



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

NATÁLIA FREITAS DE SOUZA

**Biobancos: Desafios e Avanços na Medicina Legal Veterinária com Potencial Aplicação
no Combate ao Tráfico de Animais Silvestres**

BOTUCATU - SP

2025



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

**Biobancos: Desafios e Avanços na Medicina Legal Veterinária com Potencial Aplicação
no Combate ao Tráfico de Animais Silvestres**

NATÁLIA FREITAS DE SOUZA

Tese apresentada junto ao Programa
de Pós-Graduação em Medicina
Veterinária para obtenção do título de
Doutora.

Orientadora: Profa. Dra. Noeme Sousa
Rocha

BOTUCATU - SP

2025

S729b

Souza, Natália Freitas de

Biobancos: Desafios e avanços na medicina legal veterinária com potencial aplicação no combate ao tráfico de animais silvestres / Natália Freitas de Souza. -- Botucatu, 2025

49 p. : tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu

Orientadora: Noeme Sousa Rocha

1. animais silvestres. 2. ciências forenses. 3. conservação. 4. biobanco. I. Título.

Nome do autor: Natália Freitas de Souza

Título: Biobancos: Desafios e Avanços na Medicina Legal Veterinária com Potencial Aplicação no Combate ao Tráfico de Animais Silvestres

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Noeme Sousa Rocha

Presidente e Orientadora

Departamento de Clínica Veterinária – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, São Paulo.

Prof. Dr. José Gabriel Gonçalves Lins

Membro titular

Departamento de Clínica Veterinária – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, São Paulo.

Prof^a. Dr^a. Camila Dias Porto

Membro titular

Departamento de Patologia Animal – Universidade de Marília, São Paulo.

Prof^a. Dr^a. Sheila Canevese Rahal

Membro titular

Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, São Paulo

Prof^a. Dr^a. Tália Missen Tremori

Membro titular

Departamento de Produção Animal e Saúde Pública - École Nationale Vétérinaire d'Alfort, ENVA, Paris, France.

Data da defesa: 15 de abril de 2025.

LISTA DE ABREVIACÕES

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- CETAS – Centros de Triagem de Animais Silvestres
- CITES – Convenção sobre Comércio Internacional das Espécies da Flora e Fauna Selvagens em Perigo de Extinção
- COVID-19 – *Corona Virus Disease 2019*
- DNA – Ácido Desoxirribonucleico
- HCP – *Human Connectome Project*
- IA – Inteligência artificial
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
- ISO – Organização Internacional para Padronização
- IUCN – União Internacional para a Conservação da Natureza
- MR – Ressonância magnética
- NBR – Normas Brasileiras Regulamentadoras
- NHP_NNP – Projeto de Neuroanatomia e Neuroimagem de Primatas Não Humanos
- OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
- OMS – Organização Mundial da Saúde
- PET – Tomografia por emissão de pósitrons
- PRISMA – *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*
- RNA – Ácido ribonucleico
- RX – Raios-x
- TC – Tomografia computadorizada
- TRA – Tecnologias de reprodução assistida

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
CAPÍTULO 1	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1 Biobanco e sua finalidade.....	10
2.2 Biobanco na medicina veterinária.....	12
2.2.1 Aplicabilidade na medicina legal veterinária e no combate ao tráfico de animal silvestre.....	15
2.2.2 Biobanco como ferramenta de conservação, preservação e restauração de população de animal.....	18
3. OBJETIVO.....	21
3.1 Objetivo geral.....	21
3.2 Objetivo específico.....	21
CAPÍTULO 2	26
TRABALHO CIENTÍFICO	27
BIOBANKS: CHALLENGES AND ADVANCES IN VETERINARY FORENSIC MEDICINE WITH POTENTIAL APPLICATION IN COMBATING WILDLIFE TRAFFICKING.....	27
CAPÍTULO 3	45
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46

SOUZA, N. F. **Biobancos: Desafios e Avanços na Medicina Legal Veterinária com Potencial Aplicação no Combate ao Tráfico de Animais Silvestres**. Botucatu, 2025. 49p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

Os biobancos são coleções organizadas de materiais biológicos, humanos ou não humanos, acompanhados de informações associadas, destinados a pesquisas científicas, reprodução e/ou uso clínico. Na medicina veterinária, os biobancos possuem diversas finalidades, incluindo pesquisa científica, investigações forenses, apoio à conservação de espécies, preservação de material genético e aplicação em educação e ensino. Este estudo objetivou explorar os avanços e desafios da utilização dos biobancos na medicina legal veterinária, bem como a potencial aplicação na identificação de espécies, no rastreamento de rotas de tráfico e elaboração de medidas de proteção e conservação da fauna. Foi realizada uma revisão sistemática, de modo descritivo e retrospectivo, abrangendo artigos científicos publicados entre 2013 e 2023, utilizando a metodologia PRISMA 2020 adaptada. Não foram recuperados artigos entre 2013 e 2014; entre 2015 e 2023, foram recuperados 15 artigos, com destaque para avanços significativos a partir de 2015, especialmente na preservação de espécies ameaçadas e aplicação forense, com foco na identificação animal e rastreamento geográfico. No Brasil e no mundo, as pesquisas regionais progrediram, destacando-se na identificação de subprodutos de pescado, conservação de gônadas, células somáticas e tecidos, consolidando os biobancos como ferramenta essencial no combate ao tráfico de animais, sobretudo em regiões de alta biodiversidade. Propostas de implementação, como a coleta regionalizada de material nos CETAS e a criação de um banco nacional de identificação animal, devem ser exploradas. Apesar das limitações, o potencial de expansão e aplicação dos biobancos na fiscalização do comércio ilegal é promissor, especialmente com o aprimoramento das pesquisas em andamento.

Palavras-chave: biorrepositório, medicina legal veterinária; animal silvestre; identificação animal.

SOUZA, N. F. **Biobanks: Challenges and Advances in Veterinary Forensic Medicine with Potential Application in Combating Wildlife Trafficking**. Botucatu, 2025. 49p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu campus, São Paulo State University.

ABSTRACT

Biobanks are organized collections of biological materials, human or non-human, accompanied by associated information, intended for scientific research, reproduction, and/or clinical use. In veterinary medicine, biobanks serve various purposes, including scientific research, forensic investigations, support for species conservation, genetic material preservation, and applications in education and teaching. This study aimed to explore the advances and challenges in the use of biobanks in veterinary forensic medicine, as well as their potential application in species identification, trafficking route tracking, and the development of protection and conservation measures for wildlife. A descriptive and retrospective systematic review was conducted, covering scientific articles published between 2013 and 2023, using an adapted PRISMA 2020 methodology. No articles were retrieved between 2013 and 2014; between 2015 and 2023, 15 articles were recovered, highlighting significant advances from 2015 onwards, especially in the preservation of endangered species and forensic applications, focusing on animal identification and geographic tracking. In Brazil and worldwide, regional research has progressed, emphasizing the identification of fishery by-products, conservation of gonads, somatic cells, and tissues, consolidating biobanks as an essential tool in combating animal trafficking, especially in regions of high biodiversity. Implementation proposals, such as regionalized material collection at CETAS and the creation of a national animal identification bank, should be explored. Despite limitations, the potential for expansion and application of biobanks in monitoring illegal trade is promising, particularly with the ongoing improvement of current research.

Keywords: biorepository; veterinary forensic medicine; wildlife; animal identification.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os biobancos e biorrepositórios têm ocupado um papel importante no avanço das pesquisas médicas tanto para humanos quanto animais, sendo um dos grandes marcos no início da era da medicina de precisão. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) define biobanco como uma coleção organizada de material biológico, geralmente voltada para a pesquisa científica e acadêmicas, associadas a bancos de informações, o qual segue protocolos rigorosos para o funcionamento (Hewitt; Watson, 2013; Coppola *et al.*, 2019; Sergi, 2022).

No campo da medicina veterinária, especialmente em relação a fauna silvestre, a implementação de biobancos no Brasil é recente, apesar da vasta biodiversidade tropical do país. Sua aplicação está voltada tanto para a investigação de enfermidades animais, estudos comparativos, quanto para ações de conservação de espécies, com destaque para as espécies ameaçadas de extinção. As pesquisas apontam que zoológicos, centros de diagnóstico e reprodução animal, centros de pesquisa, além de universidades públicas e privadas, figuram entre os principais responsáveis pela manutenção de amostras genéticas (Groeneveld *et al.*, 2016; Comizzoli, 2017; Coppola *et al.*, 2019; Strand *et al.*, 2020).

O tráfico de animal silvestre é a atividade ilegal mais lucrativas e danosas à fauna global, sendo a identificação de espécies o entrave para a aplicação da legislação pertinente. Dessa forma, a criação de base de dados biológicos com diferentes materiais de origem animal seria a forma de auxiliar na identificação de espécies comercializadas ilegalmente, bem como seus subprodutos e permitindo a aplicação efetiva da legislação ambiental (Pérez-Espona, Consortium, 2021; Souza *et al.*, 2024).

Um dos desafios enfrentados na medicina veterinária é a padronização da coleta de materiais biológicos, métodos de conservação e preservação, integração de tecnologias, como a genômica e a bioinformática, segurança desses dados e formas de disponibilização para uso internacional. Além disso, quando comparado com o biobanco humano, os destinados a preservação de materiais de animais sem fins científicos é negligenciado (Lombardo *et al.*, 2015; Groeneveld *et al.*, 2016; Coppola *et al.*, 2019).

Diante disso, a pesquisa objetiva explorar os avanços, desafios da utilização do biobanco na medicina legal veterinária em âmbito nacional, além de potencial aplicação na identificação de espécies, no rastreamento de rotas de tráfico e na elaboração de medidas de proteção e conservação da fauna silvestre.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Biobanco e sua finalidade

Nas últimas décadas, a discussão sobre a utilização dos biobancos em diversas áreas da saúde têm sido crescentes. Por definição, o biobanco é a coleção de material biológico, humanos ou não-humanos, que é armazenadas associados ao banco de informações, em condições favoráveis à sua preservação e conservação por longos períodos de tempo, com a finalidade de aplicação a pesquisas científicas, reprodução e/ou uso clínico. Inicialmente, o termo biobanco foi aplicado a amostras coletadas de humanos, entretanto, ao longo dos anos, tem-se aplicado a qualquer amostra biológica (Hewitt; Watson, 2013).

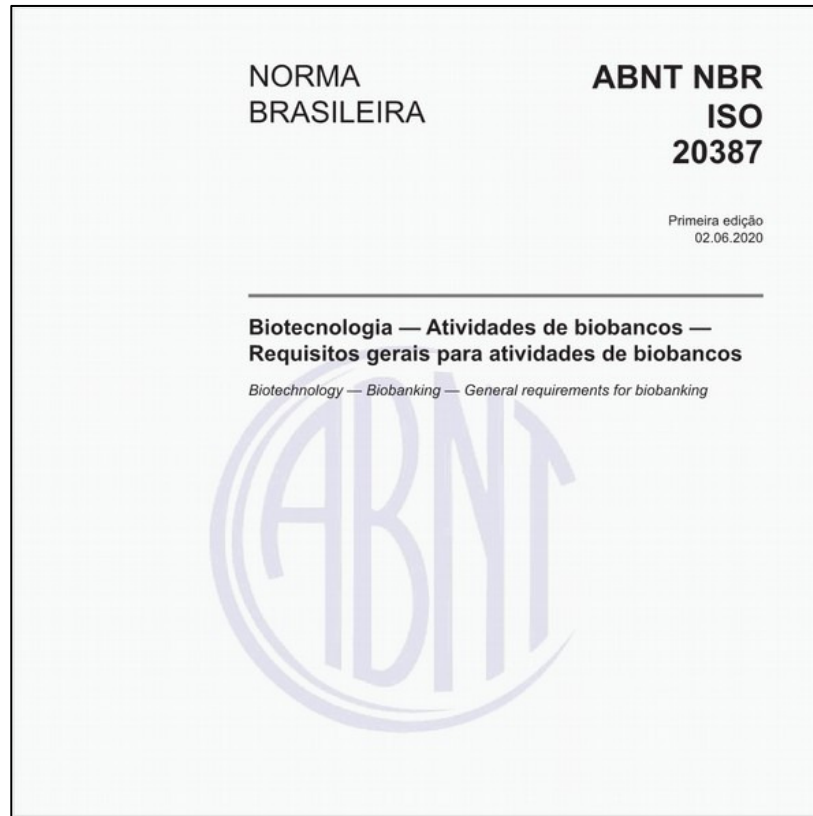
A utilização dos biobancos aumenta a rastreabilidade, autenticidade e a capacidade de aplicabilidade em diversos setores de acordo com o objetivo, promovendo assim a padronização dos serviços, aquisição de material, meios de transporte, processamento, acondicionamento e distribuição dos espécimes e informações (Mouttham *et al.*, 2022; Montoya-Florez *et al.*, 2024).

