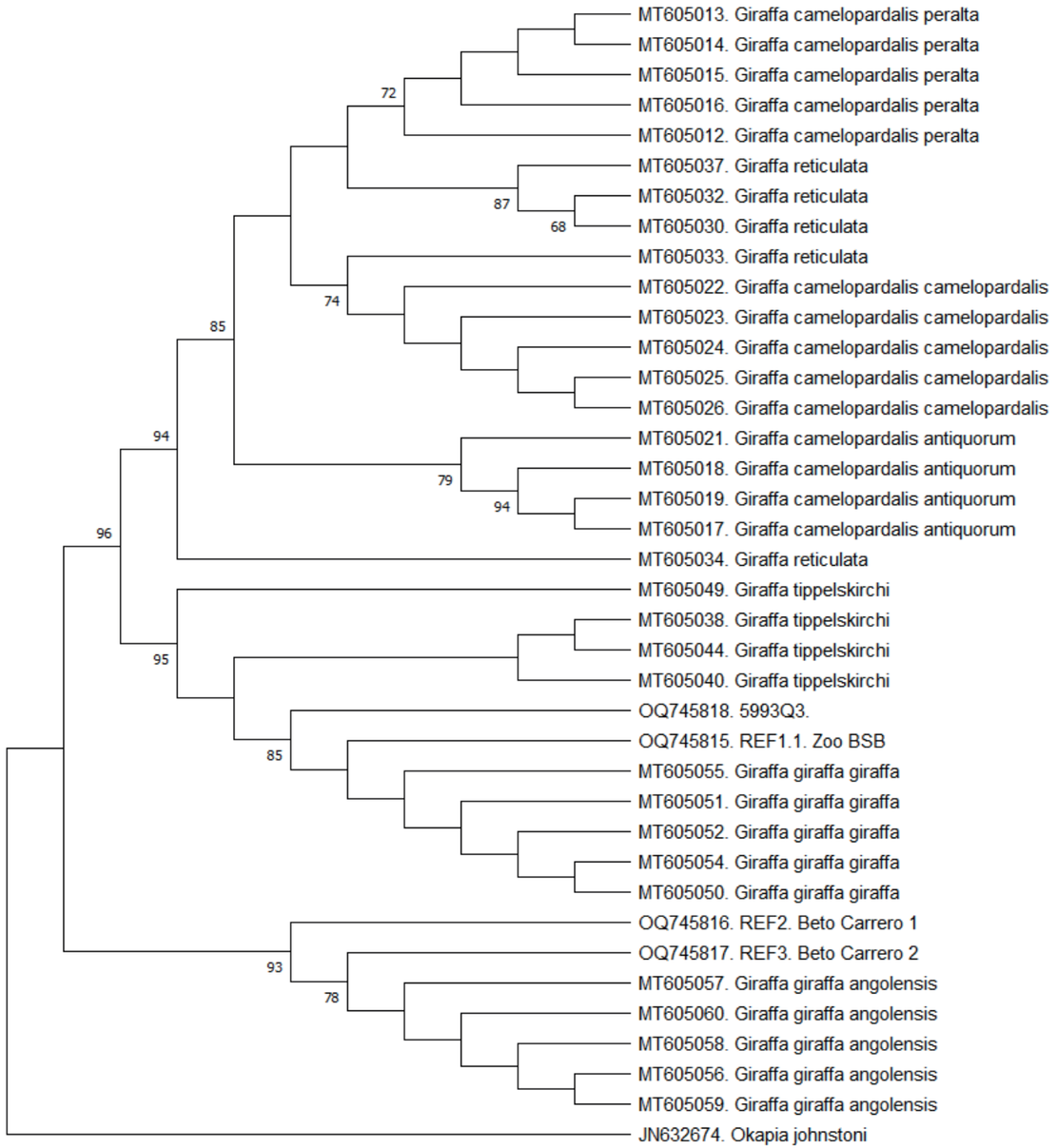


Figura 02: *COI ML tree (HKY+G), bootstrap 500 (values below 50 are omitted). In the figure, "5993Q3" is the representative sequence of the 18 sequenced animals, and "REF" refers to the sequences of the animals from the Brazilian zoos sampled for this study (GenBank accession numbers are provided).*

Nevertheless, even results obtained with the use of highly representative databases, such as GenBank, must be considered with care, depending on the group. In the present case, besides *G. g. giraffa*, sequences of *G. tippelskirchi* also presented high similarity with the queried COI sequence, which could make identifications based solely on this marker problematic. Considering the queried cyt b sequence, in addition to *G. g. giraffa*, sequences from two other subspecies/species (*G. g. angolensis* and *G. tippelskirchi*) also showed the same percentage of similarity (100%). However, bearing in mind that there are dozens of other sequences from *G. g. angolensis* and *G. tippelskirchi* in GenBank that showed lower similarity (<99%), and that phylogenetic analyzes conducted here resulted in these subspecies/species grouping into clades other than the one formed by 5993Q3 and *G. g. giraffa*, it is possible that these sequences are from more genetically diverse or misidentified individuals.

Coimbra et al. (2021) stated that *Giraffa camelopardalis* would comprise three subspecies, *G. c. antiquorum*, *G. c. camelopardalis* and *G. c. peralta*, and would be found in North Africa, in the limits of the sub-Saharan region. *Giraffa reticulata*, with no subspecies, and *G. tippelskirchi*, with two subspecies, *G. t. tippelskirchi* and *G. t. thornicrofti*, would occur further to the center of the continent. Finally, *Giraffa giraffa*, with two subspecies, *G. g. angolensis* and *G. g. giraffa*, would be found in the south, with populations in South Africa, Namibia, Angola, Botswana, Zimbabwe, Zambia, and Mozambique. Although the taxonomy of the group is still an object of discussion by some authors, the results of the phylogenetic analyzes carried out showed that giraffes imported to Brazil are more similar to individuals of the subspecies *G. g. giraffa*, which are mainly found in south of the African continent. Therefore, it is possible that the giraffes brought to Brazil were, in fact, originated from South African wild populations, as indicated by importers. It is noteworthy that the analyzes performed here are not conclusive, since they were based on only two mitochondrial markers and with a very limited number of reference sequences. The use of nuclear markers, or even entire genomes, associated with a greater number of reference sequences from different giraffe populations is essential to safely determine the place of origin of the animals.

According to a study by Falkowski (2020) with mitochondrial markers, the 14 individuals of *Giraffa sp*. existing in Brazilian zoos in 2020 would belong to two distinct species, *G. giraffa*, and *G. camelopardalis*, showing greater or lesser genetic proximity to their different evolutionary branches. Given the results, the author makes recommendations for more efficient breeding of these individuals, avoiding deleterious results for the species, such as hybridization. In this sense, the absence of more precise taxonomic information regarding the imported giraffes, based on genetic tests, for example, represents a serious problem. In addition to preventing a better understanding of the proposed conservation action, it would pose risks in terms of reproductive success if the imported animals were used in crossings with the existing giraffes in Brazil.

5. Conclusions

Although not conclusive in many aspects, the analysis of DNA sequences made possible, among other things, to indicate that the animals are more similar to individuals from populations that occur naturally in the south of the African continent. These data provided some elements to help the investigation conducted by the Brazilian Federal Police related to the import process but suggest further analyzes to confirm the results presented here and to clarify other aspects of the case. In general, the results confirm the importance of using molecular tools in the forensic area, especially in the investigation of wildlife crimes. In megadiverse countries, where this type of occurrence is quite common and represents a serious risk to the survival of the native species, the widespread use of these techniques would be very important and should be encouraged.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Brazilian Federal Police for the financial support, and the Brasília Zoo and the Beto Carrero Zoo for the giraffe samples sequenced during this study. Also, they thank the many reviewers, anonymous or not, for their criticisms and considerations about the article.

References

ALACS, E. A.; GEORGES, A.; FITZSIMMONS, N. N.; ROBERTSON, J. DNA detective: a review of molecular approaches to wildlife forensics. **Forensic Science, Medicine and Pathology**, v. 6, n. 3, p. 180-94, 2010.

BENSON, D. A.; CAVANAUGH, M.; CLARK, K.; KARSCH-MIZRACHI, I.; LIPMAN, D. J.; OSTELL, J.; SAYERS, E. W. GenBank. **Nucleic Acids Research**, v. 41(Database issue), p. 36-42, 2012.

BOCK, F.; FENNESSY, J.; BIDON, T.; TUTCHINGS, A.; MARAIS, A.; DEACON, F.; JANKE, A. 2014. Mitochondrial sequences reveal a clear separation between Angolan and South African giraffe along a cryptic rift valley. **BMC Evolutionary Biology**, v. 14, n. 219, p. 1-12, 2014.

CITES. **Appendices I, II and III**. Genebra: CITES, 2022. Available on: https://cites.org/sites/default/files/eng/app/2022/E-Appendices-2022-06-22.pdf. Accessed in 09/19/2023.

CHARLESWORTH, D.; WILLIS, J. H. The genetics of inbreeding depression. **Nature Reviews Genetics**, v. 11, p. 783-96, 2009.

CHEN, J.; JIANG, Z.; LI, C.; PING, X.; CUI, S.; TANG, S.; CHU, H.; LIU, B. Identification of ungulates used in a traditional Chinese medicine with DNA barcoding technology. **Ecology and Evolution**, v. 5, n. 9, p. 1818-25, 2015.

COIMBRA, R. T. F.; WINTER, S.; KUMAR, V.; KOEPFLI, K. P.; GOOLEY, R. M.; DOBRYNIN, P.; FENNESSY, J.; JANKE, A. Whole-genome analysis of giraffe supports four distinct species. **Current Biology**, v. 31, n. 13, p. 2929-2938, 2021.

DALTON, D. L.; KOTZE, A. DNA barcoding as a tool for species identification in three forensic wildlife cases in South Africa. **Forensic Science International**, v. 207, p. e51-4, 2011.

DALTON, D. L.; DE BRUYN, M.; THOMPSON, T.; KOTZE, A. 2020. Assessing the utility of DNA barcoding in wildlife forensic cases involving South African antelope. **Forensic Science International**: Reports, v. 2, 100071, 2020.

D'AMATO, M. E.; ALECHINE, E.; CLOETE, K. W.; DAVISON, S.; CORACH, D. Where is the game? Wild meat products authentication in South Africa: a case study. **Investigative Genetics**, v. 4, n. 6., p. 1-13, 2013.

EATON, M.; MEYERS, G.; KOLOKOTRONIS, S. O.; LESLIE, M.; MARTIN, A.; AMATO, G. Barcoding bushmeat: Molecular identification of Central African and South American harvested vertebrates. **Conservation Genetics**, v. 11, p. 1389-1404, 2010.

FALKOWSKI, M. S. S. **Elucidando a identidade das girafas no brasil: uma abordagem molecular multiloci como ferramenta norteadora para a conservação ex-situ das espécies.** Master's Thesis (Animal Biology). Postgraduate Program in Animal Biology, Federal University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil, p. 99. 2020.

FENNESSY, J.; BIDON, T.; REUSS, F.; KUMAR, V.; ELKAN, P.; NILSSON, M. A.; VAMBERGER, M.; FRITZ, U.; JANKE, A. Multi-locus Analyses Reveal Four Giraffe Species Instead of One. **Current Biology**, v. 26, n. 18, p. 2543-2549, 2016.

HASEGAWA, M.; KISHINO, H.; YANO, T. Dating the human-ape split by a molecular clock of mitochondrial DNA. **Journal of Molecular Evolution**, v. 22, n. 2, p. 160-174, 1985.

IUCN. **The IUCN Red List of Threatened Species. V. 2022-1**. Cambridge: IUCN, 2022. Available on https://www.iucnredlist.org. Accessed in 09/19/2022.

JOHNSON, R. N.; WILSON-WILDE, L.; LINACRE, A. Current and future directions of DNA in wildlife forensic science. Forensic Science International Genetics, v. 10, p. 1-11, 2014.

MULLER, Z.; BERCOVITCH, F.; BRAND, R.; BROWN, D.; BROWN, M.; BOLGER, D.; CARTER, K.; DEACON, F.; DOHERTY, J. B.; FENNESSY, J.; FENNESSY, S.; HUSSEIN, A. A.; LEE, D.; MARAIS, A.; STRAUSS, M.; TUTCHINGS, A.; WUBE, T. ***Giraffa camelopardalis* (amended version of 2016 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2018)**. Cambridge: IUCN, 2018.: e.T9194A136266699. Available on https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T9194A136266699.en. Accessed in 05/10/2023.

