

ENTREVISTA
Luiz Antonio Martinelli
Professor Titular da Universidade
de São Paulo

Ano XVI - Revista nº 45 - Julho de 2020

PERÍCIA FEDERAL

ÁTOMOS NO RASTRO DO CRIME



POLÍCIA FEDERAL

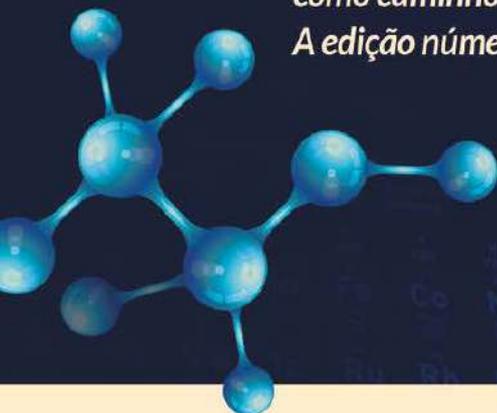


POLÍCIA FEDERAL



POLÍCIA FEDERAL

A Perícia Criminal Federal tem um novo campo de atuação em uma área inovadora, o Laboratório Nacional de Isótopos Forenses (LANIF), que utiliza a análise da razão isotópica dos vestígios materiais como caminho para elucidação de um crime. A edição número 45 traz um especial sobre o tema!



| | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|
| B | C | N | O | F | He |
| Al | Si | P | S | Cl | Ar |
| Ga | Ge | As | Se | Br | |



ENCARTE CIENTÍFICO

Novidade: a revista Perícia Federal irá publicar artigos em formato de *paper* a cada nova edição

DANOS AMBIENTAIS

Artigo assinado por peritos do Grupo de Perícias em Meio Ambiente do SETEC/SP detalha um novo modo de valorar danos ambientais



ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DOS PERITOS CRIMINAIS FEDERAIS

Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais

Diretoria Executiva Nacional

Marcos de Almeida Camargo
Presidente

Márcia Mônica Nogueira Mendes
Secretária-geral

Bruno Gomes de Andrade
Secretário-geral Adjunto

Willy Hauffe Neto
Diretor Financeiro

André Morisson
Diretor Financeiro Adjunto

Evandro Mário Lorens
Diretor Técnico-Social

Dângelo Victor Gonçalves
Diretor Social Adjunto

Ronaldo de Moura Ramos
Diretor de Comunicação

Daniel Pacheco Politano
Diretor de Comunicação Adjunto

Carlos Antônio Almeida de Oliveira
Diretor de Assuntos Parlamentares

Henrique Queiroz
Diretor de Assuntos Parlamentares Adjunto

Paulo Roberto Fagundes
Diretor de Aposentados Adjunto

Erick Simões da Camara e Silva
Diretor Jurídico

Vladimir de Lima Santos
Diretor Jurídico Adjunto

Meiga Áurea Menezes
Diretora de Patrimônio

Conselho Fiscal Deliberativo

Enelson Candeia Cruz
Presidente

Otávio Andrade Allemand Borges
Vice-presidente

Fabrizio Fonseca Theodoro
Membro Titular

Wilson Akira Uezu
1º Suplente

Fábio Caus Sicoli
2º Suplente

Gregson Afonso Lopes Chervenski
3º Suplente

Diretorias Regionais

ACRE

Diretor Regional: Rafael de Liz
Vice-diretor: Conrado Bernardi Petersen
Diretor Financeiro: Thiago Lizardo de Moraes
E-mail: apcf.ac@apcf.org.br

ALAGOAS

Diretor Regional: Raimundo Higino da Silva Junior
Vice-diretor: Rômulo Vilela Ferreira
Diretor Financeiro: Dário Alves Lima Junior
E-mail: apcf.al@apcf.org.br

AMAPÁ

Diretor Regional: Rafael Guimarães Alves
E-mail: apcf.ap@apcf.org.br

AMAZONAS

Diretor Regional: Marcos Antonio Mota Ferreira
Vice-diretor: Ricardo Lívio Santos Marques
Diretora Financeira: Martha Fernanda Barros Alfaia
E-mail: apcf.am@apcf.org.br

BAHIA

Diretor Regional: Jair Monteiro Pontes
Vice-diretor: Osvaldo Dalben Junior
Diretor Financeiro: Fernando José da Silva Filho
Diretor de Aposentados: Gutemberg de Albuquerque Silva
E-mail: apcf.ba@apcf.org.br

CEARÁ

Diretor Regional: Eurico Monteiro Montenegro
Vice-diretor: Maria da Conceição Cavalcante Lucena
Diretor Financeiro: Cirilo Max Macedo de Moraes
E-mail: apcf.ce@apcf.org.br

JUAZEIRO

Diretor Regional: Marco Antônio Valle Agostini
Vice-diretor: Deosio Cabral Ferreira
E-mail: apcf.ba@apcf.org.br

DISTRITO FEDERAL

Diretor Regional: João Carlos Gonçalves Pereira
Vice-diretor: Luis Otávio Gouveia
Diretor Financeiro: Fábio da Silva Botelho
E-mail: apcf.df@apcf.org.br

ESPÍRITO SANTO

Diretor Financeiro: Carlos Roberto O. Lima Roque
E-mail: apcf.es@apcf.org.br

GOIÁS

Diretor Regional: Isleamer Abdel K. dos Santos
Vice-diretor: Rodrigo Albernaz Bezerra
Diretor Financeiro: Denis de Barros Rezende
E-mail: apcf.go@apcf.org.br

MARANHÃO

Diretor Regional: Antônio José Gurgel Lopes
Vice-diretor: José Edmilson Santos de Andrade
Diretor Financeiro: Hmenon Carvalho dos Santos
E-mail: apcf.ma@apcf.org.br

MATO GROSSO

Diretor Regional: Wilson Hideo Yamamoto
Vice-diretor: Cid Borges Correa
Diretor Financeiro: Walvernack Beserra
E-mail: apcf.mt@apcf.org.br

MATO GROSSO DO SUL

Diretor Regional: Adoniram Judson Pereira Rocha
Vice-diretor: Matheus de Andrade Carvalho Souza
Diretor Financeiro: Eduardo Eugênio do Prado Bruck
Diretor de Aposentados: Adoniram Judson Pereira Rocha
E-mail: apcf.ms@apcf.org.br

UBERLÂNDIA

Diretor Regional: Jorge Eduardo de Sousa Aguiar
Vice-diretor: Glycon Sousa Rodrigues
Diretor Financeiro: Lúcio Flávio Costa Melo
E-mail: apcf.mg@apcf.org.br

PARÁ

Diretor Regional: Gustavo Pinto Vilar
Vice-diretor: Luiz Eduardo Marinho Gusmão
E-mail: apcf.pa@apcf.org.br

PARANÁ

Diretor Regional: José Antônio Shame
Diretor Financeiro: Daniel Paiva Scarpato
E-mail: apcf.pr@apcf.org.br

FOZ DO IGUAÇU

Diretor Regional: Denir Valêncio de Campos
Vice-diretor: Sandro Luis Schallanski
Diretor Financeiro: José Ricardo Rocha Silva
E-mail: apcf.pr@apcf.org.br

GUAÍRA

Diretor Regional: Devair Aloísio
Vice-diretor: André Rodrigues Lima
Diretor Financeiro: Marson Eduardo Schlittler
E-mail: apcf.pr@apcf.org.br

LONDRINA

Diretor Regional: Fernando Takashi Itakura
Vice-diretor: Eliel pereira Coelho
E-mail: apcf.pr@apcf.org.br

PARAÍBA

Diretor Regional: Felipe Gonçalves Murga
Vice-diretor: Luis Gustavo Canesi Ferreira
Diretor Financeiro: José Viana Amorim
E-mail: apcf.pb@apcf.org.br

PERNAMBUCO

Diretor Regional: Assis Clemente da Silva Filho
Vice-diretor: Valéria Espíndola de Lima Cavalcanti
Diretor Financeiro: Diogo Laplace Cavalcante da Silva
Diretor de Aposentados: Rinaldo José Prado Santos
E-mail: apcf.pe@apcf.org.br

PIAUÍ

Diretor Regional: André Francisco Silva Medina
Vice-diretor: Weyler Nunes Martins Lopes
Diretor Financeiro: Everardo M. Vilanova e Silva
E-mail: apcf.pi@apcf.org.br

RIO DE JANEIRO

Diretor Regional: Levi Roberto Costa
Vice-diretor: Ricardo Hamid Saikali
Diretor Financeiro: Adriano Arantes Brasil
Diretor de Aposentados: Rodrigo Ricart Santoro
E-mail: apcf.rj@apcf.org.br

RIO GRANDE DO NORTE

Diretor Regional: Bruno Luís Castro da Silva
Vice-diretor: André Peron
Diretor Financeiro: César Macedo Rego
E-mail: apcf.rn@apcf.org.br

RONDÔNIA

Diretor Regional: Gustavo de Amorim Fernandes
Vice-diretor: Naraiana Ribeiro Santos
Diretor Financeiro: Marcos Cordeiro Júnior
E-mail: apcf.ro@apcf.org.br

RORAIMA

Diretor Regional: Yuri do Amaral Nobre Maia
Vice-diretor: André Luiz Ramos
Diretor Financeiro: Alexandre Salgado Junqueira
E-mail: apcf.rr@apcf.org.br

SANTA CATARINA

Diretor Regional: Norberto Bau
Vice-diretor: Eduardo Zacchi
Diretor Financeiro: Antonio Cesa da Silveira Junior
E-mail: apcf.sc@apcf.org.br

SÃO PAULO

Diretor Regional: Mc Donald Parris Júnior
Vice-diretor: Euler Nobre Vilar
Diretor Financeiro: Ronaldo de Moura Ramos
Diretora de Aposentados: Maristela Guizardi Bisterco
E-mail: apcf.sp@apcf.org.br

ARAÇATUBA

Diretor Regional: Nevil Ramos Verri
Vice-diretor: Eustáquio Veras de Oliveira
Diretor Financeiro: Mário Sérgio Gomes de Faria
E-mail: apcf.sp@apcf.org.br

CAMPINAS

Diretor Regional: Ayrton Monteiro Cristo Filho
Vice-diretor: Rodrigo Alexandre Sbravatti Piromal
E-mail: apcf.sp@apcf.org.br

MARÍLIA

Diretor Regional: Lucas Barros de Andrade
Vice-diretor: Maristela Guizardi Bisterco
E-mail: apcf.sp@apcf.org.br

RIBEIRÃO PRETO

Diretor Regional: Arelian Monteiro Maia
Vice-diretor: Gabriel Giacomolli
Diretor Financeiro: Ronaldo Moretto
E-mail: apcf.sp@apcf.org.br

SANTOS

Diretora Regional: Priscila Dias Sily
Vice-diretor: Francisco Artur Cabral Gonçalves
E-mail: apcf.sp@apcf.org.br

SOROCABA

Diretor Regional: Adriano Jorge Martins Corrêa
Vice-diretor: Ulisses Kleber de Oliveira Guimarães
E-mail: apcf.sp@apcf.org.br

PRESIDENTE PRUDENTE

Diretor Regional: Ricardo Samu Sobrinho
Vice-diretor: Eurico Hautz Giacom
Diretor Financeiro: Murillo Galvão Chaves
E-mail: apcf.sp@apcf.org.br

SERGIPE

Diretor Regional: André Fernandes Britto
Vice-diretor: Jefferson Ricardo Bastos Braga
Diretor Financeiro: Reinaldo do Couto Passos
Representante de Aposentados: Reinaldo do Couto Passos
E-mail: apcf.se@apcf.org.br

TOCANTINS

Diretor Regional: Carlos Antônio Almeida de Oliveira
Diretor Financeiro: Felipe Pires Ferreira
E-mail: apcf.to@apcf.org.br

SUMÁRIO



- 04 ENTREVISTA**
Professor Luiz Antonio Martinelli
- 08 PERITOS QUE FAZEM HISTÓRIA**
Jesus Antonio Velho
- 14 ÁREAS DA PERÍCIA**
Genética Forense
- 20 DANOS AMBIENTAIS**
Peritos criminais federais Antonio Carlos Bezerra, Daniel Ferreira Domingues, David Domingues Pavanelli, Mariana Machado de Paula Albuquerque, Paulo Gustavo Hoch, Rafael de Area Leao Alves e Shanty Navarro Hurtado.
- 26 ÁTOMOS NO RASTRO DO CRIME**
Danielle Ramos
- 38 PANORAMA INTERNACIONAL**
Peritos criminais federais Marcus Vinicius de Oliveira Andrade e Marcelo Carvalho Lasmar
- 42 ISÓTOPOS, DNA E JUSTIÇA**
Peritos criminais federais Jorge Marcelo de Freitas, Meiga Aurea Mendes Menezes, Rodrigo Ribeiro Mayrink e Luiz Spricigo Jr.
- 46 EVENTOS DA CRIMINALÍSTICA**
Danielle Ramos
- 47 SEÇÃO CIENTÍFICA**
PRINCÍPIOS BÁSICOS SOBRE AS VARIAÇÕES NATURAIS DOS ISÓTOPOS ESTÁVEIS
Martinelli, Luiz Antônio; Nardoto, Gabriela Bielefeld; Costa, Fábio José Viana; Mascarenhas, Ricardo de Oliveira; Mayrink, Rodrigo Ribeiro
- NOVA FRONTEIRA NO USO DE TRAÇADORES ISOTÓPICOS PARA MATERIAIS E SERES VIVOS: O USO DE ISÓTOPOS RADIOGÊNICOS E NÃO TRADICIONAIS
Roberto Ventura Santos, Camilla Vasconcelos Kafno, Veridiana Teixeira de Souza Martins, Isabela Moreno Cordeiro de Sousa
- 70 FUTURO DA PERÍCIA**
Márcia Aiko Tsunoda e Bruno Werneck Pinto Hoelz
- 74 CADEIA DE CUSTÓDIA**
Perito criminal federal Jesus Antonio Velho e professores Aline Thaís Bruni e Cláudio Prado Amaral
- 80 UM BREVE PERFIL: DITEC E INC**
Danielle Ramos
- 84 APCF EM AÇÃO**
Gustavo Azevedo

PREZADOS (AS) LEITORES (AS),

A edição 45 da revista Perícia Federal traz um conteúdo especial sobre a nova área de atuação pericial: os isótopos forenses. A ferramenta utiliza a análise da razão isotópica dos vestígios materiais como caminho para elucidação de crimes. Esta edição traz ainda, de forma inédita, um encarte científico com artigos no formato de *paper* sobre o tema. Agora, a Perícia Federal irá publicar artigos neste modelo a cada nova edição.

Ainda sobre os isótopos forenses, a edição conta com um artigo que trata do panorama internacional do uso da ferramenta isotópica e também reflexões do passado, presente e futuro do uso dos isótopos e sua relação com o DNA e a Justiça. O entrevistado da edição é autoridade no tema, o professor Luiz Antonio Martinelli, que é professor titular da Universidade de São Paulo (USP) e lotado no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), laboratório parceiro da PF na área de isótopos.

O personagem da coluna Peritos que fazem história, redigida pelo colega PCF Jesus Antonio Velho, é o perito criminal federal Adriano Maldaner; e na coluna Áreas da Perícia, a Genética Forense é a área detalhada. Destaque também para o artigo sobre danos ambientais assinado pelos colegas do Grupo de Perícias em Meio Ambiente do SETEC/SP.

A revista apresenta ainda um breve perfil do novo diretor Técnico-Científico, perito criminal federal Alan Lopes e do novo diretor do Instituto Nacional de Criminalística; Raimundo Azevedo. A edição traz detalhes de dois grandes eventos que serão realizados em junho de 2021, na cidade de Curitiba: a terceira edição da InterForensics e o 2º Fórum Nacional Sobre Crimes Econômico-Financeiros, ambos organizados pela Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais em conjunto com a Academia Brasileira de Ciências Forenses. Algumas das ações de destaque do primeiro semestre de 2020 da Associação podem ser conferidas na coluna APCF em Ação.

Boa leitura!

Marcos de Almeida Camargo
Presidente da APCF

Revista Perícia Federal

Coordenação e edição:
Danielle Ramos
revista@apcf.org.br

Redação:
Danielle Ramos
Gustavo Azevedo

Capa, arte, diagramação:
AtivaWeb

Revisão:
Tania Maria Pena Tosta da Silva
Textos Soluções

CTP e Impressão:
Stilgraf

Tiragem:
5.000 exemplares

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

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

Assinatura da revista:
www.apcf.org.br



Foto: André Zimmerer



ENTREVISTA *Professor Luiz Antonio Martinelli*

Foto: Maria Leonor de Calasans – IAE/USP

O entrevistado desta edição da revista Perícia Federal é autoridade na área de isótopos estáveis, incluindo aplicações forenses. O professor Luiz Antonio Martinelli é professor titular da Universidade de São Paulo, lotado no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Campus de Piracicaba. Tem experiência na área de Ecologia, com ênfase em Dinâmica de Ecossistemas Tropicais, utilizando isótopos estáveis como traçadores dos ciclos do carbono, nitrogênio e água.

O SENHOR É UM DOS PRINCIPAIS PESQUISADORES BRASILEIROS DA ÁREA DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS, INCLUINDO APLICAÇÕES FORENSES. QUANDO OBSERVA O PRESENTE, É POSSÍVEL FAZER UM BALANÇO DO PERCURSO PARA CHEGAR AO CENÁRIO ATUAL? CONTE UM POUCO DA TRAJETÓRIA DA TEMÁTICA NO PAÍS.

Eu diria que eu sou um dos mais velhos na área, não sei se um dos principais. Enfim, o uso de isótopos estáveis no país começou na década de 60 em minha instituição com dois visionários, Eneas Salai e Eiichi Matsui, este último pertencia aos quadros da então Comissão Nacional de Energia Nuclear, mas permanecia lotado no CENA. O primeiro objetivo foi utilizar os isótopos estáveis da água no estudo do ciclo hidrológico da Região Nordeste do país que, como sabemos, sofre com eventos periódicos de seca. Posteriormente, os isótopos estáveis da água passaram a ser utilizados no estudo do ciclo hidrológico da Amazônia, com importantes contribuições reconhecidas

até hoje. Salati e Matsui tiveram vários estudantes e dentre esses elenco quatro nomes que se destacaram na utilização de isótopos estáveis: Reynaldo Victoria, Paulo Trivelin, Carlos Cerri e Carlos Ducatti, estes dois últimos, infelizmente, já falecidos. Esses quatro iniciaram estudos com os isótopos do nitrogênio e do carbono, principalmente na área agrônômica. Eu sou a terceira geração de "isotopeiros", pois fui orientando de Reynaldo Victoria. Na minha geração, destacaram-se vários pesquisadores, dentre eles Plínio Barbosa de Carmargo, Marcelo Moreira, Marisa Piccollo e José Albertino Bendassoli, atual diretor do CENA. Modestamente, iniciamos no país a utilização de isótopos estáveis, primeiramente na área ambiental, depois na nutrição de animais silvestres, na área de adulteração de alimentos e, nas últimas décadas, em estudos forenses. Por vários anos, o CENA foi o único laboratório a fazer análises isotópicas, mas a partir do final da década de 90 o uso cresceu muito, incentivando a criação de novos laboratórios. Atualmente acredito que já haja uma centena de laboratórios equipados com espectrômetros de massas, e novas aplicações foram surgindo como na medicina, por exemplo.

"OS ISÓTOPOS NÃO MENTEM JAMAIS". ESSA FRASE É USADA PELO SENHOR COMO TÍTULO DE SUAS PALESTRAS. PODE CONTAR UM POUCO A RAZÃO DE DIZER ISSO?

Eu costumo dizer isso porque os isótopos são variantes de átomos, que é a unidade elementar da matéria e, conseqüentemente, mudar essa combinação de átomos não é tarefa fácil. Por exemplo, os isótopos estáveis do carbono são utilizados como traçadores do surgimento da vida no planeta e de suas variações bioquímicas. Assumindo que a vida surgiu há mais de quatro bilhões de anos, que traçador biológico permanece

tanto tempo intacto? DNA muito raramente, mas os isótopos continuam lá, desvendando o passado remoto.

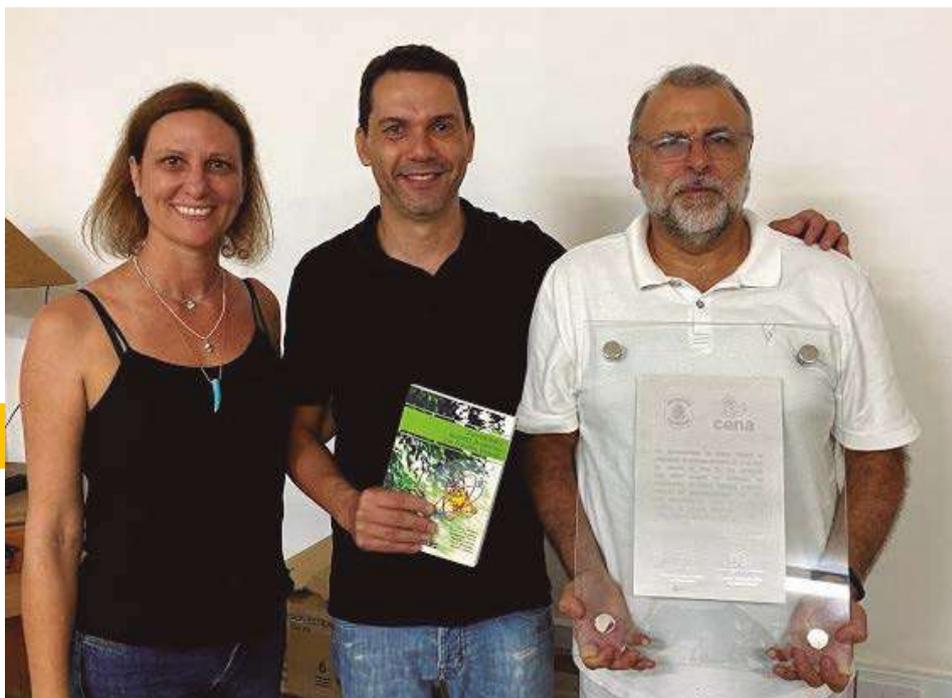
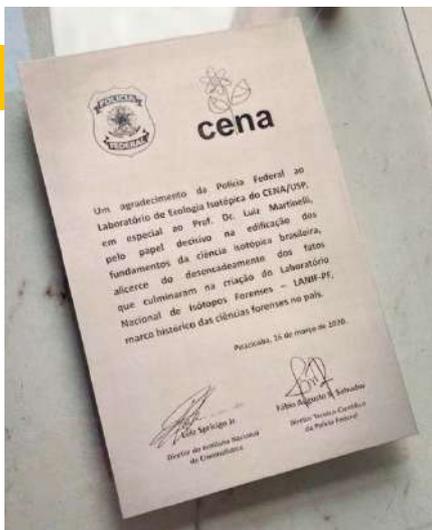
PARA O SENHOR, QUAL A IMPORTÂNCIA DA APROXIMAÇÃO ENTRE O AMBIENTE ACADÊMICO E A PERÍCIA FEDERAL PARA A EVOLUÇÃO E RECONHECIMENTO FORENSE DO USO DE ISÓTOPOS; CULMINANDO COM A CRIAÇÃO DO LABORATÓRIO NACIONAL DE ISÓTOPOS FORENSES (LANIF)?

Pelo passado recente da Polícia Federal (PF) de competência e, sobretudo, de independência, a PF tornou-se muito respeitada pela população brasileira. Portanto, em primeiro lugar, é uma obrigação (e uma honra) colaborar com uma instituição de tamanho respeito. Segundo, frequentemente, a Academia é vista como um monte de eruditos que vivem em uma "torre de marfim", alheios aos problemas sociais que requerem uma solução a curto prazo, como uma investigação criminal. Por meio dessa parceria, a Academia mostra cabalmente que não vivemos uma "torre de marfim", e a PF se beneficia de algumas facilidades que somente encontramos no ambiente acadêmico, como a liberdade de pesquisa e o tempo necessário para pesquisas de longo prazo, que, por razões óbvias, uma instituição judiciária não tem. O maior beneficiário dessa parceria é o país, uma vez que acredito que a metodologia isotópica é fundamental para a ciência forense e a criação do LANIF é a resposta a essa carência. O LANIF vai equipar a nossa PF em condições similares ou até superiores a instituições de outros países que utilizam a metodologia isotópica há muito tempo em suas investigações.

NA OPORTUNIDADE DO 1º WORKSHOP SOBRE ISÓTOPOS FORENSES, O SENHOR AFIRMOU QUE, EM 37 ANOS, ERA A PRIMEIRA VEZ QUE PARTICIPAVA DE UMA REUNIÃO PARA DISCUTIR A ÁREA DE FORMA MAIS DETALHADA. É POSSÍVEL AFIRMAR QUE AS PESQUISAS RELACIONADAS AOS ISÓTOPOS FORENSES VIVEM SEU MELHOR MOMENTO? QUAIS AS PERSPECTIVAS PARA O FUTURO?

À Zeferino Vaz, criador da Unicamp, perguntaram quais eram os requisitos principais para uma instituição de ensino e pesquisa ter sucesso. Sua resposta foi: em primeiro lugar, pessoas qualificadas e visionárias; em segundo lugar, pessoas qualificadas e visionárias e em terceiro lugar, pessoal qualificadas e visionárias. A criação do LANIF se deve ao encontro de pessoas qualificadas e visionárias, tanto na Academia como na PF. Falo isso de forma insuspeita, pois eu não fui um dos visionários da Academia que enxergou essa oportunidade, mas sim, minha colega, profa. Gabriela Nardoto. Pelo lado da PF, destaco um time de jovens e visionários peritos ambientais que encontraram nas posições de comando, pessoas também visionárias que entenderam as potencialidades da técnica isotópica em estudos forenses.

Veja, na maioria das vezes, esse encontro de competências demora a acontecer, pois a técnica a ser utilizada deve estar bem consolidada para sua utilização, e o envolvimento de duas escolas distintas (Academia e PF, no caso) devem ter a percepção dessa utilidade. Como definem Acemoglu e Robinson, autores de "Why Nations Fails", são as chamadas "contingências da história". Nesse sentido, não é que isótopos forenses vivem seu melhor momento no país, na verdade, vivem seu único e histórico momento. Na minha modesta visão, os bons dirigentes são justamente aqueles



Profa. Gabriela Nardoto, perito criminal federal Rodrigo Mayrink e professor Martinelli, na oportunidade da entrega da placa de homenagem feita pelos peritos criminais federais ao CENA

que enxergam essa conjunção de fatores acontecendo (contingências da história) e nutrem a iniciativa resultante dessa conjunção.

COMO O SENHOR ENXERGA OS ISÓTOPOS FORENSES NO BRASIL QUANDO COMPARADO ÀS EXPERIÊNCIAS NO EXTERIOR? O SENHOR VISLUMBRA QUE O INVESTIMENTO FEITO PELA POLÍCIA FEDERAL PODE MUDAR ESSA PERSPECTIVA?

É fato que a maioria dos países ditos “mais desenvolvidos” consolidaram nas últimas décadas o uso de isótopos estáveis em seus organismos de segurança. O Brasil é ainda um país que não está no mesmo patamar econômico e social desses países, mas existem áreas que nosso país tem o mesmo nível de competência. Nesse sentido, avalio que a

PF se posicionará, ombro a ombro, com instituições internacionais, mesmo com investimento relativamente modesto. Eu tenho certeza que em algumas áreas a PF já se qualifica para esse seleto clube, não tenho dúvida que em um futuro breve a área “isotopic forensic” será uma delas também.

O SENHOR, JUNTO À EQUIPE DO CENA, RECEBEU UMA HOMENAGEM DOS PERITOS CRIMINAIS FEDERAIS NO INÍCIO DESTES ANO. COMO O SENHOR ENCARA ESSE RECONHECIMENTO?

Bom, em primeiro lugar, com muito orgulho e satisfação, sentimentos compartilhados com todos os componentes do nosso laboratório; em segundo lugar, com humildade de reconhecer que as tais “contingências da história” nos colocaram no lugar

certo na hora certa. Com isso, quero dizer que existem inúmeras capacidades consolidadas em isótopos estáveis no país que poderiam estar no meu lugar.

EXISTE UMA BRINCADEIRA ENTRE OS PERITOS QUE ESSA HISTÓRIA DE ISÓTOPOS É CONTAGIOSA E QUE O BICHINHO ISOTOPEIRO SAIU MORDENDO TODO MUNDO POR AÍ. PODE DAR UMA RAZÃO PARA ISSO? ACHA QUE O USO DE ISÓTOPOS É O ‘FUTURO/PRESENTE’ DAS CIÊNCIAS FORENSES?

Vou começar pela segunda parte da pergunta. Eu acho que a metodologia isotópica é mais uma ferramenta dentro das ciências forenses. Eu sempre falo para os meus alunos: isótopos são mais um meio do que um fim. Não adianta me apresentar um determinado valor isotópico sem



Foto: Maria Leonor de Calasans – IAE/USP

ampla e detalhada contextualização do entorno. Eu acho que os melhores resultados se alcançam quando é utilizada uma combinação de várias técnicas.

Quanto ao bichinho isotopeiro, posso te dizer que é altamente contagioso. A doença se desenvolve em três fases, de acordo com minha experiência: a primeira é o descrédito, meio que um desdém, você não acha que é tudo isso. A segunda fase é a paixão, você passa a achar que a metodologia resolverá tudo na sua vida, é a fase do deslumbramento. Finalmente, vem a terceira e última fase, a da razão, onde você passa a entender as potencialidades, mas principalmente as limitações da técnica. A partir daí se estabelece um amor verdadeiro e longo.

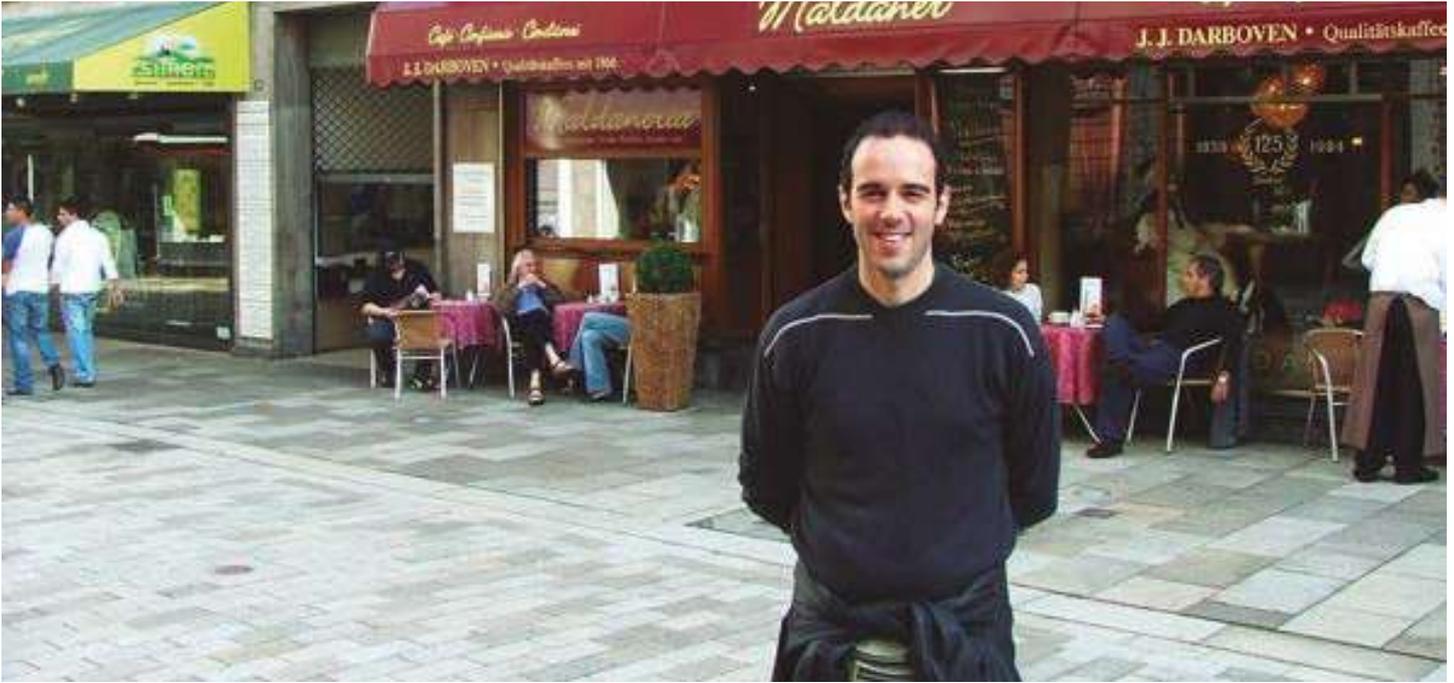
SAINDO UM POUCO DA ÁREA FORENSE, O SENHOR TEM VÁRIOS ESTUDOS QUE COMPROVAM FRAUDES EM ALIMENTOS: SHOYU SEM SOJA, CERVEJA COM MILHO, VINHO COM MUITO MAIS QUE UVA. O QUE A CIÊNCIA MOSTRA SOBRE O QUE ESTAMOS CONSUMINDO? O CONSUMIDOR ESTÁ SENDO ENGANADO?

Desculpe o desabafo, mas acho que o consumidor brasileiro nasceu para ser enganado. A indústria alimentícia (obviamente há honrosas exceções) é uma das piores nesse quesito. Eu acho que, primeiro, em razão da impunidade, pela fragilidade da regulamentação que dá muita liberdade para a indústria fazer

o que bem entender, como cerveja com muito milho, shoyu sem soja, vinho com muito açúcar e por aí vai; e, finalmente, pelo fato de que as autoridades parecem não ter o mínimo interesse em punir os culpados.

DEIXE UMA MENSAGEM.

Espero que a PF não perca este momento único na história e dê o apoio necessário para a consolidação do LANIF. E não se esqueçam: "Os isótopos não mentem jamais..."



Perito Criminal Federal Adriano Otávio Maldaner, no início de sua carreira.

PERITOS QUE FAZEM HISTÓRIA:

CONHEÇA A TRAJETÓRIA DE ADRIANO MALDANER

Em continuidade à série “Peritos que fazem história”, a revista Perícia Federal dedica esta edição ao perito criminal federal Adriano Otávio Maldaner, um dos maiores expoentes da Química Forense no Brasil, e o representante da América Latina no prestigiado *Scientific Working Group for the Analysis of Seized Drugs* (SWGDRUG).

Maldaner é gaúcho, natural de Passo Fundo, onde permaneceu até os três anos de idade, quando seus pais foram contratados como docentes na Universidade de Ijuí/RS, tendo permanecido em Ijuí até terminar o ensino médio.

Graduou-se em Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), em 1993, e concluiu o seu doutoramento na área de síntese orgânica também pela UNICAMP, em 1999. Quando estava finalizando o doutorado, por indicação do seu orientador – prof. dr. Ronaldo Aloise Pilli – ingressou na empresa Rhodia. Trabalhou no Centro de Pesquisas de Paulínia, na região de Campinas, na área de análise química orgânica, com ênfase

na resolução de problemas da indústria, que afetavam custos, prazos e carreiras.

Em 2002, ingressou na carreira de Perito Criminal Federal, tendo sido lotado inicialmente no Setor Técnico-Científico da Polícia Federal, em Belém do Pará, sendo o responsável pela estruturação inicial do laboratório de química forense no setor, além de ter atuado em perícias de locais de crime e documentoscopia.

Em 2003, após a formação de uma nova turma de Peritos Criminais Federais na Academia Nacional de Polícia, Adriano foi transferido para o Instituto Nacional de Criminalística (INC), em Brasília, sendo lotado no Serviço de Perícias de Laboratório (Seplab/INC).

Em 2005, o PCF Octávio Brandão, diretor do INC à época, convidou o PCF Maldaner para assessorar áreas estratégicas da diretoria, mais especificamente atuar no projeto Promotec, realizando a interface da Ditec com a Diretoria de Logística da Polícia Federal (Dlog/PF), definindo os equipamentos a serem adquiridos, encaminhados e instalados em todas as



Perito Criminal Federal Adriano Otávio Maldaner, em conferência da Clandestine Laboratory Investigating Chemists Association (CLIC), em 2012.

unidades de perícia da Polícia Federal. As atividades desenvolvidas por Maldaner e todos os outros peritos envolvidos junto ao Promotec representam um divisor de era tecnológica nos laboratórios da Polícia Federal. O INC e a maioria dos Setecs foram totalmente renovados, criando efetivamente uma rede de laboratórios forenses na Polícia Federal. Como ilustração, até então a PF possuía apenas um cromatógrafo gasoso associado à espectrometria de massas e um espectrofotômetro de infravermelho.

Em 2008, Adriano foi convidado para chefiar o Seplab/INC, função que exerceu até 2014. A sua gestão foi marcada por grandes avanços na área de capacitação, de aquisição de padrões, de gestão da qualidade e no estímulo à participação de peritos federais em fóruns e congressos nacionais e internacionais; além das aquisições de novos equipamentos e celebração de contratos de manutenção. Maldaner teve atuação marcante no desenvolvimento de projetos de pesquisas

e na ampliação de acordos de cooperação com universidades e instituições periciais no Brasil e no exterior. Ampliou os horizontes da perícia de laboratório da Polícia Federal, estimulando a abertura para análises em toxicologia, poluição, análise química de tintas, detecção de drogas sintéticas, análises de fármacos e agrotóxicos, bebidas e combustíveis.

Em 2018, o diretor técnico-científico – PCF Amaury Alan Martins de Souza Junior – convidou Maldaner para chefiar a divisão de pesquisa, padrões e dados criminalísticos (DPCRIM), tendo permanecido no cargo até o final da gestão em 2019, quando retornou ao Seplab, onde permanece atualmente, atuando na realização de perícia, ensino e pesquisa na área de análise laboratorial forense.

Para apresentar mais detalhes dessa brilhante trajetória, e, ao mesmo tempo, inspirar novos transformadores da Criminalística, apresentamos de forma resumida, um bate-papo com Adriano Maldaner.



Você foi o idealizador de vários projetos estratégicos para a Polícia Federal, tais como o PeQui. Fale um pouco desse projeto, sua inspiração/motivação para desenvolvê-lo, desafios e resultados.

Ninguém idealiza nada sozinho e todas as iniciativas em que participei no INC tiveram muitas horas de discussão com colegas, chefes e diretores, antes de sequer serem seriamente aventadas. Não existiria PeQui sem o PCF Brandão perturbar todo mundo em fazer placas de Cromatografia em camada fina (TLC) para todos os açúcares que poderiam ter sido adicionados na cocaína ou ter brigado por montar um laboratório dos sonhos e o povoar com equipamentos caríssimos; sem o PCF Bertolo ter autorizado que eu e o PCF Élvio pudéssemos conhecer projetos de Perfil Químico na Europa; sem

os delegados da CGPRE terem incluído os peritos na cooperação da PF com o DEA, nos EUA, sem que a direção do INC/Ditec autorizasse capacitações, pós-graduações, participação em congressos e cooperações acadêmicas que se desenvolveram nos últimos anos no INC. O PeQui não existiria se os PCFs de plantão nas SR não coletassem as amostras e as encaminhassem ao INC. O PeQui é um pouco de todos.