Existem diferentes tipos de biobancos, variando de acordo com sua finalidade. Há armazenamento de células cancerígenas, células germinativas, DNA/RNA, biofluidos, proteínas e até componentes subcelulares; decorrente da evolução das pesquisas e descobertas no âmbito da saúde. Independente da finalidade e do material biológico armazenado, os dados clínicos devem estar associados à amostra armazenada como parte da rastreabilidade da amostra (Coppola *et al.*, 2019).

Para que o material coletado tenha validade nacional e internacional, é imprescindível que procedimentos operacionais padronizados sejam seguidos, além do registrado do material coletado. A falta de padronização tanto na coleta das amostras quanto na armazenagem, tem prejudicado o avanço das pesquisas clínicas (Coppola *et al.*, 2019).

A nível internacional, há o ISO 20387:2018 (*Biobanking—General requirements for biobanking*), que é considerado referência importante de validação das amostras dos biobancos e a nível nacional há o ABNT NBR ISO 20387:2020 (Biotecnologia — Atividades de biobancos — Requisitos gerais para atividades de biobancos) (Figura 1), a qual utilizada a norma internacional como modelo para uso nacional (Coppola *et al.*, 2019; Blasio; Biunno, 2021; ABNT, 2025).

Figura 1: Internacionalização da norma ISO 20387:2018 para regulamentação dos biobancos em território nacional.



Fonte: ABNT (2025).

Ainda no contexto de obtenção de dados, a modalidade mais recente de biobanco é o formado apenas por imagens, como imagens de tomografia computadorizada (TC), ressonância magnética (MR) e de tomografia por emissão de pósitrons (PET), os quais formam à classe de biomarcadores não invasivos. A utilização dos exames de imagem associado a informação clínica, pode fornecer informações acerca de processos patológicos, fisiológicos bem como resposta a intervenções terapêuticas (Coppola *et al.*, 2019).

Um exemplo de biobanco de imagens é o Projeto de Neuroanatomia e Neuroimagem de Primatas Não Humanos (NHP_NNP), desenvolvido com base em iniciativas consolidadas como o *Human Connectome Project* (HCP) e o *UK Biobank*. Esse projeto visa além da obtenção e análise de imagens do sistema nervoso, investigar a atividade cerebral, permitindo à abordagem comparativa mais abrangente entre humanos e primatas (Hayashi *et al.*, 2021).

Outra variante de biobanco são os denominados *dry biobanks*, os quais utilizam de células desidratadas ou parcialmente desidratadas para manutenção do material genético. De acordo com Saragusty *et al.* (2020), os *dry biobanks* são menos perigosos que o biobanco tradicional,

menos propício a desastres naturais, fácil de manusear e transportar e possuem menor impacto de carbono. Estudos reportam recuperação parcial da motilidade de gametas (espermatozóides), incluindo sucesso em inseminação artificial. Além disso, os gametas reidratados, mesmo que possuam a membrana plasmática danificada, tem potencial para o desenvolvimento embrionário saudável em cobaias (Saragusty *et al.*, 2020).

Além disso, os aspectos bioéticos também devem ser considerados, sobretudo quando os matérias que compõem as bases biológicas são oriundos de humanos. As questões éticas nesse âmbito ainda são objetos de discussão, entretanto, a compensação, comercialização, privacidade, confidencialidade, etnicidade, *status* socioeconômico, aspectos de saúde, implicações familiares e genéticas precisam do consentimento ou permissão (Coppola *et al.*, 2019).

O emprego da inteligência artificial (IA) é realidade e está cada vez presente no cotidiano. Estudo acerca da utilização da IA no biobanco digital tem levantado questões pertinentes, sobretudo quando se trata de avaliação da evolução clínica e protocolo terapêutico. Uma das vantagens da utilização da IA é a avaliação em massa e rápida de dados produzidos, por vezes, correlacionando uns com os outros, aumentando consideravelmente o alcance da medicina de precisão (Frascarelli *et al.*, 2023).

A integração entre a inteligência artificial (IA) e o *machine learning* no uso de biobancos têm se mostrado a ferramenta poderosa, trazendo benefícios significativos para a pesquisa e a prática clínica. Uma das principais vantagens dessa integração é a capacidade de processar grandes volumes de dados de forma rápida e eficiente, algo que seria praticamente impossível de ser realizado por humanos devido à complexidade e à quantidade massiva de informações disponíveis (Frascarelli *et al.*, 2023).

2.2 Biobanco na medicina veterinária

Na medicina, os primeiros registros da utilização de biobanco são de 2004, enquanto na medicina veterinária são de 2006, o qual relacionava-se a biopreservação e biodiversidade, pesquisa de doença infecciosa e genética. Entretanto, com o passar dos anos, o biobanco veem se destacando e se mostrando relevante não somente para as pesquisas médicas, mas também consolidando o seu papel para entendimento das interações entre saúde animal, humano e ambiental (Groeneveld *et al.*, 2016; Castelhana *et al.*, 2018).

Mundialmente, há diversos biobancos de animais, porém a maioria tem como finalidade o suporte a pesquisa humana em estudo comparativo (Tabela 1). Esse fato pode ser observado

nos artigos científicos publicados, simpósios e congressos acerca do tema, onde há prevalência da temática de biobanco humano sobre os biobanco para animais. Contudo, há diversas instituições que desenvolvem projetos de conservação de material biológico com as mais variadas espécies animais, seja para fins de conservação das espécies, manutenção do material genético e até mesmo de patógenos de interesse científico (Groeneveld *et al.*, 2016).

Além disso, há estudos que tem avaliado a aplicabilidade de biobanco virtual para amostras animais, vinculando as informações obtidas com indicadores de vigilância epidemiológica, identificação e sequenciamento dos agentes infecciosos obtidos. Tais informações podem ser usadas para monitoramento dos patógenos incluindo futuras modificações em termos genéticos ou padrões de infecção nos animais (Smith *et al.*, 2021).

Tabela 1: Biobancos veterinários distribuídos mundialmente.

Biobanco	Material biológico	Espécie	País	Objetivo
Cornell Veterinary Biobank (https://www.vet.cornell.edu/)	Sangue e tecidos	Multi espécie	EUA	Pesquisa em saúde animal e humana
Istituto Zooprofilattico Sperimentale delle Venezie (IZSve) (https://www.izsvenezie.com/)	-	Multi espécie	Itália	Pesquisa em saúde animal, segurança alimentar, zoonoses e área forense
Mars PET CARE Biobank (https://marspetcarebiobank.com)	-	Caninos e felinos	EUA	Pesquisa em saúde animal (caninos e felinos)
VetBiobank (https://www.vetbiobank.com/en/0)	Tecidos tumorais	Multi espécie	Áustria	Bioterapias para melhorar qualidade de vida de animais
Flint Animal Cancer Centre Biorepository (https://www.csuanimalcancercenter.org/)	Tecidos, fluidos	Multi espécie	EUA	Pesquisas em oncologia veterinária
Frozen Zoo – San Diego Zoo Wildlife (https://science.sandiegozoo.org/)	Tecidos	Multiespécies	EUA	Prevenção de extinção de animais
Revive & Restore (https://reviverestore.org)	Tecidos	Multiespécies	EUA	Recuperação genética de espécies ameaçadas
RVC Cancer biobank (https://www.rvc.ac.uk/)	Tecidos tumorais	Caninos e felinos	EUA	Pesquisas em oncologia comparada
CryoArks (https://www.cryoarks.org/about/)	Material genético	Multi espécies	Reino Unido	Pesquisas genéticas e genômicas
RZSS Wild genes Biobank (https://www.rzss.org.uk/)	Material genético	Animais silvestres	Reino Unido	Recuperação genética de espécies ameaçadas
ICCI Veterinary Cancer Biobank (https://icci.uoguelph.ca/)	Tecidos tumorais	Caninos e felinos	Canadá	Pesquisas em oncologia comparada
Veterinary Wildlife Service Biobank (https://www.sanparks.org/)	Tecidos, fluidos	Animais silvestres	África do Sul	Suporte a pesquisas
BPRC's Biobank (https://bprc.nl/en/)	Células e tecidos	Primatas não humanos	Holanda	Pesquisas

Nature's Safe (https://www.natures-safe.com)	Células e tecidos	Animais silvestres	Reino Unido	Recuperação genética de espécies ameaçadas
EAZA Biobank (https://www.eaza.net/biobank/)	Tecidos	Animais silvestres	Holanda	Recuperação genética de espécies ameaçadas
OCR vet (https://www.ocrvet.com)	Tecidos	Caninos e felinos	França	Pesquisa em saúde animal (caninos e felinos)
FISH -BOL (https://ibol.org/p)	Material genético	Peixes	Canadá	Pesquisas/Identificação de espécies animais

Fonte: O autor (2025).

No âmbito animal, um dos biobancos que se destaca devido o pioneirismo é o de suínos, o qual foi criado para o estudo da diabetes em humanos. A espécie suína é muito semelhante a espécie humana, por isso, destaca-se o interesse pela criação desse biobanco. Além disso, os bancos com material genético de caninos domésticos também se desenvolveram para o estudo de desordens complexas envolvendo os humanos. Os cães se revelaram como excelentes modelos para o mapeamento de genes relacionados a essas enfermidades (Abbott, 2015; Groeneveld *et al.*, 2016).

Outro campo dentro da medicina veterinária é o relacionado a reprodução animal, no qual iniciou-se com adoção de técnicas de reprodução animal a partir do armazenamento de embriões e sêmen de animais de alta performance. Inicialmente, essa tecnologia foi empregada para vacas leiteiras, com o objetivo de aumento do rendimento de leite e perpetuação do material genético de animais de alta performance, entretanto, hoje, aplica-se tanto para produção leiteira quanto produção de carne (Groeneveld *et al.*, 2016).

A técnica de conservação não é nova, porém, a integração entre a ideia de fazer o biobanco a partir de amostras congeladas veio anos depois. Inicialmente como o uso de material oriundo de espécies de mamíferos e posterior se ampliando para outras categorias animais (Comizzoli, 2015). Essa ampliação refletiu a crescente preocupação com a preservação genética de diferentes grupos taxonômicos, especialmente diante do aumento das ameaças à biodiversidade global.

