

## RESSALVA

Atendendo solicitação da autor(a), o texto completo deste documento será disponibilizado somente a partir de 27/09/2025.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**

**Faculdade de Ciências - Campus de Bauru**

**GABRIELA IDALINE DE FREITAS**

**DNA Barcode na identificação de bexigas natatórias: uma  
abordagem no comércio internacional**

Bauru

2024

**GABRIELA IDALINE DE FREITAS**

**DNA Barcode na identificação de bexigas natatórias: uma  
abordagem no comércio internacional**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru, para obtenção do título de Mestre(a) em Biociências.

Área de Concentração: Caracterização e Aplicação da Diversidade Biológica.

Orientador(a): Prof. Dr. Fabio Porto Foresti

Coorientador(a): Prof. Dr. Ricardo Utsunomia

Bauru

2024

D316d

de Freitas, Gabriela Idaline

DNA Barcode na identificação de bexigas natatórias : uma abordagem no comércio internacional / Gabriela Idaline de Freitas. -- Bauru, 2024  
60 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru

Orientador: Fabio Porto Foresti


Coorientador: Ricardo Utsunomia

1. Genética animal. 2. Marcadores genéticos. 3. Peixes identificação. 4. Fraude na ciência. I. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE GABRIELA IDALINE DE FREITAS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCIÊNCIAS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 26 dias do mês de setembro do ano de 2024, às 09:00 horas, no(a) Espaço DCB, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de GABRIELA IDALINE DE FREITAS, intitulada "**DNA Barcode na identificação de bexigas natatórias: uma abordagem no comércio internacional**". A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. FABIO PORTO FORESTI (Orientador(a) - Participação Presencial) do(a) Departamento de Ciências Biológicas / Faculdade de Ciências - Unesp/Câmpus de Bauru, Dra. LETÍCIA RAFAELA DE MORAIS (Participação Presencial) do(a) Departamento de Ciências Biológicas / Faculdade de Ciências - UNESP - Bauru, Profa. Dra. VANESSA PAES DA CRUZ (Participação Presencial) do(a) Departamento de Morfologia / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP. Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final:     Aprovado    . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. FABIO PORTO FORESTI

Documento assinado digitalmente  
 **FABIO PORTO FORESTI**  
Data: 25/10/2024 11:42:16-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao meu orientador, Fabio, por sempre me incentivar e tornar possível o desenvolvimento deste trabalho. Sua orientação foi fundamental, assim como seu apoio durante os muitos momentos difíceis ao longo desses anos.

À minha família, minha eterna gratidão, especialmente aos meus pais, que sempre me incentivaram a correr atrás dos meus sonhos. O apoio incondicional de vocês tornou possível a conquista deste título. À minha irmãzinha Liz, que é a principal razão pela qual eu busco sempre melhorar. Quero ser um bom exemplo para você.

Ao meu namorado, Eduardo, minha gratidão eterna. Você é muito mais do que eu sonhei, muito além do que eu sabia que precisava. Você foi minha luz quando eu já não acreditava que poderia haver um caminho para o amor. Me ensinou o que é amar e ser amada. Obrigada por ser minha casa, meu confidente e meu maior apoiador. Eu te amo incondicionalmente.

Aos meus amigos do laboratório, que estiveram ao meu lado em cada etapa deste trabalho, meu sincero agradecimento. Em especial, ao Zeni e ao Henriqueta, que sempre foram ótimos ouvintes e conselheiros, proporcionando um suporte muito importante para mim. À Nat Talia e à Mandinha, que, além de amigas de laboratório, se tornaram minhas irmãs. Obrigada por todo apoio, pelos conselhos e, acima de tudo, por serem meu porto seguro dentro e fora do laboratório. Sem vocês eu não conseguiria passar nem pelo primeiro ano.

À minha sogra, Mô, sou profundamente grata por me dar um lar e me acolher como filha. Nunca me senti tão em casa em Bauru como me sinto com vocês! Obrigada por ser tão amorosa, receptiva e cuidar de mim tão bem.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos órgãos de fomento que forneceram o apoio financeiro e recursos necessários para que este trabalho fosse realizado: CAPES, FAPESP, FUNEP e CNPq.

*“Não importa o que os outros esperam de você. A questão é o que você quer para si mesmo.”*

– *A Casa de Hades* (Os Heróis do Olimpo, Rick Riordan)

## RESUMO

O consumo de recursos pesqueiros tem crescido globalmente, abrangendo desde moluscos até peixes de alto valor econômico. No Brasil, a partir do final do século XX, incentivos fiscais impulsionaram o desenvolvimento da pesca, principalmente voltada para exportação. Em 2024, o setor registrou um aumento de 48% no valor das exportações e de 20% no volume em relação ao ano anterior, destacando-se no comércio internacional de subprodutos como a bexiga natatória e barbatanas de tubarão, apreciados em mercados como China, Japão, EUA e Europa. No entanto, a identificação inadequada de espécies comercializadas, especialmente as ameaçadas, é um desafio recorrente. A análise genética se apresenta como uma solução eficaz para melhorar a classificação e manejo sustentável dos recursos pesqueiros, contribuindo para o controle da exploração e preservação ambiental. Como método para identificação de material biológico comercializado, temos a técnica de DNA Barcode, que é um sistema de identificação molecular espécie-específico que se baseia na sequência de um fragmento do DNA mitocondrial Subunidade I da Citocromo Oxidase (COI), onde é necessário apenas um pequeno fragmento de material biológico para sua execução. Essa técnica é a mais utilizada atualmente, por ser rápida, prática, efetiva e de baixo custo. Diante disso, o presente projeto visa analisar amostras de bexiga natatória, apreendidas pelo IBAMA, através da técnica de DNA Barcode, a fim de identificar e mapear quais espécies estão sendo comercializadas descaracterizadas morfológicamente, em especial, buscando identificar problemas no comércio de espécies superexploradas no território nacional. As análises resultaram na identificação de 8 espécies de peixes, incluindo *Cynoscion acoupa*, *Cynoscion leiarchus*, *Cynoscion microlepidotus*, *Cynoscion virescens*, *Macrodon ancylodon*, *Macrodon atricauda*, *Plagioscion auratus* e *Sciades parkeri*; e duas espécies de répteis, *Caiman crocodilus* e *Melanosuchus niger*. Os órgãos governamentais não regulamentam efetivamente a cadeia produtiva do grude, especialmente quanto à sua comercialização, ao alto valor no mercado internacional e ao impacto ambiental na fauna marinha do norte do Brasil. Políticas de preservação dessas espécies continuam gerando controvérsias entre os proprietários de embarcações e a comunidade local. Essa pesquisa revelou que muitos produtos desse comércio internacional são negociados sob falsas declarações dos remetentes,