Obviamente, algumas pessoas estão mais envolvidas nas decisões estratégicas ou na execução das análises e redação dos relatórios (Élvio, Zacca e Amaury, recentemente). Agora o PeQui é um processo da PF, que fornece resultados cientificamente embasados de qualidade para compreensão do complexo mundo das drogas ilícitas. Recentemente foi expandido para agregar as Novas Substâncias Psicoativas, com a participação de outros colegas do Seplab (PCF Mônica e Luiza). A novíssima fronteira do PeQui está fortemente ligada à difícil tarefa de determinar a origem da cocaína apreendida no Brasil, que precisa ser incrementada e colocada em rotina para que resultados do laboratório sejam subsídios para políticas públicas na área de redução de oferta. Teremos muito trabalho nisso nos próximos anos.



Você foi o coordenador do último curso de formação profissional (CFP) junto com a PCF Simone, gostaria que falasse um pouco sobre sua experiência e sobre o sucesso que foi a disciplina Noções de Criminalística, a qual também esteve sobre sua coordenação.

Participar da coordenação do CFP com a PCF Simone foi muito bom, pois conseguimos ter uma sintonia muito boa. Como a ANP determinou redução de carga horária para as disciplinas, tivemos que discutir a distribuição entre as disciplinas tradicionalmente ministradas. Essa tarefa é uma das mais difíceis, pois nenhum coordenador de disciplina quer perder horas-aula de seu curso (e, se possível, quer aumentar!). Discutimos muito com diversos PCF envolvidos em capacitação e tomamos duas decisões importantes: 1) aumentar (praticamente dobrar) a Jornada Específica de Criminalística, preparando os alunos nas tarefas de suas áreas de formação; 2) tornar a disciplina de local de crime o eixo lógico do curso, para a qual as outras disciplinas deveriam apontar e se consolidar.

Em relação ao curso de noções de criminalística, não tenho receio em dizer que foi uma das atividades mais divertidas

que realizei desde que entrei na PF. A equipe de professores e colaboradores (PCFs Simone, Ronaldo e Harley, por exemplo) foi incrível. Todos com ideias maravilhosas e, ao mesmo tempo, abertos às sugestões dos outros. Como esse curso era, tradicionalmente, uma colagem de palestras de diversas áreas da perícia, ministradas para os alunos das outras carreiras e sem conexão formal entre si, fizemos a seguinte proposta: iremos criar uma história de um local de crime, que seria mostrado aos alunos e, a partir dessa história, iríamos introduzir aspectos relevantes da criminalística para os “não-peritos”. Surgiu a ideia de fazer filmagens em 360 graus, para que alunos pudessem “entrar na cena de crime” usando óculos 3D. Todos concordamos, e cada um se empenhou em resolver problemas que pensar diferente acarreta: como filmar 360 graus? Quem vai atuar? Qual será o script/falas? Quem compra os óculos 3D? Onde achar celulares para rodar o filme 3D em sala de aula? Como carregar os celulares? Como compartilhar celulares/óculos com 18 turmas ao mesmo tempo? Felizmente, na equipe que montou o curso tínhamos os experts para cada uma dessas tarefas: PCF Rocha e Harley (audiovisual, edição, direção de filmagem, drones, gadgets), PCF Roney (edição musical), PCF Lorens (logística), PCF Simone, Luciana e Hauffe (gestão, contatos institucionais), dentre outras participações especiais. A equipe de

professores fez um ótimo alinhamento e ainda teve a adição de colegas dos estados. Todas as atividades correram muito bem, com alunos se engajando nas atividades e o curso se encerrou com uma palestra no teatro de arena com todas as turmas do CFP participando de demonstrações “ao vivo” da perícia (luz forense, scanner 3D, equipe antibombas, drone).



Quais os maiores desafios da sua carreira como perito criminal?

Fazer com que resultados da perícia sejam realmente compreendidos e utilizados pelos outros atores do processo investigativo ou judicial. Como a perícia criminal é, por definição, técnico-científica, conseguir com que dados e conclusões obtidos por meio da metodologia científica sejam realmente considerados de forma consciente por outras instâncias mais guiadas por bases das ciências humanas, legais ou sociológicas não é algo trivial. O maior desafio é usar toda nossa capacidade intelectual e de comunicação para que uma atividade cientificamente embasada seja entendida corretamente, isto é, algo que não é “divino” (um extremo) ou “chutado” (o outro extremo), mas, sim, uma produção intelectual baseada em resultados, lógica e inferências, que vai ter incertezas e limites, que devem ser

testados e explicitados. Ao mesmo tempo, não pode ser tecnicista e pouco direta.

A adoção de um sistema de gestão da qualidade no Seplab facilita essa questão, pois podemos registrar formalmente todos dados técnicos que embasaram as conclusões da análise do vestígio em um dossiê da gestão da qualidade (fotos, relatórios, planilhas, referências), deixando o laudo muito mais enxuto e adequado ao propósito do contexto legal.

Outro desafio é conseguir aliar atividades profissionais intensas, com prazos e custos, com cobrança de chefias e da justiça, com uma boa convivência profissional. Todas essas demandas e pressões podem levar a conflitos e mal-entendidos que precisam ser avaliados, tratados ou relevados.



Qual sua visão de futuro para Perícia Criminal no contexto da segurança pública/Justiça no Brasil?

Apesar de certa preocupação com teorias negacionistas, que têm potencial para influenciar futuramente a forma como a justiça recebe os laudos periciais, entendo que o uso da prova material nos procedimentos de segurança pública e justiça não sofrerá mais retrocessos significativos. Por outro lado, é de se esperar que o contraditório dos assistentes técnicos deva aparecer mais frequentemente, servindo de “vela e leme” para ajustes da perícia no futuro.

Acredito que a perícia deva contribuir para trazer as metodologias científicas para outras questões da segurança pública/Justiça, não somente nos importantíssimos laudos, mas também para contribuir no avanço da compreensão das atividades criminosas em diversas áreas, como drogas, desmatamento, lavagem de dinheiro, desvio em obras, falsificações, contrabando etc. Muitas iniciativas já trafegam nesse caminho (PeQui, InteliGeo, Banco de DNA, Simba, etc), mas acredito que outras áreas irão se agregar naturalmente no futuro.

PERITOS QUE FAZEM HISTÓRIA

Por Jesus Antonio Velho

A inestimável contribuição do PCF Adriano Maldaner para o desenvolvimento da Criminalística no país, em especial para a evolução da Química Forense, é consenso entre os peritos criminais e acadêmicos da área. A seguir são transcritos depoimentos de alguns desses profissionais:



Elvio Dias Botelho
Perito Criminal Federal
Chefe do Seplab/INC

“O Adriano Maldaner foi da minha turma no curso de Formação Policial. Ele foi lotado em Belém/PA, enquanto eu fui para Palmas/TO. Nos reencontramos no Seplab/Dper/INC/Ditec, no início de 2004. Trabalhamos muito próximos desde então. Iniciamos o projeto de Perfil Químico de Drogas (Pequi) juntos, ainda em 2009. Visitamos juntos instituições forenses de outros países para conhecer diferentes programas de perfil químico. Entre as idas e vindas dele para o Seplab/Dper/INC/Ditec, ele já foi meu chefe e hoje sou seu chefe. O Adriano é um perito criminal e pesquisador inquieto, sempre com novas ideias e projetos, mas que não ficam só no planejamento; ele é o tipo de pessoa que mergulha de cabeça e executa o planejado até o fim. Além de ser um grande amigo, é realmente um prazer trabalhar com um profissional tão competente que nunca perdeu a vontade de inovar e se dedicar ao trabalho, mesmo depois de tanto tempo na PF. Por isso tudo é uma referência na área da Química Forense, não só pelas inúmeras publicações científicas, como também por ser o único representante da América Latina no prestigiado grupo Scientific Working Group for the Analysis of Seized (SWGDRUG)”.



Bruno Spinosa De Martins

Professor associado da USP
Ex-presidente da Sociedade Brasileira
de Ciências Forenses

“Tive a satisfação de conhecer o perito Adriano Maldaner em 2004 e desde então tenho tido a oportunidade de reencontrá-lo em cursos e congressos, tanto organizados pela academia como pelos órgãos oficiais da polícia. Em todas ocasiões, pude admirar o excelente profissional, preocupado não apenas com as atividades de Perícia, mas também com a formação acadêmica de ensino e pesquisa, sempre difundindo e dando uma contribuição importante para o desenvolvimento da área de Química Forense no Brasil. Ainda, destaco o colega agradável que é o Maldaner, sempre muito prestativo, atencioso e bem-humorado, enfim, uma pessoa da paz.”



Marcilene Nazaré Lobo

Perita Criminal Federal
Aposentada
Ex-chefe do Setor Técnico-
Científico da PF no Pará

“Em 2003, quando chefiava o Setec/PA, tive a grata surpresa de receber direto da ANP, o PCF Adriano Maldaner. Numa rápida passagem que esteve em Belém (2002-2003), estruturou o laboratório de química forense e apoiou de forma significativa a resolução de pendências do setor. Adriano nos mostrou ser um brilhante profissional, amigo, companheiro e, acima de tudo, um excelente policial federal.”



Marcos de Almeida Camargo

Perito Criminal Federal
Presidente da Associação Nacional
dos Peritos Criminais Federais

“Conheci o Adriano, em 2003, quando ele chegou ao Seplab. A competência, dinamismo e a vontade de fazer as coisas acontecerem sempre foram marcas registradas dele. Foi o chefe substituto do Seplab quando eu estava na chefia e daí em diante mostrou toda sua competência nos demais setores pelos quais passou, sempre com grande destaque.”

ÁREAS DA PERÍCIA

Peritos criminais federais Bruno Rodrigues Trindade e Ronaldo Carneiro da Silva Junior

Foto: André Zimmerer

A GENÉTICA FORENSE



O exame de DNA foi um avanço tecnológico relativamente recente no campo das ciências forenses. Tal tecnologia tem notável poder de discernir as diferenças genéticas, tendo diversas aplicações na persecução penal, pois pode fornecer evidências muito robustas, por exemplo, da vinculação de um suspeito com vestígios coletados pelos peritos criminais em uma cena de crime. Também é extremamente relevante seu uso para identificação de pessoas desaparecidas.

A grande variabilidade genética existente entre os indivíduos torna o exame de DNA uma ferramenta poderosa para fins de identificação humana, se somando a outras técnicas, tais como a antropologia forense, a odontologia forense e as impressões digitais. Importante destacar que o DNA coletado em um local de crime pode tanto ligar um indivíduo ao vestígio como eliminá-lo como fonte, evitando uma condenação equivocada. Não menos importante é a utilização do exame para a identificação e reversão de condenações equivocadas.

O desenvolvimento de tecnologias voltadas para a análise forense do DNA tem crescido incrivelmente nos últimos anos. Juntamente com o desenvolvimento de métodos cada vez mais sensíveis, o exame de DNA é agora uma parte essencial do arsenal pericial objetivando a investigação de crimes, compondo mais uma disciplina da Criminalística: a Genética Forense.

O DNA NA POLÍCIA FEDERAL

Existem dois setores dentro da estrutura da Polícia Federal que trabalham diretamente com a genética forense: o **Setor de Perícias em Genética Forense (SEPGEF)** e o **Setor de Integração Nacional de Bancos de Perfis Genéticos (SINAGEN)**.

O SEPGEF, vinculado ao Instituto Nacional de Criminalística, iniciou sua trajetória em 2006, tendo como atribuições a realização de exames de identificação genética e exames de vínculo genético

de pessoas e de vestígios biológicos, além de exames de identificação de espécies animal e vegetal. Nesse Setor está localizado o laboratório de genética forense, que recebe os vestígios de investigações conduzidas pela Polícia Federal em todo o país.

Tem sido crescente a demanda pelos exames de genética forense. Dentre os fatores responsáveis por esse incremento, podemos citar a visibilidade da genética forense, seja pela divulgação na mídia, seja pela repercussão de casos de relevância. Igualmente pelos resultados positivos com o uso dos bancos de perfis genéticos, com o aumento no número de coincidências (matches) e consequente reconhecimento da genética forense

como uma ferramenta de investigação de excelência dentro da Polícia Federal.

Nesse contexto, convém lembrar que a Lei nº 12.654/2012 alterou as Leis nºs 12.037/2009 e 7.210/1984 (Lei de Execução Penal), prevendo a coleta de perfil genético como forma de identificação criminal. Desde então, o SEPGEF recebe rotineiramente amostras de referência de suspeitos sob investigação (mediante despacho da autoridade judiciária) e de condenados por crimes praticados, dolosamente, com violência de natureza grave contra pessoa, ou por qualquer dos crimes previstos no art. 1º da Lei nº 8.072/1990, visando ao processamento e inclusão dos perfis genéticos obtidos em bancos de dados.



Fotos: André Zimmerer

TIPOS DE EXAMES PERICIAIS

O Setor de Perícias de Genética Forense, para fins de identificação humana, realiza dois tipos de laudos baseados em exames de marcadores microssatélites (STRs) de DNA nuclear humano, a saber:

I – Identificação Genética – exame de genética forense que visa comparar um perfil genético obtido de uma fonte desconhecida com um perfil obtido de uma amostra de referência, buscando a identificação da pessoa que originou o perfil questionado, ou que compara dois ou mais perfis genéticos obtidos de fontes desconhecidas, buscando determinar se têm origem no mesmo indivíduo. Pode-se, outrossim, também se referir a uma solicitação de exame para obtenção de perfil genético a partir de material biológico colhido em atendimento à Lei nº 12.654/2012;

II – Vínculo Genético – exame genético que visa vincular indivíduos ou amostras questionadas a outros indivíduos em tese geneticamente relacionados, por meio do estabelecimento de hipóteses, interpretação de prováveis contribuições parentais e análises estatísticas, com o objetivo de elucidar possíveis relações de parentescos.

Além de identificação humana, o SEPGEF também realiza exames de DNA aplicados à fauna. No campo forense, esses exames podem ser utilizados, por exemplo, para determinar a interferência animal em cadáveres; para diferenciação entre restos mortais humanos e não humanos; para a caracterização de crimes, incluindo fraudes em alimentos, caça de animais silvestres e o comércio ilegal de suas partes ou subprodutos. Da mesma maneira, o SEPGEF realiza exames de identificação de aves, cujos resultados são utilizados pelos órgãos competentes na prevenção de acidentes aéreos. Finalmente, embora menos frequentes, mas não menos importantes, são realizados exames de identificação de espécies vegetais.

ATIVIDADES ESTRATÉGICAS

Encontra-se em fase de implantação, o Centro Multiusuário de Processamento Automatizado de Vestígios Sexuais (CeMPA-VS), localizado nas dependências do laboratório do Setor de Perícias de Genética Forense (SEPGEF), do Instituto Nacional de Criminalística (INC), Diretoria Técnico-Científica da Polícia Federal (DITEC/PF), em Brasília/DF, em parceria com a Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP) do Ministério da Justiça e Segurança Pública (MJSP).

O CeMPA-VS será equipado com uma plataforma robotizada de grande porte para execução automatizada de rotinas de biologia molecular forense em identificação humana, dedicada à extração diferencial de DNA forense, a qual já se encontra nas dependências do SEPGEF e em fase de validação. A plataforma terá o objetivo de auxiliar, sob demanda, no processamento de vestígios



de crimes sexuais armazenados (*backlog*) nos Laboratórios de Genética Forense das unidades estaduais de perícia criminal, visando a obtenção de perfis genéticos e o seu compartilhamento por meio dos bancos de perfis genéticos da União, dos estados e do Distrito Federal, com consequente aumento da identificação da autoria desses crimes.

A criação da central de processamento multiusuário é uma das metas do projeto Processamento de *Backlog* de Crimes Sexuais, como parte do projeto Fortalecimento da Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos, um dos projetos estratégicos e prioritários do MJSP para o combate à criminalidade violenta, em alinhamento com a Lei nº 13.964, de 24 de dezembro de 2019.

A cooperação mútua entre os participantes prevê, ainda, a interveniência do Banco Federal de Perfis Genéticos (BFPG), como colaborador temporário, de forma a viabilizar o compartilhamento e a comparação de perfis genéticos gerados no CeMPA-VS, a partir de vestígios de

crimes sexuais das unidades da Federação, cujos bancos de perfis genéticos ainda não estejam conectados à Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos (RIBPG), em observância ao disposto no § 2º do art. 1º do Decreto nº 7.950, de 2013.

Na parte de treinamentos, o SEPGEF tem como uma de suas principais capacitações o Curso de Coleta e Preservação de Vestígios Biológicos para fins de Exame de DNA. O treinamento busca desenvolver conhecimentos e habilidades para proceder na coleta, preservação e envio de material biológico para exames de DNA, de acordo com a nova realidade da Polícia Federal, que inclui os bancos de dados de DNA. O curso se encontra na 14ª edição, tendo a última edição sido realizada na SR/PF/PB, que recebeu o treinamento em novembro de 2019 e contou com a participação de Peritos Criminais Federais de vários estados brasileiros. É praxe também a disponibilização de vagas para peritos estaduais da unidade anfitriã, o que é via de regra bastante proveitoso e enriquecedor.

Internamente, o SEPGEF conta com conjunto de ações de capacitação que inclui: Treinamento de Boas Práticas de Laboratório (TBPL); Treinamento em Procedimentos Administrativos (TPA); Treinamento Básico em Genética Forense (TBGF); Treinamento Avançado em Genética Forense (TAGF); Treinamento para Analista CODIS (TANC); Treinamento para Administrador CODIS (TADC).

Importante mencionar que o laboratório de perícias em Genética Forense recebeu, em 2014, acreditação na norma internacional ISO/IEC 17025:2005. O laboratório do SEPGEF e o laboratório do Serviço de Perícias de Laboratório (SEPLAB), também do Instituto Nacional de Criminalística, foram os primeiros da América Latina acreditados por um organismo internacional. O primeiro organismo acreditador foi o *National Accreditation Board/FQS Forensic Accreditation* (ANSI-ASQ) e, atualmente, a acreditação é pelo Inmetro.



OS BANCOS DE PERFIS GENÉTICOS

A genética forense, assim como várias outras perícias criminais, baseia-se em um exame comparativo. Portanto, os perfis genéticos de suspeitos apresentados pela equipe de investigação podem ser confrontados com os perfis genéticos oriundos de vestígios biológicos do caso em questão. Mas o que fazer quando não há suspeitos? Nesses casos, podemos utilizar a tecnologia dos bancos de perfis genéticos.

Desde 2013, o Brasil conta com uma **Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos (RIBPG)**. Essa rede foi instituída com o objetivo de compartilhar e comparar perfis constantes nos bancos de perfis genéticos da União, dos estados, do Distrito Federal e da Polícia Federal.

Atualmente, a RIBPG possui 1 banco nacional e 20 bancos de perfis genéticos locais. A Polícia Federal é responsável pela administração de dois desses bancos que compõem a RIBPG. Um deles é o **Banco Federal de Perfis Genéticos (BFPG)**, administrado por peritos do SEPGEF, e que reúne os perfis genéticos produzidos a partir dos vestígios coletados no âmbito das investigações da Polícia Federal.

O outro é o **Banco Nacional de Perfis Genéticos (BNPG)**, periodicamente alimentado com perfis oriundos do BFPG

e de outros 19 bancos, localizados em instituições de perícia oficial das unidades da federação que já possuem laboratórios de genética forense, aptos a compartilhar seus perfis em nível interestadual. O BNPG também reúne perfis oriundos de outros países, recebidos por intermédio da *International Criminal Police Organization (Interpol)*, organização à qual o Brasil é signatário.

A gestão do Banco Nacional de Perfis Genéticos é feita pelo SINAGEN, setor diretamente vinculado à Diretoria Técnico-Científica (DITEC), que tem como atribuição principal administrar esse banco de dados e prestar o apoio necessário às unidades de perícia criminal que integram a RIBPG. Além disso, os Peritos Criminais Federais que administram o BNPG também acumulam a função de coordenadores do Comitê Gestor da RIBPG, colegiado ao qual compete elaborar requisitos técnicos, uniformizar procedimentos e definir medidas e padrões para o adequado funcionamento da Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos.

FUNCIONAMENTO

Os bancos de perfis genéticos brasileiros são geridos por meio do sistema *Combined DNA Index System (CODIS)*, tecnologia desenvolvida pelo *Federal Bureau of Investigation (FBI)* e que atualmente é utilizada por mais de 50 países ao redor do mundo.

O acordo que possibilitou o uso do CODIS pela RIBPG foi firmado em 2009, por meio de um *Letter of Agreement* entre o FBI e a Polícia Federal. O CODIS hoje é distribuído gratuitamente aos laboratórios integrantes da RIBPG, mediante Acordo de Cooperação Técnica firmado entre a Polícia Federal, a SENASP e as UFs.

Os perfis genéticos gerados pelos laboratórios da RIBPG e que atendem aos critérios de admissibilidade previstos no Manual de Procedimentos Operacionais são enviados rotineiramente ao Banco Nacional de Perfis Genéticos (BNPG). Nesse banco de dados são feitos os confrontos de forma nacional com perfis gerados pelos 20 laboratórios de genética forense que compõem a RIBPG, bem como perfis encaminhados de outros países

Outra finalidade da RIBPG é a identificação de pessoas desaparecidas. Para isso, os bancos de perfis genéticos são alimentados com quatro diferentes categorias de perfis: restos mortais não identificados, pessoas de identidade desconhecida, referências diretas de pessoas desaparecidas e seus familiares. Essas são confrontadas periodicamente para verificação de eventual vínculo genético entre os perfis. Importante ressaltar que perfis genéticos destinados à identificação de pessoas desaparecidas não são confrontados com aqueles perfis relacionados à esfera criminal, sejam vestígios ou indivíduos cadastrados criminalmente.



PROJETOS

Além da administração do BNPG e da coordenação do CG-RIBPG, o SINAGEN ainda desenvolve projetos para promoção dos bancos de perfis genéticos no Brasil.

Atualmente, grandes esforços estão sendo implementados no projeto de desenvolvimento do **Sistema Integrado de DNA – SInDNA**. Tal sistema tem a proposta de ser uma solução completa para o desenvolvimento da genética forense e para a promoção dos bancos de perfis genéticos no país. A partir dele será possível obter informações e relatórios consolidados sobre coletas de materiais biológicos e análises de genética forense de maneira fácil e prática. O SInDNA terá integração automática com o Inteligeo, a poderosa ferramenta de geolocalização desenvolvida pela Criminalística da Polícia Federal. Propõe-se, assim, ser uma solução inovadora modelada para a realidade brasileira, auxiliando desde peritos criminais a gestores de segurança pública. O desenvolvimento do SInDNA começou em 2019 e sua primeira versão será lançada já em 2020.

Adicionalmente, o Setor ainda promove ações de capacitação, além de vários cursos de atualização voltados aos peritos criminais da RIBPG; a mais recente iniciativa foi a criação do **Curso de Especialização em Genética Forense**, cujo objetivo é formar profissionais capazes de desenvolver e aplicar conhecimentos avançados em bancos de perfis genéticos e em perícias de DNA. Estrategicamente, essa ação visa aumentar a oferta de peritos capacitados para trabalharem nos laboratórios de genética forense, integrados à RIBPG, tendo em vista ser uma área altamente especializada e que necessita de mais recursos humanos para o seu crescimento. Essa ação foi proposta e planejada dentro do SINAGEN e atualmente é executada pela Academia Nacional de Polícia, em parceria com a

DITEC, com o envolvimento de servidores do INC e do SEPGEF.

Para o público EaD, o Setor desenvolveu o **Curso Básico sobre Bancos de Perfis Genéticos e a Legislação Aplicada**. Essa capacitação é oferecida nas plataformas ANP.net e ANP Cidadã, esta última de livre matrícula para toda a sociedade.

O SINAGEN participa, ainda, da proposição e execução de projetos estratégicos da Rede Integrada de Bancos de Perfis Genéticos. Tais projetos são criados, debatidos e planejados no âmbito do Comitê Gestor da RIBPG, sendo sua execução financiada pela SENASP/MJSP. Como exemplo de sucesso cita-se o **Projeto de Coleta de Amostras de Condenados**. Já em sua 2ª fase, esse projeto promove a coleta de material biológico de condenados que estão no sistema prisional de modo a atender à legislação vigente que estabelece como obrigatória a identificação do perfil genético de condenados por crimes hediondos e de grave violência contra a pessoa. Em desenvolvimento desde 2018, esse projeto já logrou a coleta e inserção no BNPG de mais de 65 mil condenados em todo o Brasil.

Igualmente estratégico para a RIBPG é o **Projeto de Processamento de Backlog de Crimes Sexuais**. Proposto e elaborado entre 2018-2019 pelo CG-RIBPG, o projeto fez levantamentos e propôs documentos, procedimentos, aquisições e capacitações, visando o processamento do passivo de mais de 150 mil amostras biológicas de crimes sexuais existentes nas perícias do país. Atualmente está em fase de aquisição dos equipamentos e insumos pela SENASP, devendo passar para a fase de execução (análise das amostras e ingresso dos perfis genéticos no BNPG) em seguida. O SEPGEF também será parte importante da execução desse projeto com a implementação do Centro Multiusuário de Processamento Automatizado de Vestígios Sexuais, anteriormente já comentado.



APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE EQUIVALÊNCIA DE HABITAT (HEA) NA VALORAÇÃO DO DANO INTERINO EM ÁREAS DESMATADAS DE MATA ATLÂNTICA NO ESTADO DE SÃO PAULO

Em fins de 2019, o Grupo de Perícias em Meio Ambiente do NUCRIM/SETEC/SR/PF/SP realizou levantamento com aeronave remotamente pilotada (RPA), em propriedade rural limdeira ao Parque Estadual da Cantareira, unidade de conservação de proteção integral do estado de São Paulo. Com base em imagens de satélite, foi identificado 2015 como o ano de início das intervenções no local, voltadas para a implantação de um parcelamento clandestino de solo, com o desmatamento de vegetação secundária de Mata Atlântica em estágio médio de regeneração para a execução de vias, seguida da abertura de lotes e implantação de construções.

Com as imagens obtidas por RPA e uso de recursos de geoprocessamento, foi gerado um ortomosaico da área examinada, possibilitando a estimativa de supressão de 4,8 hectares de vegetação

secundária de Mata Atlântica, entre maio de 2015 a outubro de 2019 (Figura 1).

Para avaliação pecuniária do dano ambiental, foram apresentadas estimativas relacionadas ao (a) valor da receita obtida com a produção de lenha da área desmatada; (b) valor necessário para a demolição das construções implantadas, transporte e deposição em local ambientalmente adequado dos resíduos sólidos gerados; (c) valor da elaboração, implantação e condução dos projetos de reflorestamento de Mata Atlântica a serem desenvolvidos nas áreas desmatadas; e (d) valor do dano interino, ou o dano ambiental presente desde a data do desmatamento até a data em que o reflorestamento dessas áreas atinja o estado compatível ao existente anteriormente ao corte da vegetação.

Esse trabalho apresenta uma estimativa da quantificação e valoração

do dano interino com a metodologia de Análise de Equivalência de Habitat (HEA), adicionando essa importante parcela na estimativa do valor total dos danos ambientais a ser encaminhado às autoridades judiciárias.

DANOS INTERINOS EM ÁREAS DESMATADAS: COMO VALORAR?

O conceito de dano interino encontra-se estabelecido nos tribunais superiores brasileiros^{1,2,3} como o “dano que permanece entre a sua ocorrência e o pleno restabelecimento do meio ambiente afetado”.

O valor da parcela do dano ambiental derivado dos danos interinos



Figura 1. Situação do imóvel em 2015 e em 2019.

foi estimado a partir dos serviços ecossistêmicos eliminados pela supressão da vegetação, baseado no modelo de análise de equivalência^{4,5} utilizado por agências governamentais internacionais (NOAA⁶, European Commission⁷) e descrito em literatura específica⁸.

A premissa é que a vegetação que foi suprimida na área periciada, caracterizada como Floresta Ombrófila Densa do Bioma Mata Atlântica em estágio médio de regeneração, prestava uma série de serviços ecossistêmicos à sociedade, tais como proteção de solo, áreas de nidificação, produção e conservação de estoques de água potável, regulação do microclima, controle de erosão, polinização, controle biológico, estoque de carbono e energia, entre inúmeros outros. A partir da supressão dessa vegetação, a sociedade foi bruscamente

privada do fornecimento desses serviços ecossistêmicos, sendo que parte desses serviços e/ou serviços derivados só voltarão a ser fornecidos novamente quando uma vegetação de Mata Atlântica em estágio médio de regeneração estiver estabelecida na área danificada. Logo, o dano interino foi estimado pela quantidade de serviços ecossistêmicos que deixou de ser fornecida à sociedade no período compreendido entre o corte raso e o retorno da vegetação ao seu estágio pré-supressão, após regeneração florestal.

O modelo de análise de equivalência preconiza que a quantidade de serviços ecossistêmicos por hectare por ano estimada como dano interino deve ser retornada à sociedade. Para isso, sugeriu-se que um projeto de remediação compensatória seja desenvolvido de

forma a restituir à sociedade os serviços ecossistêmicos calculados como dano interino, compensando-a pelos danos ambientais causados pela supressão da vegetação e seu tempo de recuperação.

O projeto de remediação compensatória considerou o reflorestamento com espécies nativas da Mata Atlântica para a produção dos serviços ecossistêmicos que deixaram de ser produzidos no período entre o corte raso e o retorno da vegetação ao estágio sucessional em que se encontrava antes do desmatamento. O projeto prevê a adoção de medidas que promovam o isolamento do local visando o impedimento de acesso de animais e pessoas, o plantio de espécies florestais da Mata Atlântica de ocorrência local em espaçamento 3x2m (1.666 mudas/ha), o cumprimento de um cronograma mínimo

DANOS AMBIENTAIS

Peritos criminais federais Antonio Carlos Bezerra, Daniel Ferreira Domingues, David Domingues Pavanelli, Mariana Machado de Paula Albuquerque, Paulo Gustavo Hoch, Rafael de Arêa Leão Alves e Shanty Navarro Hurtado.

de dois anos de tratos culturais, tais como adubação, combate a formigas, aplicação de defensivos, replantios, irrigação, entre outros que vierem a ser necessários.

Para os cálculos realizados, foi considerado que o projeto de reflorestamento nas áreas danificadas, em condições adequadas, produzirá, em 20 anos,^{9,10} uma cobertura florestal de Mata Atlântica em estágio médio de regeneração, com um concomitante aumento linear da quantidade de serviços ecossistêmicos em seu entorno.

REMEDIAÇÃO PRIMÁRIA

Como remediação primária, foram consideradas as atividades desenvolvidas nas áreas danificadas de forma a promover a restauração da vegetação de Mata Atlântica suprimida sem qualquer tipo de autorização. Considerou-se que a remediação primária na área desmatada será conduzida por meio de projeto de reflorestamento.

DANO INTERINO

O dano interino foi calculado a partir das seguintes considerações:

- As áreas desmatadas sofreram corte raso de vegetação entre 2015 e 2019, tendo sido considerado o ano de 2017 como data média de todos os cortes. Nenhuma das áreas desmatadas apresentou qualquer tipo de recuperação florestal até a data dos exames;
- A remediação primária será implantada nas áreas danificadas mediante implantação de um projeto de reflorestamento de Mata Atlântica a ser iniciado em 2020;
- Linha de base: o valor arbitrário de 100% para a linha de base foi definido como oriundo dos serviços ecossistêmicos integralmente fornecidos pela floresta

de Mata Atlântica em estágio médio de regeneração, antes da degradação identificada nos exames periciais. O valor arbitrário de 5% da linha de base foi definido para as áreas danificadas, significando que apenas 5% dos serviços ecossistêmicos continuaram a ser fornecidos pela área, após o corte raso da vegetação;

- Multiplicador de valor presente (MVP): em razão de as perdas e ganhos ecossistêmicos ocorrerem em diferentes anos no passado e futuro, o multiplicador de valor presente é aplicado diretamente à quantidade de serviços ecossistêmicos. O multiplicador permite a atualização dos danos ambientais ocorridos no passado, assim como o cálculo de perdas e ganhos de serviços ecossistêmicos futuros. O multiplicador é definido pela equação:

$$MVP = \frac{1}{(1+taxa)^{(ano-ano\ base)}}$$

sendo taxa = 0,03 (3%) e ano base = 2020. A taxa de 3% ao ano¹¹ indica que a quantidade calculada de serviços ecossistêmicos sofrerá acréscimo de 3% ao ano em datas anteriores à 2020 e decréscimo de 3% ao ano para datas posteriores a 2020;

- Curva de evolução: A remediação primária na área desmatada será realizada por intermédio de projeto de reflorestamento de Mata Atlântica. Durante a evolução do reflorestamento na área danificada haverá um aumento da quantidade de serviços ecossistêmicos fornecidos pela área. Foi considerado que a área danificada, fornecendo apenas 5% dos serviços ecossistêmicos da área original depois do corte raso, retornará após 20 anos de projeto de recuperação ao valor de 100% da linha de base, ou seja, a mesma qualidade e quantidade de serviços ecossistêmicos fornecidos antes do dano. Foi considerado que

essa evolução no percentual de serviços ecossistêmicos será linear durante os 20 anos do projeto de recuperação, com um incremento de 4,75% ao ano.

O dano interino foi calculado anualmente considerando que todo o desmatamento foi realizado em 2017 e obtido pela multiplicação entre a área desmatada, a perda percentual de serviços ecossistêmicos (comparada à linha de base) e o MVP. Os débitos anuais foram calculados em serviços ecossistêmicos hectare ano (SE.ha.ano). A soma de todos os débitos anuais produziu o valor do débito acumulado, que é o valor do dano interino causado pelo desmatamento da área, calculado em 54,62 SE.ha.ano (memorial de cálculo apresentado na Planilha 1¹²).

A Planilha 1¹² e o Gráfico 1 ilustram a evolução do dano interino nas áreas desmatadas.

CRÉDITO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS GERADO POR UM PROJETO DE REFLORESTAMENTO DE MATA ATLÂNTICA

Um projeto de reflorestamento com espécies nativas de Mata Atlântica considera que uma fitofisionomia florestal será recomposta sobre áreas livres, aumentando inerentemente a quantidade de serviços ecossistêmicos gerados pela área reflorestada.

A quantificação dessa evolução de serviços ecossistêmicos gerados guarda grande similaridade com a forma de cálculo apresentada para o cálculo do dano interino, pois considera os mesmos valores arbitrários à produção de serviços ecossistêmicos, fornecidos por uma área de floresta de Mata Atlântica em estágio médio de regeneração (100% da linha de base) e pela mesma área sem o projeto de reflorestamento (5% da linha de base), além do MPV de 3% e o período de 20 anos para que a área submetida ao projeto de reflorestamento atinja o valor de 100% da linha de base, mediante uma evolução linear, com um incremento de 4,75% ao ano no quantitativo de serviços ecossistêmicos gerados.

A quantidade de serviços ecossistêmicos fornecidos durante

um projeto de reflorestamento de Mata Atlântica em uma área de um hectare foi calculada anualmente depois da implantação do projeto, a partir da multiplicação entre o percentual de serviços ecossistêmicos fornecidos (comparado à linha de base) e o MPV. Os créditos anuais foram calculados em serviços ecossistêmicos ano (SE.ano). A soma de todos os créditos anuais produziu o crédito acumulado, calculado em serviços ecossistêmicos ano (SE.ano), que é o valor total de serviços ecossistêmicos produzido por um projeto de reflorestamento em uma área de um hectare (memorial de cálculo apresentado na Planilha 2¹²).

A Planilha 2¹² e o Gráfico 2 ilustram a evolução dos créditos em serviços ecossistêmicos ao longo do tempo.



Gráfico 1

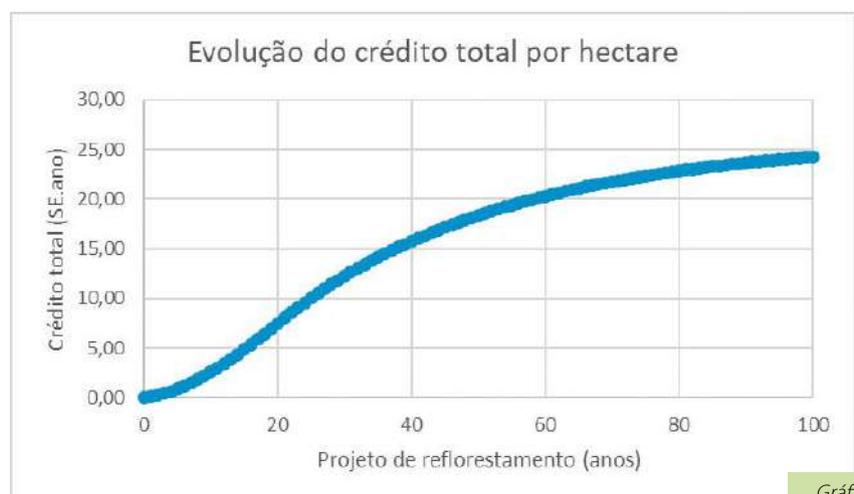


Gráfico 2

DANOS AMBIENTAIS

Peritos criminais federais Antonio Carlos Bezerra, Daniel Ferreira Domingues, David Domingues Pavanelli, Mariana Machado de Paula Albuquerque, Paulo Gustavo Hoch, Rafael de Arêa Leão Alves e Shanty Navarro Hurtado.

PROJETO DE REMEDIAÇÃO COMPENSATÓRIA

O cálculo da remediação compensatória é realizado pela divisão do valor do dano interino (54,62 SE.ha. ano) pelo crédito acumulado no período estabelecido ao desenvolvimento do projeto de reflorestamento de Mata Atlântica. Assim, para que o valor do dano interino seja compensado em 20 anos, será necessário o reflorestamento de Mata Atlântica em uma área de 7,26 ha (resultado da divisão do dano interino de 54,62 SE.ha.ano por 7,52 SE.ano de créditos acumulados durante 20 anos de projeto de reflorestamento em 1 ha – memorial de cálculo apresentado na Planilha 2¹²). De modo análogo para a compensação do dano interino em 50 anos, será necessário o reflorestamento de Mata Atlântica em uma área de 2,97 ha. Considerando como 40 anos o tempo médio de plantios de reflorestamento de Mata Atlântica, os signatários sugerem que uma área de 3,47 ha seja disponibilizada para a implantação de um projeto de reflorestamento de Mata Atlântica por 40 anos no entorno da área originalmente desmatada, de modo a compensar a sociedade pelo dano interino calculado.

A Planilha 2¹² e o Gráfico 3 ilustram a relação entre a área (em ha) e a duração (em anos) do projeto de reflorestamento para a compensação do dano interino de 54,62 SE.ha.ano.

