


---

CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

---

**DANIEL FERNANDES MENDES**

**RELAÇÃO ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE  
MERCÚRIO E SELÊNIO EM FÍGADOS DE  
TETRÁPODES MARINHOS: UMA AVALIAÇÃO  
COMPARATIVA ENTRE ODONTOCETOS**



Rio Claro - SP  
2024

DANIEL FERNANDES MENDES

**RELAÇÃO ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE MERCÚRIO E  
SELÊNIO EM FÍGADOS DE TETRÁPODES MARINHOS: UMA  
AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE ODONTOCETOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências, Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador(a): Melina Borges Teixeira

Zanatta

Rio Claro - SP  
2024

M538r Mendes, Daniel Fernandes  
Relação entre as concentrações de mercúrio e selênio em fígados de tetrápodes marinhos: uma avaliação comparativa entre odontocetos / Daniel Fernandes Mendes. -- Rio Claro, 2024  
45 p. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas)  
- Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências,  
Rio Claro  
Orientadora: Melina Borges Teixeira Zanatta

1. Mercúrio. 2. Selênio. 3. Bioacumulação. 4. Relação. I. Título.

DANIEL FERNANDES MENDES

**RELAÇÃO ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE  
MERCÚRIO E SELÊNIO EM FÍGADOS DE  
TETRÁPODES MARINHOS: UMA AVALIAÇÃO  
COMPARATIVA ENTRE ODONTOCETOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências, Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.


BANCA EXAMINADORA:

Dra. Melina Borges Teixeira Zanatta


Me . Guilherme dos Santos Lima

Dr. Carlos Alfredo Suárez

Aprovado em: 11\_de Novembro\_de 2024

 Documento assinado digitalmente  
DANIEL FERNANDES MENDES  
Data: 05/12/2024 16:51:14-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do discente

 Documento assinado digitalmente  
MELINA BORGES TEIXEIRA ZANATTA  
Data: 05/12/2024 16:46:55-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura da orientadora

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho é o resultado de uma jornada repleta de desafios, aprendizados e conquistas. Não seria possível sem o apoio incondicional de pessoas muito especiais, às quais dedico este espaço de gratidão. À minha mãe, Rosi, que com seu amor e palavras de encorajamento, sempre me mostrou que os sonhos são possíveis. Sua força e dedicação são minha maior inspiração. Ao meu pai, Carlos, por ser meu exemplo de perseverança e determinação. Sua sabedoria e conselhos foram fundamentais para que eu pudesse superar os obstáculos ao longo deste caminho. Gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu primo Rodrigo, cujo apoio foi fundamental ao longo desta jornada acadêmica. Rodrigo, seu incentivo constante foi uma fonte importante de motivação para mim. Desde os momentos mais desafiadores até as pequenas vitórias diárias, você esteve ao meu lado, mesmo que de longe, oferecendo palavras de encorajamento. Sua confiança em meu potencial me deu forças para continuar, mesmo perante as dificuldades. À minha tia, Sueli, cuja generosidade e carinho me proporcionaram momentos de conforto e segurança. Sua presença constante foi um alicerce em minha vida. Ao meu tio, Pedro, por acreditar em mim e me incentivar a seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis. Sua confiança foi um combustível essencial para a realização deste trabalho. À minha namorada, Samara, por seu amor, paciência e compreensão. Você esteve ao meu lado em cada passo desta jornada, compartilhando alegrias e desafios. Sua parceria foi essencial para que eu pudesse chegar até aqui. Gostaria de agradecer à minha orientadora, Melina, por todo o apoio, dedicação e orientação ao longo deste trabalho. Sua paciência e conhecimentos foram fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico. Sem sua orientação, este TCC não seria possível. A todos vocês, meu mais profundo e sincero agradecimento. Este trabalho é, em grande parte, fruto do apoio e do amor que recebi de cada um de vocês. O presente trabalho foi realizado com apoio do processo nº 2022/04776-2, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