destacando a necessidade de fiscalização mais rigorosa e o uso de técnicas moleculares para identificação. Além disso, incentivos fiscais podem incentivar os comerciantes a operarem de maneira mais regulamentada, minimizando os impactos negativos nas espécies envolvidas.

**Palavras-chave:** genética animal; marcadores genéticos; peixes identificação; fraude na ciência.

## ABSTRACT

The consumption of fishery resources has been globally increasing, ranging from mollusks to economically valuable fish species. In Brazil, since the late 20th century, fiscal incentives have fostered the development of fisheries, primarily targeting exports. In 2024, the sector recorded a 48% increase in export value and a 20% rise in volume compared to the previous year, with particular prominence in the international trade of by-products such as swim bladders and shark fins, highly valued in markets like China, Japan, the USA, and Europe. However, the inadequate identification of traded species, particularly endangered ones, remains a recurring challenge. Genetic analysis has emerged as an effective solution to enhance species classification and ensure the sustainable management of fishery resources, aiding in the control of exploitation and environmental preservation. As a method for identifying biological material in trade, DNA barcoding has proven particularly useful. This species-specific molecular identification system relies on the sequence of a mitochondrial DNA fragment, the Cytochrome Oxidase Subunit I (COI), and requires only a small biological sample for its execution. DNA barcoding is widely employed due to its speed, practicality, effectiveness, and low cost. In this context, the present study aimed to analyze swim bladder samples seized by IBAMA using DNA barcoding to identify and map which species are being morphologically mischaracterized in trade, with a special focus on detecting issues involving the trade of overexploited species within Brazil. Analyses identified eight fish species, including *Cynoscion acoupa*, *Cynoscion leiarchus*, *Cynoscion microlepidotus*, *Cynoscion virescens*, *Macrodon ancylodon*, *Macrodon atricauda*, *Plagioscion auratus*, and *Sciades parkeri*, as well as two reptile species, *Caiman crocodilus* and *Melanosuchus niger*. Governmental agencies currently do not effectively regulate the production chain of “grude” (a swim bladder derivative), particularly regarding its commercialization, high value in the international market, and environmental impact on marine fauna in northern Brazil. Conservation policies for these species continue to generate controversy among vessel owners and local communities. This study revealed that many products in the international trade are negotiated under false declarations from exporters, underscoring the need for stricter surveillance and the use of molecular techniques for identification. Moreover, fiscal

incentives could encourage traders to operate in a more regulated manner, minimizing negative impacts on the species involved.

**Keywords:** animal genetics; genetic markers; fish identification; scientific fraud.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Comercialização de recursos pesqueiros.....	13
1.2	O Comercio ilegal de recursos biológicos .....	15
1.3	Uso dos subprodutos provenientes da bexiga natatória.....	17
1.4	DNA Barcode como ferramenta de identificação de espécies .....	19
2	JUSTIFICATIVA.....	22
3	OBJETIVOS.....	24
3.1	Objetivo geral .....	24
3.2	Objetivos específicos .....	24
4	MATERIAL E MÉTODO.....	25
4.1	Coleta das amostras .....	25
4.2	Análises Moleculares .....	26
4.2.1	Extração de DNA .....	26
4.2.2	Amplificação do gene mitocondrial COI .....	26
4.2.3	Sequenciamento.....	27
4.2.4	Análise das sequências e identificação das espécies .....	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
5.1	Artigo 1:.....	29
5.1.1	Introdução.....	30
5.1.2	Materiais e Métodos .....	33

5.1.3 Resultados e Discussão .....	34
5.2 Artigo 2: .....	43
5.2.1 Introdução.....	44
5.2.2 Materiais e Métodos .....	46
5.2.3 Resultados e Discussão .....	47
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	54
7 REFERÊNCIAS .....	55

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Comercialização de recursos pesqueiros

A pesca tem sido uma parte intrínseca da nossa cultura ao longo do tempo, desempenhando diversos papéis, como fornecer alimentos, sustentar meios de vida e representar a identidade de diferentes povos (da Silva et al., 2019). Infelizmente, as atividades humanas, como o desmatamento, o represamento de rios, a pesca excessiva, a poluição das águas por plásticos e resíduos domésticos, a caça ilegal e a degradação dos habitats, têm causado um impacto negativo significativo na diversidade de espécies de peixes (Marnis et al., 2024). Os peixes desempenham um papel crucial como fontes de proteína animal para o ser humano, sendo amplamente empregados na medicina complementar e alternativa, bem como na medicina tradicional (Zhang, 2011). Atualmente, o consumo global de frutos do mar e seus derivados está em constante crescimento, representando componentes comerciais de grande valor econômico (Da Silva et al., 2019).