Assim como o biobanco humano, os procedimentos operacionais padronizados e aspectos éticos e regulatórios precisam ser atingidos, sendo importante que o desenvolvimento no âmbito animais se dê paralelamente ao de humanos. Zoológicos, instituições de ensino, fazendas, institutos de pesquisa e hospitais veterinários que atuam como biobanco, devem desenvolver regulamentos afim de padronização de técnicas, armazenamento e compartilhamentos dessas informações (Groeneveld *et al.*, 2016; Coppola *et al.*, 2019).

Para pequenos animais, estudos avaliando a perspectivas, preocupações e motivos de responsáveis por estes animais no que diz respeito aos biobancos têm sido conduzidas. Na sua maioria, os tutores ou responsáveis pelos animais permitiriam o uso de amostras residuais de materiais já coletados ou estariam dispostos a fornecer materiais extras para estudos médicos (McEnhill *et al.*, 2024).

Assim, devido seu importante papel no âmbito de pesquisa e compartilhamento de informações coletadas, é importante que a norma regulamentadora internacional para biobancos seja seguida rigorosamente, contemplando desde a infra-estrutura até o acesso a essas informações. O inventário, as informações e gerenciamento das amostras, os controles de qualidade e segurança além da capacitação e gerenciamento de pessoal também compõem o biobanco (Lombardo *et al.*, 2015)

2.2.1 Aplicabilidade na medicina legal veterinária e no combate ao tráfico de animal silvestre

O papel do médico veterinário nas questões legais envolvendo animais silvestres é amplo, sendo parte de uma equipe multidisciplinar, envolvendo agências governamentais fiscalizadoras, legislação criminal e civil, análises forenses, dentre outros. Os animais silvestres podem ser vítimas ou a causa do tráfico que, frequentemente, está relacionado a tráfico de drogas, armas, desvios fiscais e outros crimes financeiros (Souza *et al.*, 2024; Mores *et al.*, 2025).

O mercado do tráfico de animais silvestres e subprodutos é uma rede criminoso mundialmente reconhecida e combatida. A preocupação crescente com a extinção de espécies, o impacto ambiental resultante do desequilíbrio ecológico e o risco de disseminação de agentes infecciosos emergentes e reemergentes intensifica a necessidade de medidas preventivas e ostensivas. Nesse contexto, o uso de tecnologias avançadas e estratégias de conservação a médio e longo prazo, como a criação e manutenção de biobancos para fins forenses e conservacionistas é essencial (Pérez-Espona, Consortium, 2021).

Os dados referentes ao número de animais ilegalmente comercializadas a nível mundial é subestimado, sendo boa parte devido a identificação inadequada das espécies ou ausência de identificação por falta de dados comparativos confiáveis, aspectos regionais e baixa colaboração das agências de combate ao tráfico. A literatura reporta que cerca de 70% dos casos de tráfico de animais silvestres não são contabilizados devido identificação inadequada das espécies ou de subprodutos (Gouda *et al.*, 2020; Pérez-Espona, Consortium, 2021).

A respeito do tráfico de animais silvestres, os subprodutos representam expressiva parcela dos itens ilegalmente comercializados, variando desde a *carne* ou segmentos de animais, ossos, itens decorativos, itens com finalidade medicinal ou religiosa. Para ovos, membros, dentes e alguns ossos, penas e pelos, há técnicas bem definidas para identificação das espécies, entretanto, outros subprodutos ainda representam desafio técnico e científico para os profissionais, em especial os peritos (Gouda *et al.*, 2020).

A prática contribui significativamente para o declínio de espécies animais podendo resultar na extinção e consequente desequilíbrio ambiental a longo prazo. Visto que o material genético desaparece, é praticamente impossível sua recuperação e manutenção no ambiente. Nesse cenário, a implementação de biobancos forenses veterinários surgem como a ferramenta essencial não apenas para a conservação de espécies ameaçadas de extinção, mas também para auxiliar na investigação criminal (Comizzoli, 2017; Strand *et al.*, 2020).

O acervo de biobanco em associação com laboratórios de pesquisa, laboratórios forenses, a Convenção sobre Comércio Internacional das Espécies da Flora e Fauna Selvagens em Perigo de Extinção (CITES) e autoridades policiais, são fundamentais para a redução do comércio ilegal de animal silvestre (Harper, 2023).

O tráfico de animal silvestre também resulta em preocupação com a saúde pública, isto é, a transnacionalidade com as doenças emergentes, reemergentes e aquelas que nunca saíram de foco, ou seja, agentes infecciosos potencialmente zoonóticos, visto que muitos desses agentes permanecem no ambiente silvestre e quando há baixa resistência nos humanos, podem infectá-los (Pérez-Espona, Consortium, 2021), inclusive COVID-19.

O enfrentamento ao tráfico exige abordagem integrada e multidisciplinar, envolvendo os governos, indústrias, zoológicos e organizações locais e internacionais. O emprego de técnicas moleculares para identificação animal já é empregado em diversos níveis tanto nacional como internacional. Dessa forma, o biobanco surge como a proposta de potencializar e fortalecer o emprego das técnicas moleculares, sobretudo quando o acesso as informações estão disponíveis em escala global (Hogg *et al.*, 2017).

A criopreservação (preservação em nitrogênio líquido) já tem sido empregada para a conservação de espécies de anfíbios, corais e mamíferos sobretudo as pertencentes ao grupo de pouco preocupante segundo a União Internacional para a Conservação da Natureza – IUCN. Para a utilização em animais ameaçados de extinção, os padrões devem ser elaborados incluindo protocolos não-letais e mais precisos, visando a otimização do material biológico coletado (Comizzoli, 2015; Strand *et al.*, 2020, Holt, 2023).

Outro meio de aquisição de material genético para compor as bases de dados são os animais que veem a óbito nas rodovias brasileiras. Os avanços humanos via construções de rodovias para conexão entre os grandes centros e os interiores tem importante impacto na biodiversidade, sobretudo em relação a movimentação dos animais, podendo resultar em isolamento de populações inteiras bem como, redução da biodiversidade inclusive com extinção de espécies (Coba-Males *et al.*, 2023).

Os materiais coletados de animais atropelados são obtidos de maneira não invasiva e podem fornecer, além do DNA e da identificação animal, informações importantes acerca de agentes infecciosos circulantes no meio ambiente, genealogia, taxonomia e distribuição geográfica de espécies (Coba-Males *et al.*, 2023; Montoya-Florez *et al.*, 2024).

No Brasil, a Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, campus de Botucatu, foi a pioneira na implementação do banco de tecidos exclusivamente oriundo de animais, contando em torno de 50 amostras, sendo seu funcionamento experimental. No entanto, a criação desse biobanco será essencial para as pesquisas vigentes e futuras, de modo a permitir a utilização de amostras tumorais em condições ideais de conservação e qualidade, compartilhamento dessas informações e, o mais importante, seguindo o protocolo dos grandes centros de pesquisa humano (Banco de Tecidos Animais, 2024) (Figura 2).

Esse biobanco exclusivamente animal possibilitará não somente o estudo de neoplasias em animais, como também poderá ser utilizado para armazenamento e estudo de diferentes tecidos de animais silvestres, tanto do período atual quanto no futuro, com o desenvolvimento de testes avançados e/ou descobrimento de novos agentes infecciosos e doenças (Banco de Tecidos Animais, 2024).

Figura 2: Banco de tecidos animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Unesp, campus Botucatu.



Fonte: Banco de Tecidos Animais (2024).

2.2.2 Biobanco como ferramenta de conservação, preservação e restauração de população de animal

Com o avanço e crescimento da sociedade ao longo dos anos associado a industrialização e uso indiscriminado do meio ambiente e seus recursos, a preocupação com a preservação, conservação e restauração têm sido a pauta de encontros com foco na biodiversidade (Costa *et al.*, 2018).

O homem tem sido responsável por maiores perdas da biodiversidade, levando a extinção de, aproximadamente, 14% de espécies de anfíbios, 26% de mamíferos e 14% de aves. Estima-se que o impacto esteja entre 1000 e 10.000 vezes a taxa do impacto causado por fenômeno natural (Bolton *et al.*, 2022).

Apesar de serem usados como sinônimos, a preservação e conservação possuem definições diferentes, porém complementares. Entende-se por preservação a manutenção da natureza com todas as suas espécies, biomas e ecossistemas sem nenhuma interferência

humana; enquanto a conservação é a proteção desses ecossistemas, com interferência do homem, visando a perpetuação do mesmo para gerações futuras (Costa *et al.*, 2018).

A conservação pode ser *in situ* ou *ex situ*. No primeiro caso, ocorre quando as técnicas de conservação são aplicadas no local onde está o material genético, recursos associados e toda biodiversidade, tanto animal quanto vegetal. Na conservação *ex situ*, a manutenção é realizada em local artificial mimetizando condições de ambiente natural, como bancos de germoplasma e coleções de microrganismos (Silva *et al.*, 2015; Burle, Ferreira, 2022).

A longo e médio prazo, é possível que o emprego de tecnologias de reprodução assistida (TRA's) sejam indispensáveis para a conservação de espécies, sobretudo em pequena população. Dessa forma, tais tecnologias podem ajudar a prevenir espécies de entrarem em extinção. Recentemente, a tecnologia de reprodução assistida tem sido a chave para restauração da biodiversidade, por meio da utilização de células pluripotentes e da transferência de células somáticas (Bolton *et al.*, 2022; Huijsman *et al.*, 2023).

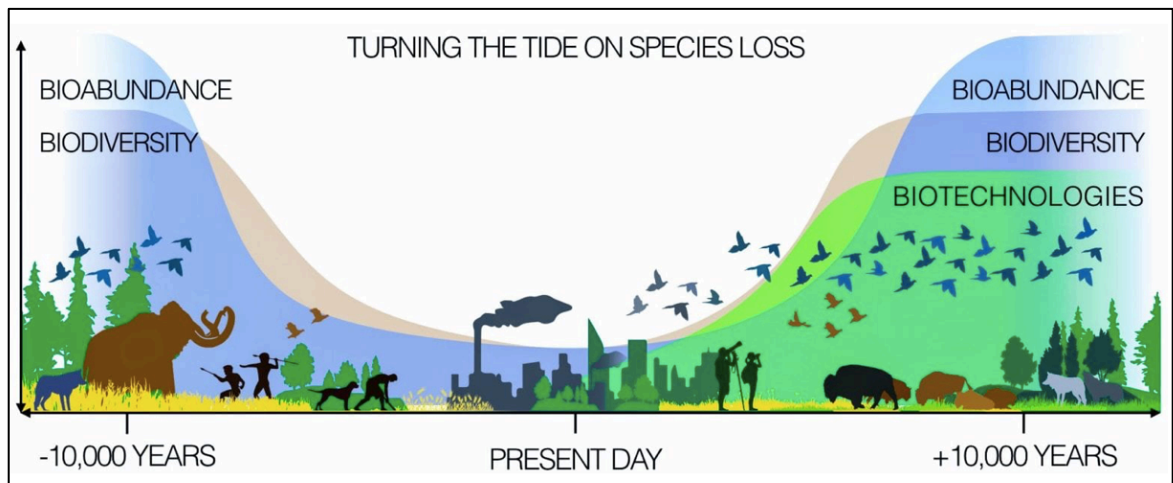
Atualmente, existem biobanco de conservação animal bem estabelecido. Como programas destinados a reprodução de pandas gigantes e programas destinados a recuperação do furão-do-pé-preto. Tais programas utilizam sêmen congelados e as tecnologias de reprodução assistida para manutenção das espécies. Além disso, zoológicos têm programas de proteção de material genético de diversas espécies animais (Holt, 2023).