## RESUMO

A crescente poluição química nos ecossistemas oceânicos representa uma ameaça às espécies que vivem neste ambiente, especialmente aos predadores de topo de cadeia, em virtude do processo de bioacumulação e biomagnificação de determinados compostos tóxicos. Elementos traços como mercúrio (Hg) e selênio (Se) desempenham um papel significativo nas investigações relacionadas à contaminação dos ecossistemas marinhos. O Hg, um metal que gera preocupações toxicológicas consideráveis para a biota, é importante por apresentar algumas espécies químicas capazes de causar efeitos extremamente prejudiciais aos organismos. Em contraste, o Se atua como micronutriente essencial em animais, exibindo propriedades antioxidantes. Os organismos de topo de cadeia frequentemente demonstram elevados níveis de concentração de Hg em seus tecidos. No entanto, estudos indicam que, por meio de um efeito antagônico, o Se pode se ligar com o Hg inorgânico, formando complexos insolúveis de Hg-Se. Surge, assim, a hipótese de que o Se pode atuar como um potencial redutor das cargas de Hg, elevando a tolerância ao elemento e restringindo seus efeitos clínicos, geralmente em proporções molares próximas a 1:1. As análises mostraram que *Sotalia guianensis* apresenta concentrações totais de Hg e Se significativamente maiores do que *Pontoporia blainvillei*. As razões molares médias de Se foram de 3,5 para *P. blainvillei* e 0,91 para *S. guianensis*, sugerindo que o Se pode atuar como um agente protetor contra a toxicidade do Hg. As proporções observadas indicam que o efeito protetor do Se pode ser mais eficaz quando as proporções se aproximam ou superam 1:1. As concentrações totais de Hg e Se aumentaram com a idade, confirmando a biomagnificação desses elementos na cadeia alimentar. A análise revelou que os machos de ambas as espécies possuem maiores concentrações de Hg, possivelmente devido a diferenças nos hábitos alimentares e áreas de vida. Este estudo proporciona uma compreensão dos mecanismos de acumulação e desintoxicação de Hg pelo Se em odontocetos. As interações ecológicas e a dieta desempenham papéis importantes na dinâmica desses elementos na cadeia alimentar marinha. Estes resultados ressaltam a importância de considerar fatores ecológicos e fisiológicos na gestão e conservação de odontocetos e em estudos sobre a poluição dos mares.

**Palavras-chave:** Selênio; Mercúrio; Relação; Bioacumulação.

## ABSTRACT

The increasing chemical pollution in oceanic ecosystems poses a threat to species living in these environments, particularly top predators, due to the processes of bioaccumulation and biomagnification of certain toxic compounds. Trace elements such as mercury (Hg) and selenium (Se) play a significant role in investigations related to marine ecosystem contamination. Hg, a metal that raises considerable toxicological concerns for biota, is notable for its chemical species that can cause extremely harmful effects on organisms. In contrast, Se functions as an essential micronutrient in animals, exhibiting antioxidant properties. Top predators often show elevated levels of Hg concentration in their tissues. However, studies indicate that, through an antagonistic effect, Se can bind with inorganic Hg, forming insoluble Hg-Se complexes. This leads to the hypothesis that Se may act as a potential reducer of Hg loads, increasing tolerance to the element and limiting its clinical effects, typically in molar ratios close to 1:1. Analyses showed that *Sotalia guianensis* has significantly higher total concentrations of Hg and Se compared to *Pontoporia blainvillei*. The mean molar ratios of Se were 3.5 for *P. blainvillei* and 0.91 for *S. guianensis*, suggesting that Se may act as a protective agent against Hg toxicity. The observed ratios indicate that the protective effect of Se may be more effective when the ratios approach or exceed 1:1. Total concentrations of Hg and Se increased with age, confirming the biomagnification of these elements in the food chain. The analysis revealed that males of both species have higher Hg concentrations, possibly due to differences in feeding habits and habitat areas. This study provides insight into the mechanisms of Hg accumulation and detoxification by Se in odontocetes. Ecological interactions and diet play important roles in the dynamics of these elements in the marine food chain. These results highlight the importance of considering ecological and physiological factors in the management and conservation of odontocetes and in studies of marine pollution.