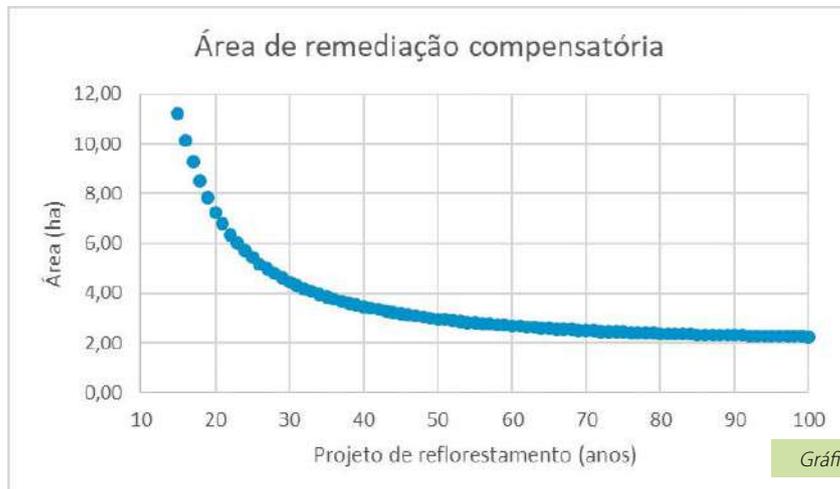


Gráfico 3

ESTIMATIVA DOS VALORES MONETÁRIOS

1. Material lenhoso retirado da área danificada

O corte raso da área danificada (4,8ha) retirou todo o material lenhoso da área. Considerando um volume de 150m³/ha¹³, foi estimado um volume total de 720m³ retirado da área danificada. Considerando o valor de R\$52,00/estéreo^{14,15}, de lenha de eucalipto e a relação 1 estéreo = 0,7m³, tem-se o valor estimado de lenha retirado das áreas danificadas em R\$ 53.486,00.

2. Projeto de reflorestamento de Mata Atlântica

O projeto de reflorestamento de Mata Atlântica deve ser implementado e desenvolvido nos 4,8ha de remediação primária e nos 3,47ha de remediação compensatória. Considerando o custo de implantação e manutenção de projeto de reflorestamento de Mata Atlântica em R\$ 16.616,77/ha (jan/2020)^{16,17}, o custo mínimo dos reflorestamentos de Mata Atlântica nas áreas de remediação primária e compensatória são R\$ 79.760,50 e R\$ 57.660,20, respectivamente.

3. Cercamento das áreas sob remediação primária e compensatória

As áreas reflorestadas devem ser cercadas para evolução adequada dos processos de remediação primária e compensatória. Considerando a circunferência como o menor perímetro possível para determinada área, o menor perímetro

para a área de remediação primária (4,8 ha) é de 776 metros; e para a área de remediação compensatória (3,47ha) é de 660 metros. Considerando R\$ 19,96 por metro linear de cerca¹⁸, os valores mínimos de cercamento das áreas de remediação primária e compensatória são R\$ 15.488,96 e R\$13.173,60, respectivamente.

CONCLUSÃO

O trabalho apresenta uma estimativa do valor do dano interino causado por desmatamentos baseado na metodologia de Análise de Equivalência de Habitat (HEA), a partir de conceitos de sucessão ecológica e serviços ecossistêmicos.

A estimativa do valor do dano interino (valor da remediação compensatória e respectivo cercamento) representa uma majoração de 48% no valor do dano ambiental estimado pela somatória dos valores da retirada do material lenhoso, da remediação primária e do respectivo cercamento. Importa destacar que a não implantação do projeto de remediação compensatória dentro da propriedade periciada implicará na aquisição/averbação da área calculada em outras propriedades, elevando o valor do projeto e, por consequência, o valor do dano interino.

Caso a remediação primária não tenha início em 2020, o valor do dano interino sofrerá acréscimo, com um consequente aumento na área de remediação compensatória. Analogamente, caso a remediação compensatória não seja implantada em 2020, uma área superior à calculada será necessária para a compensação do dano interino, considerados os mesmos prazos de recuperação.

Conforme apresentado, todos os valores considerados podem ser facilmente recalculados, caso os parâmetros utilizados (curva de fornecimento de serviços ecossistêmicos, evolução dos projetos de reflorestamento, MPV, etc.) sejam mais bem definidos pela comunidade científica.

REFERÊNCIAS

¹ REsp n. 1.180.078-MG, Rel. Ministro Herman Benjamin, Segunda Turma, julgado em 2.12.2010, DJe de 28.2.2012 disponível em https://ww2.stj.jus.br/processo/revista/documento/mediado/?componente=ATC&sequencial=12825941&num_registro=201000209126&data=20120228&tipo=5&formato=PDF

² REsp n. 1.198.727-MG, Rel. Ministro Herman Benjamin, Segunda Turma, julgado em 14.8.2012, DJe de 9.5.2013 disponível em https://ww2.stj.jus.br/processo/revista/documento/mediado/?componente=ATC&sequencial=13806316&num_registro=201001113499&data=20130509&tipo=5&formato=PDF

³ Responsabilidade Civil Ambiental, Princípio do Poluidor-Pagador, Princípio da Reparação Integral, Princípio da Melhoria da Qualidade Ambiental e Princípio in Dubio pro Natura. Revista do Superior Tribunal de Justiça. Volume 239, Ano 27, (jul.ago.set.-2015). - Brasília: STJ, 2015. Disponível em https://ww2.stj.jus.br/docs_internet/revista/eletronica/stj-revista-eletronica-2015_239_1_capSumario.pdf

⁴ NOAA, 1995. Habitat equivalency analysis: an overview, Damage Assessment and Restoration Program, National Oceanic and Atmospheric Administration, Department of Commerce, 1995. <https://casedocuments.darrp.noaa.gov/northwest/cbay/pdf/cbhy-a.pdf>.

⁵ Environmental Liability Directive: Training Handbook and Accompanying Slides for European Commission DG Environment, February 2013. Disponível em http://ec.europa.eu/environment/legal/liability/pdf/eld_handbook/ELD%20Training%20Handbook%20-%202020days_en.pdf

⁶ <https://darrp.noaa.gov/economics/habitat-equivalency-analysis>

⁷ <http://ec.europa.eu/environment/legal/liability/>

⁸ Pavanelli, D. D., & Voulvoulis, N. (2019). Habitat Equivalency Analysis, a framework for forensic cost evaluation of environmental damage. *Ecosystem Services*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100953>.

⁹ Vicente, N.R. O Manejo Tradicional de Roça Itinerante em Florestas Secundárias: Um sistema que conserva a Biodiversidade? Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2014.

¹⁰ Brancalion, P. H. S., Gandolfi, S. & Rodrigues, R. R. (2015). *Restauração Florestal*. São Paulo. 2015. Oficina de Textos, p.154.

¹¹ Desvousges, W.H., Gard, N., Michael, H.J., & Chance, A.D., (2018). Habitat and resource equivalency analysis: a critical assessment. *Ecol. Econ.* 143, 74–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.003>.

¹² Disponível em <https://drive.google.com/file/d/1fcA4dCLG6Jn4V41gFjPrrKmtZ0CoELD/view?usp=sharing>

¹³ Zambiasi, D.C.. Evolução do volume de madeira em floresta secundária da Mata Atlântica em Santa Catarina. 2017. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

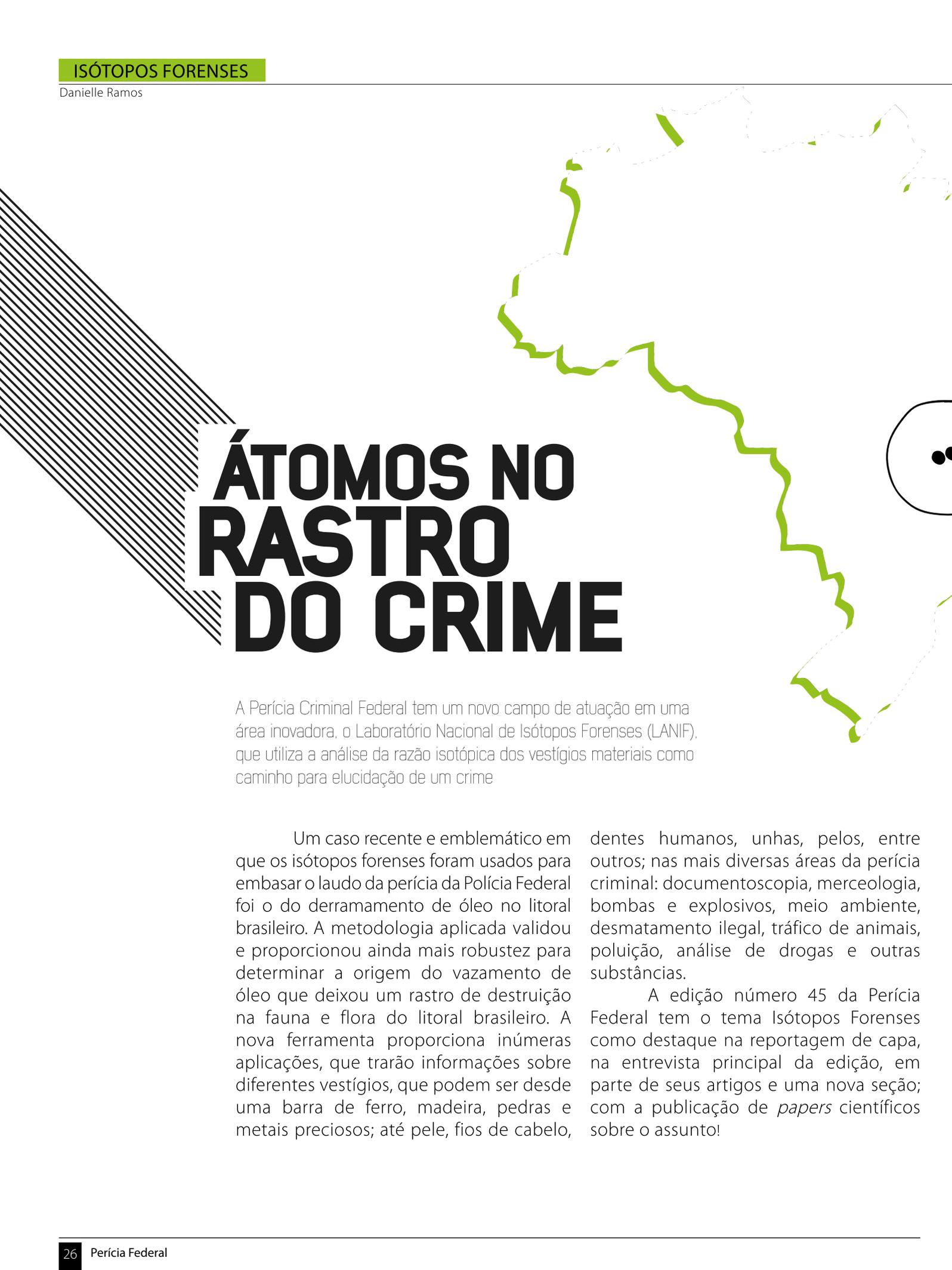
¹⁴ Madeira empilhada com um metro de comprimento, por um metro de largura e com um metro de altura. Nesta condição, existem espaços vazios entre as toras empilhadas.

¹⁵ Simioni, F., Buschinelli, C., Deboni, T., & Passos, B. (2018). Cadeia produtiva de energia de biomassa florestal: o caso da lenha de eucalipto no polo produtivo de Itapeva - SP. *Ciência Florestal*, 28(1), 310-323. doi:<http://dx.doi.org/10.5902/1980509831602>

¹⁶ Pacto pela restauração da Mata Atlântica : referencial dos conceitos e ações de restauração florestal [organização edição de texto: Ricardo Ribeiro Rodrigues, Pedro Henrique Santin Brancalion, Ingo Isernhagen]. – São Paulo : LERF/ESALQ : Instituto BioAtlântica, 2009, disponível em <http://www.lerf.esalq.usp.br/divulgacao/produtos/livros/pacto2009.pdf>.

¹⁷ <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice>

¹⁸ Cerca de mourões de madeira, 7,5x7,5cm, espaçamento de 2m, altura livre de 2m, cravados 0,5m, com 4 fios de arame farpado nº14 classe 250. Cotação obtida no arquivo SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_SP_112017_NaoDesonerado.zip do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) disponível em http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_664.



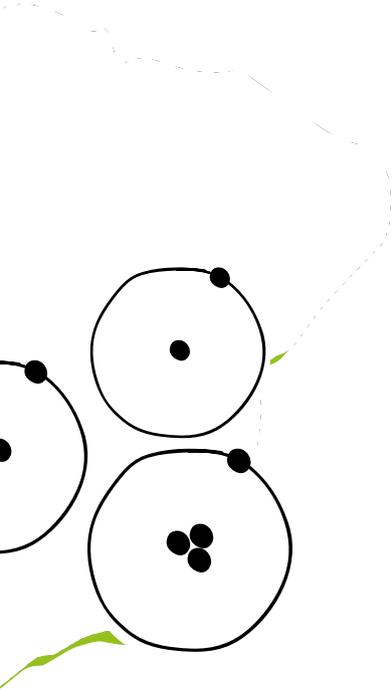
ÁTOMOS NO RASTRO DO CRIME

A Perícia Criminal Federal tem um novo campo de atuação em uma área inovadora, o Laboratório Nacional de Isótopos Forenses (LANIF), que utiliza a análise da razão isotópica dos vestígios materiais como caminho para elucidação de um crime

Um caso recente e emblemático em que os isótopos forenses foram usados para embasar o laudo da perícia da Polícia Federal foi o do derramamento de óleo no litoral brasileiro. A metodologia aplicada validou e proporcionou ainda mais robustez para determinar a origem do vazamento de óleo que deixou um rastro de destruição na fauna e flora do litoral brasileiro. A nova ferramenta proporciona inúmeras aplicações, que trarão informações sobre diferentes vestígios, que podem ser desde uma barra de ferro, madeira, pedras e metais preciosos; até pele, fios de cabelo,

dentos humanos, unhas, pelos, entre outros; nas mais diversas áreas da perícia criminal: documentoscopia, merceologia, bombas e explosivos, meio ambiente, desmatamento ilegal, tráfico de animais, poluição, análise de drogas e outras substâncias.

A edição número 45 da Perícia Federal tem o tema Isótopos Forenses como destaque na reportagem de capa, na entrevista principal da edição, em parte de seus artigos e uma nova seção; com a publicação de *papers* científicos sobre o assunto!



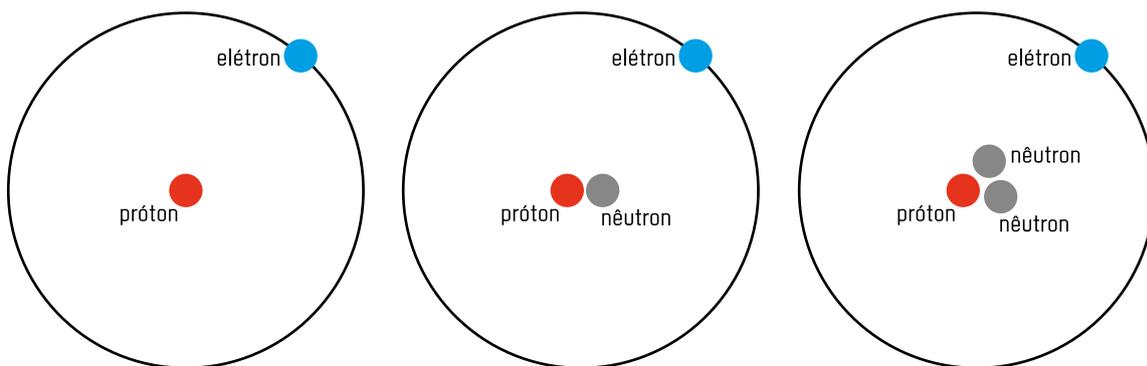
No primeiro semestre de 2020, foi criado o LANIF, responsável pelas atividades de análises e pesquisa de razão isotópica. “O novo laboratório tem caráter transversal para atender todos os serviços e áreas do Instituto Nacional de Criminalística (INC), setores, núcleos e unidades técnico-científicas (Setecs, Nutecs e Utecs)”, contextualiza o perito criminal federal e o diretor do INC à época da criação do LANIF, Luiz Spricigo. O laboratório também ficará responsável pelo armazenamento e o processamento estatístico e geoestatístico de dados isotópicos no âmbito do INC e do Sistema Nacional de Criminalística (SNC).

Isótopos, para a aplicação nas ciências forenses, podem ser definidos, de forma didática, como a “assinatura” que define a identidade da matéria, bem como do ambiente em que ela foi originada. “Ao fazer analogia com outra área da perícia criminal, é possível dizer que o DNA diz *quem é* e o isótopo diz *de onde vem*”, destaca o perito criminal federal Rodrigo Mayrink, um dos responsáveis pelo projeto de imple-

mentação do laboratório e pesquisador da nova ferramenta.

Para entender como esse procedimento tecnológico funciona, pode-se resgatar algumas lições de química para que seja compreendido de forma mais técnica: isótopos são átomos de um mesmo elemento químico e que possuem a mesma quantidade de prótons (mesmo número atômico), mas se diferenciam pelo número de massa (prótons + nêutrons). O seu número de massa é diferente porque a quantidade de nêutrons no núcleo é diferente. Os isótopos estáveis são isótopos que não sofrem decaimento radioativo, ou seja: permanecem sempre com o mesmo número de nêutrons. E é essa diferença no número de nêutrons, constante ao longo do tempo, mas variável nas substâncias, organismos e materiais, que se transforma na chave da nova ferramenta pericial. A química pode fazer toda a diferença para rastrear um criminoso e encontrar as provas necessárias para a investigação.

Hidrogênio e seus Isótopos



Fonte: Luiz Spricigo Jr

“O uso dos isótopos pela perícia federal tem por objetivo estabelecer a padronização de exames periciais visando à caracterização da origem, vínculo geográfico, caracterização de métodos de produção e detecção de fraudes em vestígios criminais e amostras de interesse pericial das mais diversas naturezas, tais como solo, minerais e rochas; vegetais, madeira e derivados; tecidos humanos e animais; alimentos, medicamentos, substâncias psicoativas, documentos, explosivos, obras de arte, mercadorias diversas, dentre outros”, explica o perito Luiz Spricigo.

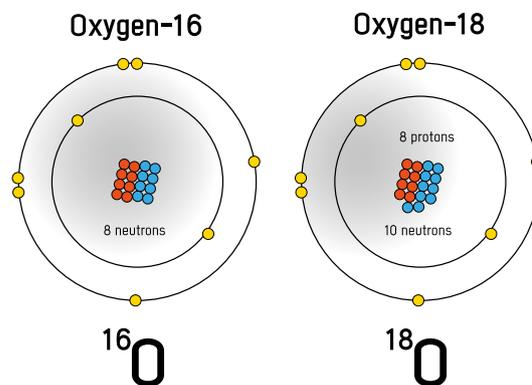
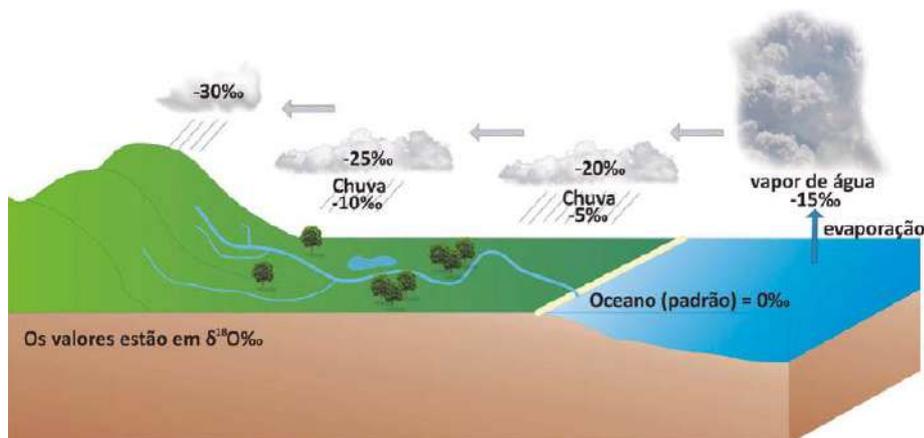


NO CAMINHO DAS AVES

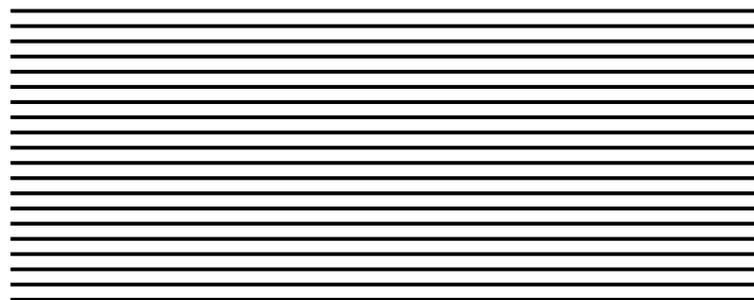
O perito criminal federal Fábio Costa salienta que a ideia de usar isótopos nas ciências forenses surgiu a partir de conversas com ornitólogos – pessoas que se dedicam ao estudo das aves – que, em determinada oportunidade, disseram que era possível utilizar a metodologia para saber a origem e as rotas de aves migratórias. “Achei aquilo muito diferente na época, isso foi em 2014. Depois disso, essa ideia ficou latente na minha cabeça”, relata. Com o lançamento do edital Pró-Forenses da CAPES (Ministério da Educação), que incentivava inovações metodológicas para a área forense, o perito buscou por um projeto e chegou aos isótopos. “Imaginei que como isso funcionava para aves migratórias, também funcionaria para referenciar amostras de animais silvestres apreendidos”. Ele entrou em contato com um colega ornitólogo e pediu o contato da professora Gabriela Nardoto, que é pesquisadora da área na Universidade de Brasília (UnB). “Mande um e-mail para ela falando da minha ideia e ela de pronto se interessou. Submetemos então um projeto em conjunto a esse edital, que foi aprovado”, relembra. O trabalho que teve início em 2014 deu origem ao seu doutorado, que contou com a publicação do livro *Ciência contra o Tráfico: Avanços no Combate ao Comércio Ilegal de Animais Silvestres*, em conjunto com outros peritos criminais federais e pesquisadores.

APLICAÇÃO

Como um dos objetivos da análise de isótopos é dizer a origem daquela matéria, um dos exemplos de aplicação da ferramenta é no caso de rastreamento geográfico de amostras, em que são utilizados isótopos do oxigênio. A água quando evapora do mar o faz de modo diferente entre a água contendo oxigênio com oito nêutrons e aquela contendo oxigênio com 10 nêutrons. Esses dois tipos de oxigênio são os isótopos estáveis, que possuem o mesmo número de prótons, mas diferentes números de nêutrons. Os isótopos mais leves evaporam mais facilmente, o que gera uma diferença entre a água do mar e o vapor da nuvem. Quando chove, a água com o oxigênio mais pesado precipita mais facilmente, acentuando essa diferença em relação a nuvem remanescente.

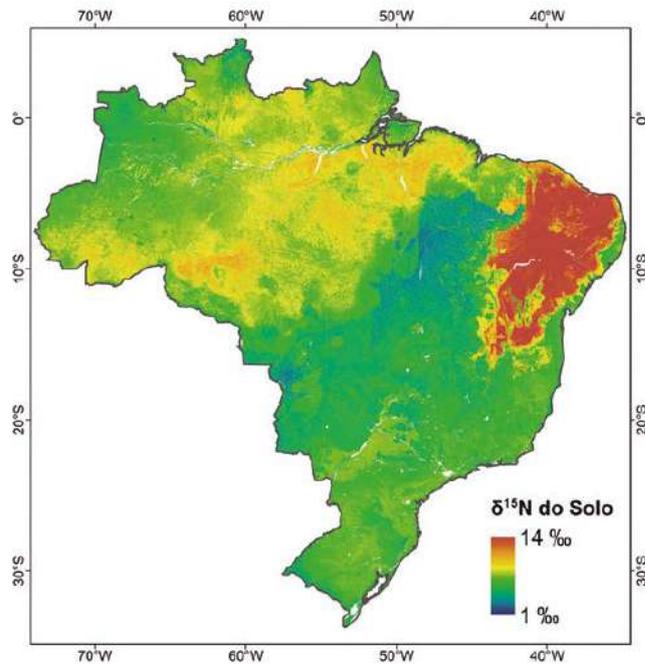


(Nardoto et al., 2017)



À medida que as nuvens adentram o continente, esse ciclo de evaporação e precipitação vai ocorrendo e vai sendo criado um gradiente ao longo do continente. Os seres vivos, quando bebem a água, incorporam essas diferenças em seus tecidos, que podem ser analisados em laboratório. Com esses dados é possível a criação de isoscapes (ou mapeamento isotópico), mapas de padrões de distribuição espacial de isótopos que são utilizados para rastrear processos biogeoquímicos em sistemas naturais e antrópicos.

O fato de ser possível criar diferentes isoscapes de interesse forense, a partir de dados de campo obtidos de maneira relativamente rápida, torna factível a resolução de casos criminais como mortes violentas, crimes ambientais, crimes patrimoniais, entre outros, com sustentação científica de provas antes desconhecidas.



TRÁFICO DE ANIMAIS

Outra aplicação da metodologia é quanto à diferenciação de animais de cativeiro e de vida livre no intuito de coibir o tráfico de animais silvestres. A análise de isótopos está sendo feita em um caso da Superintendência da Polícia Federal no Amazonas, que investiga o tráfico de carne de tartarugas. “O hábito de consumo desses animais é cultural e, com isso, eles são comercializados em grande escala e muitas vezes traficados. Existem criatórios legalizados desses animais, mas acaba sendo mais barato a captura dos animais livres e posterior comercialização deles como se fossem criados em cativeiros. Com a análise de isótopos fica simples fazer a diferenciação desses animais, por meio de exames do casco e unhas, uma vez que o sinal isotópico dos animais das florestas é completamente diferente do sinal isotópico das rações usadas em criatórios e dos quelônios que a ingerem, explica o perito criminal federal Rodrigo Mayrink. Devido a mecanismos bioquímicos durante a fotossíntese, as árvores acumulam diferentes proporções isotópicas do carbono, se comparadas às gramíneas (grupo ao qual pertence o milho, usado nas rações). Essas diferentes fontes vegetais ficam marcadas nos tecidos animais, em função de sua alimentação.



Criatórios comerciais de tartarugas-da-Amazônia: a técnica isotópica diferencia facilmente animais de vida livre e de cativeiro, tornando-se uma ferramenta muito útil para o combate ao tráfico de animais silvestres associado à criação comercial.

PARCERIAS, PESQUISAS E A CRIAÇÃO DO LANIF

A parceria e integração entre o meio acadêmico e a Polícia Federal foram determinantes para o fomento e criação da nova área, segundo o PCF Fábio Costa. Apesar de desenvolver pesquisas de altíssima qualidade, as universidades, comumente, esbarram com problemas de orçamento e investimento. O serviço público, por outro lado, apresenta resistências para desenvolver e implementar soluções científicas próprias. “Os gestores, muitas vezes, enxergam o investimento em pesquisa como um desperdício, pois não há garantia de que o produto resultante será realmente útil na prática. A aproximação entre a Perícia Federal e a Academia diminui as distâncias entre esses extremos, tornando possíveis novas aplicações práticas para a ciência desenvolvida, e os dois lados ganham. Além disso, a Academia possui a cultura de inovação do conhecimento corrente e rompimento de paradigmas, postura que favorece a criação de alternativas tecnológicas para a solução dos problemas cotidianos. Esse tipo de mentalidade inovadora contamina a todos e cria-se um ambiente de transformação”, declara Fábio.

Esse ambiente de contaminação relatado pelo perito aconteceu com a metodologia isotópica. A brincadeira entre eles é que a paixão pelo tema é altamente contagiosa. Atualmente, são cerca de 10 peritos criminais federais envolvidos em pesquisas ligadas aos isótopos. “Ao se compreender melhor os princípios que norteiam a aplicação forense dos isótopos e os exemplos de solução de casos existentes, é impossível um perito não se contagiar! Criou-se um ambiente criativo e inovador que atrai pessoas que procuram diversificar para encontrar soluções, o que é muito empolgante. O uso de isótopos já é um presente dentro da Perícia Federal, mas também fará parte de seu futuro, já que se vislumbram novas aplicações em médio e longo prazos”, ressalta o PCF Fábio.

O cenário é de intensa troca de experiências entre a perícia e a Academia, e o LANIF nasceu nesse contexto. “O LANIF é resultado de uma conjuntura de fatores, como a finalização do meu trabalho de doutorado, do mestrado do perito criminal federal Ricardo Mascarenhas e de outros peritos que se interessaram pela temática; além de um diretor Técnico-Científico (o PCF Fábio Salvador, à época), que valoriza a ciência e que já havia aplicado à metodologia isotópica no meio forense e patrocinou o empenho de outros peritos em tempo integral para o seu desenvolvimento.

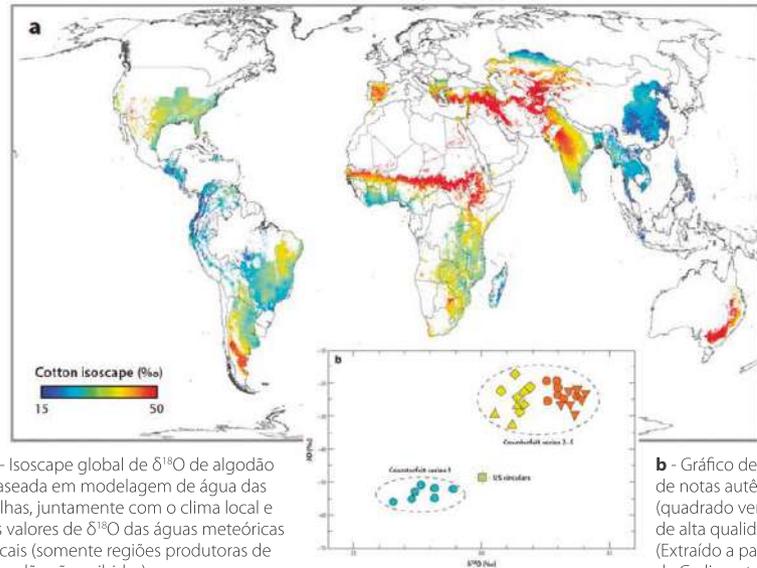
Outro ponto, que impulsionou o envolvimento da perícia com a Academia foi o edital Pró-forenses, em 2014”, orgulha-se o PCF Fábio.

A criação do LANIF em si já é uma grande inovação, pois apresenta uma estrutura diferente dos demais setores periciais, que possibilita maior flexibilidade para desenvolvimentos, e, ao mesmo tempo, permite aplicações transversais nas mais diversas áreas periciais. “O LANIF foi projetado para ter duas bases laboratoriais integradas, sendo uma no Instituto Nacional de Criminalística e outra na Superintendência de Polícia Federal no Amazonas. Ambas contarão com equipamentos de Espectrometria de Massas de Razão Isotópica (IRMS), já em processo de aquisição ou instalação. Adicionalmente, o LANIF contará com o parque tecnológico da rede de instituições parceiras”, narra o PCF Mayrink. Segundo ele, Manaus, optou por dedicar-se prioritariamente a atender demandas de crimes ambientais como o rastreamento de origem de madeira ilegal, tráfico de animais silvestres, extração ilegal de ouro, tráfico de drogas e outros crimes. E a base em Brasília será responsável por atender as demandas do restante do país e poderá contar com a estrutura adicional dos laboratórios da UnB. “Se o projeto do LANIF tem uma grande dose de inovação, a iniciativa da Superintendência do Amazonas tem ineditismo em dobro. A equipe de peritos do SETEC/AM, com o apoio do superintendente local, conseguiu estruturar um projeto ambicioso, de forma muito ágil, mesmo com todos os desafios de uma unidade pericial descentralizada. A superintendência do Amazonas é peça-chave para o LANIF”, explica Mayrink. Em etapa bastante adiantada, o laboratório de isotopia forense de Manaus deverá começar a produzir resultados ainda este ano.

O perito criminal federal e diretor Técnico-Científico à época da criação do LANIF, Fábio Augusto Salvador, celebra a iniciativa da Perícia Criminal Federal em investir e dedicar-se ao tema. Segundo ele, ao longo de sua gestão como Ditec, procurou encarar a Criminalística com paixão e servir de facilitador para as iniciativas dos colegas e equipes. “O LANIF poderá ser o que seus sonhos o materializarem. Pesquisadores de diferentes ciências naturais no meio acadêmico têm promovido pesquisas em materiais muito variados. As polícias técnico-científicas e os peritos criminais, de maneira geral, perceberam o potencial de uso da técnica e a efetividade de sua aplicação, a partir do barateamento das análises e difusão de resultados nas universidades”, vibra Salvador.

EXPERIÊNCIA ESTRANGEIRA

Segundo os especialistas, no exterior, a metodologia já vem sendo aplicada há mais de 10 anos em diversos órgãos policiais. Nos Estados Unidos, por exemplo, o *Drug Enforcement Administration* (DEA) emprega os isótopos para saber a origem da cocaína na América do Sul e o FBI (a Polícia Federal americana) os utiliza corriqueiramente, especialmente em sua Unidade de Pesquisa em Ciência Forense e Contraterrorismo. “Exemplos de casos utilizados pelo FBI é o Amerithrax, caso de envio de esporos de antraz por correio, e o caso do “super dólar”, em que notas de dólares foram falsificadas com altíssima qualidade. Os isótopos foram utilizados para saber em qual laboratório foram produzidos os esporos e de que país vieram as notas falsificadas”, exemplifica Fábio Costa.



Isoscapes de fibras de algodão de séries autênticas e contrafeitas de dólar americano

BANCO DE DADOS

Um das metas do LANIF é a criação de um banco de dados de amostras e padrões. Espelhando-se no exemplo bem-sucedido do Banco Nacional de Perfis Genéticos, gerenciado pela Perícia Federal, o banco de dados potencializará a utilização da grande quantidade de dados que já existe, mas que está pulverizada em diversos laboratórios acadêmicos do país. “A utilização desses dados possibilitará aumento da precisão quando se compara os padrões e os resultados isotópicos das amostras questionadas. Além disso, possibilitará a identificação de perfis e padrões com base nos valores isotópicos de diferentes casos, possibilitando identificar o *modus operandi* de crimes, facções criminosas e deslocamentos de grupo criminosos entre as regiões brasileiras”, observa o PCF Fábio Costa.

O processo de formação do banco de dados de isótopos, a partir de água, já está em andamento dentro da PF: programado para durar de janeiro de 2020 a janeiro de 2021, já está em sua sétima campanha de coleta. “O INC enviou, para cada unidade de criminalística, frascos adequados para coleta de água destinada ao abastecimento público de cada localidade. Como a criminalística da PF conta com 50 unidades, teremos amostras de uma verdadeira rede espalhada pelo país”, detalha o PCF Ricardo Mascarenhas, coordenador da iniciativa. O perito ressalta ainda a importância da parceria com o meio acadêmico, haja vista que





Almoço realizado durante a interFORENSICS, em maio de 2019, que culminou a criação da Rede Nacional de Isótopos Forenses

as análises serão realizadas no laboratório do Instituto de Geociências da USP, sob responsabilidade da prof. Veridiana Martins.

Antes mesmo da formalização do LANIF como área de atuação da perícia da PF, em maio de 2019, foi criada a Rede Nacional de Isótopos Forenses (RENIF), uma sociedade científica com o intuito de contribuir na aplicação da metodologia isotópica no âmbito das Ciências Forenses no país. Essa rede tem dado todo o suporte para a Polícia Federal e por meio dela iniciou-se um processo de compartilhamento de um banco de dados com mais de 300 mil entradas, resultante de décadas de pesquisa. “Continuar interagindo e integrando a rede proporcionará a continuidade dessa sinergia entre a Academia e a Perícia. Mas finalmente quem mais ganhará será a sociedade. Exemplo disso é a grande quantidade de casos de humanos não identificados no sistema de criminalística brasileiro. A isotopia pode dar uma nova luz a esse problema e auxiliar na localização das famílias”, completa o perito Fábio Costa.

De acordo com Salvador, a formação de bases confiáveis para a construção

de isoscapes constituída no seio da própria instituição pericial, junto à integração com a comunidade acadêmica e outros órgãos governamentais como Forças Armadas, agências e outros institutos, fortalece ainda mais a iniciativa de vanguarda. “A partir desses mapas de valores isotópicos, toda amostra natural obtida em casos de natureza criminal poderá ter suas características e interesse forenses esmiuçados; em tese, servindo de indicadores de distribuições geográficas e de origem. O LANIF, costume dizer, pode ser a locomotiva de grande parte do desenvolvimento da perícia moderna que a sociedade brasileira deve ambicionar. Por outro lado, sem o devido reconhecimento e visão de futuro, pode se transformar apenas em mais um assunto que a comunidade policial irá invejar do exterior e admirar em séries de televisão, nos próximos anos”, detalha o ex-diretor da Perícia da Polícia Federal.

Com a criação do LANIF no Instituto Nacional de Criminalística, o Brasil passa a fazer parte de um seleto grupo de pouco mais de uma dezena de países que possui

laboratórios de isotopia instalados em seus institutos forenses. “Além dos EUA, Canadá e alguns países da Europa, apenas Austrália e Japão possuem tal estrutura pericial. Criamos o LANIF para ser o segundo do Hemisfério Sul, o primeiro na América Latina, e já nascer como uma referência internacional. Mesmo com pouco tempo de existência, o LANIF já possui parcerias em andamento com três países: Argentina, Chile e Holanda”, finaliza Salvador.

“Não se trata de uma técnica mágica ou que se aplique a 100% dos casos. Mas ela pode, sim, gerar informações muito úteis para os laudos periciais e as investigações. Em muitos casos, pode fazer a diferença. Como disse o diretor da agência americana de armas e explosivos, no último simpósio de diretores de institutos forenses da Interpol, de que participei, a isotopia forense, mesmo que ainda não totalmente desenvolvida para várias áreas da criminalística, é uma técnica promissora para a discriminação de origem ou fonte de praticamente tudo” explica o ex-diretor do INC, Luiz Spricigo.



1º WORKSHOP NACIONAL SOBRE ISÓTOPOS FORENSES

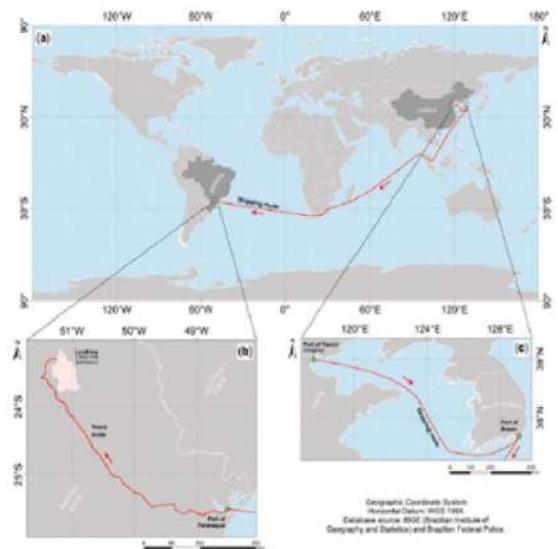
No final de novembro de 2019, foi realizado, no INC, em Brasília, o 1º Workshop Nacional sobre Isótopos Forenses, que foi um marco da iniciativa do projeto da nova área. O evento reuniu peritos criminais federais e estaduais, pesquisadores, estudantes, representantes de vários órgãos de governo e demais profissionais atuantes no ramo da ciência isotópica e marcou a apresentação oficial da RENIF.