Segundo Mcgoodwin (1990), há 3.000 anos, a costa peruana já apresentava sinais de sobrepesca, conforme registros históricos. Com a chegada da Revolução Industrial, ocorreram mudanças significativas no setor pesqueiro, incluindo a introdução de novas tecnologias que transformaram tanto a dinâmica técnica quanto social das comunidades de pesca (Murawski, 1990). O mesmo autor ainda cita que a modificação dos sistemas de propulsão das embarcações, a construção de portos pesqueiros e a adoção de métodos de captura como redes de arrasto impulsionaram o aprimoramento da pesca em pequena escala. Essas transformações tecnológicas tornaram a atividade pesqueira mais poderosa e eficiente, resultando em um aumento no consumo de peixes e criando as condições para o desenvolvimento do modo de produção capitalista nesse setor (Marrul Filho, 2003).

Marrul Filho (2003) ainda diz que a partir do final dos anos 1960, o governo brasileiro começou a impulsionar ativamente a atividade de pesca, facilitando o acesso a crédito e concedendo incentivos fiscais para estimular o crescimento da

indústria pesqueira nacional, com foco principalmente no mercado internacional; esse impulso resultou em um rápido aumento na produção da indústria pesqueira. De acordo com os dados mais recentes da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2022), a captura total da pesca marinha global foi de 81 milhões de toneladas em 2022, onde a produção total de pesca e aquicultura chegou a 223,2 milhões de toneladas, representando um aumento em comparação com anos anteriores. Quanto à sustentabilidade, em 2021, aproximadamente 62,3% dos estoques marinhos monitorados pela FAO estavam dentro de níveis biologicamente sustentáveis, uma redução de 2,3% em relação a 2019. Isso destaca a importância de ações efetivas para a gestão e recuperação dos estoques pesqueiros mundiais (FAO, 2022).

O Brasil, um dos 11 maiores importadores globais de pescado, importou cerca de R\$ 3 milhões em 2022 (Ribeiro & Martins, 2023). Segundo o World Wildlife Fund (WWF Brasil, 2024), aproximadamente 80% dos pescados estão sendo sobreexplorados, o que ameaça o declínio de várias espécies. Os dados mais recentes da FAO (2022) corroboram essa preocupante tendência global de sobrepesca e seus impactos a curto, médio e longo prazo.

Cerca de 34,2% dos recursos pesqueiros estão sendo explorados em níveis considerados insustentáveis, ressaltando a carência de dados quantitativos sobre a pesca no Brasil como uma questão de grande relevância que compromete negativamente tanto a gestão quanto o desenvolvimento sustentável do setor pesqueiro (Ribeiro & Martins, 2023). O mesmo trabalho ainda afirma que a escassez de informações precisas e atualizadas dificulta a avaliação adequada da magnitude das atividades pesqueiras. Ramos (2016), informa que a pesca predatória está causando um declínio significativo nos estoques e populações de várias espécies marinhas. A autora ainda relata que isso levou à inclusão constante dessas espécies nas Listas Vermelhas de Espécies Ameaçadas da IUCN (The International Union for Conservation of Nature, 2024), representando uma preocupação para o equilíbrio das comunidades desses organismos marinhos. Paralelamente a isso, temos a biopirataria emergindo como uma das atividades criminosas mais lucrativas globalmente, representando uma séria ameaça para a biodiversidade e segurança biológica (Gomes, 2007).

## 1.2 O Comercio ilegal de recursos biológicos

O comércio ilegal de animais silvestres representa uma das atividades criminosas mais lucrativas em escala global, constituindo uma séria ameaça para diversas espécies ao remover milhares de animais de seus habitats naturais a cada ano (Saldanha & Peixoto, 2021). O mesmo trabalho alega que no Brasil, o tráfico de animais é impulsionado pela vasta biodiversidade, desigualdade socioeconômica e falhas na fiscalização e aplicação das leis. Lisse & Billig (2023), afirmam que a biopirataria também afeta comunidades vulneráveis, como povos indígenas e jovens carentes, que muitas vezes dependem do comércio ilegal para sustento. Os referidos autores falam ainda que em áreas de baixa renda, o tráfico de recursos genéticos e culturais é uma fonte importante de renda, com traficantes explorando essa vulnerabilidade para expandir suas operações. Em um país conhecido por abrigar a maior biodiversidade do mundo, como o Brasil, essa prática é especialmente preocupante, destacando a necessidade urgente de examinar e fortalecer as medidas de combate a esse crime (Junior & Lima, 2021). Globalmente, o tráfico de animais silvestres é classificado como a terceira maior atividade criminosa, ficando atrás apenas do tráfico de armas e drogas, e no Brasil, é até mais prevalente do que o tráfico de pedras preciosas (Carneiro & Almeida, 2021).

A captura e comércio clandestino de animais silvestres e seus derivados não estão restritos a uma única área geográfica, ocorrendo em diversas localidades e envolvendo uma movimentação intensa de animais destinados a diferentes destinos, sendo que no Brasil, a Região Nordeste se destaca como um dos principais focos desse comércio ilícito (Saldanha & Peixoto, 2021). O trabalho citado também declara que a fauna brasileira é predominantemente retirada das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste e direcionada para o Sudeste e Sul do país, onde se encontram os principais consumidores e rotas de transporte internacional. Os autores ainda sustentam que esse comércio clandestino representa uma séria ameaça à sobrevivência das espécies nativas, pois a remoção de animais de seus habitats naturais reduz a diversidade faunística e perturba o equilíbrio dos ecossistemas, colocando em risco as populações selvagens.