**Keywords:** Selenium; Mercury; Relationship; Bioaccumulation.

**Title in english:** Relationship Between Mercury and Selenium Concentrations in the Livers of Marine Tetrapods: A Comparative Evaluation Among Odontocetes.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1 Efeitos do mercúrio em altas concentrações para os odontocetos .....	8
1.2 Selênio como um atenuante na ação do mercúrio .....	9
1.3 Análise da relação Se:Hg em espécies de cetáceos .....	10
<b>2 METODOLOGIA .....</b>	<b>13</b>
2.1 Equipamentos .....	13
2.2 Reagentes e Soluções .....	13
2.3 Seleção das Amostras .....	14
2.4 Tratamento das Amostras .....	14
2.5 Determinação de Hg e Se .....	15
2.6 Análises Estatísticas .....	18
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>19</b>
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>35</b>
REFERÊNCIAS .....	36

## **1 INTRODUÇÃO**

A urbanização, o rápido desenvolvimento econômico e o planejamento inadequado das áreas costeiras têm feito uma pressão crescente sobre os ecossistemas marinhos, resultando em diversos impactos ambientais. Entre esses impactos, destaca-se a liberação de níveis altos de elementos traços no ambiente. Embora algumas fontes naturais também contribuam para as concentrações desses elementos nos ecossistemas aquáticos, a grande maioria provém de atividades humanas que aumentam sua mobilização, circulação e liberação no ambiente (Nriagu e Pacyna, 1988; Caussy et al., 2003; Audry et al., 2004; Eggleton e Thomas, 2004).

Os mamíferos marinhos têm se mostrado excelentes bioindicadores ou sentinelas da contaminação ambiental (Capelli et al., 2000). Devido à sua posição no topo da cadeia alimentar e à longa expectativa de vida, esses animais acumulam diversos tipos de contaminantes ambientais como mercúrio (Hg) e selênio (Se) (Storelli et al., 1999; Kunito et al., 2004). Essa capacidade de acumulação torna os mamíferos marinhos importantes para monitorar a poluição e compreender os efeitos dos contaminantes no ambiente marinho. Elementos traços podem bioacumular ao longo do tempo, atingindo níveis subletais ou até letais nos organismos, a menos que sejam excretados ou detoxificados (Kehrig et al., 2016). Este problema pode ser ainda mais grave em organismos de vida longa, como, por exemplo, os odontocetos (Lahaye et al., 2007).

### **1.1 Efeitos do mercúrio em altas concentrações para os odontocetos**

O Hg é um elemento traço exógeno que pode ser liberado no meio ambiente tanto de fontes naturais quanto antropogênicas (Hong et al., 2012). Este elemento é prejudicial e pode afetar a produtividade, reprodução e sobrevivência de mamíferos marinhos (Feroci et al., 2005). A exposição ambiental ao Hg em sua forma orgânica mais tóxica (metilmercúrio, MeHg) em mamíferos marinhos, principalmente através da cadeia alimentar, é significativamente maior do que em outros organismos, uma vez que o MeHg apresenta alta toxicidade e a capacidade de sofrer biomagnificação ao longo das cadeias tróficas (Kehrig et al., 2013). Esse processo resulta em altas concentrações de Hg nos tecidos de predadores de topo de cadeia nos ambientes marinhos (Kehrig et al., 2013; Seixas et al., 2014).