Os primeiros resultados científicos no Brasil da parceria entre a Perícia Criminal e a Academia culminaram na publicação de dois artigos científicos em revistas de grande impacto internacional: (1) Nardoto et al. (2020) na *Science of Food* (revista do grupo Nature), contando com a coautoria do prof. Jim Ehleringer, pioneiro da isotopia forense na América do Norte; e (2) Martinelli et al. (2020) na *Molecules*, revista da MDPI. Ambas as publicações enfatizaram a aplicação de isótopos estáveis em Ciências Forenses no país.

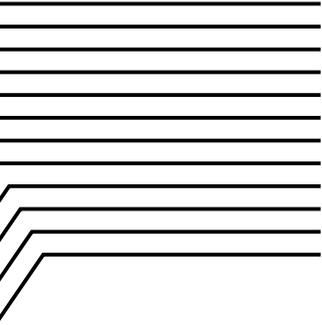
CASOS

O primeiro caso pericial que contou com a utilização de isótopos, no âmbito da Polícia Federal, foi em fevereiro de 2016, no Paraná. Tratava-se de investigação de fraude e roubo de metal adquirido por uma empresa brasileira de um fornecedor chinês. Lingotes de zinco foram transportados por um navio da China para a cidade de Londrina, no entanto, eles foram substituídos, em algum momento de sua jornada, por sacos que continham rocha triturada. “Nesse caso de uma substituição clássica, foi possível usar métodos geológicos para investigar a rocha britada. As análises mineralógicas, petrológicas e isotópicas mostraram que a rocha substituída não era brasileira. Assim, foi possível constatar que a substituição possivelmente ocorreu antes da chegada da carga ao Brasil. Uma cadeia de custódia inadequada da carga durante o transporte da Ásia para o Brasil, incluindo a viagem de Paranaguá a Londrina, provavelmente proporcionou a oportunidade para a troca. Estudos de isotopia forense realizados em parceria entre a PF e o Laboratório de Análises de Minerais e Rochas da UFPR, sob a coordenação da prof. Anelize Bahniuk, avaliaram a proveniência geográfica do material e indicaram compatibilidade de resultados associáveis à região do Sudeste Asiático. A colaboração entre a Polícia Federal e especialistas em geologia da Academia deu origem a um robusto corpo probatório, permitindo que o crime fosse investigado e solucionado”, narra o perito criminal federal e um dos responsáveis pelo laudo do caso, Fábio Augusto Salvador. Anos mais tarde, em 2019, o caso rendeu a publicação de um artigo científico.

O perito ressalta que, com a análise dos isótopos, a perícia ganhou sustentação científica de provas anteriormente obscuras, protagonismo no desenvolvimento dos fundamentos de uma nova ferramenta tecnológica, motivação e perspectivas elevadas aos novos ingressantes na carreira e; principalmente, força institucional para o combate a subjetivismos na persecução penal.



Mapa mostrando a rota da carga da China para o Brasil.



Um caso recente e emblemático que utilizou isótopos forenses foi o do derramamento do óleo no litoral brasileiro. No laudo, a perícia da PF relata que foi possível diferenciar as amostras coletadas das amostras de referência de origem nacional. O perito criminal federal Ricardo Mascarenhas, um dos responsáveis pelo laudo do caso, afirma que o uso da metodologia validou e proporcionou ainda mais robustez para determinar a origem das amostras examinadas. “A análise isotópica foi importante para dar melhor fundamentação para responder aos questionamentos feitos e corroborar com as etapas das análises anteriores”, coloca Mascarenhas.

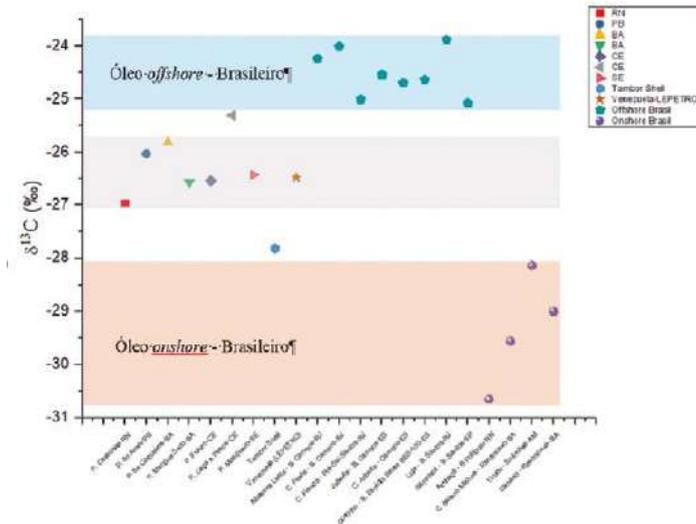
O laudo, cujas análises isotópicas foram feitas pela perícia em colaboração com o Laboratório de Geocronologia da UnB, coordenado pelo prof. Roberto Ventura, afirma que as amostras de óleo coletadas em praias em diferentes estados nordestinos (Rio Grande do Norte, Paraíba, Bahia, Ceará e Sergipe) apresentam um sinal isotópico intermediário entre os esperados para óleos nacionais (offshore e onshore) e compatível com o apresentado para a única amostra de óleo venezuelano disponível.



Coleta de amostra de material oleoso em pequenas poças de água, tentando minimizar a contaminação da amostra com a areia da praia.



Coleta do material oleoso que se encontrava na água do mar, tentando minimizar a contaminação por areia



Razão isotópica de carbono ($\delta^{13}C$) para as amostras coletadas nas praias e padrões disponíveis. A faixa azul indica a variação observada para óleos nacionais offshore, a faixa cinza indica os valores obtidos para amostras coletadas nas praias e o retângulo laranja indica a variação observada para óleos nacionais onshore. Os padrões de óleo venezuelano disponíveis (estrela) apresentaram sinais isotópicos na faixa das amostras coletadas nas praias. As amostras coletadas na praia do Caça e Pesca no Ceará (triângulo cinza) e no tambor com logotipo da Shell (hexágono azul) exibiram sinais isotópicos fora das três faixas indicadas. As faixas de cores foram adicionadas para facilitar a visualização e não devem ser consideradas intervalos de confiança dos dados. O desvio padrão reportado pelo laboratório para os padrões analíticos é de $\pm 0,4$ ‰.

COMO OS ISÓTOPOS AFETAM A SUA VIDA

É bem provável que você já tenha ouvido falar (em alguma mesa de bar ou em um churrasco de família) que o brasileiro consome cerveja à base de milho. E pode ser bem por aí, segundo estudos conduzidos pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP). O fato de usar o cereal na bebida fermentada ao invés da cevada não necessariamente fere a legislação, mas é um método pouco ortodoxo (e pouco divulgado) utilizado pela indústria para baratear o produto.

Para detecção desse tipo de fraude, utiliza-se a análise isotópica a partir dos átomos de carbono: cada planta possui uma proporção específica entre os isótopos pesado (^{13}C) e leve (^{12}C) desse elemento. E essa diferença se deve ao tipo de fotossíntese realizada pelas plantas: plantas que fazem o tipo fotossíntese denominado C4 acumulam em suas folhas, caules, grãos, etc. uma maior proporção do isótopo pesado do carbono, se comparadas àquelas que fazem a fotossíntese do tipo C3. Essas proporções já são conhecidas pelos cientistas, e os alimentos e bebidas fabricados a partir das plantas refletem sua composição isotópica. Sendo assim, é possível obter uma assinatura isotópica de cada alimento, e a partir dela inferir quais os ingredientes foram usados em sua fabricação. O CENA divulga estudos com resultados de análises desse tipo de fraude alimentar desde 2003. Entre eles, é possível destacar a pesquisa coordenada pelo professor Luiz Antonio Martinelli, publicada em 2013 na revista especializada *Journal of Food Composition and Analysis*. O artigo concluiu que, via de regra, as bebidas produzidas em larga escala pelas grandes cervejarias brasileiras possuem cereais não maltados (como o milho), o que está em desacordo com a tradicional "Receita de Pureza da Cerveja" alemã, que permite originalmente apenas 4 ingredientes na composição da bebida: lúpulo, malte de cevada, água e levedura. Ainda mais grave, o estudo apontou que em muitos casos a adição de cereais como o milho supera o limite de inclusão de 45% permitido pela normativa do Ministério da Agricultura. Tais conclusões foram possíveis pelo fato de o milho ter uma composição isotópica diferente da cevada, ou seja: maior proporção do isótopo mais pesado do carbono (^{13}C).

Outra pesquisa mais recente, também realizada pelo CENA e publicada em 2018, demonstrou que a maior parte das marcas de shoyu consumidas no Brasil (molho de soja tradicionalmente usado na culinária asiática) são também à base de milho; e não à base de soja, que deveria ser o seu ingrediente principal. Da mesma forma que no estudo anterior, a constatação se baseou na diferença de composição isotópica das plantas: o milho, por realizar a rota de fotossíntese do tipo C4, possui maior proporção do isótopo pesado do carbono se comparado à soja (tipo C3). Mesmo depois do processamento dos grãos para a fabricação do molho, essa diferença continua a se expressar no produto final, como uma assinatura de origem. E foi essa assinatura, analisada laboratorialmente pelos pesquisadores do CENA, que permitiu a comprovação da fraude.

Mel, vinho, cerveja, carne, leite e vários outros produtos alimentícios podem ter sua autenticidade averiguada pelos isótopos. Essa é uma perspectiva muito promissora para o embasamento das perícias feitas nas operações da Polícia Federal no combate a fraudes alimentares, crime grave e severamente punido pelo Código Penal brasileiro.

“Os isótopos não mentem jamais”
(Luiz Martinelli)

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 65, DE 10 DE DEZEMBRO DE 2019

Estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria.

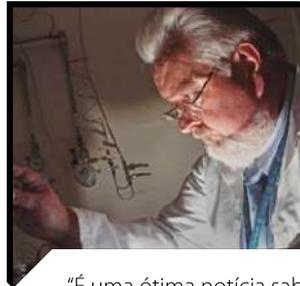
Art. 6º Adjuntos cervejeiros são as matérias-primas que substituem, em até 45% em peso em relação ao extrato primitivo, o malte ou o extrato de malte na elaboração do mosto cervejeiro.

§ 1º Consideram-se adjuntos cervejeiros a cevada cervejeira não malteada e os demais cereais malteados ou não-malteados aptos para o consumo humano como alimento.



“O Brasil dá um passo muito importante ao criar um laboratório de isótopos em seu instituto forense nacional. Há mais de duas décadas acompanho o uso da técnica no FBI, e hoje percebo o quanto as investigações e a justiça criminal americanas se beneficiaram com essa tecnologia ao longo de todo esse tempo. Faço votos de que o Brasil trilhe caminho semelhante, e fico feliz em poder ajudar!”

Prof. James Ehleringer
Professor da Universidade de Utah, membro da Academia Nacional de Ciências dos EUA, da União Geofísica Americana, da Sociedade Ecológica da América e da Associação Americana para o Avanço da Ciência. Com mais de 600 artigos científicos publicados, é o principal pesquisador em isótopos forenses no mundo. Foi o precursor da implementação da técnica isotópica no FBI e em outras agências americanas.



“É uma ótima notícia saber que a Polícia Federal brasileira está montando uma instalação laboratorial de isótopos estáveis. Ter um laboratório próprio é muito importante para que a equipe de especialistas forenses alcance um entendimento sólido sobre todas as potencialidades e os horizontes de informações estratégicas que a análise de isótopos forenses pode fornecer.”

Prof. Wolfram Meier-Augenstein
Professor da Universidade Robert Gordon, em Aberdeen/Escócia, consultor especialista forense da British National Crime Agency e autor do livro “Stable Isotope Forensics: Methods and Forensic Applications of Stable Isotope Analysis”, o primeiro livro integralmente dedicado a aplicações forenses das técnicas analíticas de isótopos estáveis.



“Considero que a instalação do laboratório de isótopos estáveis pela Polícia Federal brasileira é muito importante para investigações forenses no país. Por ser o primeiro laboratório de nível internacional instalado com esse objetivo na América Latina, acredito que rapidamente se tornará um centro de referência e evitará crimes em toda a região. Além da instalação do laboratório, é notável a equipe de peritos muito bem treinados que lá trabalham, por isso tenho certeza de que a iniciativa será um grande sucesso! Estou muito feliz por colaborar com essa equipe e acho que esse projeto será muito benéfico para a América do Sul!”

Dr. Luciano O. Valenzuela
Pesquisador assistente no Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Técnica da Argentina (CONICET), membro do Programa Nacional de Ciência e Justiça do CONICET e Professor Assistente de Pesquisa da Faculdade de Ciências Biológicas da Universidade de Utah, é um dos principais expoentes da isotopia forense sul-americana no cenário científico mundial.



“Estou emocionada por saber que a Polícia Federal do Brasil está montando um laboratório de isótopos em sua sede. Isso é uma notícia muito empolgante! Eu ficaria feliz em compartilhar conselhos sobre a instalação do laboratório - preparação e pesagem de amostras, instrumentação de análise, etc. Creio que isso poderá ajudar a equipe de peritos a superar mais facilmente os desafios do processo de implementação.”

Dra. Lesley Chesson
Especialista em isotopia forense do Departamento de Defesa do Estados Unidos – Agência de Contabilização de Prisioneiros de Guerra e Mortos em Combate (Defense POW/MIA Accounting Agency – DPAA)



O desmatamento ilegal de espécies milenares causa danos irreparáveis às florestas do Chile. Por esse motivo, cientistas forenses chilenos estão projetando metodologias baseadas na análise de isótopos estáveis para conhecer a procedência da madeira apreendida. Os pesquisadores desta iniciativa agradecem à Polícia Federal do Brasil pelo apoio dado à implementação da técnica isotópica forense no Chile. Além disso, ressaltam que a instalação do Laboratório Nacional de Isótopos Forenses e a experiência reconhecida de seus peritos nessa área sem dúvida permitirão a apresentação de evidências altamente confiáveis para combater crimes complexos no Brasil.

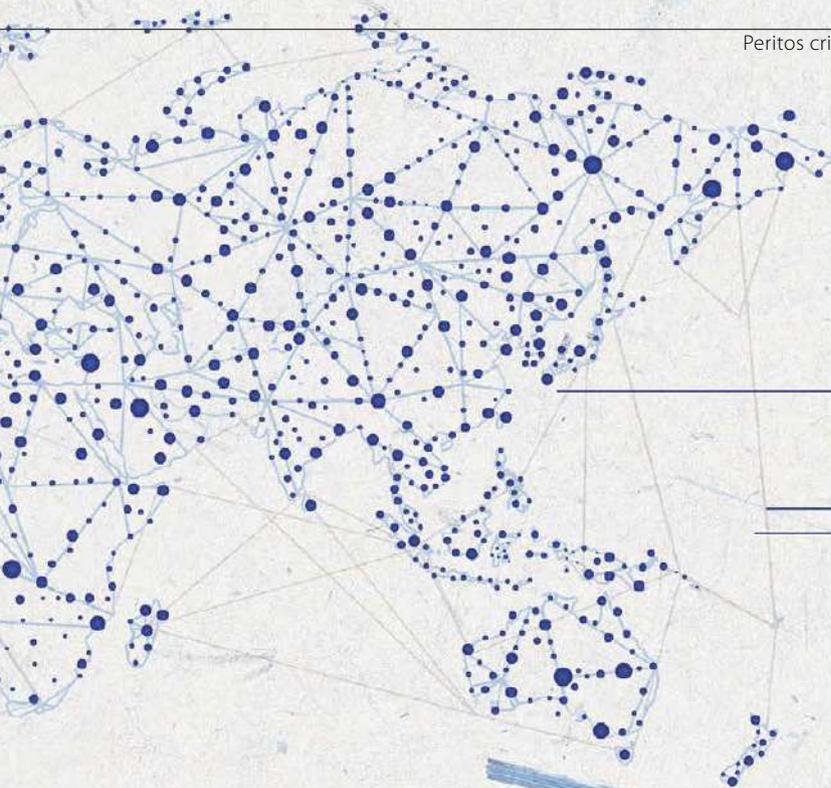
Dra. Alejandra F. Carvajal
Perita Criminal da Polícia de Investigaciones de Chile e professora da Universidad de La Frontera e Universidad Católica de Temuco, é responsável por projetos de desenvolvimento e implantação de técnicas forenses avançadas no Chile.



USO DE ISÓTOPOS FORENSES

**PANORAMA
INTERNACIONAL**

Cada vez mais a técnica de Isotope Ratio Mass Spectrometry (IRMS) vem se mostrando como uma ferramenta poderosa no campo das ciências forenses ao redor do mundo, seja em centros de pesquisa ou em institutos de criminalística; ou, ainda, o que vem se tornando bastante comum, em redes de parceiros envolvendo ambos os segmentos. Nas duas últimas décadas, quando o uso da IRMS forense experimentou grande crescimento, centenas de artigos e trabalhos científicos foram publicados na área. Dentre aqueles que apostaram (e acertaram) na técnica, tornaram-se grandes protagonistas mundiais países como Estados Unidos, Alemanha, Inglaterra, Austrália, Escócia e Canadá, seguidos pela França, Áustria, Japão, China e Nova Zelândia. No Brasil, a recente criação da Rede Nacional de Isótopos Forenses (RENIF), que congrega instituições como UnB, USP, UFPR, UFMG, UFAM, INPA, Polícia Federal e Instituto Geral de Perícias/RS, dentre outras, tende a alavancar pesquisas e colocar o país em lugar de destaque internacional no que se refere à utilização da ferramenta isotópica para resolução de crimes das mais diversas naturezas.



No cenário internacional, os trabalhos publicados referem-se às mais diversas áreas aplicadas às ciências forenses, tais como química, medicina legal, bioquímica, ecologia, geoquímica e outras ciências ambientais, patologia e tecnologia nuclear. São referências no assunto pesquisadores como James Ehleringer (University of Utah, EUA), Lesley Chesson (U.S. Department of Defense/DPAA Laboratory, Hawaii), Wolfram Meier-Augenstein (Robert Gordon University, Aberdeen, Escócia), Luiz Antônio Martinelli (CENA-USP, Brasil), Jim Carter (Queensland Alliance for Agriculture and Food Innovation, Austrália), Jason West (Texas A&M University, EUA), Thure Cerling (University of Utah, EUA), Eric Bartelink (California State University), Gabriel Bowen (University of Utah, EUA) e Frederica Camin (Istituto Agrario San Michele All'Adige, Itália).

Em 2006, em uma das primeiras revisões sobre o uso forense de IRMS¹, Benson discutiu a aplicação da técnica em investigações forenses relacionadas a animais silvestres (migração e determinação de origem), explosivos, drogas ilícitas, terrorismo – incluindo rastreamento de pessoas – investigações de armas químicas e biológicas, geoquímica, falsificação de papel moeda, origem de polímeros e fitas adesivas, dentre outros. Em revisão mais recente, Gentile et al. (2015)² traçaram uma visão ampla do uso de IRMS, suas principais aplicações para fins forenses, seu grande potencial de crescimento e também suas limitações. No tra-

balho, foram detalhados alguns estudos recentes envolvendo drogas ilícitas, líquidos inflamáveis, origem de pessoas, explosivos, tintas, solos, documentos etc. Em cada um dos exemplos, os autores apontam os principais achados e traçam uma interessante discussão sobre sua relevância no contexto forense e jurídico. É discutido ainda o potencial da técnica como ferramenta para se inferir sobre origem de substâncias, não se atendo somente à sua identificação. Esse é um importante aspecto do uso de IRMS em aplicações forenses e, provavelmente, uma das razões de seu grande crescimento nos últimos anos. Por meio da modelagem geoestatística dos dados isotópicos e a construção do que é chamado pelos pesquisadores de mapeamento isotópico (ou isoscapes, em inglês), a metodologia oferece ao investigador uma nova gama de informações bastante relevantes e estratégicas no contexto criminal, como (1) a origem de uma substância explosiva utilizada em um ato terrorista ou da fita adesiva utilizada no seu invólucro; (2) a inferência sobre o histórico de regiões frequentadas por um determinado suspeito numa dada fração de tempo; e (3) a possibilidade da confrontação científica de uma versão ou álibi de um suspeito de crime, escrutinando os lugares em que viveu ou passou recentemente, sua origem ou mesmo seus hábitos alimentares. Esses são alguns dos grandes atrativos da técnica, que têm despertado interesse de

pesquisadores e profissionais forenses em todo o mundo.

Com a tendência cada vez maior do uso da isotopia para a elucidação de casos na esfera criminal, o aprimoramento e validação dessas metodologias vêm ganhando força para a produção de uma prova robusta, assertiva e decisiva nas decisões judiciais. Desde 2002, a criação da Rede Forense de Espectrometria de Massas de Razão Isotópica (livre tradução de FIRMS - Forensic Isotope Ratio Mass Spectrometry Network) vem desempenhando papel fundamental nesse sentido.

A FIRMS congrega profissionais da área forense e pesquisadores atuantes em IRMS de todo o mundo, além de fabricantes de equipamentos. Nesse período, a FIRMS vem promovendo a elaboração de Guias de Boas Práticas em IRMS, orientações sobre o uso de padrões de referência e conduzindo estudos de proficiência interlaboratoriais, de forma a dar suporte aos seus membros na operação rotineira de equipamentos, controle de qualidade, resolução de problemas e tratamento de dados. A rede ainda promove publicação de trabalhos científicos na área, em revistas de cunho forense, especialmente ao final de cada edição de sua conferência (que possui periodicidade trienal)³.

A rede incentiva ainda ensaios de proficiência envolvendo determinação de razões isotópicas de amostras entre laboratórios forenses do mundo inteiro. Os



ensaios de proficiência, ao avaliar a variabilidade de resultados de razões isotópicas entre diferentes laboratórios, são poderosas ferramentas na validação de metodologias e comparações entre bancos de dados. Desde 2004, o FIRMS Network promove esse tipo de programa, o qual se encontra bastante consolidado atualmente. A rodada de ensaios de proficiência é creditada pela norma ISO/IEC 17043:2010 desde 2015. Conforme trabalho publicado por Dunn et al (2019)⁴, cada rodada dos ensaios de proficiência consiste na determinação de até quatro razões isotópicas ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{18}\text{O}$) em materiais com diferentes níveis de dificuldade. Cada laboratório participante expressa seu resultado por meio de um único valor de δ por elemento isotópico e material encaminhado. Os resultados do exercício são avaliados utilizando z-scores ou z'-scores calculados a partir do desvio padrão para Avaliação de Desempenho (SDPA). Esse tipo de procedimento, além de promover a integração dos laboratórios participantes, confere a cada um deles a confiabilidade necessária para a execução dos exames e sua validação em tribunais.

Segundo trabalho apresentado por pesquisadores e especialistas forenses australianos no último FIRMS Conference, em 2019⁵, a implementação da técnica de análise de razão isotópica no contexto forense é permeada por grandes desafios. O desenvolvimento e validação de metodologias analíticas, a construção de mapas isotópicos que reflitam as variações regionais e a garantia da qualidade na geração de dados são questões que exigem grande esforço

dos laboratórios e instituições de pesquisa envolvidas. No entanto, é diretamente proporcional ao esforço de implementação o impacto positivo da técnica nas investigações e processos judiciais, especialmente naqueles em que há fragilidade de elementos materiais no conjunto probatório.

Algumas instituições desenvolvem iniciativas nesse sentido. A Polícia Federal australiana, por exemplo, tem trabalhado na criação de um banco de dados de papéis e polímeros coletados em todo território do país a fim de atrelar uma origem geográfica a materiais dessa natureza encontrados em cenas de crime. A instituição dedicou-se a criar novos bancos com a caracterização de substâncias postadas no correio - em cartas e encomendas anônimas ou com ameaças - e também a determinação de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^2\text{H}$ em embalagens plásticas com drogas referentes a apreensões distintas realizadas pela polícia. Esta última, com o intuito de atrelar tal material a uma origem geográfica específica ou associar casos distintos a um suspeito ou local comum⁶.

Podemos destacar também o trabalho apresentado pelo Instituto de Medicina Legal da Alemanha, no qual o uso da ferramenta de IRMS contribuiu, por exemplo, com a identificação de um corpo de uma mulher encontrado em sacos plásticos na Áustria, em 1993. Nesse exemplo, a polícia trabalhava inicialmente com a hipótese de se tratar de uma cidadã oriunda do sudeste europeu, Polônia ou ex-Iugoslávia. Contudo, apesar de extensa investigação, não foi possível a sua identificação. Somente em 2016, quando as autoridades inicia-

ram um estudo baseado no mapeamento isotópico (isoscares), envolvendo os restos mortais ainda preservados (úmero e fêmur), conseguiram descartar a origem europeia através da análise dos isótopos de C, N, S e H (colágeno do osso) e Sr e Pb (parte mineral do osso). Em seguida, ao comparar com amostras referência de cabelo provenientes da África e América Latina, constataram correlações significativas da assinatura isotópica dos elementos C, N, S e H. Já o estudo com os isótopos de Sr e Pb indicou coincidências importantes com amostras de dente de referência provenientes do norte do Caribe. Baseada nas informações isotópicas, a polícia concentrou suas investigações em zonas de prostituição da região onde foi localizado o corpo. Descobriu-se o desaparecimento de uma prostituta oriunda da República Dominicana. Com o apoio da Interpol, o material genético da irmã da suposta vítima foi coletado e analisado, sendo obtida a correspondência genética com o corpo em questão. Assim, poucas semanas após o uso da informação isotópica, a mulher foi identificada⁷.

Em outro campo de atuação, o Ministério da Agricultura da Itália vem utilizando análise de razões isotópicas de ^2H , ^{13}C e ^{18}O para os alimentos sob sua fiscalização. A técnica é adotada como método oficial pela legislação da União Europeia (UE), Organização Internacional de Vinhos (OIV) e Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) para a detecção de práticas ilegais de irrigação, fraudes alimentares (como a adição de substâncias exógenas - açúcares em vinhos, por exemplo) e a rotulagem in-

correta de produtos (indicação de origem geográfica diferente). Com base nessas informações, o órgão é capaz de indicar se a prática delituosa foi intencional ou oriunda de algum descontrole no processo produtivo, fornecendo informação importante para a caracterização da conduta como crime ou meramente infração administrativa. Dentre os principais produtos fiscalizados, está a análise de razões isotópica em vinho, óleos, suco de frutas, mel e açúcar⁸.

A aplicação da determinação de razões isotópicas vem sendo amplamente empregada também por outros órgãos de repressão ao tráfico de drogas de abuso, seja para a determinação de origem de substâncias provenientes de material vegetal (maconha, cocaína e heroína) ou drogas sintéticas (anfetaminas e seus derivados, GBL/GHB)², assim como na determinação de correlações entre apreensões distintas. O Drug Enforcement Administration (DEA), dos Estados Unidos, por meio de análises isotópicas de ²H, ¹³C, ¹⁵N e ¹⁸O e de alcaloides presentes nas folhas de cocaína de origens conhecidas, construiu mapas de distribuição isotópica da planta, delimitando 19 grandes regiões de cultivo da droga na América do Sul. Com esse trabalho, tornou possível a determinação da origem de amostras apreendidas em qualquer uma dessas 19 regiões com 96% de grau de precisão⁹.

Outra área relevante de aplicação da ferramenta é a investigação de falsificações de obras de arte, peças arqueológicas, paleontológicas e similares. Forças policiais do mundo inteiro buscam meios para identificação desse tipo de prática delituosa, principalmente nas ações de combate à lavagem de dinheiro. Como exemplo, citamos o trabalho realizado por centros de pesquisa arqueológica israelenses que, por meio da determinação de $\delta^{18}\text{O}$ presente no CaCO_3 , puderam determinar a falsidade de um achado arqueológico pertencente a um colecionador particular com as inscrições "Ya'akov bar Yosef Achui de Yeshua" (livre tradução: James filho de José, irmão de Jesus), apesar de conclusões contrárias apontadas por estudos preliminares utilizando técnicas tradicionais. Tais análises basearam-se na comparação com valores de $\delta^{18}\text{O}$ de outros achados legalmente escavados em Jerusalém, carbonatos formados em con-

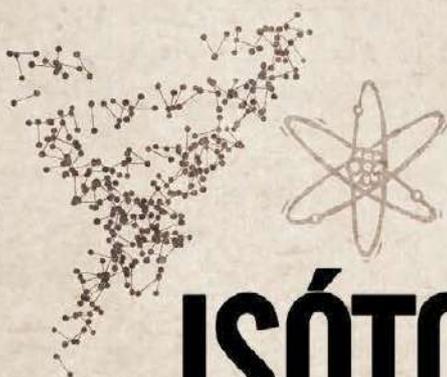
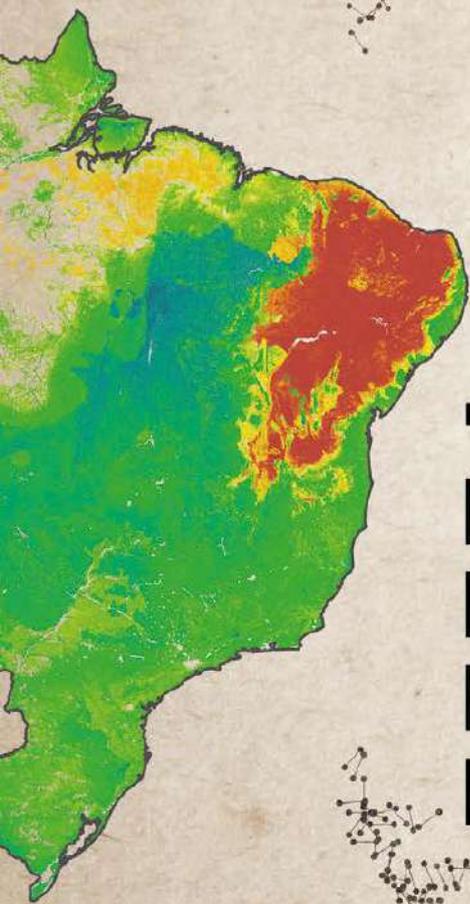
dições naturais do solo de montanhas da Judeia e cavernas de 2000-3000 anos atrás, sendo que a divergência encontrada revelou uma camada superficial artificialmente depositada sobre a peça questionada, indicando a fraude¹⁰.

Esses e outros trabalhos igualmente relevantes vêm sendo desenvolvidos por instituições policiais ou órgãos de fiscalização que têm se destacado nesse campo de atuação. Dentre as mais atuantes citamos os laboratórios do Federal Bureau of Investigation (FBI), Drug Enforcement Agency (DEA) e Environmental Protection Agency (EPA) nos Estados Unidos; Federal Police Forensic Service na Austrália; Netherlands Forensic Institute (NFI) na Holanda e da Bundeskriminalamt (BKA) na Alemanha, dentre outros.

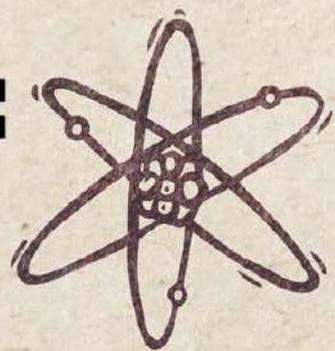
A aplicação de isótopos nas ciências forenses vem ganhando espaço em várias partes do mundo. Nesse contexto, a implementação do Laboratório Nacional de Isótopos Forenses (LANIF) será de inigualável e pioneira importância para o fortalecimento da técnica no Brasil e seu consequente uso massivo em investigações policiais. Em paralelo, a estruturação da Rede Nacional de Isótopos Forenses (RENIF) contribuirá para o fortalecimento da cultura isotópica no país, fomentando a disseminação do enfoque forense nos centros de pesquisa nacionais. É inegável que se trata de uma ferramenta capaz de fornecer informações e dados estratégicos às investigações, trazendo luz a questões não respondidas por outras técnicas científicas, com grande grau de assertividade, de forma tempestiva e com custo operacional relativamente acessível pelos órgãos governamentais. Claro que, assim como percorrido por países que tiveram êxito em sua implementação, o caminho de sucesso da isotopia forense brasileira requer investimento na capacitação de mão de obra e aprimoramento tecnológico, além de uma aposta certa na consolidação de redes de laboratórios e parcerias com instituições nacionais e internacionais, sejam elas periciais, fiscalizatórias ou acadêmicas. É uma técnica, portanto, plural, multidisciplinar e democrática, e que se sustenta em pilares como a pesquisa, o investimento tecnológico e a construção de redes de compartilhamento seguro de dados e estratégias.

BIBLIOGRAFIA

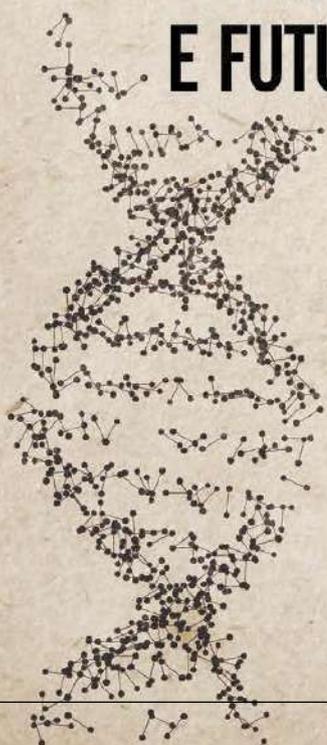
- [1] Benson, S., Lennard, C., Maynard, P., Roux, C. Forensic applications of isotope ratio mass – A review. *Forensic Sci. Int.* 157, 1-22 (2006).
- [2] Gentile, N., Siegwolf, R. T. W., Esseiva, P., Doyle, S., Zollinger, K., Delémont, O. Isotope ratio mass spectrometry as a tool for source inference in forensic science: A critical review. *Forensic Sci. Int.* 251, 139-158 (2015).
- [3] Matos, M. P. V., Jackson, G. P. Isotope ratio mass spectrometry in forensic science applications. *Forensic Chem.* 13, No. 100154 (2019).
- [4] Dunn, P. J. H., Carter, J. F., Chesson, L., Doyle, S., Howa, J., Gaunt, W., Whetton, M. The FIRMS PT Scheme: What can be learned about inter-laboratory performance? (2019). Available at: http://www.forensic-isotopes.org/images/2019/Abstracts_FIRMS2019.pdf (Accessed: 4th June 2020).
- [5] Jones, K., Meikle, J., Koens, F., Simpson, T. Isotopic Databases for Operational Forensic Casework - Current Focus, Casework Examples and Future Plans for IRMS within the Australian Federal Police Laboratory. (2019). Available at: http://www.forensic-isotopes.org/images/2019/Abstracts_FIRMS2019.pdf (Accessed: 4th June 2020).
- [6] Jones, K., Koens, F., Simpson, T. Background survey of polyethylene in the Australian Capital Territory – A demonstration of variability in isotopic abundance values and their application to forensic casework. *Science & Justice.* 58, 276-281 (2018).
- [7] Lehn, C., Rossmann, A., Graw, M., Davies, G. Successful identification of a female body found in Burgenland (Austria) in 1993. (2019). Available at: http://www.forensic-isotopes.org/images/2019/Abstracts_FIRMS2019.pdf (Accessed: 4th June 2020).
- [8] Gambino, G. L., Caruso, R., Fiorillo, M., Gargano, M., Sabatino, L., Scordino, M., Traulo, P., Gagliano, G. Forensic application of stable isotope ratios analysis in official food control: Activity carried out by the ICORF-Laboratory. (2019). Available at: http://www.forensic-isotopes.org/images/2019/Abstracts_FIRMS2019.pdf (Accessed: 4th June 2020).
- [9] Meier-Augenstein, W. Forensic stable isotope signatures: Comparing, geo-locating, detecting linkage. *WIREs Forensic Sci.* e1339 (2019).



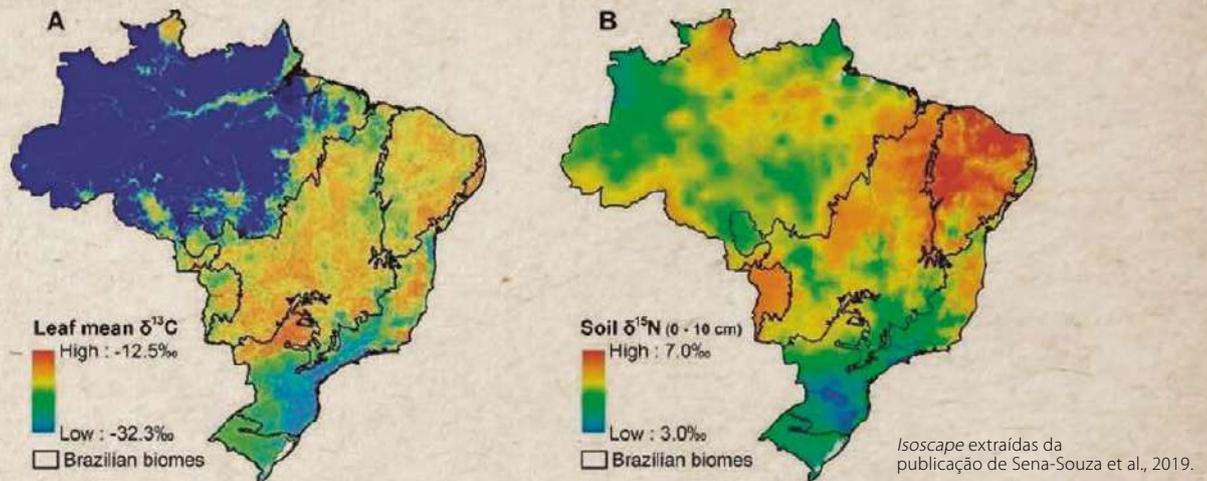
ISÓTOPOS, DNA E JUSTIÇA:



**REFLEXÕES
DO PASSADO,
PRESENTE
E FUTURO**



(Arte feita sobre *isoscape* extraída da publicação de Sena-Souza et al., 2020).



Partes de um corpo, sem a cabeça e sem resultados positivos para identificação papiloscópica, são encontradas em Dublin, Irlanda, no ano de 2005. Descobre-se que, provavelmente, a pessoa assassinada era originária do nordeste da África e que havia migrado para a Irlanda em torno de seis anos antes de sua morte. Essas informações facilitam a posterior identificação da vítima e a subsequente prisão dos assassinos. Anos mais tarde, do outro lado do globo, no sudeste asiático, grandes carregamentos de marfim são apreendidos por autoridades policiais e aduaneiras. Cientistas forenses passam então a trabalhar para rastrear a origem do material, auxiliando, assim, na desarticulação de poderosas máfias internacionais de tráfico de animais.