Renctas (2001), ressalta que durante os anos 2000, o Brasil testemunhou o tráfico de mais de quatro milhões de animais silvestres, com uma taxa de

sobrevivência alarmante de apenas um em cada dez animais, sendo que cada transação resulta, em média, na perda de três animais. O relatório pontua ainda que o país, que abriga cerca de 10% das espécies globais, incluindo 60% dos anfíbios, 35% dos répteis e macacos, e 10% das aves, enfrenta a retirada anual de mais de 38 milhões de animais de seus habitats, onde cerca de 90% perecem durante o transporte, com 40% destinados à exportação, principalmente para a Europa, Ásia e América do Norte.

O tráfico ilegal de animais selvagens causa danos significativos à biodiversidade e representa uma ameaça séria à segurança biológica, contribuindo para extinções e degradação ambiental em escala global (Vasconcelos, 2023). O referido trabalho também diz que essa atividade, desprovida de critérios, exerce uma pressão de exploração insustentável sobre as espécies, afetando a cadeia alimentar e reduzindo a biodiversidade dos habitats. A biopirataria, além de ameaçar a existência de espécies e desequilibrar ecossistemas, também prejudica a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico nacional, limitando o potencial de inovação e progresso do país (Lisse & Billig, 2023).

A retirada contínua de animais de uma mesma espécie pode levar a extinções locais ou totais, afetando também outras espécies associadas; com isso, a diminuição das populações facilita o cruzamento entre parentes, reduzindo a diversidade genética e a capacidade de adaptação dos animais às mudanças ambientais (Vasconcelos, 2023). O tráfico de vida selvagem é altamente prejudicial para o Brasil, com milhões de espécimes retirados anualmente, resultando em perdas significativas na biodiversidade e na morte de muitos animais durante a captura e o comércio (Lisse & Billig, 2023).

A escassez de estudos que abordam o tráfico de animais na região Nordeste do Brasil torna essa questão pouco explorada e pouco compreendida, ressaltando a importância de investigar os impactos desse comércio na fauna local. Analisar os efeitos da exploração animal permite compreender como a biodiversidade é afetada e quais são as consequências dessa atividade para os ecossistemas, fornecendo subsídios para a implementação de estratégias mais eficazes de conservação e gestão ambiental. Em um contexto global, a preservação dos recursos biológicos é crucial para promover a estabilidade ambiental e melhorar as condições de vida, sendo a biodiversidade uma preocupação urgente na política global devido à sua rápida perda (Saldanha & Peixoto, 2021; Lisse & Billig, 2023).

Da Silva et al. (2019), destaca que no âmbito desse contexto, o tráfico ilegal de produtos provenientes da pesca se torna relevante. Pontua ainda que a valorização de partes específicas de animais marinhos, como bexigas natatórias e nadadeiras de peixes, são apreciadas em diversos países, como China, Japão, Reino Unido, EUA e Alemanha, sendo utilizadas na fabricação de produtos como argamassas, cosméticos, medicamentos e instrumentos musicais. No entanto, a comercialização dessas partes geralmente ocorre sem uma identificação adequada, o que pode resultar na inclusão acidental de espécies ameaçadas de extinção nas capturas e vendas, problema que é particularmente observado no comércio de barbatanas de tubarão, o qual tem experimentado um aumento significativo na demanda nos últimos anos (Ramos, 2016).

### **1.3 Uso dos subprodutos provenientes da bexiga natatória**

A bexiga natatória é um órgão presente em alguns peixes, que consiste em uma vesícula gasosa responsável por ajudá-los a manterem-se em determinadas profundidades (da Silva et al., 2019). A bexiga natatória desempenha diversas funções, sendo o equilíbrio hidrostático a mais importante delas (Oliveira et al., 2006). Ela é composta por várias camadas, sendo a camada externa espessa e fibrosa, e o colágeno presente nessa camada é a fonte da substância conhecida como "isinglass" (Tressler & Lemon, 1951).

O subproduto da bexiga natatória, conhecido como "grude", "isinglass", "ictiocola" ou "cola de peixe", passa por processos industriais para a obtenção de um colágeno hidrolisado de alta qualidade (Leather et al., 1993). O "isinglass" tem alto valor comercial e é amplamente utilizada na indústria de bebidas, especialmente na produção de cerveja e vinho como agente clarificante (Hickman et al., 2000), além de ser utilizado na produção de espumante, emulsificante, dispersante e gelificante, assim como na fabricação de cola e gelatina (Cervigón, 1993). Na China e em outros países da Ásia, o "grude" também é consumido como alimento, sendo considerada uma fonte significativa de recursos medicinais, com sua valorização variando de acordo com diferentes características, como espécie, tamanho, idade e origem do peixe (Diálogo Chino, 2022). Essa versatilidade destaca o colágeno como um recurso

valioso em várias indústrias, ressaltando seu potencial como uma matéria-prima sustentável e multifuncional (Jezowski & Kowalczewski, 2023). O método mais comum para extrair colágeno da bexiga natatória dos peixes é a solubilização em ácido acético, um processo que leva cerca de cinco dias e resulta em baixo rendimento (Oliveira et al., 2006).

Ainda a respeito da indústria alimentícia, a produção de gelatina a partir de peixes é uma opção viável para reduzir os resíduos gerados pela indústria pesqueira. Além disso, a gelatina de peixe possui uma qualidade comparável àquela obtida de fontes bovinas (mais comumente utilizadas na indústria), bem como de fontes suínas e aviárias (Leuenberger, 1991).