O'CONNOR, D.; STACY-DAWES, J.; MUNEZA, A.; FENNESSY, J.; GOBUSH, K.; CHASE, M. J.; BROWN, M. B.; BRACIS, C.; ELKAN, P.; ZABERIROU, A. R. M.; RABEIL, T.; RUBENSTEIN, D.; BECKER, M. S.; PHILLIPS, S.; STABACH, J. A.; LEIMGRUBER, P.; GLIKMAN, J. A.; RUPPERT, K.; MASIAINE, S.; MUELLER T. Updated geographic range maps for giraffe, *Giraffa spp*., throughout sub-Saharan Africa, and implications of changing distributions for conservation. **Mammal Review**, v. 49, n. 4, p. 285-299, 2019.

PEREIRA, F.; CARNEIRO, J.; AMORIM, A. Identification of species with DNA-based technology: current progress and challenges. **Recent Patents on DNA & Gene Sequences, v. 2**, n. 3, p. 187-99, 2008.

PETZOLD, A.; HASSANIN, A. A comparative approach for species delimitation based on multiple methods of multi-locus DNA sequence analysis: A case study of the genus Giraffa (Mammalia, Cetartiodactyla). **PLoS One**, v. 15, n. 2: e0217956, 2020.

RATNASINGHAM, S.; HEBERT, P. D. Bold: The Barcode of Life Data System (http://www.barcodinglife.org). **Molecular Ecology** Notes, v. 7, n. 3, p. 355-364, 2007.

SANCHES, A.; TOKUMOTO, P. M.; PERES, W. A.; NUNES, F. L.; GOTARDI, M. S.; CARVALHO, C. S.; PELIZZON, C.; GODOI, T. G.; GALETTI, M. Illegal hunting cases detected with molecular forensics in Brazil. **Investigative Genetics**, v. 3, n. 1, p. 17, 2012.

TAMURA, K.; STECHER, G.; KUMAR, S. MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 11. **Molecular Biology and Evolution**, v. 38, n. 7, p. 3022-3027, 2021.

TOBE, S. S.; KITCHENER, A. C.; LINACRE, A. M. Reconstructing mammalian phylogenies: a detailed comparison of the cytochrome B and cytochrome oxidase subunit I mitochondrial genes. **PLoS One**, v. 5, n. 11: e14156, 2010.

VERMA, S. K.; SINGH, L. Novel universal primers establish identity of an enormous number of animal species for forensic application. **Molecular Ecology Notes**, v. 3, p. 28-31, 2003.

WARD, R. D.; ZEMLAK, T. S.; INNES, B. H.; LAST, P. R.; HERBERT, P. D. N. DNA barcoding Autralia's fish species. **Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences**, v. 360, n. 1462, p. 1847-57, 2005.

WINTER, S.; FENNESSY, J.; JANKE, A. Limited introgression supports division of giraffe into four species. **Ecology and Evolution**, v. 20, p. 10156-10165, 2018.

COMO CITAR ESTE ARTIGO

CARVALHO, C. B. V.; PARANAÍBA, R. T. F.; TRINDADE, B. R. Exploratory use of mitochondrial markers to investigate a suspicious case of importing giraffes to Brazil. Perícia Federal, v. 1, n. 52, p. 59–66, 2023. https://doi.org/10.29327/266815.1.52-1

INTERNAL VALIDATION OF DNA EXTRACTION FROM HUMAN BLOOD REFERENCE SAMPLES USING CHELEX® 100 RESIN

VALIDAÇÃO INTERNA DA EXTRAÇÃO DE DNA DE AMOSTRAS DE REFERÊNCIA DE SANGUE HUMANO UTILIZANDO A RESINA CHELEX® 100

VALIDACIÓN INTERNA DE LA EXTRACCIÓN DE ADN DE MUESTRAS DE REFERENCIA DE SANGRE HUMANA UTILIZANDO LA RESINA CHELEX® 100

Marlon Anselmo Duarte da Costa[1], Apoena de Oliveira Lopes[2], Rafael de Liz[3], Alexandro Mangueira Lima de Assis[4], Diana Vilas Boas e Silva[5], Luiz Guilherme Barros Cocentino[6]

1. Perito Criminal Federal lotado no Serviço de Perícias em Genética Forense do Instituto Nacional de Criminalística. Possui graduação em Farmácia e mestrado em Ciências da Saúde pela Universidade de Brasília (UnB), com especializações em Identificação Humana e em Genética Forense, ambas pela Academia Nacional de Polícia (ANP).
Currículo Lattes: http://lattes.cnpq.br/2937648832967253

2. Perito Criminal Federal desde 2009, atuando principalmente nas áreas de Meio Ambiente, Documentoscopia e Genética Forense. É especialista em Documentoscopia (2014) e em Genética Forense (2022), ambas pela Academia Nacional de Polícia. Atualmente lotado no Serviço de Perícias em Genética Forense do Instituto Nacional de Criminalística.
Currículo Lattes: http://lattes.cnpq.br/4854072719952407

3. Perito Criminal Federal desde 2019. Possui graduação em Farmácia (2004) com habilitação em Análises Clínicas (2006) pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); especialização em Imunologia e Microbiologia pela Faculdade Única (2019), mestrado (2007) e doutorado (2012) em Farmácia, área de concentração Fármaco-Medicamentos, pela UFSC. Pós-Doutorado (2014) pelo Instituto Nacional de Pesquisa Científica – Laval, Canadá (2014) e Pós-Doutorado pelo Departamento de Biologia Celular e Molecular da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/Universidade de São Paulo (2015). Tem experiência nas áreas de Imunologia, Biologia Celular e Criminalística com ênfase em Genética Forense e Fortalecimento da Cadeia de Custódia.
Currículo Lattes: http://lattes.cnpq.br/0593388653233347

4. Perito Criminal Federal desde 2003, atualmente lotado no Setor Técnico-Científico da Polícia Federal em Alagoas. Graduado em Farmácia pela Universidade Federal da Paraíba, com doutorado em Química e Biotecnologia, mestrado em Genética e especialização em Genética Forense pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Docente permanente do Programa de Pós-graduação em Materiais do Centro de Tecnologia da UFAL e pesquisador do Laboratório de Eletroquímica, Polímeros e Ciências Forenses da UFAL (@lepfor_ufal). Professor convidado da disciplina "Perícia: Justiça pela Ciência" ofertada pela Faculdade de Direito da Universidade de Brasília. Atua nos seguintes temas: Genética Forense, Química Forense, Identificação Humana, Impressões Digitais, DNA de Toque, Documentoscopia Forense, Criminalística e na pesquisa de materiais avançados com aplicação inovadora em Ciências Forenses. **Currículo Lattes:** http://lattes.cnpq.br/4184234863416619

5. Perita Criminal Federal desde 2013, atualmente lotada no Serviço de Perícias em Genética Forense do Instituto Nacional de Criminalística (INC). Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais (2005) e mestrado em Biologia Celular pela Universidade Federal de Minas Gerais (2008). **Currículo Lattes:** http://lattes.cnpq.br/7415048251831100

6. Perito Criminal Federal com atuações nas áreas de Meio Ambiente, Local de Crime, Reproduções Simuladas e Genética Forense. Possui graduação em Agronomia pela Universidade de Brasília (2002), especializações em Geoprocessamento também pela Universidade de Brasília (2003) e em Genética Forense pela Academia Nacional de Polícia (2022).
Currículo Lattes: http://lattes.cnpq.br/8568772371972167

Ano 04 | Vol. 8
Dezembro de 2023

Resumo

O processo de extração de DNA é uma etapa crucial para o exame de identificação genética. O presente estudo tem por objetivo verificar a eficiência do protocolo de extração por meio da resina Chelex® 100 em amostras de referência de sangue com vistas à obtenção de DNA em quantidade e qualidade suficientes para a genotipagem, sem a necessidade de quantificação prévia. Foram utilizadas amostras de sangue total de 6 (seis) voluntários e, posteriormente, coletados suabes (por meio de imersão em tubo com sangue) para proceder à metodologia de extração por Chelex® 100. Em seguida, os produtos de extração foram quantificados, efetuou-se o cálculo da média e desvio padrão dos valores encontrados e, logo após, realizou-se a amplificação de todos os eluídos com o volume médio obtido no cálculo. Foi analisada a qualidade dos eletroferogramas das amostras amplificadas e calculada a taxa de retrabalho para a amostragem do estudo (razão do número de amostras com necessidade de reamplificação pelo número de amostras totais). Os resultados encontrados demonstraram que a utilização de 1 µL do DNA extraído por Chelex® 100, sem diluição, foi suficiente para a obtenção de perfis genéticos interpretáveis. Por fim, foi possível demonstrar que a etapa experimental da validação da extração de DNA a partir de suabes com sangue de referência por Chelex® 100 encontra-se concluída no Serviço de Perícias em Genética Forense da Polícia Federal, podendo, assim que completada as demais etapas documentais da validação, ser realizada com celeridade e eficiência, uma vez que o DNA obtido apresentou quantidade e qualidade suficientes para ser amplificado e genotipado, de acordo com os requisitos do Laboratório.

Palavras-chave: Extração, DNA Forense, Sangue, Chelex, RMI, Validação.

Abstract

The DNA extraction process is a crucial step in the genetic identification test. The present study aims to verify the efficiency of the extraction protocol using Chelex® 100 resin in blood reference samples in order to obtain DNA in sufficient quantity and quality for genotyping, without the need for quantification procedures. Blood samples from 6 (six) volunteers were used and, subsequently, swabs were collected (by immersion in the tube containing blood) to carry out the extraction procedure by Chelex® 100. Then, the quantification of each extraction product, calculation of the average and standard deviation of the values were found and, thereafter, amplification of all eluates with the average volume obtained in the calculation was performed. The quality of the electropherograms of amplified samples was analyzed and the rework rate for the study sample was calculated (number of samples to be reamplified divided by the number of total samples). The results showed that the use of 1 µL of DNA extracted by Chelex method was sufficient to obtain reference genetic profiles. Finally, we demonstrated that the DNA extraction in swabs with blood reference samples by Chelex® 100 has the experimental stage of its validation concluded at the Laboratory of Forensic Genetics of the Brazilian Federal Police and can, once validated, be performed with speed and efficiency, since the DNA obtained presented sufficient quantity and quality to be amplified and genotyped, in accordance with the Laboratory requirements.

Keywords: Extraction, Forensic DNA, Blood, Chelex, Validation.

Resumen

El proceso de extracción de ADN es un paso crucial en la prueba de identificación genética. Este estudio tiene como objetivo verificar la eficiencia del protocolo de extracción mediante resina Chelex® 100 en muestras de sangre de referencia para obtener ADN en cantidad y calidad suficiente para el genotipado, sin necesidad de procedimientos de cuantificación. Se utilizaron muestras de sangre de 6 (seis) voluntarios y, posteriormente, se recolectaron hisopos (por inmersión en el tubo con sangre) para realizar el procedimiento de extracción mediante Chelex® 100. Luego, se realizó la cuantificación de cada producto de extracción, cálculo del promedio y desviación estándar de los valores encontrados y, después, amplificación de todos los eluatos con el volumen medio obtenido en el cálculo. Se analizó la calidad de los electroferogramas de las muestras amplificadas y se calculó la tasa de retrabajo de la muestra del estudio (número de muestras que necesitaban reamplificación dividido por el número de muestras totales). Los resultados encontrados mostraron que el uso de 1 µL de ADN extraído por Chelex, sin dilución, fue suficiente para obtener perfiles genéticos de referencia. Finalmente, demostramos que la extracción de ADN a partir de hisopos con sangre de referencia utilizando Chelex® 100 ha alcanzado la etapa de validación experimental culminada en el Servicio Pericial de Genética Forense de la Policía Federal de Brasil, y puede, una vez validada, realizarse con rapidez y eficiencia, ya que el ADN obtenido fue en cantidad y calidad suficiente para ser amplificado y genotipado, de acuerdo con los requerimientos del Laboratorio.

Palabras clave: Extracción, ADN Forense, Sangre, Chelex, RMI, Validación.

1.Introdução

A Genética Forense tem apresentado importância crescente nos cenários de investigação criminal; identificação humana, determinação de espécies animais e de plantas para fins forenses; além de aplicações com impacto social, envolvendo a identificação de pessoas desaparecidas. Nesse contexto, o processamento de amostras biológicas visando à obtenção de perfil genético inclui, regra geral, as etapas de amostragem, extração, quantificação, amplificação e genotipagem. Dentre essas fases, a extração de DNA tem se mostrado etapa crucial para que se proceda aos passos seguintes do exame de identificação genética (DIAS FILHO *et al*., 2020).

A extração de DNA da amostra é uma etapa importante do processamento do material biológico em análise e tem por objetivo disponibilizar DNA em quantidade e pureza adequadas para as próximas etapas do processamento da amostra (BUTLER, 2009). Diversas metodologias de extração estão disponíveis para utilização em laboratórios forenses, como por exemplo aquelas baseadas em fenol-clorofórmio, sílica ou separação magnética, cuja escolha depende das características da amostra a ser processada ou das rotinas laboratoriais estabelecidas (SINGH; KUMARI; IYENGAR, 2018). Dentre as metodologias de extração disponíveis para uso em amostras de referência, destaca-se o método que utiliza a resina Chelex (WALSH; METZGER; HIGUCHI, 1991).