Em 2012, na cidade de Leicester, Inglaterra, ossadas encontradas em escavações em um estacionamento são atribuídas a Ricardo III, um dos mais famosos e controversos reis da Inglaterra. Seus ossos servem também para arqueólogos forenses descobrirem que sua alimentação, marcada por alto teor de proteína animal (algo raro na época de seu reinado, no final do século XV), era digna de uma “dieta da alta nobreza”. Enquanto isso, organismos internacionais como a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e a Agência Internacional de Energia Atômica

(AIEA) monitoram rotas migratórias de aves silvestres, em escala global, para controlar a disseminação de cepas do vírus da Influenza Aviária altamente patogênicas ao ser humano, prevenindo, assim, pandemias graves como a da Covid-19. E mais recentemente, no Brasil, cientistas de várias instituições de pesquisa, em parceria com peritos da Polícia Federal e analistas do Serviço Florestal Brasileiro, estudam a distribuição territorial de árvores amazônicas buscando rastrear a origem de madeira ilegal e coibir, com isso o desmatamento clandestino.

Todos esses casos, aparentemente desconexos entre si, são marcados pela multidisciplinaridade de técnicas forenses. Especificamente, todos eles foram ou estão sendo resolvidos com a conjugação das análises de dois marcadores naturais dos seres vivos: um químico – os isótopos e um genético – o DNA; duas abordagens que, como se pretende demonstrar, são complementares e sinérgicas.

O primeiro relato de uma identificação forense através da genética data do ano de 1985 e, desde então, ela vem cada vez mais se estabelecendo como uma importante disciplina forense. Trinta e cinco anos depois, constata-se, no entanto, que esse não foi um caminho fácil: talvez nenhuma outra técnica tenha passado por um escrutínio tão intenso pela Justiça como o DNA. Isso, porém, a consolidou

como um dos mais robustos meios de prova da criminalística. Hoje a genética forense conta com o reconhecimento da comunidade científica e ampla aceitação em tribunais em mais de 80 países, incluindo alguns cujos sistemas judiciários possuem o mais alto nível de exigência quanto aos critérios de admissibilidade de evidências (EUA, Alemanha e Reino Unido, entre outros). De fato, a evidência genética – prova baseada no exame de DNA forense – vem sendo utilizada em diversos casos de repercussão, inclusive na *International Court of Justice*, comumente conhecida como Corte Internacional de Haia; por exemplo, no julgamento de aplicação da Convenção e Punição do Crime de Genocídio, perpetrado pela Croácia contra a Sérvia, e também no julgamento de pesca ilegal de baleias na Antártica (Austrália vs. Japão).

A consolidação da evidência genética como uma prova técnica robusta em tribunais e sua consequente disseminação como ferramenta pericial têm como pilar o forte embasamento científico do método, acumulado em décadas de pesquisas em outras aplicações, além da forense. Esse foi o grande diferencial em relação a algumas outras metodologias da criminalística na análise crítica feita pelo famoso relatório da Academia Americana de Ciências Forenses em 2009, que chamou a atenção

do setor forense dos EUA e do mundo a respeito da necessidade de rigor científico para a geração e interpretação da prova pericial. Encomendado pelo Senado americano e conduzido por dezenas de profissionais entre pesquisadores, juízes, peritos, promotores e policiais, o estudo ressaltou a importância da validação das metodologias, bem como a apresentação do grau de incerteza das conclusões periciais. Nesse relatório, as perícias baseadas em evidência genética foram atestadas como “padrão ouro” no que tange à segurança científica para admissibilidade jurídica. De fato, as recomendações desse estudo ultrapassaram as fronteiras dos EUA e vêm influenciando significativamente os institutos forenses de vários países, incluindo o Brasil.

A técnica de isotopia, por sua vez, começou a ser utilizada com mais intensidade para fins forenses em meados da virada do século XX para XXI. Pesquisadores americanos, em artigo de revisão publicado no periódico jurídico da Universidade de Utah, citam vários casos em que sistemas judiciais embasaram decisões em resultados de perícias isotópicas, tais como: os homens-bomba Richard Reid (que em 2001 tentou detonar uma bomba no voo 63 da American Airlines de Paris para Miami) e Saajid Badat (que planejou outro atentado em um avião em 2003); o banimento por dois anos do ciclista Floyd Landis, por ter utilizado testosterona sintética para competir no Tour de France, em 2006; e os atentados com antraz (esporos da bactéria *Bacillus anthracis*) enviados pelos correios a autoridades americanas, após o 11 de setembro (Caso *Amerithrax*).

Nesse estudo, os isótopos são comparados ao DNA para fins de adequação aos critérios de admissibilidade de evidências criminais da Corte americana. As duas abordagens possuem similaridades e diferenças: ambas as técnicas são usadas nas aplicações forenses para tentar responder se uma amostra questionada e

uma amostra de referência (o que, em ambos os casos, pode também consistir em bancos de dados) possuem a mesma origem, ou seja: se convergem entre si. Os autores discutem que se por um lado, as probabilidades de valoração da evidência são maiores na genética, os isótopos forenses podem ser usados em número maior de vestígios, incluindo aqueles não biológicos (que, portanto, não contêm DNA). A principal conclusão do trabalho é que, assim como na análise de identificação por DNA, a ciência é a base da construção das evidências isotópicas, fornecendo um sólido ponto de partida para seu uso em Cortes de Justiça.

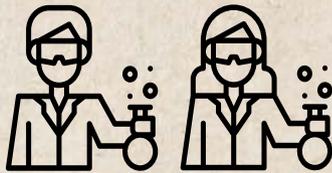
DNA e isótopos são dois marcadores naturais fascinantes, e seu entendimento pela ciência desvenda fenômenos que há séculos intrigam o ser humano. Para fins forenses, na maioria dos casos, eles assumem papéis complementares: em linhas gerais, enquanto o DNA aponta “quem é”, os isótopos dizem “de onde veio”. No exemplo do corpo mutilado em Dublin, a análise de isótopos em amostras do fêmur atribuiu a provável origem geográfica da vítima ao nordeste da África, ao mesmo tempo em que estimou a data da sua migração para a Irlanda para algo em torno de 6 anos antes da morte. De acordo com o oficial da investigação, os resultados da análise isotópica forense forneceram a justificativa necessária para realizar o teste de DNA de uma criança que se acreditava ser filha da vítima, e o resultado foi positivo. O falecido, que namorava a mãe de seus (até então) supostos assassinos, era um homem de 39 anos, originário do Quênia, que emigrou para a Irlanda em 1998, fugindo da guerra civil que assolava aquele país; ou seja, sete anos antes de sua morte. Uma vez que a identidade da vítima foi estabelecida, chegou-se às duas assassinas, apelidada de “*Scissor Sisters*”, que foram condenadas à prisão perpétua pelo crime.

A publicação de mais de 1.000 artigos científicos sobre isótopos forenses

em periódicos internacionais nos últimos 20 anos, gerando mais de 20.000 citações (2.600 apenas em 2019), demonstra que, assim como ocorreu com o DNA, os isótopos trilham uma vigorosa rota ascendente para se consolidar como ferramenta pericial de primeira grandeza. Aproximadamente 15 países desenvolvidos já incorporaram a tecnologia isotópica em seus institutos forenses; um seleto grupo ao qual o Brasil passa agora a pertencer, com a criação do Laboratório Nacional de Isótopos Forenses (LANIF) no Instituto Nacional de Criminalística da Polícia Federal.

A experiência pregressa que a comunidade pericial brasileira – e a Polícia Federal, em particular – possuem com todos os desafios (enfrentados e superados) da implementação da técnica de DNA serão de grande valia para guiar a condução dos isótopos forenses, sua “técnica-irmã”. No horizonte, acendem as luzes da necessidade de geração e integração de bancos de dados e da implementação de sistemas de qualidade.

O ano de 2020 representa um marco na história da ciência isotópica forense no Brasil. A partir de agora – e, pelos rumos que hoje se delineiam, cada vez mais intensamente nos próximos anos – a justiça brasileira terá mais uma importante ferramenta pericial para elucidação de crimes. O fortalecimento da prova material com a utilização de isótopos forenses, juntamente com o DNA e as demais técnicas já consagradas da criminalística, irá aumentar a capacidade da perícia criminal em indicar autoria e materialidade, bem como em evitar condenações equivocadas. Dessa forma, a isotopia forense contribuirá para a redução da impunidade, gerando também maior segurança e eficácia para o sistema de justiça criminal.



SOBRE OS AUTORES:

Jorge Marcelo de Freitas

Perito Criminal Federal – Polícia Federal/
Instituto Nacional de Criminalística/
Laboratório Nacional de Isótopos Forenses
(LANIF/PF)

Meiga Aurea Mendes Menezes

Perita Criminal Federal – Polícia Federal/
Setor Técnico-Científico no Estado de São
Paulo/Laboratório Nacional de Isótopos
Forenses (LANIF/PF)

Rodrigo Ribeiro Mayrink

Perito Criminal Federal – Polícia Federal/
Setor Técnico-Científico no Estado de
Minas Gerais/Laboratório Nacional de
Isótopos Forenses (LANIF/PF)

Luiz Spricigo Jr

Perito Criminal Federal – Coordenador-
Geral de Planejamento, Inovação e
Integração de Tecnologia da Informação
e Comunicação para Segurança Pública/
Ministério da Justiça e Segurança Pública
– então diretor do Instituto Nacional de
Criminalística da Polícia Federal quando da
implementação do Laboratório Nacional
de Isótopos Forenses (LANIF)

REFERÊNCIAS CITADAS:

BALLOU, S. M. The NAS Report: Ten Years of Response. *Journal of Forensic Sciences*, 64, n. 1, p. 6-9, 2019.

EHLERINGER, J. & MATHESON, S. Stable isotopes and courts. *Utah Law Review*. p. 385-442, 2010.

FAO; IAEA. Use of Stable Isotopes to Trace Bird Migrations and Molecular Nuclear Techniques to Investigate the Epidemiology and Ecology of the Highly Pathogenic Avian Influenza. Disponível em: <http://www.naweb.iaea.org/nafa/aph/crp/aph-stable-isotopes.html>, acessado em 09/06/2020.

INTERNATIONAL COURT OF JUSTICE. Application of the Convention on the Prevention and Punishment of the Crime of Genocide (Croatia v. Serbia) Public sitting held on Friday 28 March 2014, at 3 p.m., at the Peace Palace, President Tomka presiding. Disponível em: <https://www.icj-cij.org/files/case-related/118/118-20140328-ORA-02-00-BI.pdf>, acessado em 28/05/2020.

INTERPOL. DNA can play a crucial role in convicting – or clearing – suspects of a crime, and can also be used to identify missing persons. Disponível em <https://www.interpol.int/How-we-work/Forensics/DNA>, acessado em 28/05/2020.

ZHAO, K.; ISHIDA, Y.; GREEN, C. E.; DAVIDSON, A. G. et al. Loxodonta Localizer: A Software Tool for Inferring the Provenance of African Elephants and Their Ivory Using Mitochondrial DNA. *The Journal of heredity*, 110, n. 7, p. 761-768, 2019.

LAMB, A. L.; EVANS, J. E.; BUCKLEY, R.; APPLEBY, J. Multi- isotope analysis demonstrates significant lifestyle changes in King Richard III. *Journal of Archaeological Science*, 50, n. C, p. 559-565, 2014.

MANGEL, MARC. An Assessment of Japanese Whale Research Programs Under Special Permit in the Antarctic (JARPA, JARPA II) as Programs for Purposes of Scientific Research in the Context of Conservation and Management of Whales. Disponível em: <https://www.icj-cij.org/files/case-related/148/17404.pdf>, acessado em 28/05/2020.

MEIER-AUGENSTEIN, W.; FRASER, I. Forensic isotope analysis leads to identification of a mutilated murder victim. *Science & Justice*, 48, n. 3, p. 153-159, 2008.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward. Washington, D.C.: National Academies Press, 352 p. 2009.

TURI, E. K.; GLORIA GONZALEZ, F.; PATRICIA, B.; MARK, G. T. et al. Identification of the remains of King Richard III. *Nature Communications*, 5, n. 1, 2014.

U.S. DEPARTMENT OF JUSTICE - OFFICE OF JUSTICE PROGRAMS. The Future of Forensic DNA Testing: Predictions of the Research and Development Working Group, 2000.

ZIEGLER, S.; MERKER, S.; STREIT, B.; BONER, M. et al. Towards understanding isotope variability in elephant ivory to establish isotopic profiling and source-area determination. *Biological Conservation*, 197, p. 154-163, 2016.

Curitiba será palco de dois grandes eventos da Criminalística em 2021!

O 2º Fórum Nacional Sobre Crimes Econômico-Financeiros e terceira edição da InterForensics

Entre os dias 8 e 11 de junho de 2021, no Expo Unimed, na cidade de Curitiba (PR), será realizada a terceira edição da InterForensics – a conferência realizada pela Academia Brasileira de Ciências Forenses (ABCF) em parceria com a Associação Nacional dos Peritos Criminais Federais (APCF). Simultaneamente, será realizada a segunda edição do Fórum Nacional Sobre Crimes Econômico-Financeiros, organizado pela APCF.

A InterForensics será dividida em 17 conferências temáticas, que abarcam as diversas áreas das ciências forenses. Nesta edição, a trilha de crimes financeiros dará espaço ao 2º Fórum Nacional sobre Crimes Econômico-Financeiros. O Fórum, que seria realizado em março de 2020 e foi adiado em decorrência da pandemia do novo coronavírus, fará parte da programação do maior evento de ciências forenses da América Latina. “O Fórum será, nesta edição, uma trilha da InterForensics, e com isso, uma grande oportunidade de promover uma troca única de experiências entre profissionais e pesquisadores de carreiras técnico-científicas e jurídicas, empreendedores, instituições financeiras, órgãos de fiscalização e regulação, integrantes da segurança pública e sociedade civil interessada, com ênfase para aqueles que transitam nas áreas contábeis, econômico-financeira, tecnologia da informação e de empresas públicas e privadas”, destaca o presidente da APCF e também presidente de honra na InterForensics, Marcos Camargo.



InterForensics
08 a 11 de junho | Curitiba/ PR – Brasil

A InterForensics é a conferência realizada pela Academia Brasileira de Ciências Forenses e que reúne profissionais das áreas de perícia, como medicina legal, informática, multimídia, finanças e várias outras. Também participam do evento, profissionais de justiça; entre juízes, delegados de polícia, membros do Ministério Público e advogados, além de pesquisadores e estudantes envolvidos com os diversos temas das Ciências Forenses.



O 2º Fórum Nacional Sobre Crimes Econômico-Financeiros é um evento multidisciplinar promovido pela APCF. Após o sucesso do primeiro evento, a segunda edição contará com três dias de debates e reunirá especialistas, acadêmicos e autoridades, nacionais e internacionais, que abordarão temas de grande relevância para o desenvolvimento econômico do Brasil em um cenário pós-pandemia.

Fronteiras em Ciências Forenses

Encarte Científico da Revista da Associação Nacional
dos Peritos Criminais Federais

Fronteiras em Ciências Forenses

Encarte Científico da Revista da Associação Nacional dos
Peritos Criminais Federais

Ano 01 - Vol. 01
Julho/2020

Editor-chefe:

Marcos de Almeida Camargo

Conselho Editorial:

Alexandro Manguiera Lima de Assis
Hélio Buchmuller Lima
Jesus Antônio Velho
Marcus Vinícius de Oliveira Andrade
Meiga Aurea Mendes Menezes
Rodrigo Ribeiro Mayrink

Princípios básicos sobre as variações naturais dos isótopos estáveis

Martinelli, Luiz Antônio¹; Nardoto, Gabriela Bielefeld^{2*}; Costa, Fábio José Viana³; Mascarenhas, Ricardo de Oliveira⁴; Mayrink, Rodrigo Ribeiro⁵

¹Universidade de São Paulo – Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP)

²Universidade de Brasília – Departamento de Ecologia/Environmental Isotope Studies (EIS/UnB)

*autora correspondente – gbnardoto@unb.br

³Polícia Federal – Instituto Nacional de Criminalística – Laboratório Nacional de Isótopos Forenses (LANIF/PF)

⁴Polícia Federal – Setor Técnico-Científico no Estado do Paraná – Laboratório Nacional de Isótopos Forenses (LANIF/PF)

⁵Polícia Federal – Setor Técnico-Científico no Estado de Minas Gerais – Laboratório Nacional de Isótopos Forenses (LANIF/PF)

Em outubro de 2000, um esqueleto humano foi encontrado próximo à rodovia, num deserto aos arredores da cidade de Salt Lake City, Utah, EUA. Devido à quantidade de cabelos que estavam junto ao corpo, ele foi apelidado com o nome: “Saltair Sally”. O esqueleto feminino, com 26 ossos, alguns dentes, uma camiseta e um colar, foi recolhido pela polícia local. Devido à falta de elementos para dar continuidade à investigação, ela permaneceu engavetada por 12 anos. Apesar da aparente residência de Saltair Sally ser Salt Lake City, ninguém havia apresentado queixa de seu desaparecimento na região, e, por isso, ela permaneceu não identificada por tantos anos.

Em 2001, uma série de cartas suspeitas foi enviada a escritórios de veículos de comunicação e a três senadores dos EUA. As cartas continham esporos do micro-organismo *Bacillus anthracis*, responsável por infecções por antraz e causaram a morte de cinco pessoas e a internação de outras 17 à época. O ataque ficou conhecido como o caso “Amerithrax” e investigado pelo FBI. O Instituto de Pesquisa Médica em Doenças Infecciosas do Exército dos Estados Unidos (USAMRIID), em Fort Detrick, Maryland, analisou as cartas e chegou à conclusão de que as cepas bacterianas seriam do

tipo Ames. Essa cepa poderia ser encontrada em 15 instalações de pesquisa biológica dos EUA, incluindo o USAMRIID e o Dugway Proving Ground, de Salt Lake City, Utah, mas também em três laboratórios fora dos EUA. No entanto, ainda era necessário restringir as possibilidades de origem da cepa para se chegar aos autores do crime.

O que o corpo dessa desconhecida e dessas cartas terroristas podem ter em comum? Ambos os casos foram esclarecidos usando a mesma metodologia, a análise de isótopos estáveis. Novas pistas foram então adicionadas aos casos.

No caso Saltair Sally, duas outras regiões geográficas foram identificadas usando mapas que contêm gradientes de distribuição isotópica de oxigênio como possíveis locais onde Saltair Sally havia vivido ou visitado antes de sua morte. Foi então que a polícia enviou avisos para os departamentos de polícia dessas regiões e recebeu uma resposta positiva em agosto de 2012: Saltair Sally era, na verdade, Nikole Bakoles, uma jovem de 20 anos, natural do estado de Washington (distante mais de 1.000 km de Salt Lake City), cuja família aguardava há mais de uma década pelo desfecho de seu desaparecimento.

No caso Amerithrax, os peritos forenses usaram as composições isotópicas de hidrogênio e oxigênio dos esporos para fornecer informações sobre seu crescimento. Estudos em *B. subtilis* não patogênicos demonstraram que esses seus valores isotópicos refletiam a composição isotópica da água disponível no meio de crescimento. Como parte da investigação, foram coletadas amostras de água do USAMRIID de Fort Detrick, em Maryland, e do Dugway Proving Ground, em Utah. Com base nos mapas de distribuição isotópica relacionando os valores de hidrogênio e oxigênio da água e dos esporos, considerou-se “altamente improvável” que a água do Dugway Proving Ground tivesse sido usada no crescimento dos esporos enviados no caso. O caso Amerithrax está atualmente encerrado, após o suicídio de um dos principais suspeitos que havia trabalhado na USAMRIID, em Fort Detrick.

A determinação de origem geográfica, por meio dos mapas de distribuição isotópica, é uma das utilizações mais inovadoras da ferramenta isotópica para o rastreamento forense, tornando-se cada vez mais uma ferramenta investigativa dentro do sistema judiciário. São diversos os exemplos de sua aplicação na investigação da origem dos locais de produção de drogas ilícitas, tinta usada em documentos sigilosos, caça e comércio ilegal de animais e madeira, dinheiro falso, fraude e adulteração de alimentos, e até em análises de cenas de crimes.

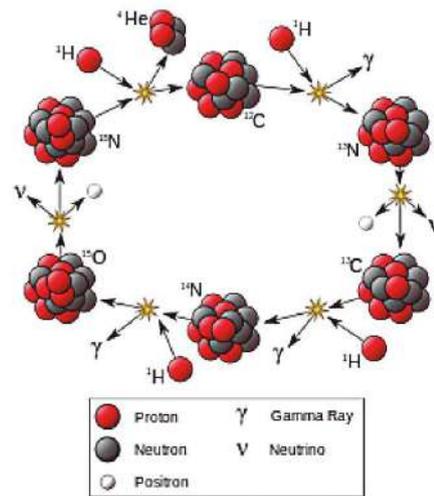
QUAL A ORIGEM DESSAS VARIAÇÕES ISOTÓPICAS?

No começo do universo havia apenas um átomo - o hidrogênio - constituído de um único próton e um único elétron e nenhum nêutron. Lentamente, átomos de hidrogênio foram se fundindo, originando o primeiro isótopo do universo, o deutério, que, como sendo uma variante do hidrogênio, tem também um próton e um elétron, mas como produto da fusão, passou a ter também um nêutron no seu núcleo atômico.

Isótopos são variantes de um elemento químico que tem no núcleo atômico o mesmo número de prótons, mas diferente número de nêutrons, lembrando que o número de prótons é a “impressão digital” de um elemento químico. Por exemplo, todo elemento químico com seis prótons será denominado carbono.

Na sequência de fusões atômicas nos primórdios do nosso universo, dois átomos de deutério fundiram-se formando um

segundo elemento, chamado hélio, que tem dois prótons e dois nêutrons em seu núcleo atômico. A fusão de mais átomos de hidrogênio ou hélio e a fusão de átomos de hélio e hidrogênio formaram uma série de elementos chamados “leves”, dentre eles, três elementos essenciais à vida: carbono, nitrogênio e oxigênio (Quadro abaixo).



Reações de fusão do chamado ciclo carbono-nitrogênio-oxigênio (ciclo CNO).

Nota-se no quadro acima que isótopos do carbono (^{12}C e ^{13}C) e nitrogênio (^{13}N , ^{14}N , ^{15}N) são formados nessa sequência de reações. Existem também alguns ciclos complementares de fusões nucleares que formam isótopos do oxigênio (^{16}O , ^{17}O e ^{18}O). A abundância de isótopos de um mesmo elemento na natureza é bastante distinta. No caso do oxigênio, o isótopo mais abundante é o ^{16}O , com cerca de 99,76%, seguindo-se o ^{18}O com apenas 0,2% de abundância, sendo o menos abundante de todos, o ^{17}O , com 0,04%. Esses são os chamados isótopos estáveis, em contraposição aos isótopos radioativos, que são aqueles que decaem com o tempo, transformando-se em um outro elemento, como o trítio (^3H) e o carbono-14 (^{14}C), ambos utilizados em datações de diversos materiais. Mas isso é uma outra história.

As abundâncias isotópicas são apenas abundâncias médias com o único propósito de mostrar que, para carbono, nitrogênio, oxigênio e deutério, a abundância do isótopo mais leve (^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^1H) é muito maior que sua variante com um maior número de nêutrons, os isótopos pesados (^{13}C , ^{15}N , ^{18}O , D).

COMO SE DESENVOLVEU A CIÊNCIA QUE PERMITIU AS ANÁLISES ISOTÓPICAS?

Há 100 anos, os trabalhos de Thompson, seguidos por Arthur Dempster e Francis Aston, desenvolveram a técnica denominada espectroscopia de massas, o que possibilitou a descoberta de mais de 200 isótopos naturais. Em 1939, Nier e Gulbransen, publicaram as primeiras determinações da abundância relativa entre ^{12}C e ^{13}C em diversos materiais. Esses autores também notaram que havia uma clara distinção entre rochas (ígneas e calcáreas) e material de origem biológica (carvão orgânico, madeira e as partes moles de um molusco); as primeiras favoreciam o acúmulo de átomos de ^{13}C , enquanto as últimas favoreciam o acúmulo de átomos de ^{12}C . Sobre essa tendência os autores escreveram: “De maneira geral, o isótopo pesado (^{13}C) parece ser favorecido em calcários, e o isótopo leve (^{12}C) em plantas”.

Apesar de, na época, os autores desconhecem os mecanismos responsáveis por essa “discriminação ou fracionamento isotópico”, chegaram à seguinte conclusão visionária: “É possível afirmar que a razão entre os isótopos de carbono, aparentemente, sofre pequenas variações na natureza. Essas variações provavelmente sejam relacionadas ao modo de formação. Obviamente, mais dados são necessários para substanciar tais efeitos, que pode levar a um novo método que determine a origem de compostos de carbono na natureza”.

Cerca de uma década depois, Wickman determinou a razão isotópica $^{12}\text{C}:^{13}\text{C}$ em mais de cem amostras de plantas, confirmando os primeiros resultados do grupo de Nier, ou seja, plantas favoreciam átomos de ^{12}C em detrimento a ^{13}C .

Harold Urey, em 1948, inverteu essa forma de expressar a razão isotópica para $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$. Como essa razão tornou-se desconfortavelmente pequena, por exemplo, 0.0112 (1/89) para carbonatos e cerca de 0.01098 (1/91) para plantas, ele propôs expressar essa nova razão em relação a um padrão e multiplicar por 1000 a diferença entre a razão isotópica da amostra menos a razão isotópica do padrão. Em 1950, o mesmo grupo, passou a expressar essa diferença pela letra grega “ δ ”, definindo-se a seguinte equação: δ (‰) = $(R_{\text{amostra}} / R_{\text{padrão}} - 1) \times 1000$, onde, R_{amostra} e $R_{\text{padrão}}$ são as razões isotópicas entre o isótopo leve sobre o isótopo pesado. Por exemplo, considerando-se o elemento carbono, a razão isotópica seria representada por $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$, nitrogênio por $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$, oxigênio por $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$ e hidrogênio D:H.

Com isso, passou-se então à busca por padrões universais que permitissem uma calibração entre laboratórios. Nessa busca, acabaram prevalecendo os padrões utilizados pelo laboratório de Harold Urey, que foi peça fundamental

no desenvolvimento da espectrometria de massas. Epstein e colaboradores, em 1950, mencionaram pela primeira vez o uso de carbonato de cálcio de um fóssil marinho denominado Belemnintella americana, semelhante às lulas atuais, mas que continham uma carapaça de carbonato. Esses fósseis foram encontrados na formação geológica americana Pee Dee, situado no estado da Carolina do Sul, tornando-se esse padrão conhecido como PDB. A razão $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ desse padrão foi determinada como sendo igual a 0.01118, ou seja, 1.1118 átomos de ^{13}C para cada 100 átomos de ^{12}C . De acordo com a equação acima, caso a razão isotópica da amostra (R_{amostra}) seja menor que a razão isotópica do padrão ($R_{\text{padrão}}$), o quociente $R_{\text{amostra}}/R_{\text{padrão}}$ será < 1 , ora, um valor menor que a 1, subtraído da unidade, torna-se negativo. Como o PDB é um carbonato, que tem mais ^{13}C do que amostras biológicas, então os valores de $\delta^{13}\text{C}$ em amostras biológicas serão negativos. Portanto, o sinal negativo é uma simples questão aritmética, e não isotópica.

Com o aumento da demanda por esse padrão por vários laboratórios, o PDB acabou se esgotando. Atualmente, ainda que a literatura mantenha como padrão o PDB, o padrão utilizado, na prática, é um carbonato denominado NBS-19 (National Bureau of Standards dos Estados Unidos, número 19), que, por sua vez, foi recalibrado em relação ao PDB original pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), que passou a ser o organismo responsável pela distribuição desse novo padrão. Como a sede da AIEA é em Viena, Áustria, esse novo padrão passou a ser chamado de VPDB. No entanto, essa denominação vem sendo pouco utilizada na literatura.

Em 1952, Epstein e Mayeda determinaram que o valor de $\delta^{18}\text{O}$ em 23 amostras coletadas em vários oceanos entre as profundidades de 500 a 2000 m e calibradas contra o oxigênio do carbonato de cálcio do padrão PDB, resultou em um valor de -0.04‰, um valor muito próximo a 0‰. Quase uma década depois, Craig determinou a razão H:D nessas mesmas amostras, nascendo assim, o padrão conhecido por “standard mean ocean water” (SMOW). Posteriormente, a AIEA tomou para si a distribuição desse padrão, que passou a ser conhecido como VSMOW. Portanto, atualmente, todas as determinações das razões $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$ e D:H são calibradas em relação a esse padrão.

Finalmente, como a concentração de N_2 é de cerca de 78% na atmosfera e pelo fato de sua razão isotópica ($^{14}\text{N}:^{15}\text{N}$) pouco variar, sendo igual a 0.003676, o ar atmosférico acabou sendo adotado como padrão universal para o nitrogênio. Na natureza, são encontrados tanto valores negativos como positivos de $\delta^{15}\text{N}$.

No começo da década de 60, com uma base conceitual e uma nomenclatura comum, bem como padrões analíticos universais estabelecidos, estavam postos os pilares para o nascimento de uma nova técnica analítica, empregando-se isótopos estáveis como previsto por Nier e Gulbransen (1939). Essa metodologia, ainda que nos seus primórdios restrita a estudos geológicos e hidrológicos, expandiu-se posteriormente para diversas áreas com destaques para ecologia, arqueologia, medicina e, mais recentemente, para ciências forenses.

PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA ENTENDER AS DIFERENÇAS NAS PROPORÇÕES ISOTÓPICAS

A proporção isotópica de um elemento varia de acordo com sua passagem de um compartimento global (atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera) a outro, através de uma mudança de estado, como nos processos de evaporação-condensação que governam o ciclo da água, ou através de uma reação de oxirredução no caso da fotossíntese, onde CO₂ é reduzido metabolicamente pelas plantas superiores a um composto orgânico. Caso a razão isótopo-pesado:isótopo-leve de um elemento não variasse durante essas mudanças de estado ou transformações químicas, não haveria a possibilidade do uso dos isótopos estáveis como traçadores dos caminhos seguidos pelos principais elementos que fazem parte dos organismos vivos. Portanto, as mudanças na razão isotópica desses elementos entre os compartimentos (como oceanos, água doce, solos, flora e fauna), regulados por processos biogeoquímicos, são os alicerces da metodologia isotópica. Sem essas mudanças não estaríamos escrevendo essa matéria!

Em 1935, Urey e Greif foram pioneiros a mostrar que, em condições de equilíbrio químico, havia um “fator de enriquecimento isotópico”, ou seja, a maior massa atômica do isótopo mais pesado levava a certa “discriminação” ou “fracionamento” contra esse isótopo, favorecendo o isótopo mais leve. Em 1989, Farquhar e colaboradores descreveram como poderíamos aproveitar o fato de existir essa discriminação ou fracionamento (aqui fracionamento e discriminação são usados como sinônimos) para revelar informações sobre os processos físico-químicos e metabólicos envolvidos nas transformações de um determinado elemento. Exemplos clássicos de fracionamento isotópico estão relacionados com o ciclo da água - evaporação e condensação - e com o ciclo biológico do carbono - fotossíntese.

Quando um corpo hídrico sofre evaporação, a água residual fica com uma proporção relativamente maior de ¹⁸O

em relação ao vapor d’água formado. Caso todo o volume de água desse corpo fosse evaporado, não haveria fracionamento, pois todos os átomos de ¹⁸O e ¹⁶O teriam sido transferidos para a fase de vapor exatamente na mesma proporção que se encontravam na fase líquida. No processo de condensação, que é a passagem de vapor para a fase líquida, como ocorre em nuvens na atmosfera, ocorreria o inverso, por ser mais “pesado”, átomos de ¹⁸O cairão preferencialmente na forma de chuva, deixando a nuvem com uma proporção maior de ¹⁶O em relação à chuva, que, por sua vez, ficaria com uma proporção relativamente maior de ¹⁸O.

Geólogos e geoquímicos têm se aproveitado do fato demonstrado por Nier e Wickman no começo das décadas de 40 e 50, onde valores de δ¹³C do carbono fixado pelo processo fotossintético são mais negativos que o carbono de origem geológica (decomposição de carbonatos), para investigar os primórdios dos sinais de vida em nosso planeta. A Terra tornou-se um planeta habitável há cerca de 4,3 bilhões de anos. No entanto, encontrar resquícios de formas de vidas pretéritas não é tarefa fácil. As rochas mais antigas encontradas até agora no planeta datam de mais de 4 bilhões de anos. No entanto, é raro encontrar rochas tão antigas na superfície do planeta e o intemperismo sofrido por esse material ao longo de bilhões de anos modifica o material original de tal forma que torna qualquer interpretação um exercício extremamente complexo. Pelos mesmos motivos, fósseis ou vestígios de organismos são também raros de se encontrar nessas condições. Ainda assim, o fóssil mais antigo até agora registrado foi encontrado somente recentemente e data de 3,7 bilhões de anos.

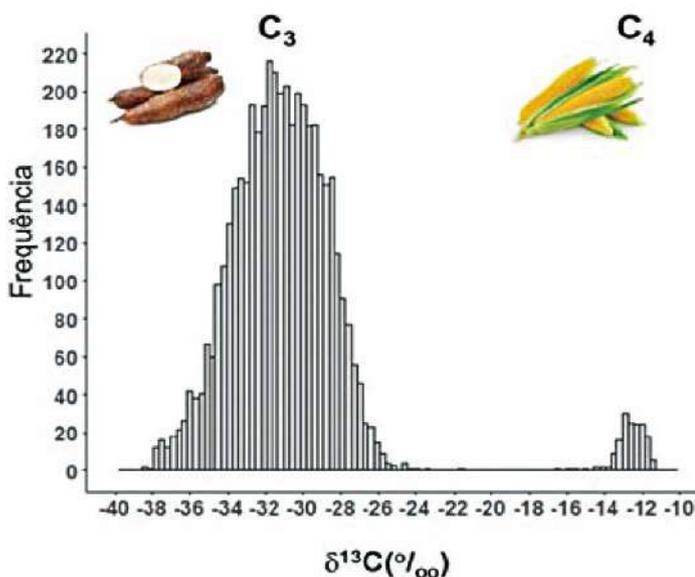
Levando-se essa complexidade em conta, Mojzsis e colaboradores determinaram que o valor de δ¹⁸O do silicato de zircônio (ZrSiO₄) encontrado nessas rochas da região oeste da Austrália era de 5‰. Segundo eles, esse valor isotópico sugere que houve contato dessa rocha com água da superfície do planeta, que, naquele tempo, tinha valores isotópicos próximos a 5‰. Essa informação sobre o contato dessa rocha tão antiga com água meteórica abriu a possibilidade da existência de formas de vida primitivas, que, naquela época, eram exclusivamente aquáticas.

Em 2015, Elizabeth Bell e colaboradores, determinaram o δ¹³C de inclusões de carbono em rochas mais antigas que 4 bilhões de anos coletadas na mesma região da Austrália em que Mojzsis e colaboradores trabalharam. A figura abaixo traz evidências de que os valores de δ¹³C dessas inclusões carbonáceas são muito próximos a valores encontrados em outras rochas e que são próximos aos valores

encontrados em plantas C_3 . Os autores concluíram que: “Devido ao fato de que essas inclusões se encontram incrustadas em rochas de no mínimo 4 bilhões de anos, é possível que o carbono empobrecido isotopicamente encontrado constitui-se prova que processos biológicos estariam ocorrendo durante o Hadeano”.

VARIAÇÕES ISOTÓPICAS DE CARBONO ENTRE OS TIPOS DE PLANTAS

As plantas que seguem o metabolismo fotossintético conhecido com C_3 , têm valores de $\delta^{13}C$ que variam de -38% a -22% , sendo o valor médio para plantas tropicais em torno de -32% . No entanto, existem dois outros tipos de fotossíntese: o metabolismo conhecido como C_4 e o metabolismo do ácido crassuláceo (CAM). As plantas denominadas C_4 , como são chamadas as plantas que seguem esse metabolismo, têm valores de $\delta^{13}C$ variando de -14% a -10% , enquanto as plantas CAM têm valores de $\delta^{13}C$ intermediários entre as plantas C_3 e as plantas C_4 . Essa diferença ocorre porque cada um desses metabolismos envolve enzimas diferentes e vias bioquímicas distintas, que, por sua vez, causam diferenças na grandeza do fracionamento isotópico entre o CO_2 atmosférico e as plantas C_3 , C_4 e CAM. Como exemplo, a figura abaixo mostra na forma de uma distribuição de frequência uma compilação de valores de $\delta^{13}C$ de folhas de plantas dos principais tipos de vegetação brasileira.



Valores de $\delta^{13}C$ de folhas de árvores dos principais tipos de vegetações dos biomas brasileiros. Notar a grande diferença entre os valores de $\delta^{13}C$ das plantas C_3 (à esquerda) das plantas C_4 (à direita).

MAS, AFINAL, QUEM SÃO AS PLANTAS C_3 , C_4 E CAM?

A maioria das plantas segue o ciclo fotossintético C_3 , algas também, alguns exemplos comuns e ligados à nossa alimentação seriam: arroz, feijão, mandioca, todos legumes e verduras e todas as frutas, quer dizer, quase todas. O abacaxi é uma planta que segue o metabolismo CAM, assim como o agave, matéria-prima para a fabricação da tequila, a bebida nacional do México. As orquídeas que ornamentam nossos jardins também são plantas que seguem o ciclo CAM.

As plantas C_4 , apesar de em menor número de espécies, têm uma grande importância na nossa alimentação, pois fazem parte delas: o milho, a cana-de-açúcar e todas as gramíneas forrageiras que utilizamos como alimento para o gado em nosso país. A grande maioria das plantas C_4 em ambientes tropicais são herbáceas. Há somente uma espécie lenhosa (Euphorbia olowaluana) natural do Hawaii. Portanto, com exceção dessa espécie, todas as outras espécies de árvores do mundo seguem o metabolismo C_3 .

Essa diferença de $\delta^{13}C$ entre as plantas C_3 e C_4 tem sido utilizada em uma gama de estudos para investigar a presença ou a proporção desses dois tipos de plantas em uma infinidade de tipos de amostras. Por exemplo, são clássicos os estudos sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo empregando a metodologia isotópica. O trabalho pioneiro de Carlos Clemente Cerri mostrou que era possível utilizar valores de $\delta^{13}C$ da matéria orgânica do solo como indicador das mudanças na cobertura do solo, quando, por exemplo, uma floresta era substituída por um canal ou uma pastagem, lembrando que tanto cana-de-açúcar como gramíneas forrageiras tropicais seguem o metabolismo fotossintético C_4 . Esses estudos foram possíveis porque Cerri e colaboradores demonstraram que o fracionamento isotópico entre folhas mortas, principal fonte de carbono para o solo, e a matéria orgânica humificada é relativamente baixo. Assim, valores de $\delta^{13}C$ da matéria orgânica do solo refletem a composição da vegetação da qual se encontram em equilíbrio.

COMO ESSAS DIFERENÇAS ENTRE AS PLANTAS C_3 E C_4 PODEM SER USADAS PARA DETECTAR A PRESENÇA DE PLANTAS C_4 EM ALIMENTOS OU BEBIDAS?

Onde menos se esperaria que houvesse tais plantas, os valores de $\delta^{13}C$ de determinados produtos confirmaram a presença inesperada das plantas C_4 . Exemplos clássicos foram aqueles que detectaram a presença de plantas C_4 em vinhos, cervejas e molho de soja (shoyu), além de uma gama variada de alimentos processados à venda em nosso país.