Segundo Schieber & Gareis (2007), o colágeno provido do “isinglass” desempenha um papel importante em diversas indústrias, incluindo a cinematográfica e fotográfica, onde é utilizado para revestir chapas fotográficas e fabricar papel fotográfico. Oliveira et al. (2006) afirma que o colágeno também é empregado no processo de encorpamento de papel, tecidos e chapéus de palha; na indústria farmacêutica e química, o colágeno é usado na fabricação de cápsulas e como emulsificante, além de ser utilizado na produção de cabeças de fósforos e lixas. O autor ainda destaca que é especialmente utilizado na preparação de cosméticos, alimentos e gelatinas com diversas finalidades farmacêuticas. Na medicina, o colágeno é empregado no tratamento de hemorragias, na cicatrização de feridas e no uso de fios cirúrgicos (Schieber & Gareis, 2007). Devido à sua baixa resposta imunológica e baixo índice de alergenicidade, o colágeno está sendo cada vez mais utilizado como biomaterial, substituindo parcial ou totalmente tecidos danificados (Oliveira et al., 2006).

A comercialização dos subprodutos derivados da bexiga natatória ocorre de forma descaracterizada, tornando difícil determinar a origem específica do animal. Nesse contexto, o emprego de técnicas moleculares de identificação emerge como uma ferramenta indispensável e valiosa para discernir quais espécies estão envolvidas nesse comércio.

#### 1.4 DNA Barcode como ferramenta de identificação de espécies

O sistema moderno de taxonomia molecular, introduzido por Tautz et al. (2003), utiliza o DNA como ferramenta para a identificação taxonômica em diversos grupos de organismos. As análises moleculares de DNA estão em destaque devido à sua capacidade de identificar amostras em diferentes condições, como produtos congelados, salgados ou processados termicamente (Zhao et al., 2024). A identificação precisa de espécies de peixes é fundamental em várias etapas, desde ovos e alevinos até os adultos e seus produtos (Marnis et al., 2024). Os mesmos autores destacam que isso ajuda a detectar substituições de espécies em transações comerciais, contribuindo para a sustentabilidade, o manejo adequado e a pesca de longo prazo. Além disso, a identificação correta também auxilia na resolução de questões taxonômicas (Lima et al., 2024). A delimitação e reconhecimento de espécies de peixes não são apenas importantes do ponto de vista taxonômico e sistemático, mas também são essenciais para a gestão da pesca, autenticação de produtos alimentícios e identificação de materiais processados (Zhang, 2011).

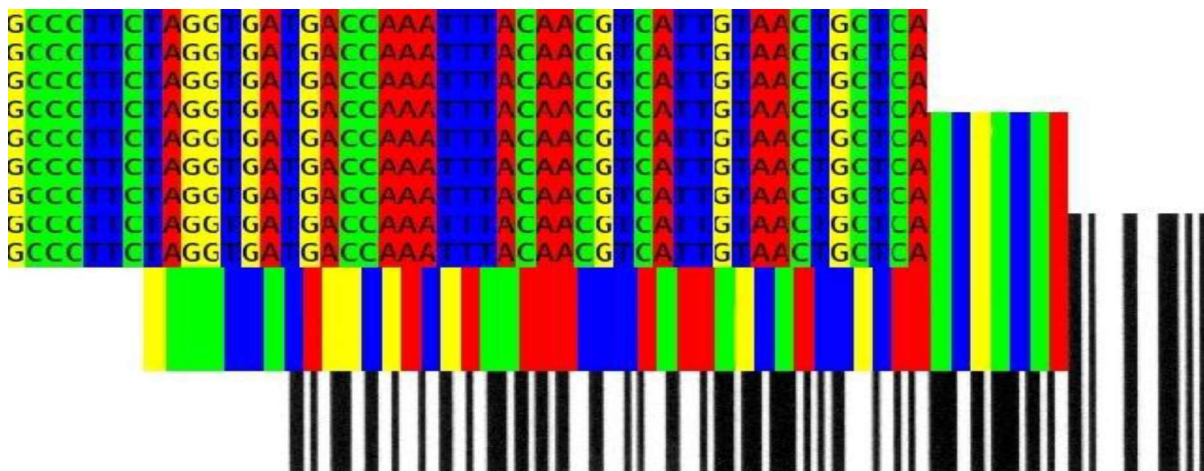
Devido à complexidade e às limitações da taxonomia tradicional baseada em características morfológicas, foram desenvolvidos vários métodos de análise de genótipos baseados na reação em cadeia da polimerase (PCR) para identificar espécies de peixes, especialmente em ovos, larvas e produtos comerciais (Marnis et al., 2024). A análise de sequências de DNA específicas da espécie (geralmente genes mitocondriais ou ribossomais) e à amplificação simultânea de fragmentos de DNA conservados por espécies através de PCR multiplex são métodos eficientes para a identificação de espécies de peixes (Zhang, 2011). A descoberta da utilidade do DNA mitocondrial (mtDNA) como marcador molecular revolucionou os estudos de genética de populações e evolução, sendo que atualmente, o DNA mitocondrial é amplamente utilizado em estudos de classificação e identificação de espécies, descoberta de novas espécies e na identificação da origem de organismos vivos e processados (Chac & Thinh, 2023).

Em 2003, Hebert et al. (2003a) propuseram a criação de um sistema de identificação molecular padronizado para espécies de animais que utiliza um fragmento de aproximadamente 650 pares de bases do gene Citocromo Oxidase

subunidade I (COI), localizado na extremidade 5' do gene. Os autores afirmam que a escolha desse gene mitocondrial foi baseada em suas características, como ampla distribuição entre os animais, alta quantidade de cópias por célula e taxas de mutação diferentes entre as espécies. O COI tem uma evolução rápida, o que permite distinguir não apenas espécies intimamente relacionadas, mas também grupos filogeográficos dentro de uma espécie (Hebert et al., 2003b). Essa técnica é considerada uma das mais recentes e promissoras para detectar unidades biológicas (Chac & Thinh, 2023).