O biobanco possui papel de destaque no âmbito da conservação das espécies, principalmente as ameaçadas de extinção, pela manutenção das amostras biológicas desses animais, seja por meio do DNA, amostras teciduais, sangue, medula óssea, embriões, óvulos e demais subprodutos. Os programas de reprodução *ex situ* são os grandes responsáveis pela preservação de espécies ameaçadas, garantindo a manutenção da população em tamanho suficiente para manter a diversidade genética e permitir pesquisas relacionadas a fisiologia e comportamento (Bolton *et al.*, 2022; Cruz *et al.*, 2022).

O *Nature's Safe* é um exemplo de biobanco europeu dedicado a preservação de material biológico vivo de espécies ameaçadas de extinção, tais como células somáticas (não reprodutivas), gametas (reprodutivas) de maneira que possam ser utilizadas para regeneração dessas espécies no futuro (Nature's Safe, 2024).

Outro exemplo de biobanco é o *Revive & Restore*, criado em 2012, voltado para a conservação de animais silvestres e com o objetivo de reconstruir a biodiversidade e a bioabundância para as gerações futuras, com o emprego de biotecnologias (Figura 3) (Revive & Restore, 2024).

Figura 3: O biobanco *Revive & Restore*: promover a reconstrução da biodiversidade com a utilização de biotecnologias para o longo prazo.



Fonte: Revive & Restore (2024).

Com a crescente ameaça aos animais silvestres, a aplicação das tecnologias artificiais de reprodução animal é cada vez mais visada e implementada, visto que tais tecnologias permitem a utilização e troca de material genético de animais sem a necessidade do acasalamento natural e até mesmo sem a necessidade de movimentação dos animais (Huijismans *et al.*, 2023).

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão sistemática sobre biobancos destacando a evolução dentro da medicina legal veterinária, com foco na sua aplicabilidade no combate ao tráfico de animais silvestres.

3.2 Objetivo específico

- Realizar uma revisão sistemática sobre biobancos na medicina legal veterinária;
- Avaliar a evolução do uso dos biobancos dentro da medicina legal veterinária;
- Destacar suas aplicabilidades para o estudo de animais silvestres;
- Relacionar a importância da criação de biobancos a longo prazo com o tráfico de animais silvestres;
- Propor medidas de implementação de biobancos no âmbito do tráfico de animais silvestres.

4. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA¹

ABBOTT, A. An inside look at the first pig biobank. **Nature**, v. 519, p.397–398, 2015.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 20387**: biotecnologia: atividades de biobancos: requisitos gerais para atividades de biobancos. Rio de Janeiro: ABNT, 2025 Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/12768/abnt-nbriso20387-biotecnologia-atividades-de-biobancos-requisitos-gerais-para-atividades-de-biobancos>. Acesso em: 07 jan. 2025.

BANCO DE TECIDOS ANIMAIS, CLÍNICA VETERINÁRIA. Site da UNESP, 2024. **Implantação de banco de tecido de animais**. Disponível em: <https://www.fmvz.unesp.br/#!/ensino/departamentos/departamento-de-clinica-veterinaria/servicos/banco-de-tecido-de-animais/>. Acesso em: 23 março. 2024.

BLASIO, P.; BIUNNO, I. New challenges for biobanks: accreditation to the new ISO 20387: 2018 standard specific for biobanks. **BioTech**, v. 10, n. 3, p. 13, 2021.

BOLTON, R. L.; MOONEY, A.; PETTIT, M. T.; BOLTON, A. E.; MORGAN, L.; DRAKE, G. J.; APPELTANT, R.; WALKER, S. L.; GILLIS, J. D.; HVILSOM, C. Resurrecting biodiversity: advanced assisted reproductive technologies and biobanking. **Reproduction and Fertility**, v. 3, n. 3, p. 121-46, 2022.

BURLE, M.L.; FERREIRA, M. Nem só ex situ, nem só in situ/on farm: por uma conservação integrada da agrobiodiversidade, **Revista RG News**, v. 8, n. 1, 2022.

CASTELHANO, M. G.; CREEVY, K. E.; MULLINS, P. F. How veterinary biobanking provides opportunities to accelerate research. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 253, n. 10, p. 1243-4, 2018.

COBA-MALES, M.A.; MEDRANO-VIZCAÍNO, P.; ENRÍQUEZ, S.; BRITO-ZAPATA, D., MARTIN-SOLANO, S., OCAÑA-MAYORGA, S., CARRILLO-BILBAO, G.A.; NARVÁEZ W.; SALAS, J.A.; ARRIVILLAGA-HENRÍQUEZ, J.; GONZÁLEZ-SUÁREZ, M. From roads to biobanks: Roadkill animals as a valuable source of genetic data. **Plos One**, v. 18, n. 12, 2023.

¹ NBR 10520-2023 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

COMIZZOLI, P. Biobanking and fertility preservation for rare and endangered species. **Animal Reproduction**, v. 14, n. 1, p. 30-33, 2017.

COMIZZOLI, P. Biobanking efforts and new advances in male fertility preservation for rare and endangered species. **Asian Journal of Andrology**, v. 17, 2015.

COPPOLA, L.; CIANFLONE, A.; GRIMALDI, A.M.; INCORONATO, M.; BEVILACQUA, P.; MESSINA, F.; BASELICE, S.; SORICELLI, A.; MIRABELLI, P.; SALVATORE, M. Biobanking in health care: evolution and future directions. **Journal of translational medicine**, v. 17, p. 1-8, 2019.

COSTA, J.S.; OLIVEIRA, A.L.; SANTOS, N.T. Preservação e Conservação Ambiental: significando a proteção do meio ambiente. **RELACult-Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade**, v. 4, n. 963, 2018.

CRUZ, R.E.; SILVA OLIVEIRA, H.G.; SALVARANI, F.M. Biobancos de animais selvagens: revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, 2022.

FRASCARELLI, C.; BONIZZI, G.; MUSICO, C.R.; MANE, E.; CASSI C, GUERINI ROCCO E, FARINA A, SCARPA A, LAWLOR R, REGGIANI BONETTI L, CARAMASCHI S. Revolutionizing cancer research: the impact of artificial intelligence in digital biobanking. **Journal of Personalized Medicine**, v. 13, n. 9, 2023.

GOUDA, S.; KERRY, R.G.; DAS, A.; CHAUHAN, N.S. Wildlife forensics: A boon for species identification and conservation implications. **Forensic Science International**, v. 317, 2020.

GROENEVELD, L.F.; GREGUSSON, S.; GULDBRANDTSEN, B.; HIEMSTRA, S.J.; HVEEM, K.; KANTANEN, J.; LOHI, H.; STROEMSTEDT, L.; BERG, P. Domesticated animal biobanking: land of opportunity. **PLoS biology**, v. 14, n. 7 2016.

HARPER, C.K. Poaching forensics: animal victims in the courtroom. Annual Review of **Animal Biosciences**, v. 11, n. 1, p.269-86, 2023.

HAYASHI, T., HOU, Y., GLASSER, M.F., AUTIO, J.A., KNOBLAUCH, K., INOUE-MURAYAMA, M., COALSON, T., YACOUB, E., SMITH, S., KENNEDY, H., VAN ESSEN, D. C. The nonhuman primate neuroimaging and neuroanatomy project. **Neuroimage**, v. 1, n. 229, 2021.

HEWITT, R.; WATSON, P. Defining biobank. **Biopreservation and biobanking**, v. 11, n. 5, p. 309-315, 2013.

HOGG, C.J.; DENNISON, S.; FRANKHAM, G.J.; HINDS, M.; JOHNSON, R.N. Stopping the spin cycle: genetics and bio-banking as a tool for addressing the laundering of illegally caught wildlife as 'captive-bred'. **Conservation Genetics Resources.**, v. 10, p.237-46, 2018.

HOLT, W.V. Biobanks, offspring fitness and the influence of developmental plasticity in conservation biology. **Animal Reproduction**, v. 20, n. 2, 2023.

HUIJSMANS, T.E.; HASSAN, H.A.; SMITS, K.; VAN SOOM, A. Postmortem collection of gametes for the conservation of endangered mammals: a review of the current state-of-the-art. **Animals**, v. 13, n. 8, 2023.

IUCN - INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES. Amphibians Survival Alliance. Disponível em: <https://www.iucn-amphibians.org>. Acesso em: 11 fev. 2025.

LOMBARDO, T.; DOTTI, S.; VILLA, R.; CINOTTI, S.; FERRARI, M. Veterinary biobank facility: development and management for diagnostic and research purposes. **Veterinary Infection Biology: Molecular Diagnostics and High-Throughput Strategies**, v. 1247, p. 43-60, 2015.

MCENHILL, R.; BORGHESE, H., MOORE, S. A. Pet owner perspectives, motivators and concerns about veterinary biobanking. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 20, n. 11, 2024.

MONTOYA-FLOREZ, L. M.; MISSEN-TREMORI, T.; ROCHA, N. S. Veterinary disease-oriented Biobanking for biomolecular analysis based on frozen tumor biopsies, cell culture and forensic tissues. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 44, 2024.

MORES, C. M.; CASTRO, M. B.; MELO, C. B. Forensic examinations in the investigations of crimes involving animals: a review. **Ciência Rural**, v. 55, n. 3, 2025.

MOUTTHAM, L.; CASTELHANO, M. G. Purpose, Partnership, and Possibilities: The Implementation of the Dog Aging Project Biobank. **Biomarker Insights**, v. 17, 2022.

NATURE'S SAFE. Site da Nature's Safe, 2024. **The Charity Living Biobank**. Disponível em: <https://www.natures-safe.com>. Acesso em: 05 mar. 2024.

PÉREZ-ESPONA, S.; CRYOARKS, C. Conservation-focused biobanks: a valuable resource for wildlife DNA forensics. **Forensic Science International: Animals and Environments**, v.1, 2021.

REVIVE & RESTORE. Site da Revive & Restore, 2024. **What we do? Enhance biodiversity through the genetic rescue of endangered and extinct species**. Disponível em: <https://reviverestore.org/what-we-do/>. Acesso em: 05 ago. 2024.

SARAGUSTY, J.; ANZALONE, D.A.; PALAZZESE, L.; ARAV, A.; PATRIZIO, P.; GOSÁLVEZ, J.; LOI, P. Dry biobanking as a conservation tool in the Anthropocene. **Theriogenology**, v. 150, p. 130-8, 2020.

SERGI, C. M. Biorepository—A key component of research studies. **Contemporary Clinical Trials**, v. 112, 2022.

SILVA, A.R.; PEREIRA, A.F.; COMIZZOLI, P. Biobanking and use of gonadal tissues—a promising strategy for conserving wildlife from the Caatinga biome. **Animal Reproduction**, v. 19, n. 4, 2022.

SMITH, S.L.; AFONSO, M.M.; ROBERTS, L.; NOBLE, P.J.; PINCHBECK, G.L.; RADFORD, A.D. A virtual biobank for companion animals: A parvovirus pilot study. **Veterinary Record**, v.189, n. 6, 2021.

SOUZA, N. F.; MOURA, F. B. C.; OLIVEIRA, R. A.; ROCHA, N. S. Wildlife trafficking in North and Southeast of Brazil: 5 years of study. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 9, p. 1412–1422, 2024.

STRAND, J.; THOMSEN, H.; JENSEN, J. B.; MARCUSSEN, C.; NICOLAJSSEN, T.B.; SKRIVER, M.B.; SØGAARD, I.M.; EZAZ, T.; PURUP, S.; CALLESEN, H.; PERTOLDI, C. Biobanking in amphibian and reptilian conservation and management: opportunities and challenges. **Conservation Genetics Resources**, v. 12, p. 709-25, 2020.