Os efeitos nocivos do Hg em mamíferos marinhos incluem neurotoxicidade, diminuição da ação do sistema imunológico e desequilíbrio endócrino (Basu et al., 2009; Kakuschke et al., 2009; Bechshoft et al., 2015). Os odontocetos, são predadores de topo de vida longa que incorporam Hg através da dieta, acumulando-o em altas concentrações em seus órgãos (Nigro et al., 2002). O Hg, em odontocetos, tende a se comportar e produzir efeitos parecidos aos humanos, pelas semelhanças e/ou analogias funcionais e morfológicas. Diminui a ação do sistema imunológico ao ser modificado em formas que conseguem se ligar a células protetoras, como os linfócitos e macrófagos. A ação imune das células é reduzida, sofrendo efeito redutor sobre a quantidade de anticorpos (Boisset, 2008; Manhães et al., 2021; Starrantino & Soto, 2018).

Os vestígios de MeHg, nos animais, acometem vários processos fisiológicos importantes, afetando o sistema imunológico ao lesionar células protetoras, favorecendo o surgimento de parasitas e patologias infecciosas; reprodutivo, provocando infertilidade, nascimento precoce, morte fetal, malformação embrionária e espessamento e deformações em ovos; endócrino; nervoso, ao transcender membranas do cérebro, afetando permanentemente a neuroquímica, coordenação motora deficiente, deterioração da medula espinhal e transtornos comportamentais (Buriticá & Abrego, 2019; Rodriguez et al., 2020; Salvagni, 2013; Sinaei & Bolouki, 2017; Tong; Wang; Lu, 2016).

## **1.2 Selênio como um atenuante na ação do mercúrio**

O Se é um micronutriente importante para a atividade metabólica de todas as formas de vida que possuem sistemas nervosos, atuando como um agente protetor contra a toxicidade do Hg, principalmente no fígado de mamíferos marinhos (Feroci et al., 2005; Endo et al., 2002). Quimicamente, o Se pode se apresentar em duas formas: orgânica, nos animais, na forma de selenocisteína e selenometionina; e inorgânica, que pode ser encontrada em quatro estados oxidativos: seleneto (Se<sup>-2</sup>); selênio elementar (Se<sup>0</sup>); Selenito (Se<sup>+4</sup>); e Selenato (Se<sup>+6</sup>) (Lin, 2014; Mehdi et al., 2013; Zorzetto, 2017).

Foi relatado que o fígado de odontocetos pode atuar para desmetilação e/ou sequestro das formas orgânicas e inorgânicas de Hg, de modo que o Se está envolvido em ambos os mecanismos (Endo et al., 2002; Wagemann et al., 2000; Kehrig et al., 2008). O sequestro das espécies de Hg nos cetáceos ocorre através da

formação de complexos com o Se e da ligação do mercúrio à proteína metalotioneínas (MT) (Endo et al, 2002). Há uma alta correlação entre as concentrações de Hg total (T-Hg) e Se no fígado destes animais. Essa correlação sugere a formação de um complexo de mercúrio-selênio (HgSe), considerado um mecanismo de destoxificação do Hg. O complexo HgSe é menos tóxico e pode permitir uma maior acumulação de mercúrio no fígado sem causar muitos danos ao animal (Endo et al, 2002).

As metalotioneínas se ligam a metais pesados, incluindo o Hg. A maior parte do mercúrio acumulado no fígado, é encontrada na forma inorgânica, o que sugere que o Hg metilado (M-Hg) é desmetilado no fígado, resultando em Hg inorgânico. Este processo é fundamental, pois permite que o Hg seja sequestrado e detoxificado através da formação de complexos com o Se e a ligação com a metalotioneínas (Endo et al, 2002).

Outra função importante do Se, que se dá através da alta correlação entre Se e Hg nos fígados dos odontocetos, é o potencial de detoxificar as formas tóxicas do Hg interagindo diretamente com este, geralmente em proporções molares próximas de 1:1, formando grânulos insolúveis e inertes (ANAN et al., 2011; ARAI et al., 2004; Sasakura; Suzuki, 1998). Este processo provoca a formação de complexos inertes de seleneto de mercúrio (Hg-Se), em que o  $\text{Se}^{2-}$  reage com  $\text{Hg}^{2+}$  na corrente sanguínea, culminando em grânulos insolúveis, em uma proporção molar de 1:1. O Selênio também pode participar da desmetilação do MeHg ou formar moléculas MeHg-Se e redistribuí-las pelo corpo (Cisneros, 2014; Falnoga & Tusek-znidaric, 2007; Khan & Wang, 2009; Palmisano et al., 1995; Yang et al., 2008).