O Chelex é uma resina composta de copolímeros de estireno-divinilbenzeno contendo grupos pareados de íons iminodiacetato, que atuam como quelantes de íons polivalentes, com alta seletividade por íons divalentes (BIO-RAD LABORATORIES, 2017), sendo útil ao se ligar a íons Mg2+, que são cofatores de DNAses, resultando na inibição da degradação do DNA de interesse (BUTLER, 2009); além disso, há indícios de que a resina possui a capacidade de evitar a degradação do DNA quando uma amostra biológica é submetida à ebulição (LEE; MCCORD; BUEL, 2014). O método que utiliza a resina Chelex é uma metodologia de extração rápida de DNA, de baixo custo, a qual não requer múltiplas transferências de tubos e não utiliza solventes orgânicos tóxicos, como o fenol-clorofórmio (PHILLIPS; MCCALLUM; WELCH, 2012). Por outro lado, a resina Chelex também pode atuar como um inibidor da reação em cadeia da polimerase (PCR), uma vez que possui afinidade pelos íons magnésio, necessários para o funcionamento da Taq polimerase (WILLARD; LEE; HOLLAND, 1998); dessa forma, é importante que a resina seja separada do eluído previamente à amplificação na reação de PCR.

Atualmente, o Serviço de Perícias em Genética Forense (SEPGEF) do Instituto Nacional de Criminalística da Polícia Federal realiza a extração de DNA de referência a partir de amostras coletadas por suabe oral utilizando resina Chelex® 100, cujo método já está validado. No entanto, outros tipos de amostras de referência podem ser objeto de análise pelo SEPGEF. Segundo o Manual de Procedimentos Operacionais da Rede Integrada de Perfis Genéticos (RIBPG), existem diversas categorias de amostras biológicas, relacionadas com crimes ou procedimentos investigatórios, passíveis de serem inseridos no Banco Nacional de Perfis Genéticos (BNPG) (RIBPG, 2022). Dentre essas categorias, destaca-se a de Resto Mortal Identificado (RMI), a qual compreende o perfil genético obtido de indivíduos falecidos e com identidade conhecida. De acordo com a Resolução nº 11/2019 da RIBPG, tais perfis podem ser incluídos em bancos de dados de perfis genéticos mediante determinação judicial ou solicitação da autoridade policial. Nos casos de solicitação da autoridade policial, a inclusão ocorrerá nas seguintes hipóteses: (i) quando houver ação penal proposta contra o falecido; (ii) quando o falecido estiver sendo investigado em inquérito policial, previamente instaurado, para apurar a autoria de crimes praticados mediante violência ou grave ameaça; ou (iii) quando o óbito ocorrer em decorrência de confronto armado. Além disso, a inclusão do perfil em banco de dados de perfil genético independerá de solicitação de autoridade policial, membro do Ministério Público ou autoridade judiciária, caso o indivíduo possua condenação por crime doloso praticado mediante violência grave contra a pessoa; crime contra a vida; crime contra a liberdade sexual; ou crime sexual contra vulnerável (RIBPG, 2019). Nos casos de RMIs, a coleta de material biológico para obtenção do perfil genético pode-se dar por meio da coleta de sangue da cavidade cardíaca utilizando suabe estéril ou cartão FTA.

Ademais, o SEPGEF possui laboratório acreditado pela norma ISO/IEC 17025:2005 para a realização de exames de identificação e vínculo genético. Nesse sentido, a validação de novas metodologias a serem utilizadas na rotina do SEPGEF é uma exigência da referida norma, cabendo ao laboratório demonstrar que novos métodos e procedimentos produzem resultados válidos e comparáveis, antes de serem adotados em sua rotina.

Segundo Butler, validação é a demonstração de que a metodologia utilizada é robusta, reprodutível e confiável (BUTLER, 2009). O SWGDAM (*Scientific Working Group on DNA Analysis Methods* - Grupo de Trabalho Científico sobre Métodos de Análise de DNA), em seu Guia de Validação para Métodos de Análise em DNA (Validation Guideline for DNA Analysis Methods), define validação como "o processo pelo qual um procedimento é avaliado para se determinar eficácia e confiabilidade dos seus resultados para análises de casuística ou banco de dados" (SWGDAM, 2016). A validação de métodos, portanto, é um importante instrumento para garantir a confiabilidade e a validade dos resultados emitidos pelo laboratório forense (GONZALEZ; BENETTI, 2022).

Dessa forma, o presente trabalho buscou realizar a validação interna da extração de DNA utilizando a resina Chelex® 100 a partir de amostras de referência de sangue coletadas por suabe, visando atestar os resultados dessa metodologia nas condições ambientais do SEPGEF.

2. Metodologia

2.1. Amostras

Amostras de cerca de 4 mL de sangue total foram coletadas, em veia periférica, de seis doadores voluntários, sendo três homens e três mulheres, Peritos Criminais Federais externos ao SEPGEF. As amostras foram transferidas para tubos contendo ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA). A partir dos seis tubos de EDTA contendo sangue coletado dos doadores, foram embebidos o algodão de 54 suabes estéreis (Olen®, K41-0201B, Jiangsu Rongye Technology, China), sendo nove suabes de cada doador, deixando secar à temperatura ambiente por sete dias. Três peritos foram responsáveis pela etapa de extração de DNA por Chelex® 100, em dias distintos, que foi realizada em três suabes de cada um dos seis doadores.

Ressalta-se que os voluntários não receberam transfusão de sangue nas duas últimas semanas ou transfusão medular no último semestre anteriores à coleta, que não estavam em uso de medicamentos imunossupressores e que se encontravam em bom estado de saúde, não possuindo doença imunossupressora. Adicionalmente, os doadores foram informados, por meio de assinatura de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), que as regiões do DNA utilizadas nos exames não revelavam características físicas ou comportamentais de indivíduos, exceto determinação de gênero (feminino ou masculino), e que os perfis genéticos obtidos das amostras coletadas nessa pesquisa não seriam incluídos em Bancos de Perfis Genéticos, seguindo os preceitos éticos e legais para pesquisas envolvendo seres humanos.

2.2. Aspectos éticos

O presente estudo foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Fundação de Pesquisa em Ciências da Saúde – FEPECS/SES/DF – (CAAE 61749922.8.0000.5553) e, após sua aprovação, foram realizadas as análises no Laboratório de Genética Forense da Polícia Federal.

2.3. Extração manual de DNA por Chelex

Foi utilizado o protocolo de extração manual de DNA por Chelex® 100 descrito anteriormente por Walsh e colaboradores, com modificações (WALSH; METZGER; HIGUCHI, 1991). O procedimento consistiu em imergir o suabe de interesse em 1 mL de água MilliQ e realizar movimentos rotacionais por aproximadamente 1 minuto. Em seguida, os tubos contendo as amostras foram centrifugados a 4838 força centrífuga relativa (RCF) por 2 minutos em uma minicentrífuga de bancada (L1202 Spin, Loccus, Brasil). O sobrenadante foi cuidadosamente removido, deixando cerca de 25 µL e o pellet ressuspendido nesse líquido. Em cada amostra, foram adicionados 200 µL de Chelex® 100 a 5% (Chelex 100 Resin, 100–200 mesh, Na-form, BIO-RAD Laboratories, Richmond, CA, USA), atentando-se para manter a resina homogênea previamente à pipetagem, e 2 µL de proteinase K a 20 mg/mL (Ludwig Biotec Ltda). Após isso, as amostras foram homogeneizadas e incubadas a 56ºC por 30 minutos em termobloco (IT-2002, Bioplus Ltda). Em seguida, as amostras foram homogeneizadas por 10 segundos em vortex IKA® MS3 (IKA Works, Inc., Wilmington, NC), centrifugadas a 4838 RFC por 10 segundos e incubadas em banho de água fervente por 8 minutos. Por fim, as amostras extraídas foram novamente homogeneizadas em vortex por 10 segundos, centrifugadas a 4838 RFC por 2 minutos e armazenadas em freezer a -20ºC.

2.4. Quantificação

Os produtos de extração foram quantificados no equipamento Applied Biosystems 7500 Real-Time PCR System (Applied Biosystems®), utilizando-se o kit Investigator® Quantiplex® Pro (Qiagen®), de acordo com protocolo validado no SEPGEF. O volume total da reação foi de 20 µL, incluindo 2 µL de extrato do DNA molde.

Após a etapa de quantificação, foi calculada a média das concentrações obtidas para as amostras. A partir da concentração média encontrada, foi calculado o volume médio, de forma a se obter quantidade próxima a 1 ng de DNA, visando à realização da etapa seguinte de amplificação. Foi retirado um volume pré-definido (volume médio calculado) de cada uma das amostras para a realização da etapa subsequente.

2.5. Amplificação

As amostras, após quantificação e determinação do volume médio a ser utilizado na reação, foram submetidas à amplificação utilizando o sistema comercial PowerPlex® Fusion 6C System (Promega®) realizada em termociclador Veriti® 96-Well Thermal Cycler (Applied Biosystems®), conforme protocolo descrito pelo fabricante. Dessa forma, o volume total da reação foi de 25 µL, incluindo 1 µL de extrato do DNA molde.

2.6. Genotipagem

Para a realização da genotipagem das amostras, foi realizada eletroforese capilar de fluorescência multicolorida de perfis de microssatélites amplificados (ou Short Tandem Repeats – STR) em Analisador Genético Applied Biosystems 3500 Series Genetic Analyzer (Applied Biosystems®), segundo as instruções do fabricante. O volume total utilizado por amostra foi de 11 µL, sendo 9,5 µL de formamida Hi-Di, 0,5 µL de padrão interno de peso molecular (WEN Internal Lane Standard 500) e 1 µL de extrato do DNA molde. Os dados foram coletados por meio do software Data Collection® v3.1 (Applied Biosystems®) e, posteriormente, analisados com o programa GeneMapper® ID-X v1.6 (Applied Biosystems®).

2.7. Análise estatística

O cálculo das médias e desvios-padrão foram feitos por meio do Microsoft Office Excel 365. A comparação estatística entre as médias das amostras foi realizada utilizando análise de variância (ANOVA).

3. Resultados e Discussão

3.1. Quantificação das amostras extraídas com Chelex

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos na quantificação dos suabes (em triplicata) extraídos com Chelex dos seis doadores, totalizando 54 suabes analisados.

Com o objetivo de analisar a repetibilidade da metodologia, cada perito procedeu à extração de DNA de três suabes de cada doador. Para a avaliação de reprodutibilidade, três peritos realizaram os procedimentos de extração, em dias diferentes, totalizando 9 suabes analisados de cada doador. A análise das médias das concentrações obtidas a partir da extração das amostras de cada um dos seis doadores demonstrou que a metodologia de extração por Chelex exibiu repetibilidade e reprodutibilidade adequadas, visto que não houve diferença estatisticamente significativa entre cada um dos doadores masculinos (doadores 1, 2 e 3), nem entre cada um dos doadores femininos (doadores 4, 5 e 6).

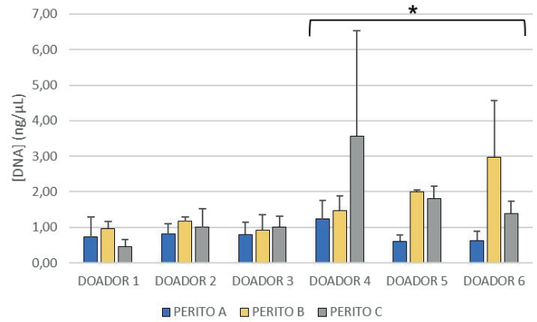


Figura 01: *Quantificação do DNA (ng/µL) extraído dos suabes com sangue de seis doadores. Três peritos (A, B e C) realizaram a extração, em triplicata, de suabes coletados dos doadores. Cada barra representa a média (ng/µL) ± desvio padrão das três extrações realizadas por perito, para as amostras provenientes de cada um dos 6 doadores. * p < 0,05 versus média dos doadores 1, 2 e 3.*

Apesar de não ser o objetivo do trabalho, a partir dos resultados obtidos foi possível observar (Figura 1), utilizando o teste ANOVA com fator único, que houve diferença estatística entre as médias das concentrações dos doadores homens (doadores 1, 2 e 3; média 0,8746 ng/µL; desvio-padrão 0,3587; variância 0,1286) e as médias das concentrações das doadoras mulheres (doadores 4, 5 e 6; média 1,7450 ng/µL; desvio-padrão 1,3561; variância 1,8390), corroborando com evidências encontradas em trabalhos anteriores (BAIN, 1996; ROSENFELD et al., 2019). Não obstante, ressalta-se que fatores relacionados à etapa de amostragem do sangue com o suabe ou variações na quantidade de algodão dos suabes podem ocorrer, gerando diferenças nas quantidades de DNA extraído entre os doadores. Dessa forma, exames mais detalhados, assim como a utilização de um universo amostral mais amplo, seriam necessários para confirmar a diferença na quantidade de DNA recuperada entre as amostras masculinas e femininas.