Em princípio, vinho é feito de uva, cerveja de cevada maltada, lúpulo e água e molho de soja, ora, de soja. Uva, cevada, lúpulo e soja são plantas que seguem o ciclo fotossintético C_3 . Portanto, caso esses produtos sejam produzidos somente a partir dessas plantas, os valores de $\delta^{13}C$ deles deveriam ser próximos aos valores desse tipo de plantas. Mas a realidade em nosso país é outra: o $\delta^{13}C$ médio de mais de cem amostras de vários tipos de vinhos produzidos no Brasil foi de aproximadamente -23% (tinto seco) e -22% (vinhos branco seco); enquanto que vinhos vinificados sem adição nenhuma de outro produto (somente mosto de uva), tiveram um $\delta^{13}C$ médio em torno de -26% (Martinelli et al. 2020). Esse contraste entre vinhos indica claramente que o açúcar de cana faz parte do processo de vinificação de alguns vinhos brasileiros.

O mesmo ocorre com a cerveja feita no país, para a qual o $\delta^{13}C$ médio de centenas de amostras foi igual a -19% . No entanto, nesse caso, a adição não é de açúcar de cana, mas sim de milho, que entra como um adjunto juntamente com cevada no processo de fermentação.

Talvez o exemplo mais inusitado seja a matéria prima utilizada na elaboração de molhos de soja (shoyu) produzidos no país. Tradicionalmente, shoyu é produzido no Japão a partir da fermentação da soja e do trigo, enquanto outros países asiáticos utilizam somente soja no processo. Dentre mais de 60 amostras de shoyu fabricadas no Brasil, valores de $\delta^{13}C$ indicaram que vários desses molhos utilizaram somente milho (Morais et al. 2018). Como pode o rótulo conter a clara denominação “molho de soja” e o produto ser feito exclusivamente a partir da fermentação do milho?

QUE INFORMAÇÕES PODEM SER OBTIDAS COM OS ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE NITROGÊNIO?

As fontes de nitrogênio (N) para as plantas são várias. Caso sejam plantas que se associem a bactérias do gênero *Rhizobium*, como algumas espécies que pertencem às famílias das Fabaceae, N_2 atmosférico se torna uma fonte importante de N para as plantas. Como vimos, o ar atmosférico é utilizado como padrão para isótopos de nitrogênio, portanto, o $\delta^{15}N$ do N_2 atmosférico é, por definição, igual a 0% . O fracionamento isotópico entre o ar atmosférico e aquele fornecido à planta na forma de amônio (NH_4^+) é relativamente baixo; assim sendo, essas plantas que têm essa associação simbiótica com bactérias tendem a ter valores de $\delta^{15}N$ próximos a 0% . Por outro lado, a maioria das plantas não tem essa capacidade, e mesmo plantas que têm essa capacidade não dependem exclusivamente dessas fontes, pois o gasto energético é muito grande, ou seja, custa caro para a planta alimentar o *Rhizobium*; assim, a maioria das plantas depende muito mais de fontes de N do solo do que diretamente da atmosfera.

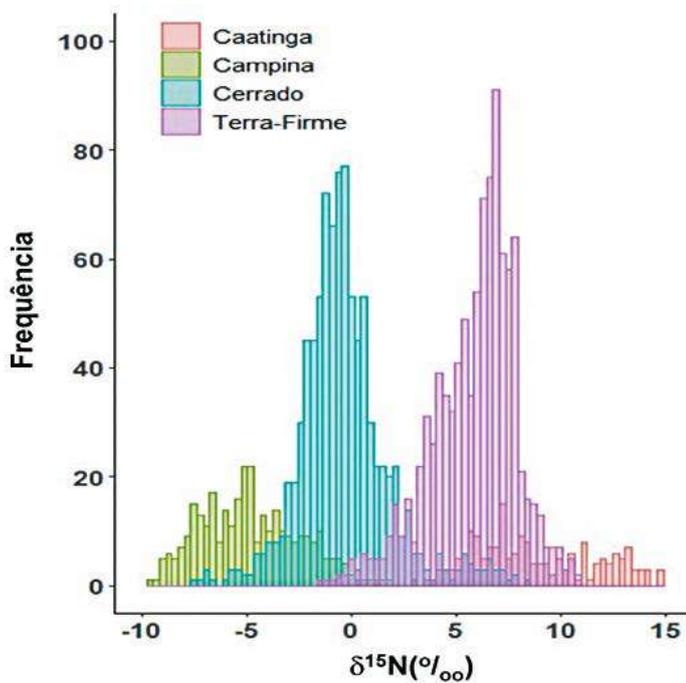
No solo, as plantas se utilizam basicamente de duas formas inorgânicas de N, o NH_4^+ e o nitrato (NO_3^-), ainda que algumas plantas sejam capazes de utilizar pequenas cadeias de aminoácidos livres do solo, elas são uma minoria.

Cada um dos processos associados à decomposição da matéria orgânica do solo causa diferentes fracionamentos isotópicos (Högberg 1997). Portanto, é extremamente complexo interpretar valores de $\delta^{15}N$ em plantas individuais de um determinado ecossistema, pois, além dessa variabilidade isotópica das possíveis fontes de N, algumas plantas mostram preferência por NH_4^+ ou NO_3^- (Robinson 2001). Por outro lado, considerando-se o valor médio de $\delta^{15}N$ de várias espécies de plantas de um ecossistema, algumas tendências surgem, tornando a utilização de isótopos estáveis de nitrogênio extremamente útil.

Há uma vasta literatura demonstrando que quanto maior a disponibilidade de N em um ecossistema, mais elevados serão os valores de $\delta^{15}N$ de plantas e solos desse sistema em decorrência das perdas gasosas que favorecem a perda de átomos de ^{14}N para a atmosfera (Houlton et al. 2006). Em ecossistemas onde a disponibilidade de N é baixa, além das reduzidas perdas gasosas, micorrizas que se associam

com as plantas, absorvem ^{14}N do solo e repassam às plantas (Craine et al. 2009), e com isso o sistema fica com $\delta^{15}\text{N}$ mais baixo.

Nesse sentido, o $\delta^{15}\text{N}$ da planta e no solo é um indicador da disponibilidade desse elemento no ecossistema. Por conta dessa tendência, existe uma diferença muito grande de valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre os principais tipos de vegetação do Brasil (Figura abaixo).

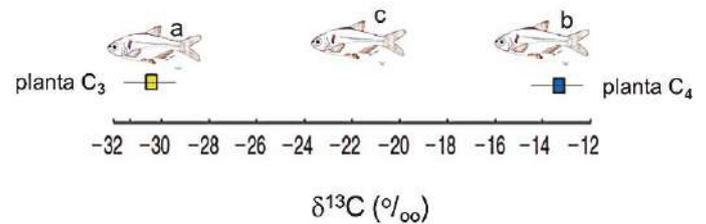


Distribuição de frequência de valores de $\delta^{15}\text{N}$ em folhas de árvores coletadas em três tipos diferentes de vegetação brasileira (dados não-publicados: Luiz A Martinelli).

MAS COMO ESSAS VARIAÇÕES NOS ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE CARBONO E NITROGÊNIO SÃO INCORPORADAS PELOS ANIMAIS?

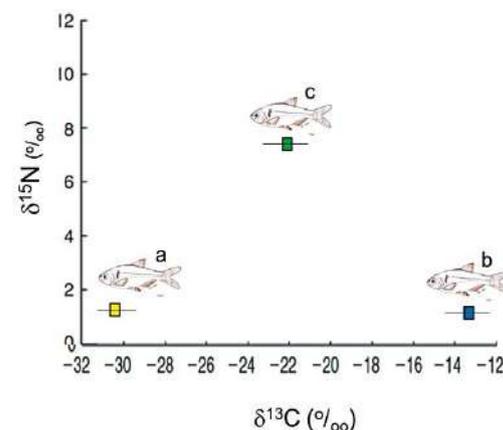
No caso do carbono, são milhares de estudos que investigam as potenciais fontes desse elemento na dieta de animais. Esses estudos baseiam-se na premissa de que o fracionamento isotópico entre plantas e tecidos animais, tais quais músculo, unha, pelo e sangue, é relativamente baixo (0 a 1‰). Portanto, valores de $\delta^{13}\text{C}$ desses tecidos são bons indicadores da proporção relativa de consumo de plantas C_3 e plantas C_4 (ver quadro a seguir). A metodologia isotópica veio, nessa linha de

estudo, complementar investigações sobre conteúdo estomacal, que representa aquilo que o animal ingeriu momentos antes da captura, mas que não será necessariamente assimilado; enquanto a análise isotópica reflete uma alimentação a mais longo prazo e que foi efetivamente digerida e assimilada.



Exemplo hipotético ilustrando o uso de isótopos estáveis do carbono em três diferentes indivíduos de uma mesma espécie de peixe. Segundo a investigação isotópica, o indivíduo "a" se alimenta presumivelmente de plantas C_3 , já o indivíduo "b" de provavelmente plantas C_4 e o indivíduo "c" pode se alimentar tanto de uma mistura desses dois tipos de plantas, ou de uma terceira fonte não identificada que presumivelmente teria valores de $\delta^{13}\text{C}$ em torno de -22‰ .

No caso do nitrogênio, apesar da complexidade isotópica do N no sistema solo-plantas, após um herbívoro incorporar N em seus tecidos pela ingestão de plantas, o fracionamento isotópico de N ao longo da cadeia trófica se torna praticamente constante. Animais perdem N principalmente pelas fezes e urinas. Fezes e urinas possuem proporções relativamente altas de ^{14}N , o que significa dizer que, por sua vez, os onívoros e carnívoros irão ter uma proporção relativamente maior de ^{15}N do que suas presas. Em outras palavras, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ vão aumentando em direção ao topo da cadeia, que aumenta em média 3‰ a cada nível trófico. Assim sendo, se uma planta tem um valor de $\delta^{15}\text{N}$ de 1‰, o valor de $\delta^{15}\text{N}$ do herbívoro consumidor dessa planta será 4‰, e o valor de $\delta^{15}\text{N}$ de um carnívoro intermediário que consumir esse herbívoro será 7‰ e, finalmente, o $\delta^{15}\text{N}$ do carnívoro no topo, consumidor do carnívoro intermediário, será 10‰.

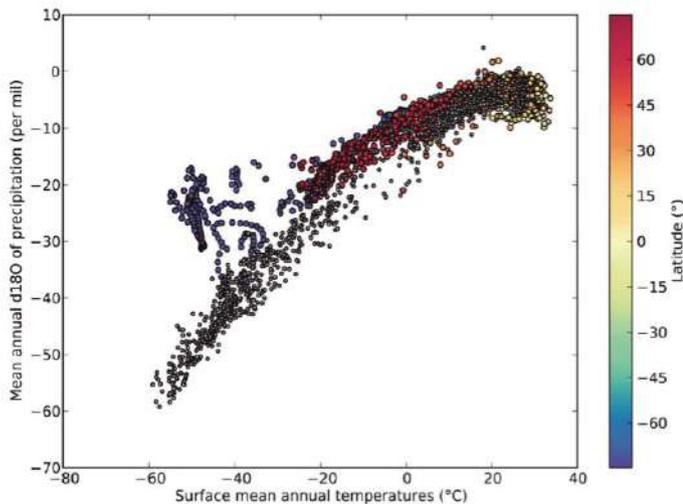


Relação hipotética entre $\delta^{13}\text{C}$ x $\delta^{15}\text{N}$ de três indivíduos de uma mesma espécie de peixe. Note que o peixe "c" estava se alimentando de uma terceira fonte não identificada e não de uma mistura de plantas C_3 e C_4 . Somente com o auxílio de um segundo isótopo foi possível identificar essa fonte extra de alimento, que provavelmente seja um inseto aquático.

É COMO OCORRE O FRACIONAMENTO DOS ISÓTOPOS ESTÁVEIS DA MOLÉCULA DE ÁGUA QUE AJUDOU A SOLUCIONAR OS CASOS DE “SALT AIR SALLY” E “AMERITHRAX”?

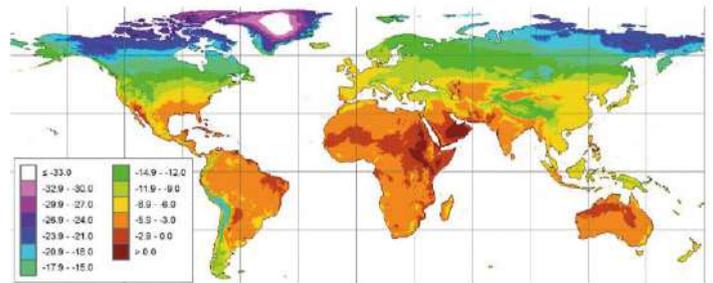
Isótopos de hidrogênio e oxigênio têm uma característica peculiar, que os diferencia do carbono e nitrogênio. O fracionamento isotópico entre o vapor d’água e a chuva que se formam pelo processo de condensação varia acentuadamente, conforme a temperatura da atmosfera. Devido a esse efeito, há uma boa correlação entre a temperatura e o $\delta^{18}\text{O}$ da precipitação. Assim, através da temperatura média de um local pode-se inferir o valor médio de $\delta^{18}\text{O}$ da precipitação do mesmo local.

A Figura abaixo, construída com dados da rede de coletas de precipitação para determinação dos isótopos estáveis do oxigênio e hidrogênio, coordenada pela AIEA (GNIP), correlaciona valores de $\delta^{18}\text{O}$ e temperatura.



Média anual da temperatura vs. média anual dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ na precipitação. Os pontos de cor cinza representam pontos da rede GNIP da IAEA enquanto os pontos coloridos representam dados de um modelo utilizado por Roche e Caley (2013) e as cores indicam a latitude em que as amostras foram coletadas.

Como a cobertura da rede GNIP não é extensiva a todas as partes do planeta, a reta derivada da correlação $\delta^{18}\text{O} \times \text{T}^{\circ}\text{C}$ pode ser utilizada para se obter um maior detalhamento da distribuição geográfica dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ da precipitação sobre o globo terrestre ou sobre uma área menos extensa como um país. Começaram a ser feitas interpolações a partir destas correlações. Para que pudessem ser mais bem visualizadas a distribuição da variação isotópica, começaram a ser feitos mapas, que passaram a ser chamadas de isoscapes.



Valores de $\delta^{18}\text{O}$ da precipitação derivado de interpolações obtidos através da correlação entre $\delta^{18}\text{O} \times \text{T}^{\circ}\text{C}$ (Terzer et al. 2013).

Essas isoscapes (do inglês: “Isoscapes” = “isotopic” + “landscapes”) de H, O assim como de C e N são amplamente utilizadas em nível global (West et al. 2014), e, mais recentemente, vêm sendo cada vez mais utilizadas em nível regional e até local. No contexto brasileiro, Sena-Souza e colaboradores (2019), apresentam o potencial de aplicação das isoscapes com os métodos já existentes e como preencher lacunas espaciais e metodológicas, mostrando como as isoscapes podem ser uma ferramenta fundamental em aplicações forenses. Essas isoscapes são a base para resolver casos como Salt Air Sally e Ameritrax, que usam funções matemáticas para inferir a região de origem, a partir de valores isotópicos.

INCORPORANDO OS PRINCÍPIOS ISOTÓPICOS NAS CIÊNCIAS FORENSES DENTRO DO BRASIL

Isótopos estáveis já vêm sendo usados amplamente em casos forenses, e a maioria deles está relacionada ao rastreamento da origem geográfica ou adulteração de materiais. Com essa base científica consolidada torna possível a aplicação imediata

dessa metodologia em várias linhas das Ciências Forenses. No entanto, com o uso exponencial dessa metodologia em estudos forenses em todo o mundo, acabou se consolidando o termo “Stable Isotope Forensics”, que vem sendo cada vez mais usado tanto na área acadêmica como na área pericial.

Atualmente, no Brasil, estão sendo desenvolvidos estudos sobre como as razões isotópicas variam espacialmente nos tecidos vegetais e animais e de acordo com as condições ambientais regionais, na tentativa de produzir ou refinar isoscapes mais específicas e temporalmente compatíveis com casos forenses mais frequentes, relatados pelas forças periciais brasileiras. Dessa forma, a disponibilização de grandes bancos de dados se torna imperativa para as construções dessas isoscapes cada vez mais refinadas. Essas informações devem ser compartilhadas com os órgãos periciais, policiais e fiscalizadores, favorecendo a aplicação da ferramenta isotópica para controle de fraudes e investigações criminais.

QUANTAS “SALT AIR SALLY” EXISTEM NO BRASIL?

Assim como no caso Salt Air Sally, inúmeras investigações de pessoas desaparecidas ou assassinatos não resolvidos no Brasil poderiam ser elucidados com o auxílio da técnica isotópica. Segundo o último Anuário Brasileiro de Segurança Pública (2019), mais de 80 mil pessoas desaparecem anualmente no país, e sabe-se que milhares de ossadas não identificadas jazem nos institutos de medicina legal estaduais. Dentre esse imenso contingente, seguramente centenas ou milhares de casos poderiam ser solucionados com o emprego do rastreamento isotópico, assim como ocorreu com Salt Air Sally, nos EUA.

Para além dos crimes violentos e pessoas desaparecidas, a isotopia forense poderia contribuir também para a resolução de vasta gama de delitos, tais como tráfico de drogas, crimes ambientais, falsificação de moeda e documentos, fraudes alimentares e de medicamentos, contrabando e descaminho de mercadorias diversas, desvio e uso ilegal de explosivos, dentre outros. Com o fortalecimento da isotopia forense na rotina da perícia criminal, o país passa a ter, portanto, uma nova e poderosa ferramenta de aplicação da ciência em favor da Justiça.

REFERÊNCIAS

- BELL, E. A.; BOEHNKE, P.; HARRISON, T. M.; MAO, W. L. Potentially biogenic carbon preserved in a 4.1 billion-year-old zircon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112, n. 47, p. 14518, 2015.
- CRAINE, J. M.; ELMORE, A. J.; AIDAR, M. P. M.; BUSTAMANTE, M. et al. Global patterns of foliar nitrogen isotopes and their relationships with climate, mycorrhizal fungi, foliar nutrient concentrations, and nitrogen availability. Oxford, UK. 183: 980-992 p. 2009.
- DANSGAARD, W.; CLAUSEN, H. B.; GUNDESTRUP, N.; HAMMER, C. U. et al. A new Greenland deep ice core. *Science*, 218, n. 4579, p. 1273-1277, 1982.
- HOULTON, B.; SIGMAN, D.; HEDIN, L. Isotopic evidence for large gaseous nitrogen losses from tropical rainforest. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103, n. 23, p. 8745, 2006.
- HÖGBERG, P. Tansley Review No. 95 15 N natural abundance in soil-plant systems. *New Phytologist*, 137, n. 2, p. 179-203, 1997.
- MARTINELLI, L.; NARDOTO, G.; PEREZ, M.; FRACASSI, F. et al. Carbon and Nitrogen Isotope Ratios of Food and Beverage in Brazil. *Molecules*, 25, n. 6, p. 1457, 2020.
- MORAIS, M. C.; PELLEGRINETTI, T. A.; STURION, L. C.; SATTOLO, T. M. S. et al. Stable carbon isotopic composition indicates large presence of maize in Brazilian soy sauces (shoyu). *Journal of Food Composition and Analysis*, 70, p. 18-21, 2018.
- NIER, A. O.; GULBRANSEN, E. A. Variations in the Relative Abundance of the Carbon Isotopes. *Journal of the American Chemical Society*, 61, n. 3, p. 697-698, 1939.

ROBINSON, D. $\delta^{15}\text{N}$ as an integrator of the nitrogen cycle. *Trends in Ecology & Evolution*, 16, n. 3, p. 153-162, 2001.

ROCHE, D.; CALEY, T. $\delta^{18}\text{O}$ water isotope in the iLOVECLIM model (version 1.0): Part 2: Evaluation of model results against observed $\delta^{18}\text{O}$ in water samples. *Geoscientific Model Development*, 6, n. 5, p. 1493-1504, 2013.

SENA-SOUZA, J.; COSTA, F.; NARDOTO, G. Background and the use of isoscapes in the Brazilian context: essential tool for isotope data interpretation and natural resource management. *Revista Ambiente & Água*, 14, n. 2, p. 1-27, 2019.

TERZER, S.; WASSENAAR, L. I.; ARAGU, XE et al. Global isoscapes for $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ in precipitation: improved prediction using regionalized climatic regression models. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, n. 11, p. 4713, 2013.

THOMSON, J. J. (1912). "XIX. Further experiments on positive rays". *Philosophical Magazine. Series 6*. 24 (140): 209–253. doi:10.1080/14786440808637325.

THOMSON, J. J. (1910). "LXXXIII. Rays of positive electricity". *Philosophical Magazine. Series 6*. 20 (118): 752–767. doi:10.1080/14786441008636962.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

MARTINELLI, L. A. et al. Princípios básicos sobre as variações naturais dos isótopos estáveis. *Perícia Federal*, v. 1, n. 45, p. 49–58, 2020. <https://doi.org/10.29327/266815.1.45-1>

Nova fronteira no uso de traçadores isotópicos para materiais e seres vivos: o uso de isótopos radiogênicos e não tradicionais

Roberto Ventura Santos¹, Camilla Vasconcelos Kafino², Veridiana Teixeira de Souza Martins³, Isabela Moreno Cordeiro de Sousa⁴

¹ Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Laboratório de Geocronologia e Geoquímica Isotópica;

² Polícia Federal, Instituto Nacional de Criminalística;

³ Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, Centros de Pesquisas Geocronológicas;

⁴ Polícia Civil do Distrito Federal;

RESUMO

Dados isotópicos tem sido cada vez mais utilizados em estudos forenses e, particularmente, da perícia criminal. Isótopos são núclídeos de um mesmo elemento, mas que possuem diferentes números de nêutrons. Nesta contribuição daremos destaque a dois grupos principais de isótopos naturais: radiogênicos e não convencionais. O grupo dos isótopos radiogênicos é assim chamado pois alguns núclídeos são formados pelo decaimento de elementos radioativos. Por sua vez, o grupo dos não convencionais se refere a um conjunto de elementos com isótopos estáveis e caracterizados por alta massa atômica. Apresentamos também os principais fatores que provocam variações nas abundâncias dos isótopos desses elementos e as implicações para estudos forenses. Por fim, apresentamos estudos de caso em que dados isotópicos são utilizados para a solução de questões de interesse da perícia criminal. (Meier-Augenstein and Fraser, 2008; Philp, 2006; Roelofse and Horstmann, 2008; Widory et al., 2009, Bowen, 2010 #303202).

ABSTRACT

Isotopic data has been increasingly used in forensic studies and, particularly, in criminal expertise. Isotopes are nuclides of the same element, but with different numbers of neutrons. In this contribution we will highlight two main groups of natural isotopes: radiogenic and unconventional. The group of radiogenic isotopes is so called because some nuclides are formed by the decay of radioactive elements. In turn, the group of non-conventionals refers to a set of elements with stable isotopes and characterized by high atomic mass. We also present the main factors that cause variations in the isotopic abundance of these elements, and the implications for forensic studies. Finally, we present case studies where isotopic data are used to solve questions of interest to criminal experts.

INTRODUÇÃO

Uma das questões centrais em ciências forenses é a identificação e caracterização de materiais, objetos da perícia criminal, incluindo, se possível, informações sobre sua adulteração (autenticidade), procedência, condições de fabricação/formação e origem geográfica (Meier-Augenstein and Fraser, 2008; Philp, 2006; Roelofse and Horstmann, 2008; Widory et al., 2009, Bowen, 2010 #303202).

Graças ao avanço das tecnologias analíticas, os últimos 40 anos foram marcados pelo desenvolvimento de equipamentos e procedimentos que ajudam a responder às questões acima. No âmbito da biologia molecular, foram desenvolvidos, por exemplo, procedimentos que permitem a identificação de indivíduos por meio de seu DNA, que, além de possuir uma alta estabilidade química por longos períodos de tempo, requer pequena quantidade de material encontrado na cena do crime. A semelhança da genética forense, é desejável que outros objetos e materiais, focos de investigações criminais, também possuam um “DNA”, ou seja, um conjunto de parâmetros que possa ser considerado assinaturas únicas. Dessa forma, a composição química e isotópica de determinado objeto imprime características únicas, passíveis de serem utilizadas como assinatura da origem, do tipo ou dos processos de fabricação dos mesmos (Carter et al., 2004; Papesch and Horacek, 2009; Philp, 2006; Santamaria-Fernandez et al., 2009; Widory et al., 2009). As portas para essa possibilidade se abriram com o desenvolvimento de equipamentos capazes de determinar as variações isotópicas dos mais variados elementos químicos.

Isótopos são átomos de um mesmo elemento químico, ou seja, são átomos com um mesmo número de prótons, mas com diferentes números de nêutrons (DePaolo, 1988; Doe, 1970; Hoefs, 2004), portanto, com diferentes números de massa. A proporção entre os isótopos de um dado elemento, além de imprimir uma assinatura passível de ser mensurada e determinada, reflete uma assinatura única (origem ou história de formação), podendo ser uma ferramenta robusta para a investigação forense.

No presente texto, vamos discutir e apresentar dados sobre as composições químicas e isotópicas de elementos maiores e traços e como esses dados podem ser utilizados em perícias criminais. Inicialmente abordaremos os princípios que balizam essa técnica e, em seguida, apresentaremos estudos de caso e possíveis aplicações na perícia criminal

ISÓTOPOS RADIOGÊNICOS E NÃO TRADICIONAIS

Os elementos químicos se dividem em dois grupos, os de núcleos estáveis e os de núcleos instáveis ((Hoefs, 2004, Faure & Mensing 2005, Allègre, 2008). Este último engloba os isótopos

radioativos (“pais”) que sofrem decaimento radioativo e geram os isótopos radiogênicos (“filhos”). Incluem-se no grupo dos estáveis os chamados isótopos ambientais (H, C, N, O e S) que fazem parte dos ciclos hidrológico, geológico e biológico, e os isótopos não tradicionais, que se referem a elementos que ocorrem como traços nos materiais terrestres (e.g., ferro, cobre, zinco, cromo, vanádio) (Aggarwal et al., 2008; Albaredo et al., 2016; Teng et al., 2017). Enfatizamos que as análises dos isótopos não tradicionais se tornaram possível graças a avanços tecnológicos recentes. Os isótopos radioativos são aqueles que possuem um núcleo instável e que, com o passar do tempo, se transformam em outros elementos. Incluem-se nessa categoria, por exemplo, os isótopos dos elementos U e Th. Por fim, os radiogênicos são isótopos estáveis resultantes do decaimento de isótopos radioativos. Isótopos desse grupo podem ser exemplificados pelo estrôncio com massa atômica 87 (⁸⁷Sr), ou o neodímio com massa atômica 143 (¹⁴³Nd), que são derivados do decaimento radioativo do rubídio (⁸⁷Rb) e samário (¹⁴⁷Sm), respectivamente (DePaolo, 1988). Basicamente, o que se usa em estudos isotópicos é a proporção entre os isótopos de um mesmo elemento e como essa proporção varia entre os materiais que são objetos de investigação. Entende-se por variações isotópicas as mudanças na proporção entre isótopos de um dado elemento químico. Essa variação é o resultado da história química desse material e/ou de sua origem e fabricação.

No texto a seguir, abordaremos as principais características dos isótopos radiogênicos e não tradicionais.

Isótopos radiogênicos:

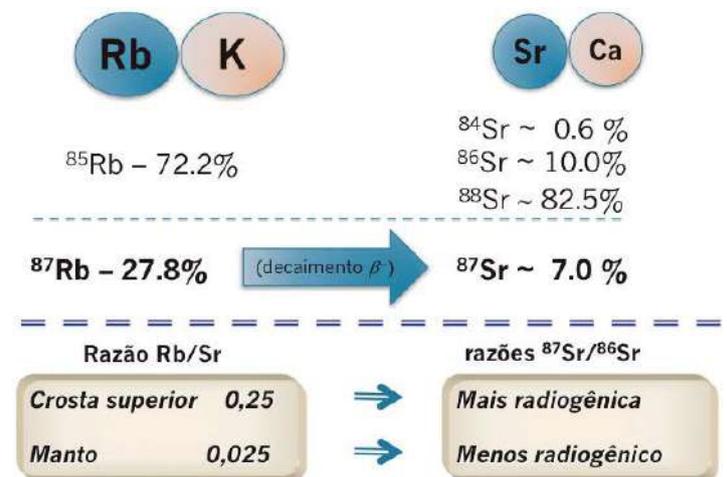


Figura 1: Características dos isótopos de Sr e suas relações com o decaimento do Rb. Note-se que os materiais terrestres possuem diferentes razões Rb/Sr e que, quanto maior essa razão, maior será a razão ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr.

O elemento estrôncio (Sr) possui 4 isótopos, a saber: ^{84}Sr (0.56%), ^{86}Sr (9.86%), ^{87}Sr (7.0%) e ^{88}Sr (82.58%) em que os números entre parênteses se referem à abundância na natureza de cada isótopo. Ao se analisar a composição isotópica de Sr em materiais diversos como plantas, dentes, ossos, água e solos, por exemplo, observam-se variações na proporção entre os isótopos ^{86}Sr e ^{87}Sr . Em outras palavras, a razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ é variável, podendo assim, ser utilizada como assinatura inerente ao material analisado. É importante salientar que as variações na proporção entre os isótopos ^{86}Sr e ^{87}Sr são decorrentes do decaimento radioativo do rubídio com massa 87 (^{87}Rb), que, com o tempo, decai para ^{87}Sr (Figura 1).

Como essa transformação depende do fator tempo (meia-vida do elemento rubídio) e ocorre na escala de milhares a milhões de anos, é importante perceber que se o material de interesse possui o elemento rubídio, o isótopo ^{87}Sr estará sendo lentamente produzido. Além do fator tempo, há também de se considerar que diferentes minerais formadores de rochas podem ou não incorporar o Rb e o Sr em sua constituição. Portanto, a mineralogia de uma rocha e os materiais derivados dela também irão influenciar na razão isotópica de estrôncio. É por meio desses processos que os diferentes materiais acabam possuindo diferentes proporções entre os isótopos ^{86}Sr e ^{87}Sr e, consequentemente, razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

À semelhança do estrôncio, há vários outros isótopos radiogênicos que podem ser de interesse da perícia criminal, conforme é mostrado na tabela 1.

Tabela 1: Principais sistemas isotópicos radiogênicos

| Sistema | Características | Razões medidas |
|---------|---|---|
| Rb-Sr | $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$ | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ |
| Sm-Nd | $^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd}$ | $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ |
| U-Th-Pb | $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ $^{238}\text{U} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$ $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ |

Dentre esses, cabe destacar os isótopos de neodímio, em que o ^{143}Nd é produzido a partir do decaimento do isótopo de samário 147 (^{147}Sm). Nesse caso, os estudos isotópicos buscam determinar a razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ dos materiais de interesse (DePaolo, 1988). Há ainda os quatro isótopos estáveis do elemento químico chumbo: ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb . Dentre esses, o ^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb são radiogênicos e produzidos a partir do decaimento radioativo dos isótopos ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th , respectivamente (Doe, 1970). O chumbo presente em materiais fabricados pelo homem, ou seja, com

origem antrópica, é proveniente de seu principal minério, a galena (PbS). Como esse sulfeto não possui urânio na sua estrutura, não há a formação de isótopos de Pb pelo decaimento de U ou Th. Dessa forma, a proporção dos isótopos de chumbo em materiais fabricadas a partir da galena terá a assinatura isotópica do minério, diferenciando-se dos outros materiais naturais em que parte do Pb é proveniente do decaimento de U e Th (Erel et al., 1990). Dessa forma, muitos são os estudos que se utilizam das razões $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ como indicadores de origem e autenticidade.

Uma característica importante dos isótopos radiogênicos é que, via de regra, eles não são afetados por fracionamento isotópico, fenômeno que afeta os isótopos estáveis ambientais e os não tradicionais. Em outras palavras, a variação, na proporção relativa entre os isótopos dos elementos radiogênicos, não é afetada por processos físicos, como evaporação, ou químicos, como velocidade de uma reação química. As variações isotópicas são decorrentes tão somente do decaimento radioativo.

Isso implica que as razões isotópicas de elementos radiogênicos guardam relação direta com as características mineralógicas e idade das rochas de uma determinada região, relação esta que pode ser utilizada para se estimar a origem geográfica de materiais. Esse tipo de abordagem tem motivado alguns autores a mapear as variações isotópicas do estrôncio em vastas áreas territoriais (Bowen, 2010; Bowen et al., 2009, Bataille and Bowen 2012, Bataille, Laffoon et al. 2012, Bataille, Brennan et al. 2014). Os trabalhos de Bataille e colaboradores buscam, portanto, mapear as variações isotópicas de Sr no território, possibilitando, assim, relacionar a composição isotópica desse elemento com a origem geográfica de um dado material. A partir dessa estratégia, pode-se inferir o local de origem de minerais, fauna e flora em um determinado território, à semelhança dos estudos que abordam a variação isotópica de fauna silvestre em rios da Amazônia (Weiss, Rehkämper et al. 2008, Miller 2013, Dauphas, John et al. 2017, Kendall, Dahl et al. 2017, Teng, Dauphas et al. 2017).

Isótopos não tradicionais

Os isótopos não tradicionais adquiriram esse nome, pois passaram a ser, rotineiramente, analisados somente na última década. O que viabilizou essa nova realidade foi o desenvolvimento de multicoletores acoplados aos espectrômetros de massa tipo ICP-MS melhorando a sensibilidade das análises e, ainda, melhoras analíticas nos tradicionais espectrômetros de massa por termo-

ionização (TIMS), que possibilitou a medição mais precisa desses elementos (Johnson, Beard, Albarede, 2004). Esses equipamentos possuem alta sensibilidade e permitem a determinação de razões isotópicas com alto grau de precisão. De certa forma, a determinação das razões isotópicas desses elementos foi uma verdadeira revolução no entendimento dos processos naturais, pois se assumia que seus isótopos não eram afetados por processos de fracionamento, à semelhança do que ocorre com os elementos leves. A possibilidade de se determinar essas variações isotópicas abriu novas perspectivas para o desenvolvimento de traçadores isotópicos em uma vasta gama de materiais (Weiss, Rehkämper et al. 2008, Miller 2013, Dauphas, John et al. 2017, Kendall, Dahl et al. 2017, Teng, Dauphas et al. 2017).

Dentre os vários elementos que compõem esse grupo, encontram-se o zinco, ferro, cromo, cobre, níquel, vanádio e molibdênio. O ferro, por exemplo, possui 4 isótopos estáveis: o ^{54}Fe , ^{56}Fe , ^{57}Fe e o ^{58}Fe . Esse elemento está presente na maior parte dos materiais terrestres, tanto em baixas (elementos-traço) quanto altas concentrações. Com isso, é possível determinar sua razão isotópica numa gama imensa de materiais, razão pela qual ela pode ser utilizada como um importante parâmetro de origem ou adulteração. Vale destacar que, entre esses elementos, há os que ocorrem tanto em altas concentrações (nível percentual) quanto em baixas concentrações (de parte por milhão – ppm a parte por trilhão – ppt). Há ainda elementos que são voláteis ou refratários, participam ou não de processos biológicos, e podem ser dependentes de reações de oxidação-redução (Weiss et al. 2008, Teng et al. 2017, Dauphas et al. 2017). Mesmo em baixas concentrações, é possível determinar assinaturas isotópicas com erros aceitáveis que distinguem diferentes materiais. Portanto, a obtenção de assinatura isotópica de vários desses elementos pode se transformar numa ferramenta extremamente robusta, comparável ao que foi desenvolvido com os estudos do DNA.

A determinação das razões isotópicas dos isótopos não tradicionais pode ser uma operação relativamente complexa, a depender de suas características químicas. Nesse sentido, é importante enfatizar os avanços nas técnicas analíticas. Atualmente, com a combinação entre o sistema laser e o espectrômetro de massa, é possível medir as variações isotópicas com alta resolução espacial (pontos com 10 micrometros de diâmetro), rapidez e precisão.

ESTUDOS DE CASO

1. Ouro e metais preciosos

A disponibilidade de equipamentos analíticos e a simplificação dos procedimentos analíticos aumentaram significativamente a utilização de parâmetros químicos para se identificar a origem de minerais (Dixon and Merkle, 2019; Gäbler et al., 2013; Melcher et al., 2008), metais nobres (Dixon and Schouwstra, 2017; Dixon and Merkle, 2019; Roberts et al., 2016; Watling et al.) e mesmo drogas ilícitas (Watling, 1998).

Em 1994, Watling e colaboradores utilizaram um ICP-MS acoplado a laser para estudar a distribuição de elementos-traço em amostras de ouro da Austrália e da África do Sul (Watling et al., 1994). O estudo teve como objetivo desenvolver um procedimento para determinar fingerprinting de amostras de ouro. Ao invés de se deter na concentração específica dos elementos químicos, os autores obtiveram espectros de variações de elementos-traço das amostras, procurando identificar assinaturas específicas de cada localidade. Esse procedimento permitiu a obtenção de espectros com baixo custo e muita rapidez, possibilitando, assim, o uso do procedimento em análises rotineiras. Os autores enfatizam ainda que a metodologia proposta não tem intenção de oferecer análises quantitativas, mas, sim, apresentar padrões de distribuição de elementos-traço nas amostras analisadas.

Consideramos que a proposta sugerida pode ser de grande valia para a identificação de amostras de ouro. Ressaltamos ainda que o procedimento poderia ser aperfeiçoado com a inclusão de análises isotópicas, introduzindo novos parâmetro além da distribuição elementar. Conforme já destacado, as variações isotópicas tendem a ser menos alteradas durante os processos de purificação do metal, tornando-se, assim, uma ferramenta de fingerprinting mais robusta.

Mais recentemente duas publicações abordam a utilização de elementos-traço e isótopos para identificar ouro ilícito (Dixon and Merkle, 2019; Roberts et al., 2016). Robert e colaboradores desenvolvem um trabalho sobre a distinção entre ouro legal e ilegal na África do Sul. Os autores relatam que a discriminação entre esses dois tipos de ouro pode ser realizada em função da presença dos elementos chumbo, arsênio, antimônio, estanho, selênio e telúrio. Nesse estudo, eles comparam a composição química de amostras suspeitas com amostras de origem conhecida, como ligas, joias e barras

de ouro. Utilizando diagramas ternários discriminantes, os autores mostram ser possível discriminar os 4 tipos de amostras. O estudo de Dixon e colaboradores apresenta dados geoquímicos sobre ouro ilícito da América do Sul (Figura 2).