CAPÍTULO 2

TRABALHO CIENTÍFICO

Trabalho a ser enviado para a revista *VetRecords*

Biobanks: Challenges and Advances in Veterinary Forensic Medicine with Potential Application in Combating Wildlife Trafficking.

Natália Freitas de Souza^{1*};

Noeme Sousa Rocha¹

¹School of Veterinary Medicine and Animal Science (FMVZ), São Paulo State University (UNESP), Botucatu, SP, Brazil.

***Corresponding Author:**

Natália Freitas de Souza, School of Veterinary Medicine and Animal Science (FMVZ), São Paulo State University (UNESP), Botucatu, SP, Brazil. Street Prof. Doutor Walter Mauricio Correa s/n, 18618-681, Botucatu, SP, Brazil. E-mail: natalia.f.souza@unesp.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5949-4987>

Biobanks: Challenges and Advances in Veterinary Forensic Medicine with Potential Application in Combating Wildlife Trafficking

Natália Freitas de Souza^{1*}; Noeme Sousa Rocha¹

¹School of Veterinary Medicine and Animal Science (FMVZ), São Paulo State University (UNESP), Botucatu, SP, Brazil.

Abstract

Biobanks are organized collections of biological materials, either human or non-human, linked to databases containing associated information, intended for scientific research, reproduction, and/or clinical use. In veterinary medicine, animal biobanks have various purposes, including scientific research, forensic investigations, support for species conservation, preservation of genetic material, and application in education and teaching. This study aimed to analyse the advances and challenges of biobanks in veterinary forensic medicine, with an emphasis on their application in combating wildlife trafficking. A literature review was conducted on the evolution of biobanks in this context from 2013 to 2023. Between 2013 and 2014, studies were scarce and focused on comparative research with human models. From 2015, there was significant progress, encompassing the preservation of endangered species and forensic applications, with a focus on animal identification and the geographic tracking of species. In Brazil, regional research has advanced, with considerable achievements in the identification of fishery by-products, conservation of gonads, somatic cells, and tissues from different species, establishing biobanks as essential tools to be use against wildlife trafficking, particularly in regions with high biodiversity. Despite these advancements, limitations are evident, such as the lack of standardized sample collection methods, absence of reference models, and general unawareness of the existence of these biobanks. However, the potential for expansion and application of biobanks in routine monitoring of the illegal wildlife trade is promising, especially with the enhancement of ongoing research.

Index Terms: conservation; forensic; wildlife; identification; illegal trafficking.

Introduction

In recent decades, biobanks and biorepositories have played an important role in advancing medical research for both humans and animals, marking a significant milestone at the beginning of the precision medicine era. The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) defines a biobank as an organized collection of biological material, generally intended for scientific and academic research, associated with information databases, and operating under strict protocols. Initially, the term "biobank" referred to samples collected from humans; however, over the years, it has been applied to any type of biological sample, both human and non-human (Hewitt; Watson, 2013; Coppola *et al.*, 2019; Sergi, 2022).

There are different types of biobanks, varying according to their purpose. It may store cancer cells, germ cells, DNA/RNA, biofluids, proteins, and even subcellular components—reflecting the evolution of research and discoveries in the field of health sciences. Regardless of their specific purpose or the type of biological material stored, clinical data must be associated with the stored sample as an essential component of sample traceability (Coppola *et al.*, 2019).

In order for collected biological material to have national and international validity, it is essential that standardized operating procedures are strictly followed and properly documented alongside the collected material (Coppola *et al.*, 2019). At the international level, ISO 20387:2018 (Biobanking—General Requirements for Biobanking) serves as a key reference for the validation of biobank samples. Nationally, Brazil has adopted ABNT NBR ISO 20387:2020 (Biotechnology—Biobanking Activities—General Requirements for Biobanking Activities), which is based on the international standard and adapted for national application (Coppola *et al.*, 2019; Blasio; Biunno, 2021; ABNT, 2025).

In veterinary medicine, the first biobanks date back to 2006 and were primarily associated with biopreservation, conservation, biodiversity, infectious diseases, and genetics. However, over the years, biobanking has gained prominence and demonstrated its relevance not only to biomedical research but also in consolidating its role in understanding the interconnections among animal, human, and environmental health (Groeneveld *et al.*, 2016; Castelhana *et al.*, 2018).

Worldwide, there are several animal biobanks; but most are primarily intended to support human research through comparative studies. Nonetheless, various institutions develop projects aimed at conserving biological material from a wide range of animal species, whether for

species conservation, preservation of genetic material or even pathogens of scientific interest (Groeneveld *et al.*, 2016).

Biobanks play a prominent role in species conservation, particularly for endangered animals, by preserving biological samples such as DNA, tissue samples, blood, bone marrow, embryos and oocytes. Ex situ reproduction programs are chiefly responsible for the preservation of threatened species, ensuring the maintenance of sufficiently large populations to maintain genetic diversity and facilitate research related to physiology and behaviour (Bolton *et al.*, 2022; Cruz *et al.*, 2022).

Furthermore, studies have evaluated the applicability of virtual biobanks for animal samples, connecting the obtained information with epidemiological surveillance indicators, as well as identification and sequencing of infectious agents. This data can be utilized for pathogen monitoring (Smith *et al.*, 2021).

Similar to human biobanks, standardized operating procedures and ethical and regulatory aspects must be met, making it essential that developments in the veterinary field progress in parallel with those in human medicine. Zoos, educational institutions, farms, research institutes, and veterinary hospitals working as biobanks should develop regulations aimed at standardizing techniques, storage, and data sharing (Groeneveld *et al.*, 2016; Coppola *et al.*, 2019).

The role of the veterinarian in legal matters involving wildlife is broad, involving participation in a collaborative and integrated network that includes regulatory government agencies, criminal and civil legislation, and forensic analyses. Wildlife can be both victims and sources of trafficking, which is often linked to drug trafficking, arms, tax evasion, and other financial crimes (Souza *et al.*, 2024; Mores *et al.*, 2025).

The wildlife trafficking market and its by-products constitute a globally recognized and combated criminal network. The growing concern over species extinction, the environmental impact resulting from ecological imbalance, and the risk of emerging and re-emerging infectious agents intensify the need for preventive and enforcement measures. In this context, the use of advanced technologies and medium and long-term conservation strategies, such as the creation and maintenance of biobanks for forensic and conservation purposes, is paramount (Pérez-Espona, Consortium, 2021).

Data on the number of illegally traded animals worldwide is underestimated, largely due to inadequate species identification or lack of identification caused by the absence of reliable comparative information. The literature reports that approximately 70% of wildlife trafficking

cases go unrecorded due to improper identification of species or their by-products (Gouda *et al.*, 2020; Pérez-Espona, Consortium, 2021).

Therefore, this paper aims to explore the advances and challenges of biobank utilization in veterinary forensic medicine as well as its potential applications in species identification, trafficking route mapping, and the development of wildlife protection and conservation measures.

Material and methods

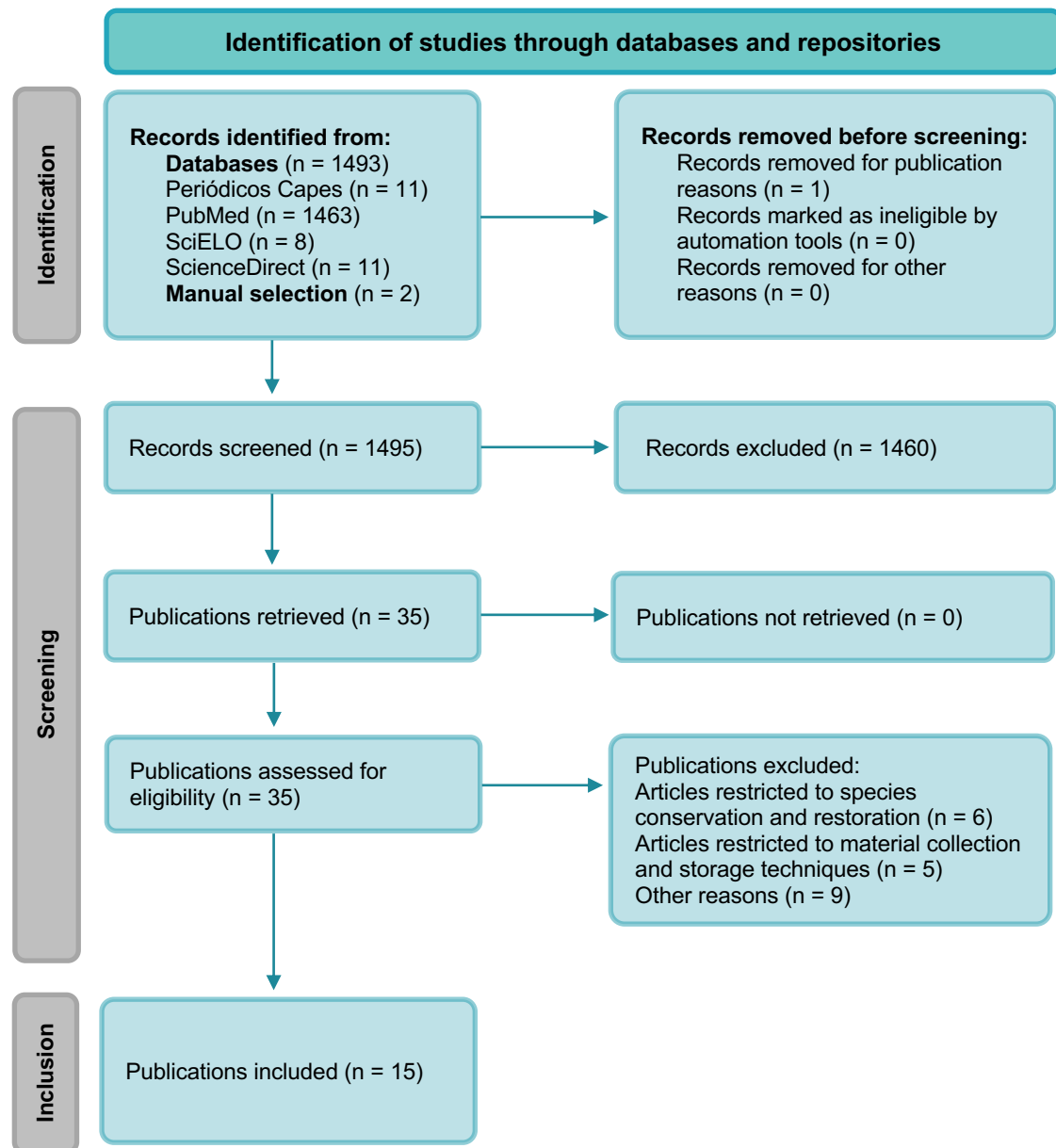
Manuscript selection

This paper was conducted using a descriptive and retrospective approach, encompassing scientific articles related to the use of biobanks in veterinary forensic medicine, particularly involving wildlife.

For the research design, the adapted PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) methodology was used (Figure 1). The paper selection covered a ten-year period from 2013 to 2023, including scientific articles published in both English and Portuguese. Searches were conducted across the following digital databases: Periódicos Capes, PubMed, SciELO, and ScienceDirect.

The boolean operator (AND) was applied to combine the keywords used in the search, and quotation marks (“ ”) were employed to refine the results. The keywords used included: "animal biobank," "animal biorepository," "wildlife forensic," "wildlife trafficking," "forensic veterinary" in English; and "biobanco animal," "biorrepositório animal," "tráfico de animais silvestres," "medicina veterinária forense," and "medicina legal veterinária" in Portuguese. The terms “animal biobank,” “animal biorepository,” “biobanco animal,” and “biorrepositório animal,” along with their variations, were used both individually and combined in pairs with the other aforementioned terms in their respective languages, together with the boolean operator, to obtain the most targeted articles.