A partir da média das concentrações obtidas na quantificação de DNA em todos os suabes avaliados, chegou-se à concentração de 1,3098 ng/µL. Considerando-se que a quantidade ótima para a amplificação utilizando o kit *PowerPlex® Fusion 6C* é de 1 ng, seria necessário utilizar aproximadamente 0,76 µL dos extratos na etapa de amplificação. No entanto, buscando maior adequação à rotina do laboratório, foram examinados volumes inteiros dos extratos.

3.2. Perfis genéticos obtidos das amostras extraídas com Chelex

Para avaliar se a utilização de um volume fixo e inteiro dos extratos obtidos dos suabes com sangue gerariam perfis genéticos com qualidade para análise, baixa taxa de retrabalho e melhor operacionalização desse procedimento no SEPGEF, foram realizadas amplificações utilizando 1 µL dos extratos obtidos e 1 µL dos extratos com diluição 1:2.

As amostras foram codificadas de acordo com a ausência ou presença de diluição, sendo "1" para as amostras não diluídas e "0.5" para as amostras diluídas 1:2; além disso, "D" corresponde ao doador (total de 6 doadores); "S" corresponde ao suabe analisado (cada perito analisou 3 suabes de cada doador) e "A, B ou C" indica o perito responsável pela extração da amostra (total de 3 peritos). Adicionalmente, em verde estão indicados os marcadores aprovados pelo software *GeneMapper*; em amarelo tem-se os marcadores com picos em desbalanço (D) ou picos com sinais de fluorescência acima de 8000 RFUs – picos estourados (E); e em vermelho, os marcadores com a presença de alelos *Out of Ladder* (OL)[1], *stutter* (ST)[2] ou outros artefatos (A). Ademais, "CPOS" representa os controles positivos utilizados na reação de amplificação. As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados obtidos na genotipagem dos extratos obtidos sem diluição (Tabela 1) e com diluição 1:2 (Tabela 2). Ressalta-se que os controles negativos da extração não apresentaram alelos em nenhum marcador molecular (dados não mostrados).

Em todos os 54 suabes de referência analisados, presentes nas amostras com ou sem diluição, foi possível a obtenção de perfis genéticos individuais e completos. Por conseguinte, a taxa de retrabalho foi de 0%, tanto para as amostras não diluídas quanto para as amostras diluídas (Tabela 3).

Conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2, foi possível a determinação de todos os alelos das 23 regiões autossômicas alvo do kit de amplificação utilizado, independentemente da quantidade de DNA utilizada (1 µL do extrato sem ou com diluição). No entanto, houve diferença na quantidade de marcadores apresentando desbalanço ou picos estourados (em amarelo); bem como presença de OLs, *stutters* ou outros artefatos (em vermelho), quando

[1] Pico do eletroferograma gerado por artefato da reação de amplificação caracterizado por apresentar posicionamento fora da escada alélica.

[2] Pico do eletroferograma gerado por artefato da reação de amplificação caracterizado, geralmente, pela deleção de uma unidade de repetição do alelo em questão.

	D3S1358	D1S1656	D2S441	D10S1248	D13S317	Penta E	D16S539	D18S51	D2S1338	CSF1PO	Penta D	TH01	vWA	D21S11	D7S820	D5S818	TPOX	D8S1179	D12S391	D19S433	SE33	D22S1045	DYS391	FGA	DYS576	DYS570	médias das alturas (RFUs)	DP das alturas (RFUs)	Média (RFUs)
1_D1.S1_A			D																								3496	992	
1_D1.S2_A														D			D										2175	736	
1_D1.S3_A					E	D										E											5549	1533	
1_D1.S1_B					E							E				E		E			ST						7558	2044	
1_D1.S2_B													D		ST												2158	644	3669
1_D1.S3_B																											3270	910	
1_D1.S1_C																											3680	971	
1_D1.S2_C						D															ST						3155	995	
1_D1.S3_C									D					D	ST						ST						1977	508	
1_D2.S1_A						OL																					3734	1353	
1_D2.S2_A				E	E	OL				E	E						E		E		E			E			8169	2852	
1_D2.S3_A				E													E		E					E			5434	1752	
1_D2.S1_B				E	E	OL											E				E			E			5614	2078	
1_D2.S2_B				E	E	OL				E	E						E		E		E			E			8077	3028	6580
1_D2.S3_B				E	E	OL				E	E						E		E		E			E			7070	2678	
1_D2.S1_C	E	E	E	E	E	OL		E		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	12120	4574	
1_D2.S2_C																											4467	1620	
1_D2.S3_C						OL																					4539	1535	
1_D3.S1_A															D												2001	546	
1_D3.S2_A																											4106	886	
1_D3.S3_A	E												E			ST						ST					4687	1137	
1_D3.S1_B	E												E									ST					5414	1342	
1_D3.S2_B		D																				D					1606	643	3817
1_D3.S3_B																											3149	855	
1_D3.S1_C	E																							ST			3988	1007	
1_D3.S2_C																						ST					2472	585	
1_D3.S3_C	E												E									ST					6931	1440	
1_D4.S1_A		E											E			E											6253	1988	
1_D4.S2_A																											3812	1236	
1_D4.S3_A																											982	297	
1_D4.S1_B		E											E			E			ST	D							6244	2638	
1_D4.S2_B		E											E			E			A		A						6867	1944	8315
1_D4.S3_B													E			E											4777	1611	
1_D4.S1_C		E											E			E			ST		A						7434	2312	
1_D4.S2_C	OL	OL	OL	A	OL	OL	OL	OL	OL	A	OL	A	A	A	A	OL	OL	OL	A	A	A	OL	A	A	OL	A	27097	4810	
1_D4.S3_C	OL	E	E	E	OL	A	E	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E	A	E	A	E		E			11365	3674	
1_D5.S1_A															D							ST					3571	1184	
1_D5.S2_A	E			ST	E					E	E					E						E					5450	1992	
1_D5.S3_A																			E								2556	886	
1_D5.S1_B	E	E	E	E	E	OL		E	E	E			E	OL	E	E	E	E	E	E	A	E		E			11743	4238	
1_D5.S2_B	E		E		E	OL			E	E			E	E	E	E	E				ST	E		E			9419	3583	8360
1_D5.S3_B	E				E	OL			E	E						E						E					7259	2479	
1_D5.S1_C	E	E	E	E	E	OL	E	E	E	E	E		E	OL	E	E	E		E	E	A	E		E			11453	4353	
1_D5.S2_C	E				E	OL			E	E				E		E	E		E		A	E		E			8924	3308	
1_D5.S3_C	E	E	E	E	E	OL	E	E	E	E	E	E	E	E	E	OL	E	E	E		A	E		E			14863	4988	
1_D6.S1_A	E			E						E																	5608	1755	
1_D6.S2_A																					A						3729	1034	
1_D6.S3_A			E																		A						2677	876	
1_D6.S1_B	E	E	E	E	ST	OL	E	E		E		OL	E	E	E	OL	E	E	OL	E	OL	E		E			12809	3597	
1_D6.S2_B										E								E			A						6925	2143	7823
1_D6.S3_B	OL	A	E	OL	E	OL	E	E	E	E	E	OL	OL	E	A	OL	E	E	OL	E	OL	E	OL	E			16990	5249	
1_D6.S1_C	E			E														E									6001	1568	
1_D6.S2_C	E	E	E	E	E			E		E			E			E		E	E								9244	2868	
1_D6.S3_C	E			E						E								E									6426	1650	
CPOS 1																E					A						4186	1305	
CPOS 2					D						D								ST	D	A		ST				2860	1009	2827
CPOS 3						D													D								2378	821	
CPOS 4											D				D					D							1886	654	

Aprovado
D Desbalanço
E Estourado
ST Stutter
OL Out of Ladder
A Artefato (outros)
Ausência já esperada de alelo (perfis femininos)

Tabela 01: *Genotipagem das amostras a partir de 1 µL dos extratos obtidos (sem diluição) na extração realizada nos suabes com sangue pelo método Chelex.*

	D3S1358	D1S1656	D2S441	D10S1248	D13S317	Penta E	D16S539	D18S51	D2S1338	CSF1PO	Penta D	TH01	vWA	D21S11	D7S820	D5S818	TPOX	D8S1179	D12S391	D19S433	SE33	D22S1045	DYS391	FGA	DYS576	DYS570	médias das alturas (RFUs)	DP das alturas (RFUs)	Média (RFUs)
0.5_D1.S1_A									D												ST						1686	489	
0.5_D1.S2_A										D											ST						1326	342	
0.5_D1.S3_A						D																		ST			3238	949	
0.5_D1.S1_B												D															2947	714	
0.5_D1.S2_B																					ST						2158	588	1874
0.5_D1.S3_B																											1491	422	
0.5_D1.S1_C				D		D			D					D					D					ST		1597	482	
0.5_D1.S2_C									D													D					1685	477	
0.5_D1.S3_C		D				D		D	D								D				D						734	263	
0.5_D2.S1_A																						D					1517	554	
0.5_D2.S2_A																											3376	1326	
0.5_D2.S3_A																											2378	863	
0.5_D2.S1_B																											2291	921	
0.5_D2.S2_B																				D							2835	1051	2735
0.5_D2.S3_B																											3014	1077	
0.5_D2.S1_C				D		OL												E		E		E			E		5004	2263	
0.5_D2.S2_C						D		D																			1814	713	
0.5_D2.S3_C		D				ST		D																			2382	857	
0.5_D3.S1_A		D		D										D													1374	416	
0.5_D3.S2_A																						ST		ST			2107	523	
0.5_D3.S3_A																	D										2633	691	
0.5_D3.S1_B																						D					2103	541	
0.5_D3.S2_B											D																993	328	1867
0.5_D3.S3_B																											1262	415	
0.5_D3.S1_C											D			D								ST					2293	516	
0.5_D3.S2_C				D					D	D				D													1321	352	
0.5_D3.S3_C																											2720	618	
0.5_D4.S1_A																											2520	730	
0.5_D4.S2_A	D			D														D									1659	479	
0.5_D4.S3_A																											656	242	
0.5_D4.S1_B																											3218	997	
0.5_D4.S2_B																											2678	776	4238
0.5_D4.S3_B									D																		1939	557	
0.5_D4.S1_C																											4214	1260	
0.5_D4.S2_C	OL	E	E	OL	OL	OL	E	E	E	ST	E	OL	A	E	E	E	E	E	ST	E	OL	E		E			16883	4417	
0.5_D4.S3_C																											4376	1149	
0.5_D5.S1_A		D					D						D														1684	589	
0.5_D5.S2_A											D																2465	809	
0.5_D5.S3_A																											1081	380	
0.5_D5.S1_B																											4306	1412	
0.5_D5.S2_B	E			E			E	E						E							E						6326	2169	3613
0.5_D5.S3_B																											3551	1313	
0.5_D5.S1_C														E													4543	1593	
0.5_D5.S2_C																											3191	1171	
0.5_D5.S3_C	E			E										E							E						5372	1773	
0.5_D6.S1_A												D															2674	772	
0.5_D6.S2_A														D													1808	506	
0.5_D6.S3_A												D										D					1091	354	
0.5_D6.S1_B	E			E					E									E									6370	1799	
0.5_D6.S2_B																					ST						2617	739	3614
0.5_D6.S3_B	E	D	D	E	D	D		D		D					D	OL	D	E	D	D	D	D		D			10242	3011	
0.5_D6.S1_C																											2340	714	
0.5_D6.S2_C																					ST						3022	829	
0.5_D6.S3_C								D																			2361	778	
CPOS 1																	E				A						4186	1305	
CPOS 2				D							D								ST	D	A		ST				2860	1009	2827
CPOS 3					D											D			D								2378	821	
CPOS 4											D				D					D							1886	654	

Aprovado
D Desbalanço
E Estourado
ST Stutter
OL Out of Ladder
A Artefato (outros)
Ausência já esperada de alelo (perfis femininos)

Tabela 02: *Genotipagem das amostras a partir de 1 µL dos extratos obtidos (com diluição 1:2) na extração realizada nos suabes com sangue pelo método Chelex*

comparadas as amplificações das amostras diluídas e sem diluição. As amostras com diluição 1:2 apresentaram 22 artefatos (OL, ST e A), contra 91 apresentados pelas amostras não diluídas, ou seja, as amostras diluídas apresentaram 76% menos artefatos que as amostras não diluídas. Além disso, as amostras com diluição apresentaram uma média das alturas dos picos de 2990 RFUs (*Reference Fluorescence Unit* - Unidade de Fluorescência de Referência), contra 6427 RFUs das amostras sem diluição, conforme Tabela 3; enquanto os controles positivos apresentaram uma média das alturas dos picos de 2827 RFUs. Em média, a diluição 1:2 do extrato obtido parece ter disponibilizado uma quantidade de DNA mais adequada para as reações de amplificação, de acordo com as especificações técnicas do kit utilizado.