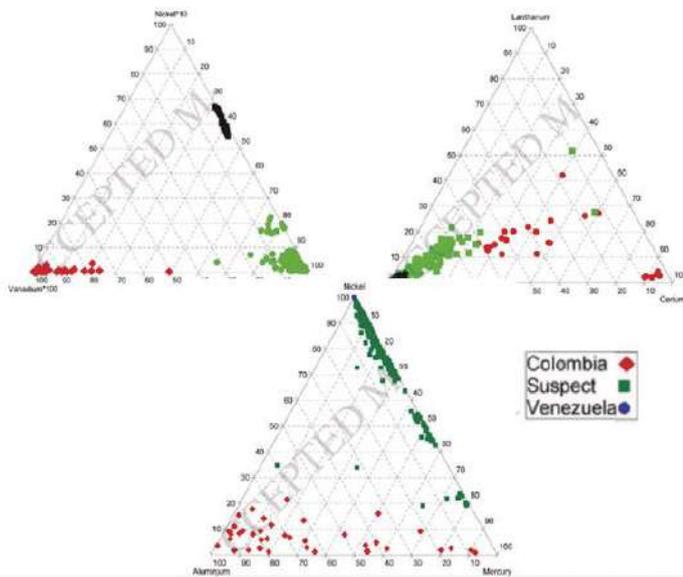


Figura 2: Distribuição de elementos-traço em amostras de ouro da América do Sul mostrando diferenças entre amostras de ouro de áreas conhecidas e de material suspeito (Dixon e Merkle, 2019).

Os autores argumentam que a composição química do ouro depende tanto de fatores geológicos, ou seja, da origem do metal, quanto dos métodos de processamento e purificação. Enquanto o processamento realizado por grandes empresas se utiliza de carvão ativado, o processamento da pequena mineração e garimpos é baseado essencialmente em amalgamação e, mais raramente, por fusão com chumbo (fire assay). Considerando que os processos de purificação têm por objetivo eliminar qualquer contaminante, é importante enfatizar que o beneficiamento progressivo do ouro reduz drasticamente a concentração de elementos-traço, passíveis de serem utilizados como identificadores de origem.

A utilização de dados isotópicos pode fortalecer significativamente a abordagem apresentada pelos autores. É importante enfatizar que, embora a purificação do ouro diminua a concentração dos elementos-traço, inclusive alterando a distribuição entre eles, esse processo não é capaz de alterar as composições isotópicas de determinados elementos. Isso implica que seria possível a obtenção de uma assinatura isotópica relacionada à origem e processamento do metal, independentemente dos processos de purificação.

II. Fauna e tráfico silvestres: peixes na Amazônia

A Amazônia brasileira é uma das áreas com maior biodiversidade do nosso planeta. A região está no centro das discussões ambientais da atualidade, particularmente com relação ao tráfico de animais silvestres e a exploração ilegal de recursos madeireiros. Estudos recentes mostram que os rios amazônicos possuem uma variação significativa na composição isotópica de estrôncio (Palmer and Edmond, 1992; Santos et al., 2015), o que torna os isótopos desse elemento um traçador geográfico para a fauna e flora aquática (Duponchelle et al., 2016; Hauser et al., 2019; Pouilly et al., 2014). Em outras palavras, é possível utilizar a composição isotópica de peixes da Amazônia para identificar seu rio de origem, uma vez que esses organismos adquirem a mesma composição isotópica de estrôncio do trecho do rio onde vivem (Figura 3).

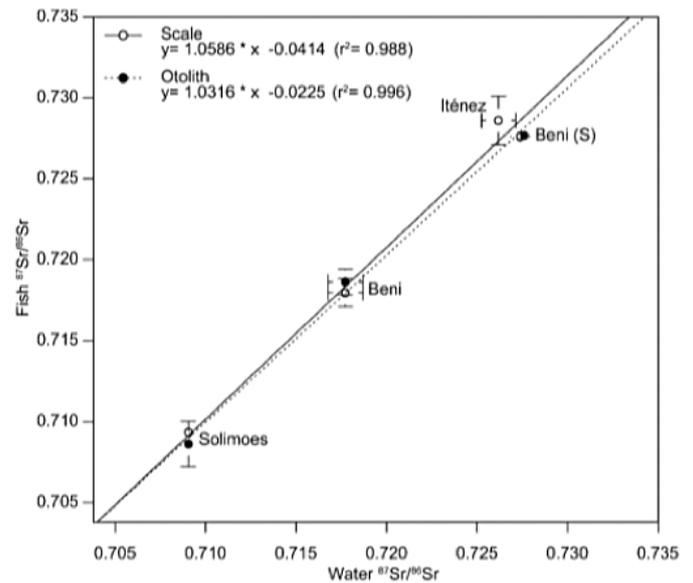


Figura 3: Diagrama de Pouilly et al. (2014) mostrando que a composição isotópica de peixes da Amazônia (*Hoplias malabaricus* e *Schizodon fasciatus*) é idêntica à composição isotópica do trecho do rio onde foram capturados.

Conforme demonstrado em estudos de Santos e colaboradores (2015) e de Palmer e Edmond (1992), os rios que drenam terrenos geológicos cristalinos, como os rios Negro e Tapajós, possuem razões isotópicas de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr mais altas. Isso ocorre, pois as cabeceiras desses rios drenam rochas antigas, constituídas por granitos e gnaisses que, geologicamente, também possuem altas razões isotópicas de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr. Por outro lado, o Rio Solimões apresenta baixas razões isotópicas desse elemento, pois drena rochas muito

jóvens associadas à evolução da cadeia dos Andes. Entre esses dois extremos, posiciona-se o Rio Madeira, que possui valores isotópicos de estrôncio intermediários.

A combinação das composições isotópicas de estrôncio e carbono é uma ferramenta robusta para caracterizar a origem de peixe na Amazônia, particularmente aquelas espécies sujeitas à pesca ilegal. É o caso, por exemplo, do pirarucu, conforme mostra estudo de Pereira e colaboradores (Pereira et al., 2019). Os autores mostram que a composição isotópica de estrôncio está relacionada ao rio onde o peixe viveu, enquanto a composição isotópica de carbono está relacionada a sua alimentação (Figura 4).

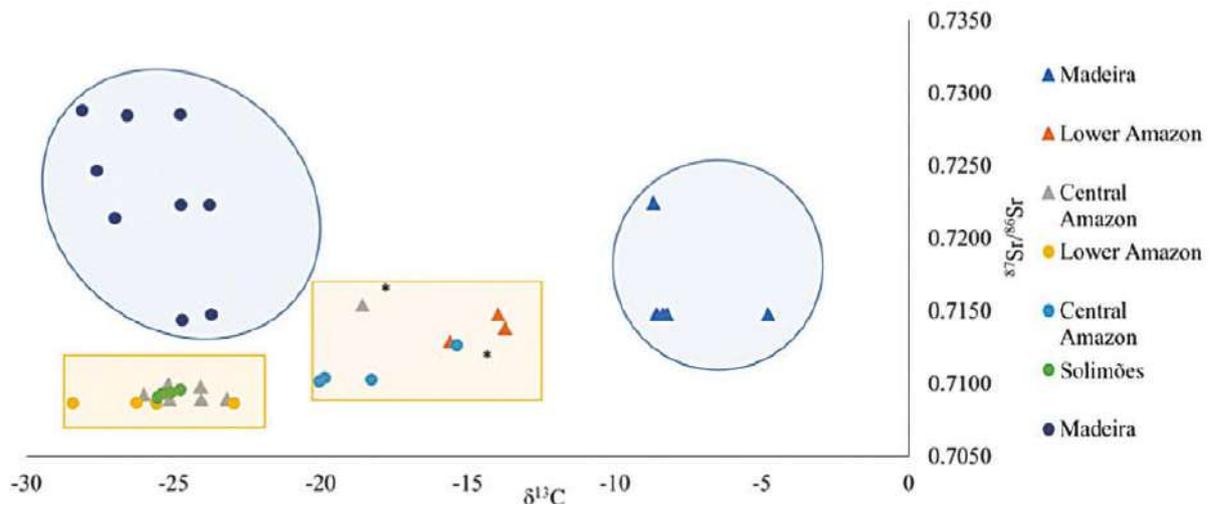


Figura 4: Relação entre a composição isotópica de C e Sr para Arapaima spp. (pirarucu) de rios da Amazônia. Nesse estudo, Pereira e colaboradores (2019) utilizaram a combinação desses isótopos para identificar espécimes de cativeiro e de ambiente natural.

Por exemplo, peixes de cativeiro são alimentados com ração produzida a partir de plantas C4, como o milho, que possui razões isotópicas $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ mais alta do que a alimentação de ambiente natural. Dessa forma, combinando-se esses isótopos, é possível distinguir entre espécimes de pirarucus criados em ambiente de cativeiro e de ambiente de vida livre.

É importante ressaltar que, à semelhança do pirarucu, o procedimento acima poderia ser amplamente aplicado para a identificação da origem de outros seres vivos da Amazônia. Além dos isótopos de estrôncio e de carbono, poderiam ser incluídos também os isótopos de outros elementos como nitrogênio, hidrogênio, enxofre, cobre, zinco, chumbo, dentre outros. Essa estratégia, associada ao mapeamento das variações geográficas dos isótopos desses elementos, tem o potencial de se tornar uma ferramenta robusta e poderosa de auxílio à perícia criminal.

III. Águas Minerais e subterrâneas

Montgomery et al. (2006) utilizaram isótopos Sr em águas minerais para identificar sua origem. Os autores mostram que, na Grã-Bretanha, as assinaturas isotópicas de Sr em águas minerais podem ser utilizadas para identificar fraudes e servir como base para distribuição espacial de assinaturas isotópicas de Sr biodisponível. Eles demonstraram que as águas minerais da Grã-Bretanha possuem razões de Sr entre 0,7059 e 0,7200 e que refletem a idade e a geologia dos aquíferos que armazenam essas águas.

Um estudo piloto, publicado por Bullen e Walczyk (2009), com isótopos de cromo, foi realizado em amostras de águas contaminadas com cromo hexavalente na região de Hinkley, Califórnia. Esse caso se tornou famoso no filme “Erin Brockovich” e forneceu um exemplo da aplicação de isótopos de cromo no artigo publicado pelos referidos autores. De 1952 a 1966, a água com cromo hexavalente, da torre de

resfriamento dos compressores utilizados na extração de gás, vazou e infiltrou no aquífero da região. A pluma contaminada migrou por mais de 3km, a partir da fonte de contaminação, deixando vários moradores da região doentes (câncer). Para o estudo piloto, foram analisados os isótopos de cromo de 20 amostras de água subterrânea da região. Os resultados mostraram que as assinaturas de cromo na água subterrânea local eram bem diferentes das águas naturais e que as amostras da pluma mostravam diferentes graus de contaminação. Além disso, com base em dados existentes, foi possível determinar que as assinaturas isotópicas da pluma não eram condizentes com uma possível reação de redução biótica ou abiótica, possibilitando a distinção entre a fonte antrópica e a fonte natural.

Isótopos de cloro, associados a isótopos de carbono, têm sido utilizados em análises isotópicas de compostos específicos (CSIA - sigla em inglês), aplicadas à identificação de fontes de contaminação por compostos orgânicos (Warmerdam et al., 1995; Hunkeler et al., 2011). Além da origem da contaminação, isótopos de C e Cl têm sido utilizados para monitorar e avaliar a degradação natural de contaminantes organoclorados. Durante os processos de degradação, podem ocorrer a redução ou oxidação dos contaminantes, o que irá se refletir em fracionamento isotópico dos elementos C e Cl, que ficará registrado na assinatura isotópica deles. Assim, a história do fracionamento, desde a origem da contaminação, até seu destino, fica registrada nas assinaturas isotópicas e ajuda tanto a rastrear a fonte de contaminação, quanto monitorar sua remediação.

IV. Quadros, Munições e Cabelo

Isótopos de chumbo (Pb) vêm sendo utilizados para autenticação de quadros a partir de um método microinvasivo e microdestrutivo (D'Imporzano et al., 2020). Esses autores analisam materiais das pinturas com o objetivo de diferenciar pigmentos brancos, utilizados em camadas distintas de um quadro, utilizando as diferentes assinaturas isotópicas de Pb de cada tinta branca utilizada.

Stupian et al. (2001), mostraram, utilizando isótopos de Pb e análise de elementos-traço, a origem de munições encontradas com suspeitos de dois casos de homicídio. Os resultados mostraram que os projéteis que mataram as vítimas não possuíam a mesma origem daqueles apreendidos com

os suspeitos. Porém, o fato de as munições apresentarem diferentes selos de fabricantes, contudo, assinaturas isotópicas semelhantes, indicaram que elas foram recarregadas com material da mesma origem. Isso foi confirmado pela observação feita pelo perito em armas de fogo, constatando que as munições estavam deformadas por disparos anteriores.

Tipple et al. (2013) utilizaram extração por lixiviação para separar a razão isotópica de Sr de partes interna e externa de fios de cabelos. Essa técnica mostrou grande potencial de separação do Sr exógeno, como poeira presente no local onde o indivíduo habita, do endógeno, relacionado ao que o indivíduo ingere (Sr da dieta).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de isótopos radiogênicos e não tradicionais em ciência forense tem ganhado espaço nos últimos anos e aparece como uma ferramenta eficaz, robusta e de contínua evolução. A grande maioria dos trabalhos sobre o assunto indica que essa ferramenta tem seu potencial maximizado quando utilizada juntamente com outras ferramentas de investigação. Como se trata de avanços recentes na ciência, é uma nova fronteira a ser explorada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aggarwal, J., Habicht-Mauche, J. and Juarez, C. (2008) Application of heavy stable isotopes in forensic isotope geochemistry: A review. *Applied Geochemistry* 23, 2658-2666.
- Albarede, F., Telouk, P., Balter, V., Bondanese, V.P., Albalat, E., Oger, P., Bonaventura, P., Miossec, P. and Fujii, T. (2016) Medical applications of Cu, Zn, and S isotope effects. *Metallomics* 8, 1056-1070.
- Bowen, G.J. (2010) Isoscapes: Spatial Pattern in Isotopic Biogeochemistry. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 38, 161-187.

- Bowen, G.J., West, J.B. and Hoogewerff, J. (2009) Isoscapes: Isotope mapping and its applications. *Journal of Geochemical Exploration* 102, v-vii.
- Bataille, C. P. and G. J. Bowen (2012). "Mapping $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variations in bedrock and water for large scale provenance studies." *Chemical Geology* 304-305: 39-52.
- Bataille, C. P., et al. (2012). "Mapping multiple source effects on the strontium isotopic signatures of ecosystems from the circum-Caribbean region." *Ecosphere* 3(12).
- Bataille, C. P., et al. (2014). "A geostatistical framework for predicting variations in strontium concentrations and isotope ratios in Alaskan rivers." *Chemical Geology* 389: 1-15.
- Bataille, C.P. and Bowen, G.J. (2012) Mapping $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variations in bedrock and water for large scale provenance studies. *Chemical Geology* 304-305, 39-52.
- Bataille, C.P., Brennan, S.R., Hartmann, J., Moosdorf, N., Wooller, M.J. and Bowen, G.J. (2014) A geostatistical framework for predicting variations in strontium concentrations and isotope ratios in Alaskan rivers. *Chemical Geology* 389, 1-15.
- Bataille, C.P., Laffoon, J. and Bowen, G.J. (2012) Mapping multiple source effects on the strontium isotopic signatures of ecosystems from the circum-Caribbean region. *Ecosphere* 3, 1-24.
- Bullen, T. D., Walczyk, T. (2009). Environmental and Biomedical Applications of Natural Metal Stable Isotope Variations. *Elements*, volume 5, pp. 381-385. DOI: 10.2113/gselements.5.6.381.
- Carter, J.F., Grundy, P.L., Hill, J.C., Ronan, N.C., Titterton, E.L. and Sleeman, R. (2004) Forensic isotope ratio mass spectrometry of packaging tapes. *Analyst* 129, 1206-1210.
- D'Imporzano, P., Keune, K., Koornneef, J. M., Hermens, E., Noble, P., Van Zuilen, K. And Davies, G. R. (2020). Micro-Invasive Method For Studying Lead Isotopes In Paintings. *Archaeometry*, março, 2020, doi: 10.1111/arcm.12549.
- Dauphas, N., John, S.G. and Rouxel, O. (2017) Iron Isotope Systematics. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 82, 415-510.
- DePaolo, D.J. (1988) Neodymium Isotope Geochemistry: An Introduction., Chicago.
- Dixon, R. and Schouwstra, R. (2017) The role of forensic geology in the illicit precious metals trade. *Episodes* 40, 132-140.
- Dixon, R.D. and Merkle, R.K.W. (2019) Identifying the source of illicit gold from South America. *Geological Society, London, Special Publications*.
- Doe, B.R. (1970) Lead Isotopes. Springer, Chicago.
- Duponchelle, F., Pouilly, M., Pécheyran, C., Hauser, M., Renno, J.-F., Panfili, J., Darnaude, A.M., García-Vasquez, A., Carvajal-Vallejos, F., García-Dávila, C., Doria, C., Bérail, S., Donard, A., Sondag, F., Santos, R.V., Nuñez, J., Point, D., Labonne, M., Baras, E. and Heino, J. (2016) Trans-Amazonian natal homing in giant catfish. *J Appl Ecol* 53, 1511-1520.
- Dutra et al. 2005. Rapid Marine Biodiversity Assessment of the Abrolhos Bank, Brazil. *RAP Bull. Biol. Assessment* 38.
- EREL, Y., PATTERSON, C. C., SCOTT, M. J., MORGAN, J. J. 1990. Transport of industrial lead in snow through soil to stream water and groundwater. *Chemical Geology*, 85:383-392.
- Gäbler, H.-E., Rehder, S., Bahr, A., Melcher, F. and Goldmann, S. (2013) Cassiterite fingerprinting by LA-ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 28, PG. 1247-1255.
- Hauser, M., Doria, C.R.C., Santos, R.V., García-Vasquez, A., Pouilly, M., Pécheyran, C., Ponzevera, E., Torrente-Vilara, G., Bérail, S., Panfili, J., Darnaude, A., Renno, J.F., García-Dávila, C., Nuñez, J., Ferraton, F., Vargas, G. and Duponchelle, F. (2019) Shedding light on the migratory patterns of the Amazonian goliath catfish, *Brachyplatystoma platynemum*, using otolith $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analyses. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 29, 397-408.

- Hoefs, J. (2004) *Stable Isotope Geochemistry*, 5th Revised and Updated ed. Springer-Verlag, Berlin.
- Hunkeler, D., Abe, Y., Broholm, M. M., Jeannotat, S., Westergaard, C., Jacobsen, C. S., Aravena, R., Bjerg, P. L. (2011). Assessing chlorinated ethene degradation in a large scale contaminant plume by dual carbon–chlorine isotope analysis and quantitative PCR. *Journal of Contaminant Hydrology*, volume 119, 69–79.
- Johnson, C. M., Beard, B. L., Albarede, F. eds. (2004). *Geochemistry of Non-Traditional Stable Isotopes*. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, volume 55. The Mineralogical Society of America, Washington, EUA, 454 p.
- Kendall, B., Dahl, T.W. and Anbar, A.D. (2017) The Stable Isotope Geochemistry of Molybdenum. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 82, 683-732.
- Kendall, B., et al. (2017). “The Stable Isotope Geochemistry of Molybdenum.” *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 82(1): 683-732.
- Meier-Augenstein, W. and Fraser, I. (2008) Forensic isotope analysis leads to identification of a mutilated murder victim. *Sci Justice* 48, 153-159.
- Melcher, F., Sitniova, M.A., Graupner, T., Martin, N., Oberthür, T., Henjes-Jurnst, F., Gäbler, E., Gerdes, A., Brätz, H., Davis, D.W. and Dewaele, S. (2008) Fingerprinting of conflict minerals: columbite-tantalite (“coltan”) ores. *SGA News*, 7-9.
- Miller, J. (2013). “Forensic Assessment of Metal Contaminated Rivers in the 21st Century Using Geochemical and Isotopic Tracers.” *Minerals* 3(2): 192-246.
- Montgomery, J., Evans, J. A., G. Wildman, G. (2006) ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr isotope composition of bottled British mineral waters for environmental and forensic purposes. *Applied Geochemistry* 21, p. 1626–1634.
- Palmer, M.R. and Edmond, J.M. (1992) Controls over the strontium isotope composition of river water. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56, 2099-2111.
- Papesch, W. and Horacek, M. (2009) Forensic applications of stable isotope analysis: case studies of the origins of water in mislabeled beer and contaminated diesel fuel. *Sci Justice* 49, 138-141.
- Pereira, L.A., Santos, R.V., Hauser, M., Duponchelle, F., Carvajal-Vallejos, F., Pecheyran, C. and Pouilly, M. (2019) Commercial traceability of Arapaima spp. fisheries in the Amazon basin: can biogeochemical tags be useful? *Biogeosciences* 16, 1781-1797.
- Philp, R.P. (2006) The emergence of stable isotopes in environmental and forensic geochemistry studies: a review. *Environmental Chemistry Letters* 5, 57-66.
- Pouilly, M., Point, D., Sondag, F., Henry, M. and Santos, R.V. (2014) Geographical origin of Amazonian freshwater fishes fingerprinted by ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios on fish otoliths and scales. *Environ Sci Technol* 48, 8980-8987.
- Roberts, R.J., Dixon, R.D. and Merkle, R.K. (2016) Distinguishing Between Legally and Illegally Produced Gold in South Africa. *J Forensic Sci* 61 Suppl 1, S230-236.
- Roelofse, F. and Horstmann, U.E. (2008) A case study on the application of isotope ratio mass spectrometry (IRMS) in determining the provenance of a rock used in an alleged nickel switching incident. *Forensic Sci Int* 174, 64-67.
- Santamaria-Fernandez, R., Giner Martinez-Sierra, J., Marchante-Gayon, J.M., Garcia-Alonso, J.I. and Hearn, R. (2009) Measurement of longitudinal sulfur isotopic variations by laser ablation MC-ICP-MS in single human hair strands. *Anal Bioanal Chem* 394, 225-233.
- Santos, R.V., Sondag, F., Cochonneau, G., Lagane, C., Brunet, P., Hattingh, K. and Chaves, J.G.S. (2015) Source area and seasonal ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr variations in rivers of the Amazon basin. *Hydrological Processes* 29, 187-197.
- Silva, H.E., Valeriano, C.M. (2017) Sumário das análises de isótopos radiogênicos de Sr e Nd em sedimentos da foz do Rio Doce - ES e do Parque Nacional Dos Abrolhos-Ba (antes e depois do rompimento da barragem de rejeitos da Samarco em Mariana-MG). Relatório do Laboratório de Radioecologia e Mudanças Globais.
- Stupian GW, Ives NA, Marquez N, Morgan BA. The application of lead isotope analysis to bullet individualization in two homicides. *J Forensic Sci* 2001;46(6):1342–1351
- Teng, F.-Z., et al. (2017). “Non-Traditional Stable Isotopes: Retrospective and Prospective.” *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 82(1): 1-26.

Tipple, B. J., Chau, T., Chesson, L. A., Fernandez, D. P., Ehleringer, J. R. (2013) Isolation of strontium pools and isotope ratios in modern human hair. *Analytica Chimica Acta*, Volume 798, 10 October 2013, Pages 64-73

Warmerdam, E. M. Van, Frapce, S. K., Aravena, R., Drimmie, R. J., Flatt, H., Cherry, J. A. (1995) Stable Chlorine and Carbon Isotope Measurements of selected chlorinated Organic Solvents. *Applied Geochemistry*, volume 10, pp. 547 - 552.

Watling, R. J. (1998). Sourcing the provenance of cannabis crops using inter-element association patterns. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 13: 917-926.

Watling, R.J., Herbert, H.K., Delev, D. and Abell, I.D. (1994) Gold fingerprinting by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Spectrochimica Acta* 49B, 14.

Weiss, D., et al. (2008). "Application of Nontraditional Stable-Isotope Systems to the Study of Sources and FATE of METALS in the ENVIRONMENT." *Environmental Science & Technology*: 9.

Widory, D., Minet, J.J. and Barbe-Leborgne, M. (2009) Sourcing explosives: a multi-isotope approach. *Sci Justice* 49, 62-72.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

SANTOS, R. V. et al. Nova fronteira no uso de traçadores isotópicos para materiais e seres vivos: o uso de isótopos radiogênicos e não tradicionais. *Perícia Federal*, v. 1, n. 45, p. 59-68, 2020. <https://doi.org/10.29327/266815.145-2>



**Rede Nacional
de Isótopos Forenses**

*Integrando esforços e expandindo
fronteiras da isotopia forense brasileira*

ISOTOPE HUNTER

Detecting ^{13}C Clues, tracking ^{18}O Origin,
unraveling ^2H History with isotope fingerprints

Detectando Evidências, traçando a Origem, desvendando a História com as
"impressões digitais isotópicas"

Carbono, Nitrogênio, Enxofre, Hidrogênio e Oxigênio

Alimentos - Adulteração e Origem Geográfica

Entorpecentes - Origem Geográfica

Humano e Animais – Proveniência, Origem Geográfica e Rotas Migratórias

Ambiental – Fontes de Poluição e Origem Antropogênica

Reconstrua o registro Isotópico como os Espectrômetros de Massa de Razão Isotópica do portfólio da Thermo Scientific

Siga o Isotope Hunter

Find out more at thermofisher.com/IsotopeHunter



Foto: André Zimmerer

FUTURO DA PERÍCIA

Somos campeões mundiais no concurso “DNA - Hit of the Year 2020”! O Brasil, representado pela perícia criminal federal, recebeu a honrosa premiação no final de junho de 2020. O prêmio é dedicado anualmente a um caso emblemático de uso dos bancos de dados de DNA para a resolução e prevenção de crimes¹. O título, inédito para a nação, reforça a importância da retroalimentação realizada por meio da correlação dos dados analisados pela perícia criminal, para uma maior efetividade das investigações e de todo o sistema do processo penal. Neste contexto, a Diretoria Técnico-Científica da Polícia Federal está envidando esforços para a concretização de um grande projeto que fará com que a perícia criminal federal dê um salto tecnológico na sua metodologia de trabalho, atuando de forma mais eficaz, eficiente e efetiva para com os clientes dos laudos de perícia criminal e trazendo, para a sociedade, maior robustez para que se faça justiça; seja materializando o crime e identificando os criminosos, seja inocentando pessoas erroneamente acusadas.

A perícia criminal, por sua natureza atrelada às ciências, sempre caminhou lado a lado com a evolução científica e tecnológica. Um material que há vinte anos era analisado apenas com um microscópio padrão, hoje é examinado com um microscópio eletrônico de varredura que, explicando de forma simplificada, permite a análise da composição atômica e do aspecto da superfície do material, com imagens de aparência tridimensional. Da mesma forma, o exame de dados em um computador, que podia ser feito manual e visualmente, hoje depende de ferramentas e sistemas avançados que permitam, com tempestividade e qualidade, a análise de volumes que chegam a petabytes.

GESTÃO DA PERÍCIA

A Diretoria Técnico-Científica da Polícia Federal, por meio do Instituto Nacional de Criminalística, sempre buscou a atualização tecnológica para que todos os peritos criminais federais, atuando Brasil a fora, trabalhem em condições de excelência científica e metodológica.

É importante ressaltar, neste ponto, alguns itens constantes no Mapa Estratégico da Perícia Criminal Federal², que norteiam a gestão da perícia da Polícia Federal:

1. A perícia criminal federal tem como missão: "Atuar em prol da justiça e dos direitos humanos, com a produção de prova material científica isenta e de qualidade";
2. Tem como visão: "Tornar-se referência mundial na aplicação e no desenvolvimento das Ciências Forenses";
3. Possui como valores:
 - Compromisso com a verdade
 - Conhecimento e qualidade
 - Ética e probidade
 - Legalidade e imparcialidade
 - Respeito aos direitos humanos
4. Tem como alguns de seus objetivos estratégicos:
 - Entregar resultados tempestivos, imparciais e cientificamente embasados à Justiça
 - Fortalecer e disseminar a cadeia de custódia de provas
 - Manter-se na vanguarda do conhecimento científico aplicado às Ciências Forenses
 - Implementar sistemas de gestão da qualidade nos laboratórios periciais
 - Monitorar a efetividade do laudo pericial criminal
 - Promover a gestão do conhecimento
 - Gerenciar, manter e atualizar a in-

fraestrutura e o parque tecnológico

- Fortalecer e integrar os sistemas informatizados de gestão, análise de dados e suporte à perícia

No ano de 2018, sob coordenação do Instituto Nacional de Criminalística, foram realizadas dezenas de reuniões presenciais com os peritos criminais federais que atuam nos Serviços e Setores especializados nas áreas de atuação forense. O objetivo foi obter um diagnóstico dos maiores desafios e oportunidades de melhoria no âmbito da perícia criminal federal.

No referido diagnóstico foram identificadas várias oportunidades de melhoria, destacando-se entre elas algo em comum: envolviam, em sua maioria, evolução tecnológica. Observou-se então que seria necessário buscar apoio externo, especializado, para a realização dos estudos necessários e para a execução das melhorias propostas, a fim de efetivamente proporcionar a evolução vislumbrada, que traria maior rapidez na entrega e melhor qualidade nos laudos de perícia criminal federal.

CENTRAL DE CUSTÓDIA DE VESTÍGIOS

Em dezembro de 2019 foi publicada a Lei nº 13.964/2019, que aperfeiçoa a legislação penal e processual penal. A modernização do Código de Processo Penal trouxe a definição explícita de vestígio e de centrais de custódia. Foram incluídas alterações que visam garantir a adequada cadeia de custódia a todo vestígio de crime, estendendo tal garantia a qualquer elemento que possa ter potencial interesse para a produção da prova pericial, independentemente do local em que ele tenha sido coletado ou do agente público que o coletou – dispositivo que pretende, portanto, assegurar a integridade dos elementos probatórios.

A lei estabelece ainda, de modo

expresso, que a coleta de vestígios deverá ser realizada preferencialmente por perito oficial, bem como é necessário seu encaminhamento à central de custódia (art. 158-C, caput, do CPP). Importante ainda destacar que todos os vestígios coletados, tanto em sede de inquérito policial quanto de processo penal, deverão obrigatoriamente ser remetidos à central de custódia (art. 158-C, § 1º, do CPP), existente necessariamente em cada Instituto de Criminalística e com gestão vinculada diretamente ao órgão central de perícia oficial de natureza criminal (art. 158-E do CPP).

Com a referida alteração legislativa, recaíram sobre a Diretoria Técnico-Científica, enquanto órgão central de perícia oficial de natureza criminal da Polícia Federal, novas e grandes responsabilidades. As exigências do CPP trouxeram ainda maior ênfase à necessidade de aprimoramento dos processos periciais e de armazenamento de vestígios, inclusive os digitais, reforçando a importância da evolução tecnológica vislumbrada no diagnóstico descrito.

PARCERIA COM UNIVERSIDADES

Historicamente, devido à sua proximidade com o estado da arte das ciências, em todo o mundo são efetivadas parcerias entre a perícia criminal e as Universidades, de forma que soluções sejam buscadas em conjunto: a perícia possui problemas científicos a serem resolvidos, e as Universidades possuem pesquisadores ávidos por problemas práticos e instigantes a serem solucionados.

Na Polícia Federal, uma das Universidades com a qual este tipo de integração tem trazido bons frutos é a Universidade de Brasília. Devido à proximidade física com o órgão central de perícia da Polícia Federal e pelo histórico de projetos exitosos, buscou-se então elaborar um projeto para que, com o apoio das mãos e men-

tes da UnB, fosse possível buscar soluções para alguns dos desafios e oportunidades destacados no diagnóstico realizado.

Apesar de a assinatura do Termo de Execução Descentralizada ter sido efetivada somente em março de 2020, no período em que se buscava a formalização do mesmo, várias iniciativas de desenvolvimento de protótipos foram executadas, de forma que podem agora subsidiar, como provas de conceito, o trabalho a ser realizado pelos pesquisadores e alunos da Universidade. Alguns exemplos são a utilização de inteligência artificial, por meio de técnicas de aprendizado supervisionado de máquina; o estudo da efetividade dos laudos de perícia criminal federal; a automação de exames periciais, com coleta de dados técnicos e estruturação do laudo; e um protótipo de aplicativo para celulares flexível, que apoia desde o exame pericial em veículos até o processo de amostragem de materiais recebidos para exame de genética forense.

PESQUISA APLICADA EM INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

O objetivo principal do projeto da DITEC com a Universidade de Brasília em andamento é aplicar e integrar inovações tecnológicas aos exames e processos periciais, de forma a melhorar cada vez mais a qualidade e celeridade do trabalho realizado pelos peritos. A duração do projeto é de dois anos, e as metas a serem atendidas são listadas e brevemente explicadas a seguir:

1. Execução do projeto: controle do andamento do projeto, em conformidade com as melhores práticas e visando à transparência na aplicação dos recursos. Prospecção de formas de divulgação científica e realização de publicações pelos participantes de resultados metodológicos do projeto, conforme regras de sigilo das informações pertinentes.

2. Concepção de Modelo de Arquitetura Tecnológica para Análise Estatística da Criminalística: trata-se de proposição de modelo de arquitetura com base na análise dos ambientes de operação dos sistemas SisCrim e InteliGeo, de modo a se pesquisar um direcionamento futuro para evoluções, no sentido de viabilizar análises estatísticas de interesse da criminalística da Polícia Federal. A pesquisa busca inovar por meio do uso de técnicas de mineração dos dados de forma e conteúdo de documentos da criminalística, composição, agrupamento, classificação e outras formas de raciocínio, de modo a permitir o registro e a visualização de linhas de tempo de evento correlatos periciais, distribuição geolocalizada, descoberta de entidades e objetos, caracterizações de volumes e intensidades, correlações entre documentos produzidos e normativos, bem como outros fatores de interesse para exames periciais.

3. Análise da Maturidade e Estruturação Tecnológica da Gestão da Qualidade da Perícia Criminal Federal: acompanhando a tendência de transformação digital, busca-se aportar inovações ao processo pericial com base no uso das normas ISO 9001:2015 Quality management systems – Requirements e ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.

4. Estudo de Caso sobre a Aplicabilidade dos Resultados do Laudo Pericial: considerando uma amostra de dados de demandas atendidas na totalidade, ou seja, processos transitados em julgado, a pesquisa objetiva a mineração de dados acerca dos resultados e da contribuição dos exames periciais no processo penal. Assim, procura-se esclarecer a questão sobre qualidade e efetividade dos exames periciais por meio de análise de grafos.

5. Prototipação de um Aplicativo Móvel de Suporte à Perícia: a meta é desenvolver

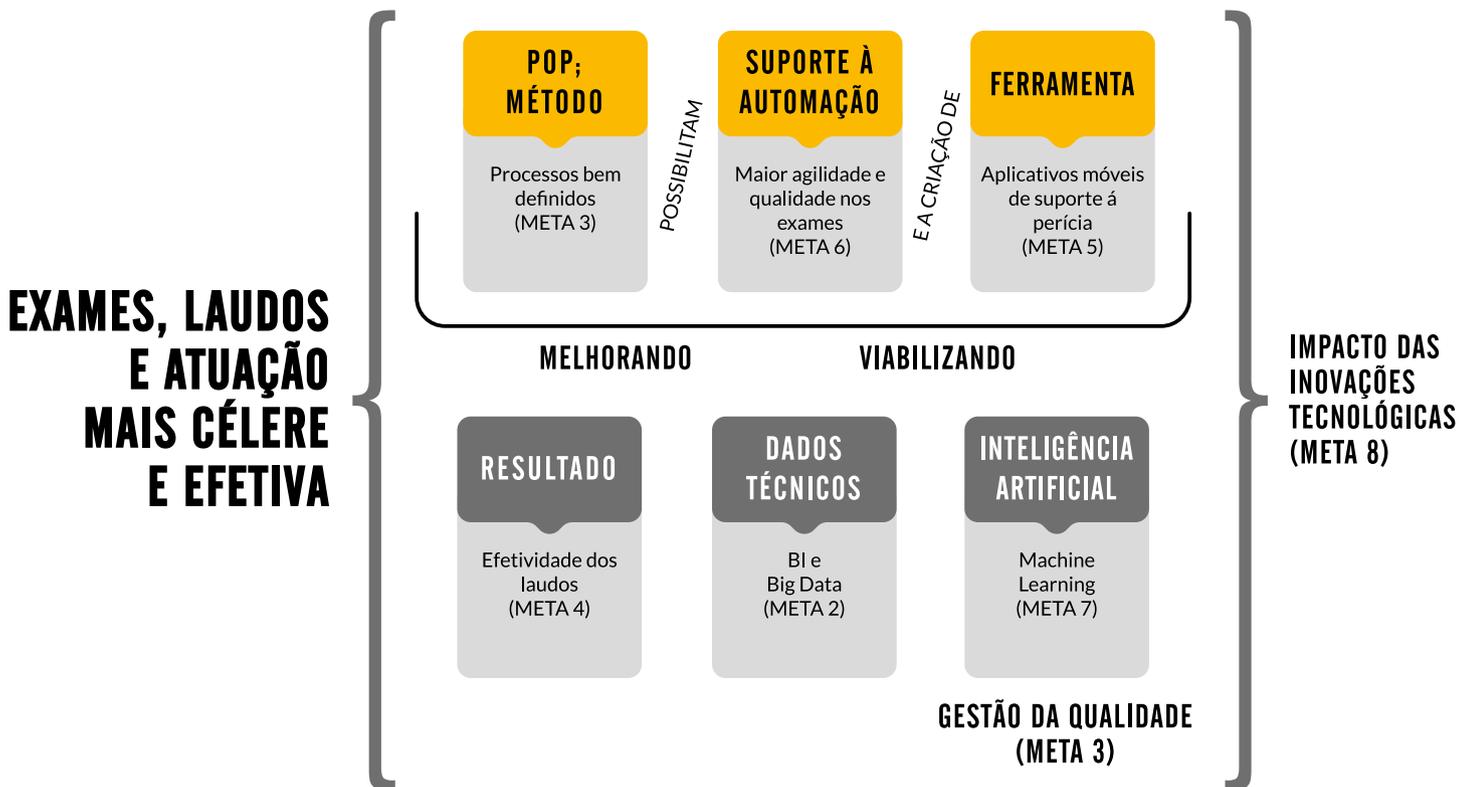
um aplicativo para dispositivo móvel e o correspondente centro de configurações, dando suporte ao perito criminal federal na modelagem, preparação e execução de determinados exames, com suporte à coleta, à análise dos dados e à confecção dos laudos. Tal aplicativo tem o objetivo de, após prototipação e validação, servir como sistema de apoio pericial móvel.

6. Estudo de Funcionalidades de Suporte à Exames Periciais Colaborativas, Reconfiguráveis e Reutilizáveis: a partir do mapeamento e da otimização dos processos periciais, a meta é especificar um conjunto mínimo de funcionalidades, módulos de software, bases de dados para compor um repositório de ferramentas à disposição dos peritos criminais federais, auxiliando a análise crítica de grande volume de dados relacionados aos vestígios.

7. Prototipação de um Sistema de Aprendizado Supervisionado de Máquina para Auxílio Pericial e de Gestão da Criminalística: a meta é desenvolver um protótipo que realize aquisições de dados públicos em nível federal para dar suporte ao perito criminal federal na modelagem, preparação e execução de atividades forenses, utilizando técnicas de aprendizado supervisionado.