Segundo Hebert et al. (2003a, 2003b) a ideia é a mesma do “código de barras” universal de produtos do mercado varejista (Figura 1), que emprega 10 números alternados em 11 posições para gerar 100 bilhões de identificadores únicos, no caso do DNA Barcode, pode haver até quatro possibilidades de nucleotídeos (Adenina, Citosina, Guanina e Timina) em cada posição, mas com uma cadeia de sítios mais longa que 11 posições; a combinação de apenas 15 dessas posições de nucleotídeos, por exemplo, criaria um bilhão de códigos únicos, um número muito maior do que o de espécies conhecidas, aproximadamente 15 milhões, permitindo que cada táxon seja identificado por apresentar uma sequência única de DNA Barcode.

Figura 1 - Analogia entre o *DNA Barcode* e o código de barras convencional.



Fonte: Ortiz (2010).

Essa metodologia permite a identificação de qualquer material portador de DNA, desde ovos, larvas, pequenos pedaços, intacto ou fragmentado, desde que uma matriz de sequências para a espécie já tenha sido estabelecida; isso facilitaria não só a identificação de espécies já catalogadas, independente do seu estágio de desenvolvimento, como também o reconhecimento de novas espécies e até mesmo

espécies crípticas (Hebert et al., 2003a, 2003b). Podendo contribuir, com a Taxonomia, Sistemática e Genética de populações, na taxonomia, por exemplo, pode ser utilizado para identificar espécimes atípicos e contribuir para revisão da nomenclatura de vários grupos, também utilizado como método de rotina para auxiliar na identificação de espécies (Hajibabaei et al., 2007).

Esse sistema de identificação microgenômica utiliza a análise de um pequeno segmento do genoma para identificar uma espécie; essas sequências são então inseridas em uma base de dados de sequências para uma identificação efetiva das espécies amostradas (Chac & Thinh, 2023). Frézal & Leblois (2008) ressaltam que o banco de dados universal do DNA Barcode, o BOLD (*Barcode of Life Database*), permite associar outros tipos de dados às amostras tais como: fotos do espécimen (voucher), ponto de coleta, data da coleta e coletor, número do espécimen, instituição na qual foi depositado, dados taxonômicos e informações moleculares (como eletroferogramas das sequências e primers utilizados na amplificação e no sequenciamento). Os referidos autores pontuam que o critério de qualidade máxima estabelece que as sequências diretas e reversas tenham uma sobreposição mínima de 500pb e mais que três indivíduos por espécie sequenciados.

Além disso, cabe ressaltar que, segundo Hebert et al. (2003a) e Hebert et al. (2003b), o DNA mitocondrial tem uma taxa de evolução aproximadamente 10 vezes mais rápida quando comparado a genes codificantes nucleares e, o COI possui taxas mutacionais estabelecidas entre diferentes espécies de animais e além disso, o DNA mitocondrial, de forma geral, apresenta várias cópias por célula, o que o torna adequado para análise de material degradado. Essas características fazem dele uma excelente ferramenta para a técnica de identificação genética (Hebert et al., 2005). Essa abordagem tem sido utilizada com sucesso em muitos campos além da identificação de espécies de peixes, incluindo o combate ao tráfico de fauna, a prevenção de fraudes alimentares, a detecção de invasões biológicas e o monitoramento da biodiversidade (Marnis et al., 2024).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da técnica de DNA Barcode mostrou-se extremamente eficiente na identificação das espécies envolvidas no comércio de bexigas natatórias. Esse método de análise molecular permitiu a diferenciação precisa de espécies que, de outra forma, seriam impossíveis de identificar por meio de técnicas morfológicas tradicionais, dada a natureza do produto comercializado. A correta identificação das espécies envolvidas neste comércio é essencial para o desenvolvimento de medidas de controle adequadas e para a conservação da biodiversidade. Como resultado deste trabalho, foi possível o desenvolvimento de um protocolo específico com o uso de técnicas moleculares, voltado para o auxílio na fiscalização ambiental, tornando-se uma ferramenta valiosa para apoiar as agências regulatórias na proteção dos recursos naturais.

Um aspecto notável identificado neste estudo foi a comercialização de carne de jacaré como bexiga natatória. Este achado inédito evidencia o quanto é essencial a aplicação dessas tecnologias para coibir fraudes no mercado e assegurar a conservação das espécies envolvidas.

A produção do "grude", derivado das bexigas natatórias e que gera altos lucros, está concentrada nas mãos de grandes comerciantes, tanto no Brasil quanto no exterior. Nas regiões de base produtiva, os benefícios econômicos desse comércio são mínimos, restando apenas o resíduo da produção. Não há, portanto, um desenvolvimento socioespacial significativo, uma vez que a própria sociedade local muitas vezes desconhece o potencial econômico e os destinos internacionais deste produto. Isso ressalta a necessidade de políticas de redistribuição de renda e de conscientização local sobre o valor do "grude" no mercado global.

Além disso, observa-se que há uma lacuna significativa na legislação ambiental específica para este tipo de comércio. O aumento contínuo da comercialização de bexigas natatórias sublinha a urgência de políticas públicas mais robustas e voltadas para a fiscalização e regulamentação desse setor. O governo deve priorizar a criação de normativas que contemplem as particularidades deste mercado, a fim de evitar a exploração descontrolada das espécies.

## 7 REFERÊNCIAS

ANTUNES, André P. et al. Empty forest or empty rivers? A century of commercial hunting in Amazonia. **Science advances**, v. 2, n. 10, p. e1600936, 2016.

BIODIVERSITY4ALL. Disponível em: <<https://www.biodiversity4all.org/>>. Acesso em: 20 jul. 2024.

BOLD SYSTEMS. *Identification - Barcode of Life Data System*. Disponível em: [https://boldsystems.org/index.php/IDS\\_OpenIdEngine](https://boldsystems.org/index.php/IDS_OpenIdEngine). Acesso em: 20 jul. 2024.