As Figuras 2 e 3 ilustram, de forma representativa, parte do eletroferograma de perfis avaliados nas amostras amplificadas sem diluição e com diluição 1:2, respectivamente, demonstrando a altura dos picos, balanceamento entre os alelos nos marcadores moleculares analisados, além da presença ou não de artefatos. A Figura 2 evidencia os marcadores D10S1248 e D13S317 com picos exibindo sinais de fluorescência elevados, além do marcador Penta E apresentando um artefato (OL). Já a Figura 3 mostra os respectivos marcadores com picos de altura adequada, balanceados e sem a presença de artefatos. Apesar dessas diferenças, a identificação dos perfis genéticos obtidos não foi prejudicada em nenhum dos casos.

	Extratos sem diluição	Extratos com diluição 1:2
Taxa de retrabalho	0%	0%
Artefatos	91	22
Média das alturas dos picos	6427 RFUs	2990 RFUs

Tabela 03: *Taxa de retrabalho, quantidade de artefatos e média das alturas dos picos encontrados na genotipagem dos extratos sem diluição e com diluição 1:2.*

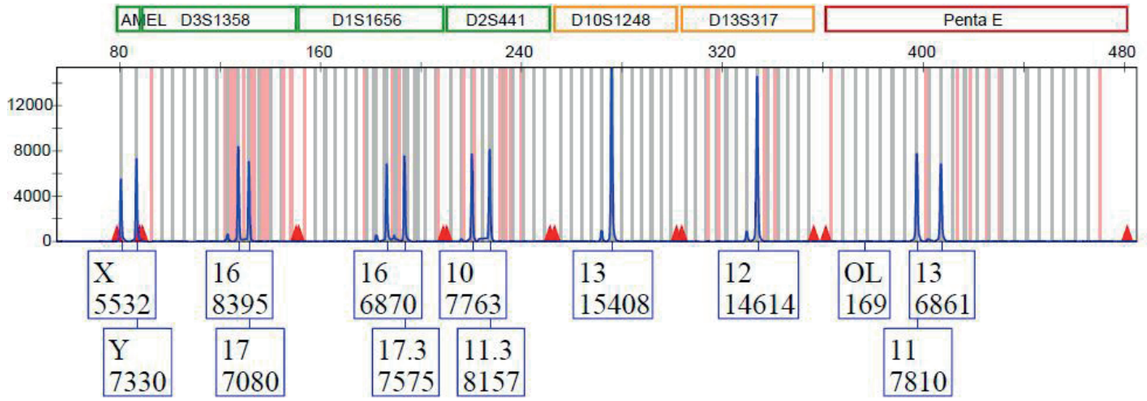


Figura 02: *Parte do eletroferograma de um dos perfis avaliados (1_D2.S2_A) a partir de 1 µL do extrato obtido (sem diluição) na extração realizada em suabe com sangue pelo método Chelex.*

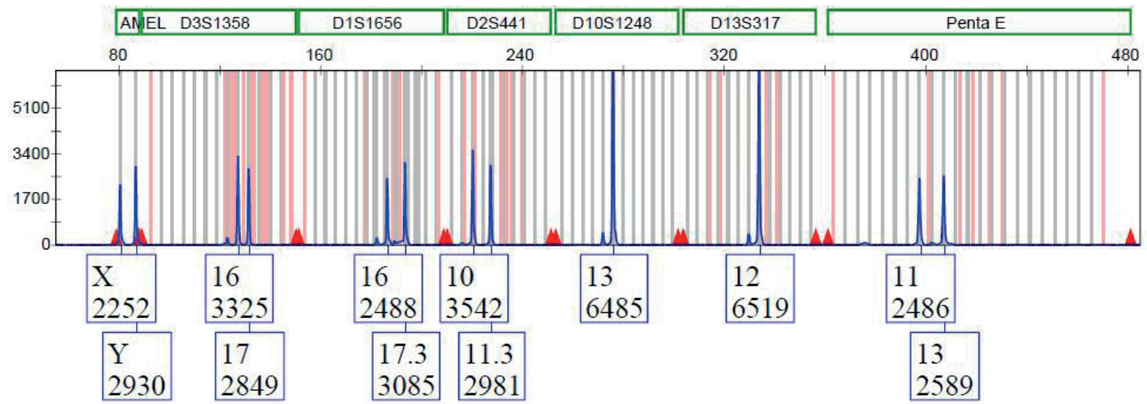


Figura 03: *Parte do eletroferograma de um dos perfis avaliados (0.5_D2.S2_A) a partir de 1 µL do extrato obtido (com diluição 1:2) na extração realizada em suabe com sangue pelo método Chelex.*

Ressalta-se que pode haver problemas com o armazenamento por longo prazo de amostras extraídas com Chelex, tendo em vista a possibilidade de os extratos conterem impurezas (SINGH; KUMARI; IYENGAR, 2018). No entanto, estudos de nosso Laboratório mostraram que o armazenamento a -20°C das amostras de DNA de referência em suabe oral extraídas com Chelex, não impediu que a grande maioria delas (aproximadamente 95%) fosse novamente amplificada e genotipada, mesmo após 10 anos de armazenamento, independentemente das eventuais alterações que possam ter ocorrido em suas características originais (dados não mostrados). De fato, a metodologia de armazenamento empregada pelo SEPGEF é considerada eficaz para manter a viabilidade do DNA em muitas situações (BAUST, 2008; HARA et al., 2015). Entre outras vantagens, baixas temperaturas impedem a proliferação de microrganismos e diminuem a velocidade de reações químicas que podem levar à degradação do DNA, auxiliando na sua preservação (OOSTING et al., 2020). Quando se deseja armazenar amostras de DNA por períodos muito longos de tempo – séculos, por exemplo – abordagens alternativas como a criopreservação a uma temperatura de -196ºC ou armazenagem em uma matriz sólida seca parecem ser mais adequadas (BAUST, 2008). Entretanto, tendo em vista a necessidade da manutenção de contraprovas em laboratórios forenses, estudos de estabilidade em longo prazo das amostras de referência em suabe de sangue extraídas por Chelex no SEPGEF serão necessárias, haja vista que o grupo heme da hemoglobina pode apresentar atividade inibitória da PCR (SIDSTEDT et al., 2018), aliado às limitações apresentadas por essa metodologia na remoção de inibidores da PCR presentes na amostra (WILLARD; LEE; HOLLAND, 1998).

Ao final, os resultados foram registrados em relatório de estudo do SEPGEF, de acordo com normativos internos deste Serviço de Perícias, para a adequação da nova metodologia a ser utilizada no laboratório.

Conclusões

O presente estudo demonstrou que a extração de DNA de amostras de referência de sangue humano por meio da resina Chelex® 100 foi capaz de extrair DNA autossômico humano de modo a obter perfis genéticos elegíveis para inserção em banco de dados, sem a necessidade de quantificação do DNA na amostra. Isso traz grandes implicações em termos de custo, uma vez que se trata de uma metodologia barata, além de otimizar o tempo de obtenção de perfis genéticos, já que elimina a necessidade da etapa de quantificação.

A média das concentrações de DNA de todos os suabes avaliados foi de 1,3098 ng/µL, o que implicaria o uso de 0,76 µL dos extratos na amplificação pelo kit *PowerPlex® Fusion 6C*. Por esse motivo, foram realizadas amplificações utilizando 1 µL dos extratos obtidos ou 1 µL dos extratos com diluição 1:2, tendo sido encontrados resultados satisfatórios em ambas as análises. Uma vez que já há um protocolo validado pelo SEPGEF para a extração de DNA de suabes orais de referência por Chelex e buscando excluir a etapa de diluição, sugere-se a utilização de 1 µL do DNA (sem diluição) extraído dos suabes com sangue para ser utilizado na etapa seguinte de amplificação.

Os resultados dos estudos realizados neste trabalho permitem concluir que extração de DNA de amostras de referência de sangue humano por meio da resina Chelex® 100 é adequada para uso forense e encontra-se com a etapa experimental da validação concluída no SEPGEF.

Conflito de interesse

O autor Alexandro Mangueira Lima de Assis é membro da Comissão Editorial da revista Perícia Federal e não participou do processo de revisão por pares e das decisões editoriais relacionadas à publicação do presente artigo científico."

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Perito Criminal Federal Carlos Benigno Vieira de Carvalho pelas discussões e revisão textual do trabalho, à Polícia Federal, em especial ao Instituto Nacional de Criminalística (INC/DITEC/PF) pelo apoio institucional, bem como aos colegas doadores das amostras de sangue utilizadas no estudo.

Referências

BAIN, B. J. Ethnic and sex differences in the total and differential white cell count and platelet count. **Journal of Clinical Pathology**, v. 49, n. 8, p. 664–666, 1996.

BAUST, J. Strategies for the Storage of DNA. **Biopreservation and Biobanking**, v. 6, n. 4, p. 251–252, 2008.

BIO-RAD LABORATORIES. Chelex 100 Chelating Ion Exchange Resin Instruction Manual. **Bio-Rad Laboratories,** p. 1–24, 2017.

BUTLER, J. M. **Fundamentals of Forensic DNA Typing**. Academic Press, 2009.

DIAS FILHO, C. R. et al. **Introdução à Genética Forense**. 1a ed. Campinas, SP: Editora Millenium, 2020.

GONZALEZ, T. P.; BENETTI, M. R. N. Validação em genética forense: da necessidade à prática. **Revista Brasileira de Criminalística**, v. 11, n. 1, p. 65–72, 2022.

HARA, M. et al. Effects of storage method on DNA degradation in old bloodstain samples. **Forensic Science International: Genetics Supplement Series**, v. 5, p. e39–e41, 2015.

LEE, S. B.; MCCORD, B.; BUEL, E. Advances in forensic DNA quantification: A review. **Electrophoresis**, v. 35, n. 21–22, p. 3044–3052, 2014.

OOSTING, T. et al. DNA degradation in fish: Practical solutions and guidelines to improve DNA preservation for genomic research. **Ecology and Evolution**, v. 10, n. 16, p. 8643–8651, 2020.

PHILLIPS, K.; MCCALLUM, N.; WELCH, L. A comparison of methods for forensic DNA extraction: Chelex-100® and the QIAGEN DNA Investigator Kit (manual and automated). **Forensic Science International**: Genetics, v. 6, n. 2, p. 282–285, 2012.

RIBPG. **Resolução no 11 - Inserção, manutenção e exclusão dos perfis genéticos de restos mortais de identidade conhecida na RIBPG**. Brasília: Comitê Gestor RIBPG, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/sua-seguranca/seguranca-publica/ribpg/resolucoes/resolucao11-RMI.pdf. Acesso em: 21/03/2023.

RIBPG. **Manual de Procedimentos Operacionais da Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos (versão 5)**. Brasília: Comitê Gestor RIBPG, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/sua-seguranca/seguranca-publica/ribpg/manual/manual_ribpg_v5_res_17.pdf. Acesso em 21/03/2023.

ROSENFELD, L. G. et al. Valores de referência para exames laboratoriais de hemograma da população adulta brasileira: Pesquisa Nacional de Saúde. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 22, n. suppl 2, p. 1–13, 2019.

SIDSTEDT, M. et al. Inhibition mechanisms of hemoglobin, immunoglobulin G, and whole blood in digital and real-time PCR. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 410, n. 10, p. 2569–2583, 2018.

SINGH, U. A.; KUMARI, M.; IYENGAR, S. Method for improving the quality of genomic DNA obtained from minute quantities of tissue and blood samples using Chelex 100 resin. **Biological Procedures Online**, v. 20, n. 1, p. 1–8, 2018.

SWGDAM. Validation Guidelines for DNA Analysis Methods. p. 1–13, 2016.

WALSH, P. S.; METZGER, D. A.; HIGUCHI, R. Chelex 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR-based typing from forensic material. **BioTechniques**, v. 10, n. 4, p. 506–13, 1991.

WILLARD, J. M.; LEE, D. A.; HOLLAND, M. M. Recovery of DNA for PCR Amplification from Blood and Forensic Samples Using a Chelating Resin. **Methods in Molecular Biology**, v. 98, p. 9–18, 1998.