Figure 1: Adapted model of the PRISMA 2020 flowchart (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) for systematic reviews, illustrating the stages of article identification, screening, and inclusion.



Source: The author (2025).

Inclusion criteria

The inclusion criteria for manuscripts used in this research were: publications in English or Portuguese; articles published online; solid, relevant, and evidence-based results; and a focused approach on biobanks in veterinary forensic medicine and wildlife. Duplicated articles,

incomplete papers, simple abstracts, extended abstracts, posters, book chapters, or those restricted to species conservation and restoration were not included.

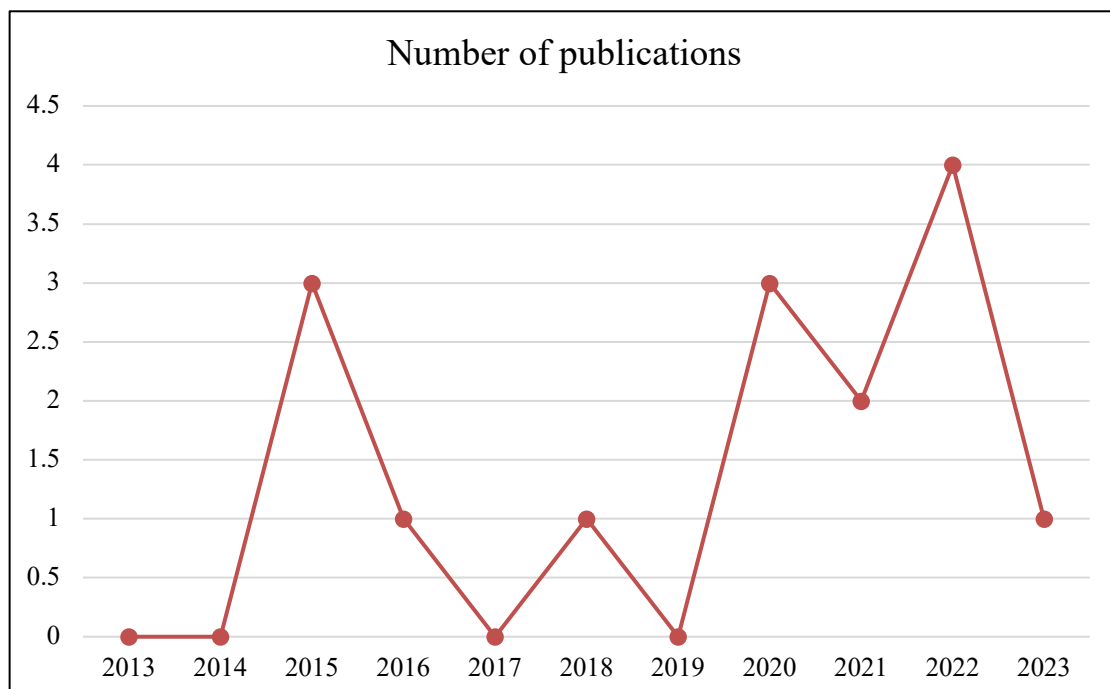
Additionally, using the retrieved articles, a manual search was conducted based on their bibliographic references to ensure all relevant articles were included in the research. Furthermore, the limitations and perspectives regarding the topic were highlighted based on the reading of these articles.

The first step in article selection involved reading the title, followed by the abstract to determine scientific relevance for inclusion. Second, it was assessed whether the article clearly and evidently correlated with the research terms used. Selected articles were then read in full, with key aspects highlighted, including the type of biobank used, purposes, materials, species involved, limitations, and future perspectives.

Results and discussion

Based on the selection criteria applied in this study, no related articles were retrieved from the years 2013 and 2014. However, between 2015 and 2023, a total of 15 articles were recovered. From 2015 onwards, there was a refinement in publications related to the topic, with three articles retrieved in 2015, one in 2016 and 2018 each, three in 2020 and 2023, and two in 2021 and 2022, respectively (Figure 2).

Figure 2: Number of publications related to wildlife biobanks per year.



Source: The author (2025).

There has been a refinement in the approaches and focuses of the published research, despite no increase in the number of publications. Between 2015 and 2018, the articles concentrated on specific applications of barcoding and genetic analyses aimed at species identification, tracking, and enforcement of illegal products. From 2020 onward, there was a transition with biobanks serving as a complementary tool to forensic genetics, gaining relevance in the connection between conservation, justice, and public health. In the most recent years, 2022 and 2023, biobanks have become established as fundamental tools, with practical applications directed both towards genetic preservation and technical-scientific support for criminal investigations involving wildlife (Figure 3).

This evolution reflects a broadening of approaches, with increased interdisciplinarity and greater emphasis on the systematic collection of samples, including through alternative sources such as animals that died on roadways. This technical-scientific advancement occurs alongside growing social concern for animal-related issues, reflecting a change in public values, particularly in the forensic context. Greater access to and dissemination of information on animal welfare—through documentaries, news, and campaigns—has contributed to a cultural redirection in society, fostering a shift in mindset and evolving perspectives toward animals (Morais *et al.*, 2024).

Figure 3: Overview of the 15 scientific publications selected for the systematic review, highlighting annual distribution and thematic focus from 2013 to 2023.

Reference	Title	Journal/DOI
*Carvalho et al., 2015	DNA Barcoding identification of commercialized seafood in South Brazil: A governmental regulatory forensic program	Food Control doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.10.025
Ogden, Linacre, 2015	Wildlife forensic science: a review of genetic geographic origin assignment.	Forensic Science International Doi:doi.org/10.1016/j.fsigen.2015.02.008
Zhang et al., 2015	Molecular tracing of confiscated pangolin scales for conservation and illegal trade monitoring in Southeast Asia	Global Ecology and Conservation Doi:doi.org/10.1016/j.gecco.2015.08.002
Sharma et al., 2016	Pioneer identification of fake tiger claws using morphometric and DNA-based analysis in wildlife forensics in India	Forensic science international doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.05.024
Karmacharya, et al., 2018	Species, sex and geo-location identification of seized tiger (<i>Panthera tigris tigris</i>) parts in Nepal-A molecular forensic approach.	PLoS One. doi: 10.1371/journal.pone.0201639
Cardoso et al., 2020.	Somatic feather follicle cell culture of the gallus domesticus species for creating a wild bird genetic resource bank	Animal Reproduction doi.org/10.1590/1984-3143-AR2020-0044

*Strand et al., 2020	Biobanking in amphibian and reptilian conservation and management: opportunities and challenges	Conservation Genetics Resources doi.org/10.1007/s12686-020-01142-y
Zucca et al., 2020	The "Bio-Crime Model" of Cross-Border Cooperation Among Veterinary Public Health, Justice, Law Enforcements, and Customs to Tackle the Illegal Animal Trade/Bio-Terrorism and to Prevent the Spread of Zoonotic Diseases Among Human Population	Front Vet Sci. doi: 10.3389/fvets.2020.593683.
Camacho-Sánchez et al., 2021	DNA barcode analysis of the endangered green turtle (<i>Chelonia mydas</i>) in Mexico	Genome Doi: http://dx.doi.org/10.1139/gen-2019-0213
Perez-Espona; Consortium, 2021	Conservation-focused biobanks: A valuable resource for wildlife DNA forensics	Forensic Science International: Animals and Environments doi.org/10.1016/j.fsiae.2021.100017
Cruz et al., 2022	Wild animals biobanks: literature review	Research, Society and Development, DOI: 10.33448/rsd-v11i8.31268
Santos, Silva, 2022	Biobancos para a conservação da vida silvestre: desafios e perspectivas.	Rev Bras Reprod Anim, Doi: DOI: 10.21451/1809-3000.RBRA2022.042
Silva et al., 2022	Biobanking and use of gonadal tissues - a promising strategy for conserving wildlife from the Caatinga biome	Anim Reprod doi: 10.1590/1984-3143-AR2022-0135.
Sukparangsi et al., 2022	Establishment of fishing cat cell biobanking for sustainable conservation.	Front Vet Sci. doi: 10.3389/fvets.2022.989670.
Coba-Males et al., 2023	From roads to biobanks: Roadkill animals as a valuable source of genetic data	PLoS One. doi: 10.1371/journal.pone.0290836

*Manual inclusion.

Source: The author (2025).

In the forensic context, the earliest studies focused on molecular biology, which is not a new technique and has already been employed in courtrooms. It has been proven to be an important tool not only for animal identification but also for comparative purposes and for obtaining geographic references of wildlife species. It is also important to consider that many reference materials were originally intended for research purposes, often lacking detailed information and documentation, which makes their use in criminal investigations unfeasible. Additionally, there are repositories containing materials with high forensic potential; however, their existence is either unknown or inaccessible, as most professionals are unaware of their applicability in the criminal context (Ogden; Linacre, 2015).

At the national level, studies indicate that Brazil's high biodiversity, particularly in the Amazon region, is a major attraction for the wildlife trafficking market. Data from the past five

years report that wildlife-derived products are among the most frequently seized items (Souza *et al.*, 2024).

Based on this, one of the main examples of improper identification involves fish and their products, which may lose essential morphological characteristics needed for species identification—such as in the case of fish fillets and pre-processed seafood. These conditions can lead to species misidentification and consequently compromise forensic analysis. Carvalho *et al.* (2015) observed that in fish and other fishery products sold in southern and southeastern Brazil, many low-value species were marketed as high-value ones, with differences being imperceptible without in-depth genetic analysis.

This is also observed not only in fish but also in pangolins and their by-products, which are sought after for their meat and, more notably, for their scales—used in traditional Chinese medicine and to supply the illegal market. Similar issues occur with counterfeit mammal claws, which have been identified through morphometric analysis, imaging techniques, and DNA testing. The authors determined that the seized claws analyzed were derived from keratinous material of *Bos taurus*, which had been modified to be sold as tiger or leopard claws (Zhang *et al.*, 2015; Sharma *et al.*, 2016).

The comparative analysis approach can be extended to other animal-derived materials, such as horns and teeth, as well as to additional species, and may be applied in the routine activities of agencies on the front lines of wildlife trafficking enforcement. Accurate identification remains a major challenge in most seizures due to morphological similarities between animals, the lack of standardized protocols, and the absence of a sufficiently diverse database to consult.

Morphological classification is a basic and fundamental method for the taxonomic identification of biological materials. Morphological examination is a reliable and cost-effective method that enables the identification of items found in forensic analyses, provided that sufficient diagnostic characteristics are present, along with adequate expertise and reference materials for comparison. In the absence of such information, DNA analysis becomes the method of choice for identification (Meiklejohn *et al.*, 2021; Mores *et al.*, 2025).

Another application of biobanks in routine practice is spatial georeferencing and the potential determination of specimen origins (Karmacharya *et al.*, 2018). The methodology employed by the researchers could be adapted to other animal species in different regions, contributing to biodiversity monitoring and the protection of endangered species. Implementing this approach on a global scale could strengthen the fight against illegal trafficking by

supporting the formulation of public policies and more effective enforcement actions, enabling more precise targeting of trafficking routes as they develop, as well as predicting potential new routes.

For avian, studies indicate the viability of culturing cells obtained from feathers under laboratory conditions, employing a minimally invasive and promising approach. In Brazil, as well as in other countries, there is a lack of genetic information on birds, which is one of the limiting factors for the advancement of research in this area and, consequently, for progress in forensic applications (Cardoso *et al.*, 2020). This technique can be particularly useful in the context of wildlife trafficking, as often only feathers are recovered. These feathers are found in the environment, having been naturally shed by the animals.