CAMPOS, Zilca et al. Spatial and temporal variation in reproduction of a generalist crocodilian, *Caiman crocodilus yacare*, in a seasonally flooded wetland. **PLoS One**, v. 10, n. 6, p. e0129368, 2015.

CARNEIRO, Auner Pereira; ALMEIDA, Amanda Cunha. 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.

CARREIRA, Laura BT; SABBAG, Omar J. Economic aspects of production of *Caiman crocodilus yacare*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, p. 495-502, 2015.

CERVIGÓN, F. **Los peces marinhos de Venezuela**. Vol. II. 2ª ed. Venezuela: Editora ExLibris. 497p. 1993.

CHAC, L. D.; THINH, B. B. Species identification through DNA barcoding and its applications: A review. *Biology Bulletin*, v. 50, n. 6, p. 1143-1156, 2023.

DANELUZ, Cahique M. DNA Barcode utilizado na identificação de tubarões comercializados no CEAGESP, São Paulo. 2020.

DA SILVA, Caio F. et al. DNA Barcode reveals mislabelling in the identification of marine fish swimming bladders for commercialization. **Forensic science international**, v. 299, p. 41-43, 2019.

DIÁLOGO CHINO. Grude movimentado mercado milionário no Brasil e leva chineses à Amazônia: Pescadores do Pará aproveitam crescente apetite chinês por bexigas natatórias de peixes amazônicos, mas comércio pode minguar sem regulamentação

e fiscalização. 01/12/2023. COLABORA, 20 jan. 2022. Disponível em: <https://projetcocolabora.com.br/ods12/grude-movimenta-mercado-milionario-no-brasil-e-leva-chineses-a-amazonia/>. Acesso em: 5 maio 2024.

DOS SANTOS, João Paulo Siqueira; DE OLIVEIRA, Christian Dennys Monteiro. Dinámica desigual del comercio pesquero Brasil/China en la explotación del grude en Vigia (Pará, Brasil). **Revista de Estudios Brasileños**, v. 9, n. 20, p. 17-29, 2022.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>. 2022.

FRÉZAL, Lise; LEBLOIS, Raphael. Four years of DNA barcoding: current advances and prospects. *Infection*, **Genetics and Evolution**, v. 8, n. 5, p. 727-736, 2008.

GOMES, Rodrigo Carneiro. O controle e a repressão da biopirataria no Brasil. 2007.

GOSTEL, Morgan R.; KRESS, W. John. The expanding role of DNA barcodes: Indispensable tools for ecology, evolution, and conservation. **Diversity**, v. 14, n. 3, p. 213, 2022.

HAJIBABAEI, Mehrdad et al. DNA barcoding: how it complements taxonomy, molecular phylogenetics and population genetics. **TRENDS in Genetics**, v. 23, n. 4, p. 167-172, 2007.

HEBERT, Paul DN et al. Biological identifications through DNA barcodes. Proceedings of the Royal Society of London. **Series B: Biological Sciences**, v. 270, n. 1512, p. 313-321, 2003 (a).

HEBERT, Paul DN; RATNASINGHAM, Sujeevan; DE WAARD, Jeremy R. Barcoding animal life: cytochrome c oxidase subunit 1 divergences among closely related species. Proceedings of the Royal Society of London. **Series B: Biological Sciences**, v. 270, n. suppl\_1, p. S96-S99, 2003 (b).

HEBERT, Paul DN; GREGORY, T. Ryan. The promise of DNA barcoding for taxonomy. **Systematic biology**, v. 54, n. 5, p. 852-859, 2005.

HICKMAN, D. et al. Isinglass/collagen: denaturation and functionality. **Journal of biotechnology**, v. 79, n. 3, p. 245-257, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). *Página inicial*. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/>. Acesso em: 25. jul. 2024.

JEŻOWSKI, Paweł; KOWALCZEWSKI, Przemysław Łukasz. Isinglass as an alternative biopolymer membrane for green electrochemical devices: initial studies of application in electric Double-Layer capacitors and future perspectives. **Polymers**, v. 15, n. 17, p. 3557, 2023.

JUNIOR, Sergio Alexandre de Moraes Braga; LIMA, Luiz Eduardo Pereira. Comércio ilegal de animais silvestres na internet e a legislação brasileira. **Revista Brasileira de Direito Animal**, v. 16, n. 2, p. 33-52, 2021.

KEARSE M, Moir R, Wilson A, Stones-Havas S, Cheung M, Sturrock S, Buxton S, Cooper A, Markowitz S, Duran C, Thierer T, Ashton B, Mentjies P, Drummond A. Geneious Basic: an integrated and extendable desktop software platform for the organization and analysis of sequence *data*. **Bioinformatics**, v. 28, n. 12, p. 1647-1649, 2012.

LEATHER, R. V. et al. Analysis of the collagen and total soluble nitrogen content of isinglass finings by polarimetry. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 100, n. 5, p. 331-334, 1994.

LEUENBERGER, Bruno H. Investigation of viscosity and gelation properties of different mammalian and fish gelatins. **Food hydrocolloids**, v. 5, n. 4, p. 353-361, 1991.

LIMA, Renato Corrêia et al. Identification of fish specimens of the Tocantins River, Brazil, using DNA barcoding. **Journal of Fish Biology**, 2024.

LISSI, Alessandra Hanselmann; BILLIG, Osvaldo Alencar. REPRESSÃO DA BIOPIRATARIA NO BRASIL, **REVISTA JurES**, v. 16, n. 29, p. 188-208, junho 2023.

MAGNUSSON, William Ernest; REBÊLO, G. H. Brazilian Crocodilians: The Problems of Conservation In A Multispecies System. Volume 17, Número 3, Pags. 56-57, 1983.