COMO CITAR ESTE ARTIGO

COSTA, M. A. D. et al. Internal validation of DNA extraction from human blood reference samples using Chelex 100 resin. Perícia Federal, v. 1, n. 52, p. 67–76, 2023. https://doi.org/10.29327/266815.1.52-2

Metodologia forense para valoração **de danos às obras de arte**

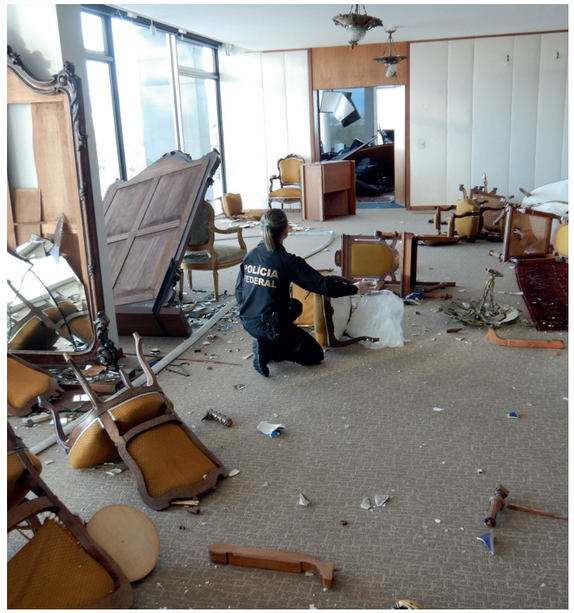
Por *Perito criminal federal Felipe Ferreira Paulúcio*



No dia 8 de janeiro de 2023, o Brasil sofreu uma das maiores agressões da história ao seu patrimônio cultural. Ao longo dos ataques às sedes dos três Poderes em Brasília, diversas obras e bens culturais foram vandalizados, o que gerou uma demanda sem precedentes para a perícia da Polícia Federal.

Brasília é apontada como a maior área tombada do mundo – 112,25 km², e ostenta o título de primeiro conjunto urbano do século XX a ser reconhecido como Patrimônio Mundial pela Unesco, em 1987. Os prédios que compõem a sede administrativa do país não só representam um marco da arquitetura moderna, como também abrigam inúmeras expressões artísticas, responsáveis por representar e proteger a identidade nacional e testemunhar a diversidade cultural brasileira.

"O patrimônio cultural de uma nação se refere, basicamente, aos costumes e à memória do seu povo, considerados fundamentais para a construção do seu futuro. A destruição desses elementos constitui perda irreparável para a sociedade e compromete a manutenção da identidade do país.", explica a perita criminal federal, chefe do Serviço de Perícias Documentoscópicas da Polícia Federal (SEPDOC), Licia Maria Said de Lavor.



Ao todo, com exceção dos bens subtraídos, a Polícia Federal contabilizou danos em 188 obras e objetos classificados como bens culturais, incluindo pinturas, esculturas, tapeçarias, mobiliários e outros variados tipos de objetos. O acervo cultural do Supremo Tribunal Federal foi o mais afetado pelos ataques, com 128 itens danificados, seguido pela Câmara dos Deputados (29), Palácio do Planalto (16) e Senado Federal (15).

Desconsideradas as obras anônimas, em torno de 22 artistas de diferentes nacionalidades tiveram seus trabalhos depredados, entre os quais figuram importantes expoentes e defensores da cultura brasileira, tais como: Alfredo Ceschiatti; Athos Bulcão; Bruno Giorgi; Cícero D'Ávila; Corrêa Lima; Di Cavalcanti; Franz Krajberg; Guido Mondim; Hildegardo Leão Velloso; Humberto Cozzo; Nicolina Couto; Remo Bernucci; Roberto Burle Marx; Rodolfo Bernadelli; Sebastião Salgado; Sônia Ebling; e Victor Brecheret.

O trabalho da perícia da Polícia Federal foi coordenado pelo SEPDOC e dividido em duas etapas. Primeiramente, uma equipe multidisciplinar, composta por sete peritos criminais federais, constatou, logo após os atos, os danos e as avarias causados aos objetos pertencentes ao acervo de obras de arte e de bens culturais de cada uma das sedes dos três Poderes. A perita Licia destaca que "esse trabalho contou com o apoio indispensável dos servidores responsáveis pela preservação e conservação dos acervos de cada órgão".

Em seguida, deu-se início à segunda e mais desafiadora etapa, que perdura até os dias atuais: a valoração dos danos observados. "Não é tarefa fácil traduzir em termos objetivos a valoração de objetos, cuja principal característica é, sem dúvida nenhuma, a própria subjetividade. O valor de um bem cultural ou obra de arte não está propriamente na materialidade do objeto. Seu valor está no que representa para um indivíduo, comunidade ou país. E como transformar isso em valores financeiros? Como traduzir em materialidade, por exemplo, o valor de um braço fraturado de uma escultura centenária que faz parte do acervo cultural de todo um povo?", aponta o perito criminal federal Marcus Vinicius de Oliveira Andrade, do Setor Técnico-Científico da PF em Minas Gerais (SETEC/MG).

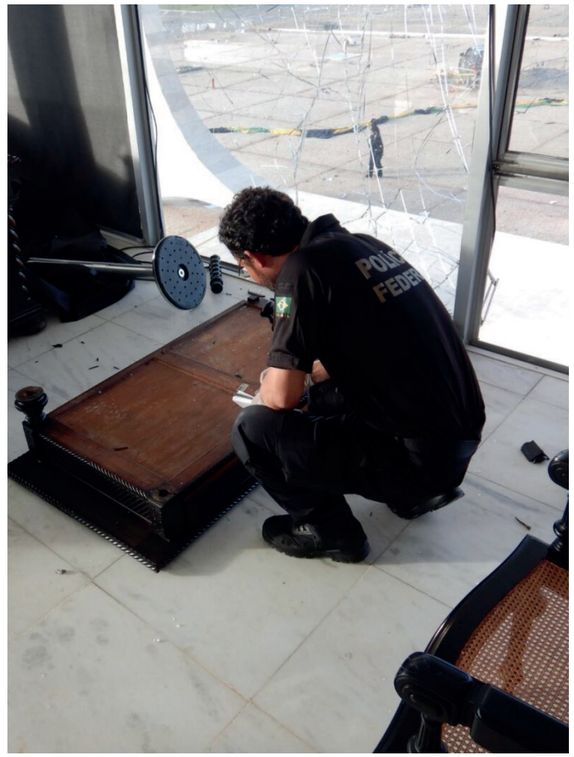


Para vencer esse desafio, foi necessário envolver diversos profissionais que, em parceria inovadora, buscaram traduzir em termos monetários o que representava o prejuízo causado às peças. Sendo assim, a metodologia de valoração do dano a cada obra e bem cultural foi elaborada, de forma inédita, por grupo de trabalho composto por PCFs lotados no SEPDOC e no Serviço de Perícias em Engenharia do Instituto Nacional de Criminalística, no Setor Técnico-Científico da e Polícia Federal em Curitiba (PR), integrantes do projeto GOIA (Guarda, Observação, Investigação e Análise de Bens Culturais e Obras de Arte) da Polícia Federal, além de pesquisadores do Centro de Conservação e Restauração de Bens Móveis da Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais.

Ao periciar os danos causados às obras, o PCF Felipe Ferreira Paulucio relata que o grupo de trabalho estipulou que o valor de dano seria entendido como o valor correspondente à eliminação, depreciação ou alteração de aspectos culturais, históricos e artísticos, entre outros associados ao estado original da obra. "Para tanto, as diversas camadas de valores de cada obra periciada foram avaliadas individualmente. Valores como autoria, historicidade, valor de culto, científico, artístico, entre outros, foram convertidos em coeficientes matemáticos para, em seguida, serem traduzidos em números".

Paulucio explica que a maior preocupação, ao longo do trabalho, foi proporcionar transparência ao processo, promover maior participação dos funcionários públicos responsáveis pela conservação do patrimônio cultural danificado e, acima de tudo, gerar evidências sólidas e auditáveis que garantissem o direito ao contraditório e à ampla defesa.

Dessa forma, foi desenvolvida uma metodologia de valoração dos danos, adaptável às particularidades de cada item ou grupo de itens avaliados. O Valor de Dano (VD) foi determinado pelo produto do Coeficiente de Dano (CD) pelo Valor



Econômico estimado da obra (VE), em que VD = CD x VE. O Coeficiente de Dano foi estipulado entre 0 e 1, de acordo com a avaliação atribuída pela equipe de curadoria de cada órgão, considerando o estado de conservação imediatamente após as ocorrências de 08/01/2023, em comparação com o estado anterior; as avarias constatadas; a integridade estrutural da peça; a complexidade e o custo estimado de restauro. O Valor Econômico estimado da obra, em termos gerais, foi calculado pelo produto do valor de mercado estimado (VME) pela soma do Fator de Proteção (FP) e do Fator de Relevância (FR), tal qual a seguinte fórmula: VE = VME x (1 + FP + FR).

O VME foi estimado segundo a realidade de cada bem avaliado, conforme preconizado pela ABNT NBR 14653, que prioriza o método comparativo direto de dados de mercado. O Fator de Proteção foi definido entre 0,1 e 0,5, dependendo do tipo e da abrangência dos instrumentos legais de proteção aos quais cada peça avaliada foi submetida, sem desconsiderar o simples fato de já fazerem parte da composição de espaços tombados.

O Fator de Relevância, por sua vez, cuja variação foi determinada de 0,0 a 0,60, buscou refletir a percepção das equipes responsáveis pela preservação e conservação dos acervos quanto às 12 tipologias (ou camadas) de valor associadas a cada obra. "O Fator de Relevância foi concebido com o propósito de identificar elementos que contribuíssem para a valorização de uma obra ou objeto em relação ao seu valor de mercado estimado. Nessa etapa, os bens periciados foram avaliados quanto ao seu valor de autoria; estético/artístico; histórico; de antiguidade; de coleção/série; de unicidade/raridade; de autenticidade/certificação; cultural/sociopolítico; científico/tecnológico; educacional; de abrangência e de integridade", esclarece o perito Paulucio.

"O valor de uma obra de arte, assim como o de qualquer outro objeto, é fruto de uma construção social e, portanto, não deve ser interpretado como estritamente objetivo", adverte o perito criminal federal Emerson Cristiano Frade. Diante disso, mesmo quando critérios técnico-científicos são adotados, os peritos envolvidos no caso alertam para a inevitável influência do viés cultural na valoração de um bem histórico. O grupo de trabalho defende, no entanto, que, mesmo diante dessas dificuldades, é possível estabelecer uma metodologia de valoração como a sugerida, que seja transparente e imparcial, características essas indissociáveis da atividade pericial e imprescindíveis à persecução penal.



SINAB

SISTEMA NACIONAL
DE ANÁLISE BALÍSTICA

Dezembro | 2023

Implementação em todo o país

Com o início da implementação em janeiro de 2022, o Sistema Nacional de Análise Balística completou a instalação e a interligação em rede em todas as unidades da federação em outubro de 2023 - um marco para a criminalística brasileira.

Já passam de

1000 HITs

encontrado através do SISTEMA

O Administrador nacional do SINAB perito criminal federal Lehi Sudy dos Santos ressalta que doravante *"todos os SETEC e NUTEC devem preparar material (padrões de armas e elementos de munição de local de crime/IML) e enviar para o INC, onde serão inseridos no Banco Nacional de Perfís Balísticos os casos de competência federal, pois, uma vez que todas as Polícias Científicas estaduais estão cadastrando parte dos crimes locais, há possibilidade de ligação das investigações federais às estaduais"*

27 estados
+ **Polícia Federal**
+ **Integrantes do SINAB**



Instalações

40 laboratórios em rede, acessando via SINAB, o Banco Nacional de Perfís Balísticos

Capacitações

29 Cursos do protocolo do SINAB ministrados pela SENASP, tendo sido capacitados **220 Peritos e Técnicos**

Projetos e estojos cadastrados

29.303

de locais de crimes

12.676

padrão de arma apreendida

14.320

Total de Ligações Confirmadas

+93% sem solicitação de confronto **1.178**

Total de ligações em que a arma do crime foi identificada **437**

Programa Brasil M.A.I.S ganha prêmios de inovação

Por ***Bruna Ricco***



O Programa Brasil M.A.I.S (Meio Ambiente Integrado e Seguro), da Diretoria Técnico-Científica (Ditec) da Polícia Federal, conquistou duas importantes premiações no 27º Concurso Inovações no Setor Público - promovido pela Escola Nacional de Administração Pública (Enap). Na categoria "Inovação ambiental", a iniciativa garantiu o 1º lugar. Já na categoria "Inovação em processos organizacionais no Poder Executivo Federal, Estadual e do Distrito Federal", ficou com o 3º.

Criado em 2020, o programa é coordenado por por peritos criminais federais e promove a aplicação da geotecnologia em apoio às funções de segurança pública, polícia judiciária, administrativa e demais atividades de Estado, por meio do acesso a imagens de satélite de alta resolução. A ferramenta visa dar maior capacidade de cobertura diária de imagens em alta precisão de todo o território nacional e tem auxiliado na identificação, monitoramento e operações policiais relacionadas a desmatamento, queimadas ou rompimento de barragens.