8. Metodologia de Estimação do Impacto das Inovações Tecnológicas sobre a Perícia Criminal da Polícia Federal: considerando as inovações recentes na atividade da Perícia Criminal Federal, faz-se necessário avaliar os impactos do desenvolvimento e introdução de novas tecnologias sobre a atividade de Perícia Criminal Federal, quantificando a melhoria obtida com o investimento nas inovações aplicadas.

É importante destacar que há grande integração e interdependência entre as metas do projeto. O diagrama a seguir ilustra essa correlação.



Um dos maiores desafios do projeto, do qual dependem várias metas, é o levantamento e especificação de dados técnicos de objetos de exame e procedimentos periciais que passarão a ser estruturados, de forma a permitir tanto a automatização de processos quanto a geração de relatórios, estatísticas e informações de gestão. Para realizar esse trabalho, será imprescindível a participação da maior quantidade possível de peritos criminais federais especialistas em cada tipo de exame.

REDE INTEGRADA DE DADOS PERICIAIS

No longo prazo, os dados técnicos coletados em laboratório e em campo permitirão o estabelecimento de uma rede integrada de dados periciais, alimentando em tempo real os sistemas de gestão e controle de qualidade e permitindo a ob-

tenção de métricas e estatísticas sempre atualizadas sobre a atuação da perícia.

A consolidação desses dados também permitirá o compartilhamento entre peritos e órgãos de perícia, bem como a produção de conhecimento para orientar ações da Polícia Federal e a divulgação de dados abertos à população sobre a atuação da perícia criminal federal.

Sob a coordenação do Núcleo de Gestão Estratégica da Diretoria Técnico-Científica da Polícia Federal, o projeto de evolução tecnológica da perícia criminal federal almeja ser um primeiro passo para que no futuro, à semelhança do Banco Nacional de Perfis Genéticos, todos os vestígios examinados pelos peritos criminais do Brasil possam ser correlacionados para retroalimentar as investigações criminais e melhorar a efetividade do processo penal brasileiro.

NOTAS

¹<http://www.pf.gov.br/imprensa/noticias/2020/06-noticias-de-junho-de-2020/policia-federal-recebe-premio-internacional-por-identificacao-dos-autores-de-roubo-cinematografico>

²Portaria nº 753/2019 – DITEC/PF, publicada no AS nº 024, de 17/06/2019 - DITEC/PF

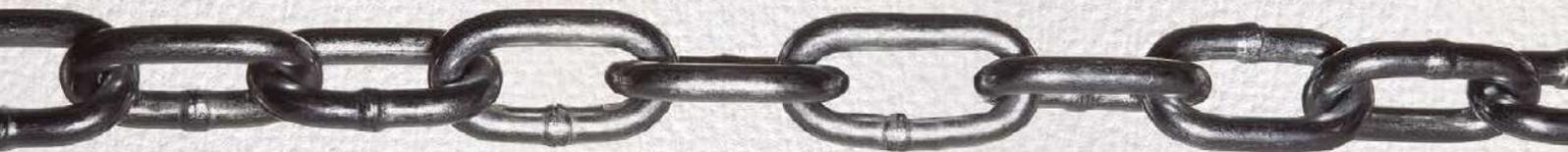


CADEIA DE CUSTÓDIA:

**O QUE ERA APENAS
RECOMENDAÇÃO
DE BOAS PRÁTICAS,
AGORA É LEI!**

Em investigação criminal, a avaliação do local de crime é o berço da criminalística. É por meio da avaliação dos rastros deixados pelo autor/vítima que a Criminalística se concretiza por meio do exame do corpo de delito. Gerenciar uma cena de crime é uma tarefa que requer técnica e experiência. É a partir do processamento adequado dos vestígios materiais e imateriais que se constrói a coerência da narrativa dos fatos. Qualquer deslize pode afetar a interpretação da dinâmica criminosa, bem como a identificação de autoria.¹ Dessa forma, o procedimento de investigação não pode ser feito sem critérios adequados

de abordagem do local e documentação. É necessário que haja técnicas bem estabelecidas para que os fatos possam ser reconstruídos de maneira fidedigna. A reconstrução dos fatos, por meio do processamento da cena de crime, deve ser capaz de trazer os interessados ao momento de ação, independentemente da passagem do tempo. Dessa maneira, todo vestígio deve ser adequadamente documentado “do berço ao túmulo”, ou seja, desde sua origem, do momento em que é identificado (na cena do crime, por exemplo) até o seu destino final. A esse procedimento dá-se o nome de Cadeia de Custódia.



No Brasil, os procedimentos relacionados ao gerenciamento de vestígios ficavam a cargo dos órgãos de investigação, sem haver exatamente uma padronização e uma determinação legal. Definições e questionamentos relacionados à cadeia de custódia ficavam essencialmente a cargo da doutrina e da jurisprudência. Em dezembro de 2019, a Lei nº 13.964 inseriu uma série de dispositivos legais no Código de Processo Penal (CPP) que teve por objetivo normatizar os elementos relacionados à cadeia de custódia. Essa lei, também conhecida como pacote anticrime, modificou o nome do Capítulo II do Título VII do CPP (Da Prova), que passou a se chamar: DO EXAME DE CORPO DE DELITO, DA CADEIA DE CUSTÓDIA E DAS PERÍCIAS EM GERAL. Dentro desse capítulo, temos a inserção dos arts. 158-A a 158-F, que trouxeram desde a definição legal de cadeia de custódia até uma série de diretrizes para manuseio, armazenamento e descarte de vestígios. Neste artigo, iremos tratar dos aspectos mais importantes relacionados a essas mudanças.

Definição legal e etapas da Cadeia de Custódia

O art. 158 do CPP é bem conhecido no meio pericial. Ele é o primeiro artigo dentro da disciplina modificada pela Lei nº 13.964/2019. Em 2018, a Lei nº 13.721 já havia feito modificações do sentido de priorizar o exame de corpo de delito para vítimas com maior vulnerabilidade como mulheres, crianças, adolescentes, idosos e deficientes. Assim, temos:

Art. 158. Quando a infração deixar

vestígios será indispensável o exame de corpo de delito, direto ou indireto, não podendo supri-lo a confissão do acusado.

Parágrafo único. Dar-se-á prioridade à realização do exame de corpo de delito quando se tratar de crime que envolva:

- I - violência doméstica e familiar contra mulher;
- II - violência contra criança, adolescente, idoso ou pessoa com deficiência.

O exame de corpo de delito é de extrema importância, sendo que o CPP prevê nulidade processual, caso haja algum descompasso em seu procedimento, o que pode causar incertezas sobre o esclarecimento da infração:

Art. 564. A nulidade ocorrerá nos seguintes casos:

- I - por incompetência, suspeição ou suborno do juiz;
- II - por ilegitimidade de parte;
- III - por falta das fórmulas ou dos termos seguintes:

- a) a denúncia ou a queixa e a representação e, nos processos de contravenções penais, a portaria ou o auto de prisão em flagrante;
- b) o exame do corpo de delito nos crimes que deixam vestígios, ressalvado o disposto no Art. 167

A fim de organizar melhor os caminhos relacionados ao exame de corpo de delito, o pacote anticrime inseriu o art. 158-A, que traz a definição normativa da cadeia de custódia. Nesse tópico,

encontram-se reunidos na lei elementos que eram anteriormente indicados apenas pela literatura.¹⁻⁴

Art. 158-A. Considera-se cadeia de custódia o conjunto de todos os procedimentos utilizados para manter e documentar a história cronológica do vestígio coletado em locais ou em vítimas de crimes, para rastrear sua posse e manuseio a partir de seu reconhecimento até o descarte.

§ 1º O início da cadeia de custódia dá-se com a preservação do local de crime ou com procedimentos policiais ou periciais nos quais seja detectada a existência de vestígio.

§ 2º O agente público que reconhecer um elemento como de potencial interesse para a produção da prova pericial fica responsável por sua preservação.

§ 3º Vestígio é todo objeto ou material bruto, visível ou latente, constatado ou recolhido, que se relaciona à infração penal.

De acordo com o parágrafo 1º, o início da cadeia de custódia pode se dar quando da preservação do local ou com procedimentos policiais ou periciais. Essa previsibilidade já estava de acordo com o art. 6º do próprio CPP, que atribui à autoridade policial o dever de garantir que não se altere o estado das coisas no local da infração penal até a chegada dos peritos criminais. Em seguida, o parágrafo 2º versa sobre o reconhecimento da potencialidade de um elemento como prova. Nesse caso, o CPP confere ao agente público essa responsabilidade,

sem identificar exatamente quem é esse agente. No entanto, esse dispositivo indica que a responsabilidade sobre a preservação é ampliada, uma vez que o reconhecimento de um elemento como potencial prova é essencial para que a prova pericial seja íntegra. Temos, portanto, o reconhecimento legal sobre o fato de que é a partir da cena de crime que se retira o material a ser submetido à posterior análise. Assim, o agente público indicado para as funções previstas no parágrafo 2º deve ter consciência de sua responsabilidade, sendo, ainda, indispensável treinamento específico no que diz respeito às boas práticas relacionadas a esse tópico. Ressaltamos, ainda, que o profissional da perícia seria o agente público mais adequado a essa função, uma vez que já é conhecedor do assunto e integrado às práticas de preservação e gerenciamento de local.^{5,6}

Sobre as mudanças ditadas pelo pacote anticrime, acreditamos que a definição de vestígio feita no parágrafo 3º seja passível de diferentes interpretações. O conceito insculpido nesse parágrafo, em um primeiro momento, não considera o vestígio de forma ampla, inserindo a necessidade de que este tenha elo com a infração penal. Antes da Lei, essa leitura era associada ao conceito doutrinário de evidência.^{7,8}

É importante destacar que quando não consideramos o vestígio de maneira abrangente estamos de alguma forma negligenciando o princípio de Locard, um dos pilares da criminalística e indispensável para a construção das práticas periciais.^{1,9¹¹} Entendemos, por outro lado, a possível inviabilidade de se avaliar todo e qualquer material encontrado na cena de crime, sob prejuízo de ter atrasos não desejáveis na investigação.¹² É exatamente por esse motivo que, novamente, reforçamos que o perito seria o agente público mais indicado para o processamento da cena do crime, pois é esse profissional que tem treinamento suficientemente científico

para poder discernir sobre a natureza do vestígio e sua importância para esclarecer os detalhes da infração penal, por meio de procedimento sistematizado. Nesse ponto, as mudanças no CPP também inserem no art. 158-B as etapas necessárias para que a cadeia de custódia possa ser garantida de maneira a fidelizar o gerenciamento de local de crime. Acreditamos que esse dispositivo apresenta os passos mínimos e mandatórios para o rastreamento de vestígios. No entanto, eventuais etapas adicionais podem existir no sentido de conferir mais segurança sobre as informações relacionadas ao caminho de cada vestígio dentro da investigação.

Art. 158-B. A cadeia de custódia compreende o rastreamento do vestígio nas seguintes etapas:

I - reconhecimento: ato de distinguir um elemento como de potencial interesse para a produção da prova pericial;

II - isolamento: ato de evitar que se altere o estado das coisas, devendo isolar e preservar o ambiente imediato, mediato e relacionado aos vestígios e local de crime;

III - fixação: descrição detalhada do vestígio conforme se encontra no local de crime ou no corpo de delito, e a sua posição na área de exames, podendo ser ilustrada por fotografias, filmagens ou croqui, sendo indispensável a sua descrição no laudo pericial produzido pelo perito responsável pelo atendimento;

IV - coleta: ato de recolher o vestígio que será submetido à análise pericial, respeitando suas características e natureza.

V - acondicionamento: procedimento por meio do qual cada vestígio coletado é embalado de forma individualizada, de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas, para posterior análise, com



anotação da data, hora e nome de quem realizou a coleta e o acondicionamento;

VI - transporte: ato de transferir o vestígio de um local para o outro, utilizando as condições adequadas (embalagens, veículos, temperatura, entre outras), de modo a garantir a manutenção de suas características originais, bem como o controle de sua posse;

VII - recebimento: ato formal de transferência da posse do vestígio, que deve ser documentado com, no mínimo, informações referentes ao número de procedimento e unidade de polícia judiciária relacionada, local de origem, nome de quem transportou o vestígio, código de rastreamento, natureza do exame, tipo do vestígio, protocolo, assinatura e identificação de quem o recebeu;

VIII - processamento: exame pericial em si, manipulação do vestígio de acordo com a metodologia adequada às suas características biológicas, físicas e químicas, a fim de se obter o resultado desejado, que deverá ser formalizado em laudo produzido por perito;

IX - armazenamento: procedimento referente à guarda, em condições adequadas, do material a ser processado, guardado para realização de contraperícia, descartado ou transportado, com vinculação ao número do laudo correspondente;

X - descarte: procedimento referente à liberação do vestígio, respeitando a legislação vigente e, quando pertinente, mediante autorização judicial.

Novamente, o inciso I fala do reconhecimento sobre a potencialidade de um elemento para a investigação, o que reforça o fato que isso deve ser feito por profissional capacitado cientificamente, ou seja, o perito criminal. Essa etapa é crucial para que não sejam negligenciadas informações importantes para exames posteriores.

No inciso II temos a etapa de isolamento, que deve levar em consideração não apenas o local imediato dos fatos, mas também os que são mediatos (áreas subjacentes) e relacionados (onde há elementos que tenham ligação com a infração que está sendo investigada).^{2,3,13}

A etapa de fixação, prevista pelo inciso III, era anteriormente citada pela doutrina de Local de Crime como etapa de Documentação. Nesse caso, o profissional deve ter treinamento especializado em técnicas que envolvam busca e registro de vestígios, conforme amplamente descrito na bibliografia específica sobre o tema.^{1,13,14}

Os incisos de IV a VII apresentam indicações para o manuseio de vestígios, que envolvem coleta, acondicionamento, transporte e recebimento. Essa etapa deve obedecer a todos os requisitos para que não haja qualquer tipo de inconsistência de documentação e nem contaminação, evitando que esses problemas possam influenciar a posterior análise prevista na etapa de processamento, indicada pelo inciso VIII.

Os incisos IX e X versam sobre armazenamento e descarte, que serão comentados adiante.

Sobre a coleta, as alterações acrescentam um dispositivo específico em que dão indicações sobre responsabilidade e guarda dos vestígios que interessem à investigação. O caput fala que essa etapa deve ser preferencialmente feita pelo perito oficial.

Art. 158-C. A coleta dos vestígios deverá ser realizada preferencialmente por perito oficial, que dará o

encaminhamento necessário para a central de custódia, mesmo quando for necessária a realização de exames complementares.

§ 1º Todos vestígios coletados no decurso do inquérito ou processo devem ser tratados como descrito nesta Lei, ficando órgão central de perícia oficial de natureza criminal responsável por detalhar a forma do seu cumprimento.

§ 2º É proibida a entrada em locais isolados bem como a remoção de quaisquer vestígios de locais de crime antes da liberação por parte do perito responsável, sendo tipificada como fraude processual a sua realização.

No nosso entender, a etapa de coleta deve ser cumprida tão somente pelo perito oficial, resguardadas apenas as situações previstas pelo parágrafo 1º do art. 159 do CPP, o qual prevê que duas pessoas idôneas podem realizar a perícia, caso não haja perito oficial. É importante que a pessoa que dê início ao manuseio dos vestígios, tenha técnica e conhecimento científico adequados a fim de evitar nulidades.⁴

Acondicionamento e Central de Custódia

O art. 158-D indica procedimentos para o acondicionamento de vestígios, que deve levar em consideração a natureza do material. Nesse caso, os responsáveis pela coleta devem ter conhecimento sobre a especificidade de cada vestígio a fim de escolher qual é a melhor forma de armazená-los para preservar suas propriedades físico-químicas e evitar qualquer contaminação. Além disso, um sistema racional de documentação deve acompanhar todo o procedimento. Novamente, reforçamos a importância do conhecimento técnico-científico, inerente

ao perito criminal. Esse profissional é o que, por formação, treinamento e proficiência, tem condições de cumprir as exigências legais para garantir a idoneidade da prova pericial desde o local de crime até o tribunal.^{1,4,15}

Art. 158-D. O recipiente para acondicionamento do vestígio será determinado pela natureza do material

§ 1º Todos os recipientes deverão ser selados com lacres, com numeração individualizada, de forma a garantir a inviolabilidade e a idoneidade do vestígio durante o transporte.

§ 2º O recipiente deverá individualizar o vestígio, preservar suas características, impedir contaminação e vazamento, ter grau de resistência adequado e espaço para registro de informações sobre seu conteúdo.

§ 3º O recipiente só poderá ser aberto pelo perito que vai proceder à análise e, motivadamente, por pessoa autorizada.

§ 4º Após cada rompimento de lacre, deve se fazer constar na ficha de acompanhamento de vestígio o nome e a matrícula do responsável, a data, o local, a finalidade, bem como as informações referentes ao novo lacre utilizado.

§ 5º O lacre rompido deverá ser acondicionado no interior do novo recipiente.

A lei, ainda, se ocupa de criar uma central de custódia, que passa a ser obrigatória para os Institutos de Criminalística. Os arts 158-E e 158-F apresentam em seus dispositivos indicações para assegurar não só o controle dos vestígios durante a investigação, como também garantir a guarda e o controle de

acesso. Apesar de o fato dessas práticas já ocorrerem anteriormente nos centros de perícia por obediência às boas práticas, a lei agora as transforma em exigências, garantindo assim a integridade de todo o procedimento pericial.

Art. 158-E. Todos os Institutos de Criminalística deverão ter uma central de custódia destinada à guarda e controle dos vestígios, e sua gestão deve ser vinculada diretamente ao órgão central de perícia oficial de natureza criminal

§ 1º Toda central de custódia deve possuir os serviços de protocolo, com local para conferência, recepção, devolução de materiais e documentos, possibilitando a seleção, a classificação e a distribuição de materiais, devendo ser um espaço seguro e apresentar condições ambientais que não interfiram nas características do vestígio.

§ 2º Na central de custódia, a entrada e a saída de vestígio deverão ser protocoladas, consignando-se informações sobre a ocorrência no inquérito que a eles se relacionam.

§ 3º Todas as pessoas que tiverem acesso ao vestígio armazenado deverão ser identificadas e deverão ser registradas a data e a hora do acesso.

§ 4º Por ocasião da tramitação do vestígio armazenado, todas as ações deverão ser registradas, consignando-se a identificação do responsável pela tramitação, a destinação, a data e horário da ação.

Art. 158-F. Após a realização da perícia, o material deverá ser devolvido à central de custódia, devendo nela permanecer.

Parágrafo único. Caso a central

de custódia não possua espaço ou condições de armazenar determinado material, deverá a autoridade policial ou judiciária determinar as condições de depósito do referido material em local diverso, mediante requerimento do diretor do órgão central de perícia oficial de natureza criminal.

Considerações finais

A Lei 13.964/2019, também conhecida como pacote anticrime, trouxe ao Código de Processo Penal uma série de modificações com o objetivo de normatizar procedimentos relacionados à cadeia de custódia. Essas modificações foram muito importantes no sentido de garantir mais segurança ao procedimento de investigação por meio da rastreabilidade do vestígio.

Os diversos dispositivos adicionados nessa reforma reforçam a importância da atuação do perito criminal, pois este é o profissional imbuído de conhecimento técnico-científico adequado para garantir que os requisitos da lei sejam cumpridos. Quanto mais bem executados os procedimentos, maior a integridade dos vestígios e, conseqüentemente, mais segura será a análise posterior. Isso confere eficiência na investigação, o que sem dúvida é importante para evitar contestações e nulidades indesejadas. O rigor da metodologia que envolve a cadeia de custódia é de suma importância para garantir que a imparcialidade da prova pericial possa servir adequadamente à aplicação da lei, garantindo de maneira inequívoca os direitos e garantias fundamentais previstos na Constituição.

Sobre os autores:



Jesus Antonio Velho

Perito Criminal Federal e Professor Doutor de Criminalística na Faculdade Filosofia, Ciências e Letras da USP de Ribeirão Preto, SP. Doutor em Fisiopatologia pela Faculdade de Medicina da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). É membro do Conselho Editorial e autor organizador da série de livros "Criminalística Premium" da Editora Millennium.



Cláudio Prado Amaral

É Juiz de Direito Titular no Estado de São Paulo e Professor Associado da Faculdade de Direito da USP/Ribeirão Preto. Especialista, Mestre e Doutor em Direito Penal pela USP. Livre-docente em Direito Processual Penal pela USP.



Aline Thaís Bruni

Professora Doutora de Criminalística na Faculdade Filosofia, Ciências e Letras da USP de Ribeirão Preto, SP. Mestre em Química pela Universidade Estadual de Campinas, Doutora em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas. Pós-doutora em Biofísica (IBILCE/UNESP) e Química Teórica (IQSC/USP). Contato: aline.bruni@usp.br

Referências

- (1) Houck, M. M.; Crispino, F.; McAdam, T. *The Science of Crime Scenes*, 1st ed.; Academic Press, Inc.: San Diego, 2012.
- (2) Velho, J. A.; Geiser, G. C.; Espindula, A. *Ciências Forenses - Uma Introdução Às Principais Áreas Da Criminalística*, 3rd ed.; Millennium Editora: Campinas, SP, 2017.
- (3) Velho, J. A.; Costa, K. A.; Damasceno, C. T. M. *Locais de Crimes - Dos Vestígios à Dinâmica Criminosa*, 2nd ed.; Millennium Editora: Campinas, SP.
- (4) Badiye, A.; Kapoor, N.; Menezes, R. G. *Chain of Custody (Chain of Evidence)*. National Center for Biotechnology Information: Rockville Pike, Bethesda MD 2019.
- (5) Reid, M. M. A CSI Story: The Past, Present, and Future of Crime Scene Collection and What Litigators Need to Know. *Wake For. J. Law Policy* 2018, 8 (2), 409–454.
- (6) Edmond, G.; Martire, K.; Kemp, R.; Hibbert, B.; Ligertwood, A.; Porter, G.; Roque, M. S.; Searston, R.; Tangen, J.; Thompson, M.; et al. How to Cross-Examine Forensic Scientists: A Guide for Lawyers. *Aust. Bar Rev.* 2014, 39, 174–197.
- (7) Machado, L. M. Aplicação da cadeia de custódia da prova digital <https://www.conjur.com.br/2020-mar-31/academia-policial-aplicacao-cadeia-custodia-prova-digital> (accessed Apr 17, 2020).
- (8) Velho, J. A.; Geiser, G. C.; Espindula, A. Introdução Às Ciências Forenses. In *Ciências Forenses - Uma introdução às principais áreas da criminalística*; Millennium Editora: Campinas, SP, 2017.
- (9) Mistek, E.; Fikiel, M. A.; Khandasammy, S. R.; Lednev, I. K. Toward Locard's Exchange Principle: Recent Developments in Forensic Trace Evidence Analysis. *Anal. Chem.* 2019, 91 (1), 637–654. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b04704>.
- (10) VELHO, J. A.; SILVA, L. A. R. da; CARMO, C. F. A. do. *A Perícia Em Locais de Crime*. In *Uma Introdução Às Principais Áreas Da Criminalística*; Millennium Editora: Campinas, SP, 2017; pp 19–32.
- (11) Bitzer, S.; Ribaux, O.; Albertini, N.; Delémont, O. To Analyse a Trace or Not? Evaluating the Decision-Making Process in the Criminal Investigation. *Forensic Sci. Int.* 2016, 262, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.02.022>.
- (12) Watalingam, R. D.; Richetelli, N.; Pelz, J. B.; Speir, J. A. Eye Tracking to Evaluate Evidence Recognition in Crime Scene Investigations. *Forensic Sci. Int.* 2017, 280, 64–80. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.08.012>.
- (13) Velho, J. A.; Silva, L. A. R. da; Carmo, C. F. A. do; Damasceno, C. T. M. *A Perícia Em Locais de Crime*. In *Uma Introdução Às Principais Áreas Da Criminalística*; Millennium Editora: Campinas, SP, 2017; pp 19–32.
- (14) de Grujter, M.; de Poot, C. J.; Elffers, H. The Influence of New Technologies on the Visual Attention of CSIs Performing a Crime Scene Investigation. *J. Forensic Sci.* 2016, 61 (1), 43–51. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12904>.
- (15) Brennan, N.; Marcus, D.; Reno, J.; Robinson, L.; Travis, J. *Crime Scene Investigation: A Guide for Law Enforcement*. Natl. Inst. Justice 2000, 1–58. <https://doi.org/10.1002/9781118704738.ch2>.
- (16) Prado, G. *Cadeia De Custódia Da Prova No Processo Penal*, 1st ed.; Marcial Pons: São Paulo, 2019.
- (17) Brenner, J. C. *Forensic Science: An Illustrated Dictionary*, Rev. ed. o.; CRC Press: New York, 2004.

PERFIL DIRETOR TÉCNICO- CIENTÍFICO



NOME:

Alan de Oliveira Lopes

NATURAL DE:

Brasília, Distrito Federal

FORMADO EM:

Engenharia Civil com mestrado em Transportes – ambos pela Universidade de Brasília (UnB).

Foto: André Zímmerner

QUANTO TEMPO DE PERÍCIA:

18 anos

PORQUE DECIDIU FAZER O CONCURSO:

No início da minha graduação não conhecia a vertente da engenharia legal no âmbito da perícia criminal. Após me formar, tive conhecimento da profissão e, a partir daquele momento, despertou em mim o desejo de tentar fazer parte dos quadros periciais. Cheguei a fazer concurso e Academia da Polícia Civil do Distrito Federal, onde conheci excelentes peritos criminais. Todavia, na sequência, prestei o concurso da Polícia Federal, em 2002; mesmo ano que fiz meu curso de formação, a partir de junho, e, finalmente, para minha imensa alegria e de minha família, tomei posse como perito criminal federal, em 21 de outubro de 2002. Daquele momento em diante, foram muitas aventuras!

ONDE ATUAVA ANTES DE ASSUMIR A DITEC:

No Ministério da Infraestrutura, como assessor especial, lotado no Gabinete do ministro Tarcísio Freitas. Período de grande alegria e aprendizado, que me está sendo muito útil na Diretoria Técnico-Científica.

COMO ENCAROU O CONVITE PARA ASSUMIR A DITEC:

Confesso que com surpresa, até por eu estar cedido ao Ministério da Infraestrutura. A minha hesitação inicial foi decorrente da consciência da elevada responsabilidade da assunção ao cargo de diretor Técnico-Científico da Polícia Federal. As minhas dúvidas se dissiparam quando ouvi as razões dos profissionais que endossaram meu nome ao dr. Rolando Alexandre de Souza, nosso novo diretor-geral. Percebi que é o tipo de convite que não se pode recusar. A Polícia Federal, como símbolo de coragem e justiça para a sociedade brasileira, precisa que todos os servidores do órgão estejam preparados e disponíveis para missões voltadas à sua gestão.

QUAIS SÃO AS PRINCIPAIS ESTRATÉGIAS PARA A GESTÃO:

Na minha primeira conversa com o dr. Rolando, ele me passou três diretrizes que se alinharam muito com minha visão da Polícia Federal: tecnologia, integração e

resultados. Cada uma dessas diretrizes tem diversas facetas e formas de atuação. Planejo seguir fortemente essa orientação inicial em sintonia com as demais diretorias. Quero trabalhar pela integração das áreas periciais, entre órgãos centrais e descentralizados, fomentar a sinergia entre as atribuições dos diversos cargos da Polícia Federal, criar e estabelecer redes de parceria com outros entes públicos e privados. Tenho plena consciência das dificuldades históricas dessas iniciativas, mas prefiro me agarrar na esperança de avançar do que no pessimismo, até certo ponto compreensível, em virtude dos fatos passados que impediram uma maior integração.

A busca pela tecnologia é vital para a perícia, ela envolve, além de investimentos de recursos financeiros, o uso de recursos humanos cada dia mais escassos no serviço público de modo geral. A alocação desses recursos tem que ser finamente contrabalançada com a nossa necessidade e obrigação de produzir resultados no presente. A criminalidade exige combate constante, basta verificar as inúmeras ações voltadas a investigar fraudes com uso de recursos públicos para combater a pandemia do SARS-CoV-2.

QUAIS OS PRINCIPAIS DESAFIOS:

A perseguição penal como um todo passa por grandes cobranças por parte da sociedade e conseqüentemente por profundas e velozes transformações. Precisamos evoluir paradigmas de segurança pública que datam de 50,60,70 anos atrás. No nosso caso, estou denominando de “Perícia do Século XXI”, em que o perito criminal federal deve lidar com a rigidez da ciência, a velocidade das novas tecnologias e o clamor por uma investigação mais célere e efetiva. Diante dessa minha inquietação, meu antecessor, o dr. Fábio Salvador, me indicou a leitura de relevante publicação científica que aborda esse novo reposicionamento da perícia criminal no mundo, o qual aproveito a oportunidade para divulgar: “Breaking the barriers between intelligence, investigation and evaluation: A continuous approach to define the contribution and scope of forensic Science” - <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110213>. Como disse um dos meus mentores, dr. Carlos Villela, chegou a hora adotar a “Política dos Ases”[1] comigo mesmo e focar em transmitir o que aprendi.

O QUE MAIS ADMIRA NA PERÍCIA:

Nossa diversidade é uma das nossas fortalezas. A oportunidade de congregarmos num só corpo profissional uma miríade tão vasta e complexa de especialistas me permite acreditar que podemos ir “ao infinito e além”. Também gosto de destacar a integridade de caráter da maioria de nossos servidores. Tenho convicção que ainda existe muito potencial para ser explorado no meio pericial, e isso me empolga.

CONSIDERA QUE ASSUMIR A DIREÇÃO NESTE MOMENTO É AINDA MAIS DESAFIADOR:

O cargo de DITEC é muito desafiador, acredite em mim – em um mês de atuação já tenho elementos para comprovar essa afirmação. Esses momentos iniciais me fizeram elevar meu respeito pela atuação dos meus antecessores. Se não fosse pela pandemia, poderia afirmar com certeza que esse não é o momento mais desafiador de nossa história. Os DITECs passados realizaram grandes feitos e conseguiram enormes avanços, recebi para trabalhar uma grande estrutura. Prefiro ver o copo de água mais cheio do que vazio. Ademais, vou contar com expoentes da Criminalística nessa missão. Vou ter a honra de trabalhar com o perito Raimundo Azevedo como novo diretor do Instituto Nacional de Criminalística e com o perito Mauro Magliano, como assistente da Diretoria Técnico-Científica.

PERSPECTIVAS PARA OS PRÓXIMOS ANOS NA PERÍCIA FEDERAL:

Devemos finalizar a atual expansão física e assumir definitivamente nossa vocação de centro nacional e internacional de ciências forenses, consolidando nossa doutrina. Para isso, teremos que descobrir como fazer mais com menos, identificar novas formas de atuação na investigação criminal e atender as demandas da sociedade “Plug and Play”. Enfim, realizar nada menos que tudo!

QUAL MENSAGEM QUER DEIXAR COMO NOVO DIRETOR TÉCNICO-CIENTÍFICO:

Conclamo aos colegas que nunca percam o foco no nosso propósito de diminuir a criminalidade, não se desviem desse norte. O Brasil precisa de todos vocês, mais do que nunca! Um forte abraço!

PERFIL DIRETOR DO INC



NOME:

Raimundo Nonato Azevedo Filho

NATURAL DE:

Pombal, Paraíba

FORMADO EM:

Engenharia Civil pela Universidade de Brasília (UnB), bacharel em direito, especialização em Regulação Econômica pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e mestre em Geotecnia pela PUC/Rio.

Foto: André Zimmerer

QUANTO TEMPO DE PERÍCIA:

13 anos

PORQUE DECIDIU FAZER O CONCURSO:

A perícia sempre foi um sonho. A perícia e a Polícia Federal são, juntamente com a minha família, os amores da minha vida para os quais dedico todo o meu tempo.

ONDE ATUAVA ANTES DE ASSUMIR A DIREÇÃO DO INC:

Atuava como chefe do Serviço de Perícias de Engenharia/INC/PF. Estou na PF desde 2007 quando tomei posse no SETEC/PI, o qual tenho o maior respeito. Tive a sorte de ter como chefe naquela época, o PCF Arthur, chefe do SETEC/PI, no qual sempre me inspiro como perito e policial.

COMO ENCAROU O CONVITE PARA ASSUMIR A DIREÇÃO DO INC:

Com alegria e sabedor da responsabilidade que me foi depositada pelo DITEC.

QUAIS SÃO OS PRINCIPAIS DESAFIOS E ESTRATÉGIAS:

O principal desafio é o medo. O medo de mudar. De pensar diferente e integrado; mas espero o bom combate, um novo contrato baseado na boa-fé. Recebi a missão de integrar, aplicar tecnologia, ter resultados e distribuir equitativamente a demanda e produzir com excelência. A nossa missão imediata é acabarmos com o estoque em todas as áreas.

O QUE MAIS ADMIRA NA PERÍCIA:

A multidisciplinaridade da nossa equipe faz a nossa força. A capacidade técnica é admirável. Por fim, a solução de crimes por meio da ciência.

CONSIDERA QUE ASSUMIR A DIREÇÃO NESTE MOMENTO É AINDA MAIS DESAFIADOR:

A gestão da perícia sempre será desafiadora, mas nós estamos preparados e conclamamos nossos pares, agentes, escrivães, papiloscopistas e administrativos que trabalham em nossas unidades, que não tenham medo, medo de inovar, de dar um passo à frente, de ajudar o Brasil a se reerguer, durante e após a pandemia. Nós precisamos que trabalhem com intensidade, lealdade e verdade, tudo isso visando o interesse público.

PERSPECTIVAS PARA OS PRÓXIMOS ANOS NA PERÍCIA FEDERAL:

Vejo muitas oportunidades e com um corpo técnico capacitado como o nosso, com certeza, teremos a chance de sermos protagonistas.

QUAL MENSAGEM QUER DEIXAR COMO NOVO DIRETOR DO INSTITUTO NACIONAL DE CRIMINALÍSTICA:

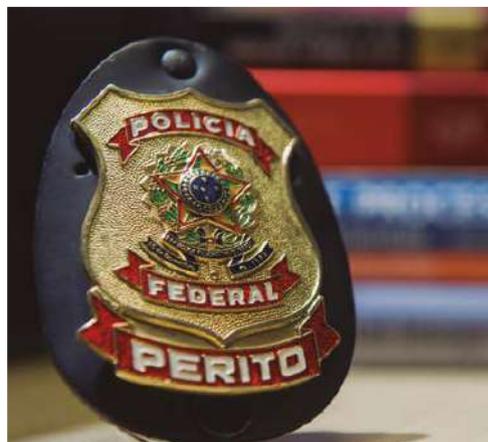
Não posso e não vou lhes oferecer nada além de esperança, lealdade, verdade e trabalho.

APCF EM AÇÃO



Os principais veículos jornalísticos do país destacaram o protagonismo da APCF na defesa da independência investigativa da Polícia Federal. A entidade se manteve atenta às acusações de ingerência indevida no órgão e se posicionou de forma respeitosa e equilibrada, afirmando que a PF é uma instituição de Estado e cobrando atuação firme dos gestores para que o órgão siga, com rigor e autonomia científica, cumprindo sua missão de combater o crime, doa a quem doer.





Após atuação da firme APCF, da Diretoria Técnico-Científica (Ditec) e dos chefes das descentralizadas, a direção-geral da PF revogou a Instrução Normativa Nº 156. A IN retirava dos peritos federais a prerrogativa de coordenar o local de crime e retirava da Ditec a competência para normatizar assuntos relacionados à criminalística federal. Após ser alertada pelos representantes da perícia criminal federal, a diretoria-geral editou a Instrução Normativa 163, com importantes melhorias em relação à anterior.



Conquista também para os policiais federais que tinham tempo de serviço nas Forças Armadas. Depois de cinco anos, o Tribunal de Contas da União (TCU) aprovou o reconhecimento do período de trabalho militar para fins de aposentadoria policial. Desde o início das discussões sobre o tema, a APCF e outras entidades representativas da PF atuaram em defesa da causa, participando de reuniões com autoridades e embasando o TCU notas técnicas e estudos.

Apesar do novo coronavírus, o presidente da APCF permaneceu ativo, desde o início da pandemia, nas discussões relevantes para a criminalística e para a segurança pública. Uma delas é a reforma da Previdência, que, mesmo já promulgada, segue em pauta para profissionais de segurança pública. Após firme atuação das entidades de classe, o governo federal assinou o parecer vinculante da Advocacia-Geral da União (AGU) relativo à paridade e à integralidade da aposentadoria policial. O documento faz parte do acordo realizado durante o processo de votação da reforma previdenciária no Congresso Nacional com o setor.



A APCF atuou até o último momento pela contemplação das emendas da perícia criminal federal na MP 918/20, que foi aprovada sem o reconhecimento da importância dos Setores Técnico-Científicos. A Associação adotará todas as medidas possíveis para reverter os problemas causados por essa proposta no dia a dia do combate ao crime.



O semestre também foi marcado pelo lançamento do Centro Multiusuário de Processamento de Vestígios Sexuais do Instituto Nacional de Criminalística (INC) da Polícia Federal. O espaço foi inaugurado pelo então ministro da Justiça, Sérgio Moro, que pautou sua gestão no uso de métodos científicos modernos contra a criminalidade. Com o novo centro tecnológico, será possível fazer o processamento dos vestígios relacionados a agressões sexuais que aguardam análise em todo o Brasil com mais rapidez.



Caso de Bolsonaro e Moro expõe Brasil iniciante em cadeia de custódia

Marcos Camargo
13 de maio de 2020 | 04:00



DESTAQUES EM POLÍTICA

- Quem dará habeas corpus ao 'supremo?', questão geral
- Quero um diretor-geral na PF com mais atribuições, diz Bolsonaro, segundo Valeto
- Após decisão pró-Bolsonaro, STF não prevê que votaria no projeto de Noronha que cria tribunal

ESTADÃO

Política

O poder da ciência contra o crime

Marcos Camargo
10 de março de 2020 | 13:10



Reforçando a importância da ciência para a busca da verdade dos fatos, a APCF teve diversos artigos publicados nos principais veículos de imprensa do Brasil. Nas publicações, o presidente da entidade reforçou a relevância do laudo pericial para o processo penal, abordou a questão da prova material e chamou atenção para a aplicação adequada da cadeia de custódia no Brasil.

ARTIGO | EXPERIÊNCIA COM O COVID-19 SUGERE REFLEXÕES PARA SEGURANÇA PÚBLICA

Passou a hora de combatermos o crime com todo nosso potencial e não apenas com o aparato de repressão — que não obstante seja importante, sozinho não consegue produzir todo o resultado necessário

Marcos Camargo
05/04/2020 - 06:51 / Atualizado em 25/04/2020 - 11:04



Os governos brasileiros devem investir na área delimitada pelos peritos científicos nacionais. Foto



SAVE THE DATE



CONFERÊNCIA
INTERNACIONAL
DE CIÊNCIAS
FORENSES

2021

InterForensics

08 a 11 de junho | Curitiba/ PR – Brasil

REALIZAÇÃO:



APOIO:



ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DOS PERITOS CRIMINAIS FEDERAIS



**Associação Nacional
dos Peritos Criminais Federais**

www.apcf.org.br