MARIONI, Boris et al. Science and conservation of Amazonian crocodilians: a historical review. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 31, n. 5, p. 1056-1067, 2021.

MARNIS, Huria et al. DNA barcoding of fish diversity from Batanghari River, Jambi, Indonesia. **Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 27, n. 2, p. 87-99, 2024.

MARRUL FILHO, Simão. **Crise e sustentabilidade no uso dos recursos pesqueiros**. Brasília: IBAMA/MMA, 2003.

MCGOODWIN, James R. **Crisis in the World's Fisheries: People, Problems and Polices**. Stanford, CA: Stanford University Press, 1990.

MEDEIROS, Natalia BC et al. Carcass and commercial cuts yields of caiman (*Caiman crocodilus yacare*) farmed in a ranching system in the Brazilian Pantanal. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, 2021.

MOURÃO, G. de M. Utilização econômica da fauna silvestre no Brasil: o exemplo do Jacaré-do-Pantanal. 2000.

MURAWSKI, Steven A. **Brief history of the groundfishing industry of New England**. Inglaterra: Northeast Fisheries Science Center (NEFSC), 1990. Disponível em: <http://www.nefsc.noaa.gov/history/stories/groundfish/grndfsh1.html>. Acesso em: 05 set. 2024.

OLIVEIRA, J. R. S. et al. Solubilização, precipitação e determinação de massas moleculares de colágenos da bexiga natatória de peixes. **Mens Agitat**, v. 1, n. 2, p. 11-17, 2006.

OLIVEIRA, Raul Barrera Camacho. Genética molecular na identificação de espécies de raias exploradas comercialmente no estado de São Paulo. 2020.

ORTIZ, Mauro de Freitas. Validação do DNA Barcoding como identificador de espécies: um estudo de ampla amostragem com o gênero *Pseudoplatystoma* (Siluriformes; Pimelodidae) na Amazônia. 2010.

RAMOS, Maíce Giovanini. DNA Barcoding na identificação de espécies de tubarões exploradas comercialmente no litoral de São Paulo. 2016.

RENTAS. 1º Relatório Nacional sobre o Tráfico de Fauna Silvestre. Brasília: 2001. Disponível em: <https://renctas.org.br/>. Acesso em: 05 mai. 2024.

RIBEIRO, Anna Julia dos Santos; MARTINS, Lohane Rodrigues. O Mar como um tesouro econômico: A pesca e seu impacto vital na economia. [S. l.], 1 jul. 2023. Disponível em: <https://ceemar.ufrj.br/a-pesca-e-seu-impacto-vital-na-economia/>. Acesso em: 7 maio 2024.

RODRIGUES, Paula. A máfia dos bichos: Muito além de reality, tráfico de animais no Brasil tira 38 milhões de bichos da mata por ano e gira R\$ 3 bi. UOL: Fernanda Schimidt, 11 maio 2020. Disponível em: <https://www.uol.com.br/ecoa/reportagens-especiais/trafico-no-brasil-tira-por-ano-35-milhoes-de-animais-da-floresta-e-gira-r-3-bilhoes/#cover>. Acesso em: 7 fev. 2024.

RODRIGUES JUNIOR, C. E. DNA Barcode na identificação de Peixes de Bico explorados comercialmente: uma abordagem forense. 2016.

ROMANELLI, Pedro Fernando; SCHMIDT, Juliana. Estudo do aproveitamento das vísceras do jacaré do pantanal (*Caiman crocodilus yacare*) em farinha de carne. **Food Science and Technology**, v. 23, p. 131-139, 2003.

SALDANHA, Polliana de Oliveira; PEIXOTO, Rosana da Silva. Análise bibliográfica do tráfico de animais silvestres no Nordeste do Brasil na última década, **Revista Multidisciplinar do Núcleo de Pesquisa e Extensão (RevNUPE)**, v. 1, n. 1, ed. 202102, 23 jun. 2021.

SCHRIEBER, R.; GAREIS, H. **Gelatine Handbook**. Wiley-VCH, GmbH and Co, Weinheim. 2007.

SILVÉRIO, J. Identificação genética de espécies de tubarões e monitoramento da pesca no litoral de São Paulo. 2010.

TAUTZ, Diethard et al. A plea for DNA taxonomy. **Trends in ecology & evolution**, v. 18, n. 2, p. 70-74, 2003.

THE INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN). IUCN Red List of Threatened Species. [S. l.], 10 out. 2019. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/>. Acesso em: 6 maio 2024.

THORBJARNARSON, John. Crocodile tears and skins: international trade, economic constraints, and limits to the sustainable use of crocodilians. **Conservation Biology**, v. 13, n. 3, p. 465-470, 1999.

TRESSLER, D. K. E.; LEMON, J. M. **Marine products of commerce. Their acquisition, handling, biological aspects and the science and technology of their preparation and preservation**. New York, Ed. Book division, Second edition, Chapter 24, p.524. 1951.

VASCONCELOS, Antony Stone Souza de. TRÁFICO INTERNACIONAL DE ANIMAIS SILVESTRES NO BRASIL, **Revista Ibero- Americana de Humanidades, Ciências e Educação- REASE**, v. 9, n. 05, p. 4349-4413, 5 maio 2023.

WARD RD, Zemplak TS, Innes BH, Last PR, Hebert PD. DNA Barcode Australia's fish species. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, v. 360, n. 1462, p.1847-57, 2005.

WORLD WILDLIFE FUND (WWF). *Página inicial*. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/>. Acesso em: 5 julho. 2024.

ZHANG, Junbin. Species identification of marine fishes in China with DNA barcoding. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2011, 2011.

ZHAO, Shu et al. Integrated DNA barcoding methods to identify species in the processed fish products from Chinese market. **Food Research International**, v. 182, p. 114140, 2024.