Para o perito criminal federal Cristiano da Cunha Duarte, um dos responsáveis pelo Brasil M.A.I.S, o concurso representa um reconhecimento valioso para qualquer projeto inovador no âmbito do serviço público. "A equipe ficou muito honrada por receber dois prêmios, em categorias distintas", afirma.

"Não foi fácil conceber, defender e operacionalizar tudo isso. Esse prêmio não é apenas para a equipe Segeo ou para a PF, é um reconhecimento dos resultados alcançados por todos os 71 mil usuários, das 344 instituições públicas integrantes da RedeMAIS", ressalta Cunha.

O Concurso Inovações no Setor Público é promovido pela Enap desde 1996, com o objetivo de incentivar a implementação de inovação em serviços, processos ou políticas públicas que produzam resultados positivos para o serviço público e para a sociedade, além de reconhecer e valorizar equipes de servidores ou empregados públicos que atuam de forma criativa e proativa em suas atividades.

Na edição de 2023, mais de 16 mil pessoas participaram da votação online para eleger os projetos favoritos.

O programa

A equipe por trás do Brasil M.A.I.S é composta por três órgãos-chave: a Diretoria Técnico-Científica da Polícia Federal (Ditec), encarregada de coordenar a operacionalização do Programa, abrangendo atividades como contratações, adesões de órgãos, gerenciamento de acesso e disponibilização de tecnologia; o Ministério da Justiça e Segurança Pública (MJSP), responsável pela governança, acompanhamento de resultados e estabelecimento de diretrizes e regras para ingresso e permanência; e a Secretaria Nacional de Segurança Pública (Senasp), encarregada de disponibilizar os recursos orçamentários e financeiros do Fundo Nacional de Segurança Pública.

Esses recursos são essenciais para que a Polícia Federal possa operacionalizar o programa, mediante o desenvolvimento de um Plano de Trabalho. Além disso, a Senasp desempenha um papel crucial no processamento das adesões das instituições do Sistema Único de Segurança Pública (Susp) em níveis estadual, distrital e municipal.





Impacto invisível:**como os vieses cognitivos afetam a Perícia Criminal**

Por *Aline Borges Teixeira, José Rocha de Carvalho e Jesus Antonio Velho*



Crédito: Nimperum Estionecae

O perito criminal, em seu trabalho diário, realiza diversas ações decorrentes de uma decisão. Essas decisões estão interconectadas e são interdependentes, podendo variar de acordo com a natureza e as circunstâncias do fato em apuração.

Nesse sentido, tendo em vista que a tomada de decisão é um processo que sofre interferências de diversos fatores inconscientes e que o modelo teórico hoje adotado no processo decisório humano é o da racionalidade limitada, o aprofundamento no conhecimento que permeia as decisões periciais e, consequentemente, os seus resultados se faz necessário (LUNENBURG, 2010; WARPECHOWSKI, 2018).

É importante ressaltar que o conhecimento do Perito Criminal não é meramente casual e empírico; a produção de um laudo pericial e as suas conclusões em relação às análises realizadas são, em suma, uma produção de conhecimento por meio da utilização de método científico (DOS REIS; GODINHO; MARQUES, 2016; VELHO; GEISER; ESPINDULA, 2017).

Apesar de o trabalho pericial ser pautado na objetividade e utilização de método científico, em certos momentos, há um preenchimento de lacuna durante as análises, principalmente em casos nos quais não é possível a utilização de padrões únicos para comparação. Dessa forma, é necessária uma pequena etapa de inferência, que preenche essa lacuna, porém essa etapa pode sofrer interferências de fatores inconscientes, os quais fazem parte dos processos cognitivos associados à tomada de decisão (DROR et al., 2011; SCHIFFER, 2008).

Estudos da ciência cognitiva indicam a existência de dois processos de cognição distintos, relacionados a processos e funcionamentos neurobiológicos diferentes e que se correlacionam. O primeiro processo de cognição, que usamos a maior parte do tempo, é menos sofisticado e dependente de estímulos e deixas ambientais, como observado no comportamento instintivo e no condicionamento. O segundo é controlado por mecanismos neurais mais complexos, que mobilizam a atenção e a consciência para examinar aspectos salientes do ambiente ou do processamento interno em momentos considerados importantes e que fogem às rotinas habituais. Esses processamentos cognitivos são designados como T1 e T2 (CONSENZA, 2016).

Assim, o processamento T1 opera de forma automática e rápida, com pouco ou nenhum controle voluntário. Comumente associados à intuição, os eventos do T1 operam silenciosamente, produzindo impressões, sensações, intenções, inclinações, sentimentos é até decisões e julgamento. Por outro lado, o processamento T2, atua alocando a atenção em atividades mentais laboriosas que demandam esforço, incluindo cálculos complexos. É um processo mais deliberado e consciente, envolvendo o uso da memória operacional, também denominada memória de trabalho (CONSENZA, 2016; KAHNEMAN, 2012; WOJCIECHOWSKI; DA ROSA, 2021).

A grande questão reside nas limitações do processamento T1, uma vez que o seu âmago está relacionado à detecção de relações simples e ao conforto cognitivo. Ele exige baixo consumo de energia e fornece respostas intuitivas às questões complexas. Dessa forma, o processamento T1 muitas vezes opta por atalhos cognitivos (heurísticas) para resolver questões complexas, fornecendo respostas adequadas, porém geralmente imperfeitas (CONSENZA, 2016; WOJCIECHOWSKI; DA ROSA, 2021).

Dessa forma, por meio das heurísticas simplificadoras, quando o processamento T1 se depara com uma pergunta mais difícil ou complexa, acaba respondendo por uma mais simples em seu lugar. Isso substitui a pergunta-alvo, que exigiria um raciocínio mais cuidadoso, pela questão heurística, sem que percebamos. O grande problema para o tomador de decisão, neste caso o Perito Criminal, é quando esses atalhos (heurísticas) geram erros sistemáticos, conhecidos como vieses cognitivos (KAHNEMAN, 2012; WOJCIECHOWSKI; DA ROSA, 2021).

Podemos avaliar esse efeito por meio da Figura 1. O que as pessoas veem nos desenhos depende da ordem em que examinam a série. As pessoas que iniciam pela direita veem os desenhos do meio como uma mulher; as pessoas que começam pela esquerda enxergam os desenhos do meio como um rosto de um homem (FISHER, 1968; RISINGER et al., 2002).

Também, é possível ilustrar, de uma forma ainda mais simples, esse fenômeno, conforme demonstrado na Figura 2. Se o caractere no centro é interpretado como a letra "B" ou o número "13" depende do contexto em que é visualizado, se a pessoa começa a ver a imagem na vertical ou horizontal. O contexto, seja de números ou letras próximos, permite que um observador resolva o símbolo ambíguo em uma opção ou outra (RISINGER et al., 2002). Na ciência forense, apesar de pouco elucidado, é importante avaliar o risco de esses processos inconscientes influenciarem as observações e conclusões do examinador (RISINGER et al., 2002).

O impacto do viés não se limita somente à interpretação dos resultados, tem um alcance amplo e profundo, impactando não só o conteúdo dos dados são (o que é coletado, o que é considerado ruído ou desconsiderado), mas também e os próprios resultados das análises (quais testes e análises conduzir, como os testes são

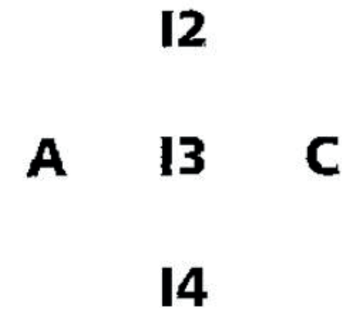


Figura 02: *Imagem ambígua de letras e números.. Retirada de Risinger et. al., 2002, p13.*

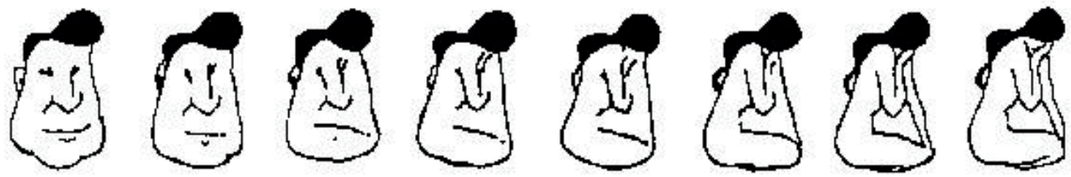


Figura 01: *Imagem ambígua de homem e mulher. Retirada de Risinger et. al., 2002, p12.*

conduzidos e por quem, quando iniciar e finalizar um teste). Atualmente, oito possíveis fontes de vieses nas análises periciais foram descritas, como ilustrado na figura abaixo (DROR, 2020)

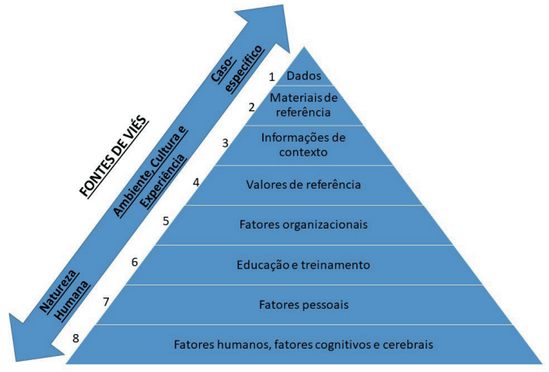


Figura 03: *Oito fontes de viés cognitivos presentes das decisões de especialistas. Traduzido e adaptado de Dror, 2020.*

A influência dos vieses cognitivos nas análises forenses vem sendo estudada por alguns pesquisadores e discutida em diversas áreas das Ciências Forenses. Em uma revisão sistemática, realizada em 2009, foram encontrados 27 estudos primários sobre viés cognitivo nas ciências forenses, dentre eles estudos envolvendo análises grafoscópicas, análises balísticas, análises de pegadas, marcas de mordidas, padrões de manchas de sangue, análises de cenas de crime, análise de ácido desoxirribonucleico (DNA), toxicologia forense, confronto de fragmentos de impressões papiloscópicas entre outros (CHIAM et al., 2021; COOPER; METERKO, 2019; DROR; HAMPIKIAN, 2011; FOUND; GANAS, 2013; KERSTHOLT et al., 2010; KERSTHOLT; PAASHUIS; SJERPS, 2007; KUKUCKA; KASSIN, 2014; OSBORNE et al., 2014; VAN DEN EEDEN; DE POOT; VAN KOPPEN, 2016)

Dessa forma, é importante ampliarmos as discussões, principalmente no que tange às formas de mitigação dos vieses na atividade pericial. O tema abrange diversos tipos de fontes de vieses, porém cabe aqui salientar o âmbito das informações de contexto, tendo em vista que já há estudos publicados sobre o tema indicando possíveis formas de mitigação.

Um grupo de peritos do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST) sugeriu, em seu estudo e recomendação de 2012, que a melhor forma de proteger contra informações de contexto tendenciosas é a realização de testes cegos. Não havendo razão para que os examinadores recebam informações que não sejam relevantes para o seu trabalho ou que não necessitem. No entanto, essa alternativa só protege o perito de influências externas, não contra as próprias tendencias do indivíduo, crenças e experiências, que também podem afetar o processo decisório (NIST, 2012).

A Comissão Nacional de Ciências Forenses, nos Estados Unidos, publicou em 2005 um documento orientativo sobre esse assunto, descrevendo que os analistas forenses devem apenas confiar em informações consideradas relevantes para suas análises. As comissões científicas de cada área forense devem especificar padrões e diretrizes dos tipos de informações irrelevantes para cada atividade. Assim, a criação de políticas e protocolos seria uma medida para evitar expor os analistas a informações irrelevantes, por meio de procedimentos detalhados por escrito, auxiliando o analista forense no reconhecimento do viés e protegendo-o pela adesão às boas práticas (NATIONAL COMISSION OF FORENSIC SCIENCE, 2015).

É importante salientar que, apesar da utilização de protocolos e procedimentos detalhados, nem todos os casos devem ser tratados da mesma forma. Quando a decisão é mais difícil, próxima do limite ou até ambígua, é mais provável que informações contextuais tenham mais potencial para interferir em determinado exame. Assim, algumas abordagens de triagem de informações pelo nível de dificuldade da tomada de decisão e pelo nível de vulnerabilidade ao viés foram sugeridas. Dror sugere, em um dos seus trabalhos, que as análises sejam divididas entre dois peritos. Um teria acesso a todas as informações e contexto do caso, definindo quais testes seriam aplicados, enquanto o outro realizaria o exame sugerido pelo primeiro, mas sem acesso às informações de contexto (DROR, 2013).