As with birds, biobanks for reptiles and amphibians remain scarce. Although there are organizations dedicated to preserving the genetic material of these species, improvements are still needed in sample collection protocols, conservation methods, and in the dissemination and accessibility of data. The literature reports some progress and challenges related to reptile and amphibian biobanking, such as the use of cryopreservation techniques, which may serve as models for the establishment of future biobanks (Strand *et al.*, 2020).

In Brazil, studies exploring the potential forensic applications of animal biobanks have been conducted across regions and species groups (Carvalho *et al.*, 2015; Cardoso *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2023). This type of research is essential to enhance surveillance efforts and combat wildlife trafficking, especially in the North, Northeast, and Central-West regions, which have historically been the most affected by trafficking networks due to their high biodiversity and relatively less effective enforcement compared to other parts of the country (Carneiro, Almeida, 2021).

Limitation and perspectives

Although considerable information is available regarding wildlife biobanks, its implementation and effective use still present significant challenges. A major obstacle is the validation of molecular techniques, particularly those involving DNA analysis, which require reliable, species-specific reference datasets.

Additionally, the extensive taxonomic diversity of wildlife — mammals, reptiles, birds, fish, and amphibians — needs distinct methodological approaches tailored to each group's biological particularities. Therefore, biobanks must either focus on a specific group or be equipped with specialized infrastructure capable of accommodating the unique storage and

processing requirements of different taxa. This is crucial, as tissue collection, preservation, and long-term storage protocols are not universally applicable across species (Hobbs *et al.*, 2019; Pérez-Espona, Consortium, 2021)

Another critical aspect to be considered is that biobanks accurately need to reflect the genetic and adaptive changes that species undergo over time. Given the accelerating pace of anthropogenic environmental changes, which drive rapid evolutionary responses, it is essential that the preserved genetic material faithfully represents organisms within their dynamic genetic and ecological contexts. This requires continuous updating and strategic sampling to maintain the relevance and scientific utility of biobanked specimens in both conservation and forensic applications (Hagerdorn *et al.*, 2017).

The logistics of transporting and preserving biological samples in biobanks require special attention, particularly with regard to the risk of pathogen transmission. This concern becomes even more critical when storage involves the shared use of liquid nitrogen, which can facilitate cross-contamination. Additionally, some biological materials require specific permits to transportation, such as those issued by CITES, and must comply with strict transport and storage conditions to ensure high biosafety standards (Bolton *et al.*, 2022).

In parallel, an increasing number of biological samples are added each year to biobanks distributed globally. However, the lack of efficient computerized systems limits access to this data by researchers, research centers, and other institutions, hindering integration among them. This deficiency undermines connectivity and information sharing, thereby reducing both the potential for collaboration and the practical applicability of the stored samples (Cruz *et al.*, 2022).

In the context of veterinary forensic medicine, the limitations and challenges related to the use of biobanks are even more complex, as the lack of awareness regarding the existence and potential of biobanks represents a significant barrier to their adoption. Furthermore, it is essential to ensure the integrity of the samples and associated data, which must be subjected to rigorous protocols to guarantee their validity and prevent nullification.

Another critical challenge is the maintenance of an unbroken chain of custody for the samples, ensuring that no contamination or tampering occurs, thereby allowing their admissibility. The absence of standardized protocols and the diversity of existing species further complicate the implementation of such security measures. Moreover, the lack of specific regulations regarding biobanks in veterinary forensic medicine may lead to significant discrepancies in the use of these samples, compromising their reliability.

Furthermore, the lack of infrastructure and qualified personnel to properly manage samples in veterinary biobanks can hinder rapid and efficient access to and sharing of information. The continuous updating of preservation techniques and the integration among different biobanks, both at national and international levels, also represent challenges that must be overcome to enable the effective application of this tool in veterinary forensic medicine.

Despite several challenges in biobank implementation, advances in veterinary medicine, particularly in the context of wildlife, are evident. Although biobanks primarily aim at species conservation and preservation, they hold significant potential to assist in legal matters. These samples not only contribute to the biobank's data composition but can also be used for comparative purposes in investigations related to illegal wildlife trafficking. Morphological identification difficulties of certain species remain a reality in many countries, especially regarding exotic species (Hogg *et al.*, 2018; Pérez-Espona, Consortium, 2021; Santo, Silva, 2022).

Given this limitation, the establishment of databases and repositories of biological material becomes essential, as they provide crucial information for animal identification and enable their application on a global scale in enforcing relevant legislation. These biobanks hold significant potential as support tools in combating wildlife crimes, particularly in addressing international wildlife trafficking, thereby advancing forensic investigations.

It is important to emphasize that the biobank represents only one link in a large and complex chain requiring multidisciplinary teams for standardization, sample collection and management, as well as data sharing and utilization for its continuous improvement and refinement. There is a need to expand knowledge regarding wildlife, ecology, biological behaviour, reproduction, veterinary care, and especially forensic aspects. In addition to veterinarians, environmental agencies and the justice system would benefit from this information, including improved enforcement of relevant legislation and proper characterization of crimes involving wildlife (Cruz *et al.*, 2022; Santo, Silva, 2022; Harper, 2023).

Proposal for the Implementation and Utilization of Biobanks in Combating Wildlife Trafficking

Considering Brazil's continental dimensions, its rich biodiversity, and the challenges faced in effectively combating wildlife trafficking, the implementation of biobanks would serve as a complementary strategy to existing animal enforcement measures. Both regional and

national initiatives would feed collaborative networks, enhancing the efficiency of conservation and enforcement actions and contributing to wildlife protection. In this context, proposals for the implementation and utilization of these resources should be explored.

One of the primary ways for the implementation of biobanks is linked to the Wildlife Screening Centers (CETAS), which are responsible for receiving, screening, monitoring, and, when feasible, rehabilitating and releasing rescued, seized, or voluntarily surrendered animals. With units distributed across different regions of the country and operating under the Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA), CETAS represents a strategic infrastructure for the systematic collection and storage of biological and morphometric data. The regionalization of these data would contribute to the accurate identification of specimens, determination of potential areas of origin, and more effective monitoring of trafficking routes and targeted species.

In addition, the centralization of this information would enable the creation of a national animal identification database, with a special focus on priority and endangered species. Such a database would serve as a valuable tool for the integrated action of environmental enforcement and investigative agencies, including IBAMA, the Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (ICMBio), and the Federal Police (PF), promoting greater efficiency and reliability in forensic reports and criminal accountability processes.

Also, considering the context in which wildlife trafficking has intensified in virtual environments, especially after the COVID-19 pandemic, another relevant proposal is the integration of biobanks with artificial intelligence (AI). This technology enables the automated cross-referencing of genetic and morphometric data with existing databases both within Brazil and internationally, allowing for faster and more accurate pattern recognition, thereby aiding in the unravelling of complex trafficking networks. AI also is an alternative to conventional analysis methods, which are often comprised of fragmented information and require manual review, resulting in slower and less efficient processes.

It is essential to highlight that the implementation of biobanks aimed at the conservation, monitoring, and combat of wildlife trafficking must adopt a multidisciplinary and interinstitutional approach. In this regard, universities and research centers have a fundamental role, not only in the production of technical-scientific knowledge and the development of new technologies but also in the training of qualified professionals capable of operating across all stages of this network, from academic research to routine application. The coordination among

academic institutions, environmental agencies, and public security bodies is decisive for the success of these initiatives.

Finally, the data obtained in this research indicate a growing concern regarding the establishment and implementation of animal-origin biobanks, especially in light of the environmental impact caused by human activities on ecosystems and the threats this poses. Given the environmental crisis and the ongoing threats to ecosystems, it is essential to adopt an action plan to validate and enhance animal-origin biobanks, focusing not only on conservation but also on combating the illegal wildlife trade.

Although it is not a new tool, biobanks have driven significant advances in the health field, expanding their applications to various sectors, including animal research. In veterinary medicine, studies have intensified with a focus on research and particularly on the conservation of tissues from endangered species.

Despite the limitations and challenges still surrounding the use of biobanks in veterinary medicine, especially in the forensic context, the great potential of this tool is evident. With proper methodological improvements and overcoming current obstacles, biobanks are expected to play a crucial role in conservation and veterinary forensic medicine, offering highly promising outcomes.

References

- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 20387**: biotecnologia: atividades de biobancos: requisitos gerais para atividades de biobancos. Rio de Janeiro: ABNT, 2025 Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/12768/abnt-nbriso20387-biotecnologia-atividades-de-biobancos-requisitos-gerais-para-atividades-de-biobancos>. Acesso em: 07 jan. 2025.
- BOLTON, R. L.; MOONEY, A.; PETTIT, M. T.; BOLTON, A. E.; MORGAN, L.; DRAKE, G. J.; APPELTANT, R.; WALKER, S. L.; GILLIS, J. D.; HVILSON, C. Resurrecting biodiversity: advanced assisted reproductive technologies and biobanking. **Reproduction and Fertility**, v. 3, n. 3, p. 121-46, 2022.
- BLASIO, P.; BIUNNO, I. New challenges for biobanks: accreditation to the new ISO 20387: 2018 standard specific for biobanks. **BioTech**, v. 10, n. 3, p. 13, 2021.
- BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Centros de Triagem de Animais Silvestres (CETAS)**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/o-que-sao-os-cetas>. Acesso em: 17 maio 2025.
- CARDOSO, C.A.; MOTTA, L.C.; OLIVEIRA, V.C.; MARTINS, D. D. Somatic feather follicle cell culture of the gallus domesticus species for creating a wild bird genetic resource bank. **Animal Reproduction**, v. 17, 2020.
- CARNEIRO, A.P.; ALMEIDA, A.C. Comércio ilegal de animais silvestres no Brasil 1990-2010. **Revista Eletrônica da Faculdade de Direito de Campos-ISSN: 1980-7570**, v. 6, n. 1, p. 44-58, 2021.
- CARVALHO, D.C.; PALHARES, R.M.; DRUMMOND, M.G.; FRIGO, T.B. DNA Barcoding identification of commercialized seafood in South Brazil: A governmental regulatory forensic program. **Food control**, v. 50, p. 784-8, 2015.
- CASTELHANO, M. G.; CREEVY, K. E.; MULLINS, P. F. How veterinary biobanking provides opportunities to accelerate research. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 253, n. 10, p. 1243-4, 2018.

COBA-MALES, M.A.; MEDRANO-VIZCAÍNO, P.; ENRÍQUEZ, S.; BRITO-ZAPATA, D., MARTIN-SOLANO, S., OCAÑA-MAYORGA, S., CARRILLO-BILBAO, G.A.; NARVÁEZ W.; SALAS, J.A.; ARRIVILLAGA-HENRÍQUEZ, J.; GONZÁLEZ-SUÁREZ, M. From roads to biobanks: Roadkill animals as a valuable source of genetic data. **Plos One**, v. 18, n. 12, 2023.

COPPOLA, L.; CIANFLONE, A.; GRIMALDI, A.M.; INCORONATO, M.; BEVILACQUA, P.; MESSINA, F.; BASELICE, S.; SORICELLI, A.; MIRABELLI, P.; SALVATORE, M. Biobanking in health care: evolution and future directions. **Journal of translational medicine**, v. 17, p. 1-8, 2019.

CRUZ, R.E.; SILVA OLIVEIRA, H.G.; SALVARANI, F.M. Biobancos de animais selvagens: revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, 2022.

GOUDA, S.; KERRY, R.G.; DAS, A.; CHAUHAN, N.S. Wildlife forensics: A boon for species identification and conservation implications. **Forensic Science International**, v. 317, 2020.