Outra sugestão encontrada na literatura é modificar a forma de trabalho dos Peritos Criminais, utilizando-se de um formato "linear" de análise. Nesse formato há inicialmente uma avaliação dos vestígios encontrados e a documentação das conclusões de suas análises para, posteriormente, realizar uma comparação com um suspeito. Isso elimina a forma como a informação é processada e o peso que o Perito Criminal atribui a ela em sua tomada de decisão. Os peritos, nesse caso, podem revisitar o caso e reavaliá-lo após receberem as informações de contexto do caso, mas sempre documentando todas as etapas com as devidas justificativas (KASSIN; DROR; KUKUCKA, 2013).

Dror *et. Al*. sugeriram uma ferramenta denominada Desmascaramento Sequencial Linear (DSL), na qual as informações sobre o caso em análise pelo Perito Criminal são organizadas para serem linearmente "desmascaradas" de acordo com a sua relevância para o exame realizado. As decisões sobre um resultado iniciam e são documentadas sobre os vestígios coletados em locais de crime para, posteriormente, os Peritos Criminais serem expostos à referência do suspeito (material de referência ou material conhecido).(DROR et al., 2015).

Porém, essa ferramenta tem sua utilização limitada, tendo em vista que é necessário que o exame realizado seja de comparação de um vestígio com um material de referência. Assim, a ferramenta foi posteriormente aprimorada para uma ferramenta expandida (DSL-E), podendo ser utilizada em locais de crimes e demais análises que não exigem comparações. Neste caso, o perito criminal deve iniciar o seu trabalho e documentá-lo somente com dados e vestígios reais, e apenas esses, sem considerar informações contextuais, seja ela explícita ou implícita, materiais de referência ou qualquer outra informação. Assim, o perito criminal deve, pelo menos inicialmente, formar sua opinião com base nos próprios dados brutos, antes de receber qualquer informação adicional que possa influenciar a sua opinião e, consequentemente, sua decisão (DROR; KUKUCKA, 2021).

A DSL-E utiliza três critérios interdependentes, que se relacionam entre si, para a sequência ideal de exposição às informações pelo Perito Criminal durante suas análises: o poder de polarização, objetividade e relevância das informações. Em relação à polarização, sugere-se que as informações que são fortemente tendenciosas sejam apresentadas antes das informações pouco tendenciosas. Já no que tange a objetividade, torna-se mais fácil a avalição, observando que as informações relevantes mais objetivas devem ter prioridade. Em relação à relevância, é necessária a avalição de quais informações estão no cerne e sustentam a decisão, e quais não são tão essenciais para o resultado (DROR; KUKUCKA, 2021).

Em suma, além das ferramentas utilizadas para a minimização da interferência das informações de contexto nas análises periciais, a tomada de consciência acerca do que são os vieses e os processamentos inconscientes, além das possíveis ilusões cognitivas de veracidade que podem estar presente na atividade pericial, é um passo importante para que o Perito Criminal tome decisões deliberadas e isentas de potenciais efeitos de heurísticas e vieses

No entanto, o conhecimento não necessariamente enseja uma mudança de comportamento e atitude sobre elas, não impede os processamentos automáticos e inconscientes, mas faz com que haja uma reflexão e um aprendizado no reconhecimento de situações em que os erros sistemáticos, devido à influência de informações tendenciosas, são mais prováveis de ocorrer.

Referências

CHIAM, S.-L. et al. The biasing impact of irrelevant contextual information on forensic odontology radiograph matching decisions. **Forensic Science International**, v. 327, p. 110997, out. 2021.

CONSENZA, R. M. **Por que não somos racionais: como o cérebro faz escolhas e toma decisões**. [s.l.] Arttmed, 2016.

COOPER, G. S.; METERKO, V. Cognitive bias research in forensic science: A systematic review. **Forensic Science International**, v. 297, p. 35–46, abr. 2019.

DOS REIS, A. B.; GODINHO, N. M.; MARQUES, I. **Metodologia Científica em Perícia Criminal**. 3a ed. São Paulo: Millennium Editora, 2016. v. 1

DROR, I. E. et al. Cognitive issues in fingerprint analysis: Inter- and intra-expert consistency and the effect of a 'target' comparison. **Forensic Science International**, v. 208, n. 1–3, p. 10–17, maio 2011.

DROR, I. E. Practical Solutions to Cognitive and Human Factor Challenges in **Forensic Science. Forensic Science Policy & Management: An International Journal**, v. 4, n. 3–4, p. 105–113, 3 jul. 2013.

DROR, I. E. et al. Letter to the Editor- Context Management Toolbox: A Linear Sequential Unmasking (LSU) Approach for Minimizing Cognitive Bias in Forensic Decision Making. **Journal of Forensic Sciences**, v. 60, n. 4, p. 1111–1112, jul. 2015.

DROR, I. E. Cognitive and Human Factors in Expert Decision Making: Six Fallacies and the Eight Sources of Bias. **Analytical Chemistry**, v. 92, n. 12, p. 7998–8004, 16 jun. 2020.

DROR, I. E.; HAMPIKIAN, G. Subjectivity and bias in forensic DNA mixture interpretation. **Science & Justice**, v. 51, n. 4, p. 204–208, dez. 2011.

DROR, I. E.; KUKUCKA, J. Linear Sequential Unmasking–Expanded (LSU-E): A general approach for improving decision making as well as minimizing noise and bias. **Forensic Science International**: Synergy, v. 3, p. 100161, 2021.

FISHER, G. H. Ambiguity of form: Old and new. **Perception & Psychophysics**, v. 4, n. 3, p. 189–192, maio 1968.

FOUND, B.; GANAS, J. The management of domain irrelevant context information in forensic handwriting examination casework. **Science & Justice**, v. 53, n. 2, p. 154–158, jun. 2013.

KAHNEMAN, D. **Rápido e devagar : duas formas de pensar**. 1a edição ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2012.

KASSIN, S. M.; DROR, I. E.; KUKUCKA, J. The forensic confirmation bias: Problems, perspectives, and proposed solutions. **Journal of Applied Research in Memory and Cognition**, v. 2, n. 1, p. 42–52, mar. 2013.

KERSTHOLT, J. et al. Does suggestive information cause a confirmation bias in bullet comparisons? **Forensic Science International**, v. 198, n. 1–3, p. 138–142, maio 2010.

KERSTHOLT, J. H.; PAASHUIS, R.; SJERPS, M. Shoe print examinations: Effects of expectation, complexity and experience. **Forensic Science International**, v. 165, n. 1, p. 30–34, jan. 2007.

KUKUCKA, J.; KASSIN, S. M. Do confessions taint perceptions of handwriting evidence? An empirical test of the forensic confirmation bias. **Law and Human Behavior**, v. 38, n. 3, p. 256–270, jun. 2014.

LUNENBURG, F. C. THE DECISION MAKING PROCESS. N**ational Forum of Educational Admisniration and Supervision Journal**, v. 27, 2010.

NATIONAL COMISSION OF FORENSIC SCIENCE. **Ensuring that forensic analysis is based upon task-relevant information**. Departament of Justice US, , 2015. Disponível em: <https://www.justice.gov/archives/ncfs/file/818196/download>

NIST, N. I. OF S. AND T. Latent Print Examination and Human Factors: Improving the Practice through a Systems Approach. 2012.

OSBORNE, N. K. P. et al. Does contextual information bias bitemark comparisons? **Science & Justice**, v. 54, n. 4, p. 267–273, jul. 2014.

RISINGER, D. M. et al. The Daubert/Kumho Implications of Observer Effects in Forensic Science: Hidden Problems of Expectation and Suggestion. **California Law Review**, v. 90, 2002.

SCHIFFER, B. The Relationship between Forensic Science and Judicial Error: A Study Covering Error Sources, Bias, and Remedies. 2008.

VAN DEN EEDEN, C. A. J.; DE POOT, C. J.; VAN KOPPEN, P. J. Forensic expectations: Investigating a crime scene with prior information. **Science & Justice**, v. 56, n. 6, p. 475–481, dez. 2016.

VELHO, J. A.; GEISER, G. C.; ESPINDULA, A. **Ciências Forenses: uma introdução às principais áreas da criminalística moderna**. 3a ed. Campinas SP: Millennium Editora, 2017.

WARPECHOWSKI, A. C. M. RACIONALIDADE LIMITADA: ORIGEM E EVOLUÇÃO. **Revista Jurídica Luso-Brasileira**, v. 4, 2018.

WOJCIECHOWSKI, P. B.; DA ROSA, A. M. **Vieses da justiça: como as heurísticas e vieses operam nas decisões penais e a atuação contraintuitiva**. 2 edição ed. Florianópolis: Emais, 2021.

APCF em AÇÃO

SEGUNDO SEMESTRE 2023



APCF e Fonacate se reuniram para avaliar o cenário legislativo para o segundo semestre. Dentre as reuniões ocorridas durante o período, os presentes debateram nova agenda para reforma administrativa.

Membros da APCF visitaram o ministro Reynaldo Soares da Fonseca, do Supremo Tribunal de Justiça (STJ), para apresentar a obra "O Direito à Prova Pericial no Processo Penal", cuja organização é do perito criminal federal Cláudio Saad Netto.





O presidente da Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais (APCF), Willy Hauffe, se reuniu com o deputado federal Sanderson (PL-RS), presidente da Comissão de Segurança Pública e Combate ao Crime Organizado. O objetivo foi discutir questões relacionadas à perícia criminal.

A APCF realizou mais uma edição da InterForensics, junto com a Academia Brasileira de Ciências Forenses, a Fundação Justiça pela Ciência e a Escola Nacional de Perícias. Foram quatro dias de uma programação rica e muita troca de conhecimento e informações, absorvidas e compartilhadas por profissionais da perícia criminal de diversas áreas; 1300 inscritos; mais de 30 países representados e 200 trabalhos apresentados.

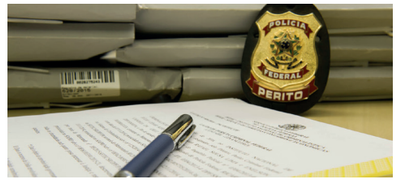




A Associação transmitiu o evento "Agenda ESG: Desafios, Segurança Jurídica, Inovação e Oportunidades" que contou com a participação do criador do ESG, Paul Clements-Hunt, líder da equipe da Organização das Nações Unidas (ONU).

Os diretores de Assuntos Parlamentares da APCF, Carlos Antônio de Almeida e Francisco Helmer, se reuniram com o ex-senador dos EUA, e atual diretor do Núcleo de Estudos sobre Democracia, Rodger Randler para entrega de um exemplar da 51ª edição da Revista Perícia Federal, que tem como matéria de capa os ataques às sedes dos Três Poderes.





A APCF, junto às entidades de classe, se reuniu com o Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos (MGI) para oficializar a abertura da mesa de negociação salarial das categorias da instituição.

O "Dia D" contou com a participação da APCF e das outras entidades em todo o território nacional. O protesto ocorreu em razão da desvalorização que a Polícia Federal vem passando. Durante os meses, as entidades publicaram notas conjuntas cobrando a valorização da PF e a reestruturação de suas carreiras.





O presidente, Willy Hauffe, foi recebido pelo secretário de Acesso à Justiça, Marivaldo Pereira, para debater questões relacionadas à perícia criminal.

A APCF prestigiou a 16ª edição do Prêmio Congresso em Foco. O presidente fez a apresentação dos senadores mais votados pelo voto do público. Além dele, o diretor financeiro da APCF, Gregson Chervenski, também participou do evento.





A Associação celebrou uma grande conquista: a aprovação do Requerimento nº 339/2023 pela Comissão de Segurança Pública e Combate ao Crime Organizado (CSPCCO) da Câmara dos Deputados. O requerimento, proposto pela APCF, solicita uma visita técnica da comissão ao INC.

O presidente da APCF, Willy Hauffe, e o diretor da entidade Erich Adam foram recebidos pela senadora e presidente da Comissão de Meio Ambiente do Senado Federal, Leila Barros (PDT-DF), para tratar de pautas relacionadas à criminalística. Eles também apresentaram uma proposta de substitutivo ao Projeto de Lei 3587/2023, prevendo a criação do Banco Nacional de Perfis Auríferos.





O Programa Brasil M.A.I.S, da Diretoria Técnico-Científica (Ditec-PF), conquistou duas premiações no 27º Concurso Inovações no Setor Público. 1º lugar em "Inovação ambiental", e 3º em "Inovação em processos organizacionais no Poder Executivo Federal, Estadual e do Distrito Federal".

O presidente participou do 5º Workshop Nacional de Isótopos Forenses, promovido pela Rede Nacional de Isótopos Forenses (ReNIF).





O presidente da APCF, Willy Hauffe, participou da cerimônia de celebração de 100 anos da Interpol, realizada no Ministério da Justiça e Segurança Pública (MJSP).

FALAMOS SOBRE **PERÍCIA CRIMINAL** EM ALTO E BOM TOM

ON AIR

PODCAST

Perícia Federal

Acesse nosso canal no Youtube

@CanalAPCF

descubra de que é feita a perícia federal



Associação Nacional
dos Peritos Criminais Federais

www.apcf.org.br