GROENEVELD, L.F.; GREGUSSON, S.; GULDBRANDTSEN, B.; HIEMSTRA, S.J.; HVEEM, K.; KANTANEN, J.; LOHI, H.; STROEMSTEDT, L.; BERG, P. Domesticated animal biobanking: land of opportunity. **PLoS biology**, v. 14, n. 7 2016.

HARPER, C.K. Poaching forensics: animal victims in the courtroom. **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 11, n. 1, p.269-86, 2023.

HEWITT, R.; WATSON, P. Defining biobank. **Biopreservation and biobanking**, v. 11, n. 5, p. 309-315, 2013.

HOBBS, R.J.; O'BRIEN, J.K.; SPINDLER, R.E.; KAUFMAN, A.B.; BASHAW, M.J.; MAPLE, T.L. Strategic gene banking for conservation: the ins and outs of a living bank. **Scientific foundations of zoos and aquariums: Their role in conservation and research**, p. 112-46, 2019.

HOGG, C.J.; DENNISON, S.; FRANKHAM, G.J.; HINDS, M.; JOHNSON, R.N. Stopping the spin cycle: genetics and bio-banking as a tool for addressing the laundering of illegally caught wildlife as 'captive-bred'. **Conservation Genetics Resources.**, v. 10, p.237-46, 2018.

MEIKLEJOHN, K. A.; BURNHAM-CURTIS, M. K.; STRAUGHAN, D. J.; GILES, J.; MOORE, M. K. Current methods, future directions and considerations of DNA-based

taxonomic identification in wildlife forensics. **Forensic Science International: Animals and Environments**, v. 1, 2021.

MORES, C. M.; CASTRO, M. B.; MELO, C. B. Forensic examinations in the investigations of crimes involving animals: a review. **Ciência Rural**, v. 55, n. 3, 2025.

PÉREZ-ESPONA, S.; CRYOARKS, C. Conservation-focused biobanks: a valuable resource for wildlife DNA forensics. **Forensic Science International: Animals and Environments**, v.1, 2021.

SILVA, A.R.; PEREIRA, A.F.; COMIZZOLI, P. Biobanking and use of gonadal tissues-a promising strategy for conserving wildlife from the Caatinga biome. **Animal Reproduction**, v. 19, n. 4, 2022.

SERGI, C. M. (2022). Biorepository—A key component of research studies. *Contemporary Clinical Trials*, 112, 106655.

SMITH, S.L.; AFONSO, M.M.; ROBERTS, L.; NOBLE, P.J.; PINCHBECK, G.L.; RADFORD, A.D. A virtual biobank for companion animals: A parvovirus pilot study. **Veterinary Record**, v.189, n. 6, 2021.

SOUZA, N. F.; MOURA, F. B. C.; OLIVEIRA, R. A.; ROCHA, N. S. Wildlife trafficking in North and Southeast of Brazil: 5 years of study. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 9, p. 1412–1422, 2024.

STRAND, J.; THOMSEN, H.; JENSEN, J. B.; MARCUSSEN, C.; NICOLAJSEN, T.B.; SKRIVER, M.B.; SØGAARD, I.M.; EZAZ, T.; PURUP, S.; CALLESEN, H.; PERTOLDI, C. Biobanking in amphibian and reptilian conservation and management: opportunities and challenges. **Conservation Genetics Resources**, v. 12, p. 709-25, 2020.

CAPÍTULO 3

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos principais desafios e limitações na implementação de biobancos para animais silvestres que utilizam DNA é a validação das técnicas empregadas, além da necessidade de referências específicas para cada espécie. Isso se deve ao fato de muitas delas habitarem ambientes remotos e de difícil acesso. Além disso, a alta diversidade de espécies — incluindo mamíferos, répteis, aves, peixes e anfíbios — exige abordagens diferenciadas, pois cada grupo possui particularidades biológicas (Hobbs *et al.*, 2019; Pérez-Espona, Consortium, 2021).

Dessa forma, o biobanco para animal deve ser especializado em grupo específico ou a contar com instalações adaptadas para diferentes categorias, uma vez que, os tecidos das diversas espécies não podem ser coletados e armazenados da mesma maneira (Hobbs *et al.*, 2019; Pérez-Espona, Consortium, 2021).

Outro aspecto fundamental a ser considerado, especialmente a longo prazo, é garantir que o biobanco reflita com precisão as mudanças genéticas e adaptativas das espécies ao longo do tempo. Diante das crescentes modificações humanas, que aceleram essas transformações, torna-se essencial assegurar que o material genético preservado represente fielmente os organismos em seus contextos genético e adaptativo (Hagerdorn *et al.*, 2017).

A logística de transporte e conservação de amostras biológicas em biobancos exige atenção especial, sobretudo quanto ao risco de transmissão de patógenos. Esse aspecto torna-se ainda mais crítico quando o armazenamento envolve o uso compartilhado de nitrogênio líquido, o que pode favorecer a contaminação cruzada. Além disso, determinados materiais requerem autorizações específicas, como as emitidas pela CITES, e necessitam de condições rigorosas de transporte e armazenamento, garantindo altos padrões de biossegurança (Bolton *et al.*, 2022).

Paralelamente, a cada ano, o número crescente de amostras biológicas é incorporado aos biobancos distribuídos globalmente. No entanto, a falta de sistemas informatizados eficientes limita o acesso a esses dados por pesquisadores, centros de pesquisa e demais instituições, dificultando a integração entre as instituições. Essa deficiência compromete a conectividade e o compartilhamento de informações, reduzindo o potencial de colaboração e a aplicabilidade das amostras armazenadas (Cruz *et al.*, 2022).

No contexto da medicina legal veterinária, as limitações e desafios relacionados ao uso de biobancos são ainda mais complexos, uma vez que, o desconhecimento acerca da existência e do potencial dos biobancos representa um obstáculo significativo para a sua adoção. Além disso, no âmbito forense, é imprescindível garantir a integridade das amostras e das informações associadas, as quais devem ser submetidas a protocolos rigorosos para assegurar sua validade e

evitar a nulidade. Esse controle é desafiador nos biobancos veterinários, onde o armazenamento e a manipulação de amostras de diferentes espécies exigem certos padrões de segurança e rastreabilidade e adaptabilidade.

Outro desafio relevante é a questão da cadeia de custódia das amostras, que deve ser mantida de forma ininterrupta para assegurar que não haja contaminação ou adulteração de materiais, permitindo sua utilização. A falta de protocolos padronizados e a diversidade de espécies existentes, tornam ainda mais complexo a implementação de tais medidas de segurança. Além do mais, a ausência de regulamentação específica para biobancos na medicina legal veterinária pode resultar em diferenças significativas na utilização dessas amostras, comprometendo a confiabilidade.

Ademais, a falta de infraestrutura e de pessoal capacitado para gerenciar as amostras de forma adequada nos biobancos veterinários pode dificultar o acesso e compartilhamento rápido e eficiente das informações. A atualização constante das técnicas de conservação e a integração entre diferentes biobancos, tanto no nível nacional quanto internacional, também representam obstáculos a serem superados para a aplicação eficaz dessa ferramenta na medicina legal veterinária.

Apesar dos inúmeros desafios na implementação de biobancos, os avanços na medicina veterinária, especialmente no contexto dos animais silvestres, são notáveis. Os biobancos, mesmo que se apresente como principal finalidade a conservação e preservação de espécies, possuem um expressivo potencial para auxiliar em questões legais, especialmente no fornecimento de DNA. Essas amostras não apenas contribuem para a composição dos dados do biobanco, mas também podem ser utilizadas para fins comparativos em investigações sobre o tráfico de animais. A dificuldade na identificação morfológica de algumas espécies é uma realidade em diversos países, particularmente no caso de espécies exóticas (Hogg *et al.*, 2017; Pérez-Espona, Consortium, 2021; Santo, Silva, 2022).

Diante dessa limitação, a criação de bases de dados e repositórios de material biológico torna-se fundamental, pois disponibiliza informações essenciais para a identificação de animais e viabiliza sua aplicação em âmbito global na implementação da legislação correspondente. Esses bancos possuem um grande potencial como ferramenta de apoio no combate aos crimes contra a fauna, especialmente no enfrentamento do tráfico de animais silvestres internacionalmente, garantindo avanço nas investigações forenses.

A implementação de biobanco animal, sobretudo de silvestre, versaria não somente para fins forenses, mas auxiliaria alunos, universidades, centros de pesquisa e órgãos ambientais.

Com base na diversidade de biobancos existentes na literatura, no âmbito da medicina veterinária, poderiam ser criados biobancos de amostras histológicas, de imagem como raios-x, tomografia computadorizada, ultrassonografia; biobanco com informações sobre particularidades anatômicas das espécies, além dos bancos de material genéticos já implementado (Coppola *et al.*, 2019; Cruz *et al.*, 2022).

Vale ressaltar que o biobanco é apenas o elo de enorme cadeia complexa necessitando de equipes multidisciplinares para sua padronização, coleta de material e gestão, compartilhamento e uso de dados para seu aprimoramento e refinamento. Há expressiva necessidade de expansão dos conhecimentos acerca dos animais silvestres, ecologia, comportamento biológico, reprodução, cuidados médico-veterinários e especialmente aspectos relacionados a área forense. Além dos médicos veterinários, os órgãos ambientais e a justiça se beneficiaria das informações, incluindo melhor aplicação da legislação pertinente e caracterização adequada dos crimes envolvendo os silvestres (Cruz *et al.*, 2022; Santo, Silva, 2022; Harper, 2023)

A preocupação com o tráfico vai além das perturbações ambientais e antrópicas, englobando também as questões de biocrimes e disseminação de agentes infecciosos potencialmente translacional. O trabalho de Zucca *et al.* (2020) aborda a utilização de projeto criado em 2017 chamado “Projeto Biocrime”, o qual tem abordagem multidisciplinar, com o centro de inteligência médico-veterinária, para combate ao tráfico de animais silvestres, com foco para a transmissão de doenças de animais para os humanos.

O projeto segue protocolo rigoroso que integra os esforços de médicos veterinários, do sistema de justiça e dos órgãos fiscalizadores, garantindo a troca de informações de forma eficaz e sistemática no combate ao tráfico de animais. A estrutura apresenta um polo central para concentrar dados provenientes de diferentes locais, servindo também como base de apoio para consultas (Zucca *et al.*, 2020). Dessa forma, o modelo proposto pelos autores pode ser expandido e ajustado conforme a realidade local, facilitando o compartilhamento de informações de biobanco e aprimorando as redes de comunicação já existentes.

Por fim, os dados indicam crescente preocupação com a criação e implementação de biobancos de origem animal, especialmente diante do impacto ambiental causado pelas ações humanas no ecossistema e a ameaça que isso representa. Com a crise ambiental e as constantes ameaças ao ecossistema, é fundamental adotar plano de ação para validar e aprimorar os biobancos de origem animal, com foco não somente na conservação, mas no combate ao comércio ilegal de animais.

Embora não sejam a ferramenta nova, os biobancos foram responsáveis por avanços significativos na área da saúde, expandindo suas aplicações para diversos setores, incluindo as pesquisas animais. Na medicina veterinária, os estudos têm se intensificado, com foco em pesquisa e, particularmente, na conservação de tecidos de espécies ameaçadas de extinção.

Apesar das limitações e desafios que ainda cercam o uso dos biobancos na medicina veterinária, especialmente no contexto forense, é evidente o grande potencial dessa ferramenta. Com o devido aprimoramento de suas metodologias e a superação dos obstáculos atuais, espera-se que os biobancos desempenhem o papel crucial na conservação e na medicina legal veterinária, oferecendo perspectivas de resultados extremamente positivos.