### **1.3 Análise da relação Se:Hg em espécies de cetáceos**

Os golfinhos, pertencentes ao grupo de cetáceos odontocetos, são muito sensíveis às mudanças ambientais, uma vez que são predadores de topo de cadeia alimentar e especialmente suscetíveis aos impactos humanos (Wells et al., 2004).

Estes animais são bons bioindicadores do estado de contaminação dos ecossistemas marinhos, pois sua plasticidade alimentar e de habitat em ambientes marinhos fornecem informações sobre os níveis de elementos traços originados de fontes naturais e antropogênicas (Bossart, 2006; Monteiro et al., 2016).

*Pontoporia blainvillei*, chamada popularmente de Toninha, é um cetáceo encontrado do sudeste do Brasil à Argentina (Crespo, 2018). Devido aos seus

hábitos costeiros e estuarinos, eles habitam áreas de grande atividade humana, o que representa ameaças à sua conservação. Sua dieta é baseada principalmente em peixes, cefalópodes e crustáceos, sendo o último grupo um dos mais importantes na dieta dos juvenis (Basso et al., 2021; Tellechea et al., 2017). Estes animais enfrentam várias ameaças, incluindo poluição química, perda de habitat, poluição sonora e, o mais importante, morte acidental que ocorre pela pesca. Essas ameaças combinadas com a baixa taxa reprodutiva da espécie causaram o declínio da população, tornando-os os cetáceos mais ameaçados do sudoeste do Atlântico Sul (Secchi & Fletcher, 2004; Zerbini et al., 2017), sendo classificados como criticamente em perigo na Lista Nacional de Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção (ICMBio, 2018).

*Sotalia guianensis* é um dos cetáceos mais comuns na costa brasileira (Flores e Da Silva, 2008). Pode ser encontrado em águas costeiras, com distribuição desde Honduras, na América Central, até o Estado de Santa Catarina, no sul do Brasil (Da Silva e Best, 1996; Simões-Lopes, 1988). O hábito alimentar desta espécie é composto principalmente de peixes, cefalópodes e crustáceos. Mais de 100 espécies de presas já foram identificadas ao longo da costa brasileira, principalmente peixes demersais. A presa mais importante varia de acordo com a região onde vive cada população (Pansard et al., 2011; Di Benedetto et al., 2011; Cremer et al., 2012). No Brasil, a espécie está listada como vulnerável na Lista Vermelha Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção (MMA, 2016).

Estes mamíferos podem estar parcialmente protegidos contra os efeitos negativos do Hg por meio de vários mecanismos, incluindo a desmetilação, excreção (por meio de urina e fezes), interações com proteínas, como metalotioneínas (MT) e elementos como o Se (Wintle et al., 2011; Nigro et al., 2002; Correa et al., 2014; Das et al., 2000; Khan e Wang, 2009). Koeman et al. (1973) relataram pela primeira vez uma correlação positiva entre Hg e Se no fígado e cérebro de cetáceos, e já foi demonstrado que o seleneto de mercúrio (HgSe) é um produto do processo de desmetilação, atuando como um mecanismo para lidar com a toxicidade do mercúrio em cetáceos (Nakazawa et al., 2011; Lailson-Brito et al., 2012).

Recentemente, McCormack et al. (2020) mostraram ausência de efeitos clínicos causados por Hg em odontocetos e associaram esse fato a formação de seleneto de mercúrio nos organismos destes. A partir disso, avaliaram a relação entre as concentrações de Hg e Se em 11 espécies de odontocetos no Norte do

Golfo do México. Por fim, os autores afirmaram que as razões molares próximas de 1:1 seriam responsáveis pela diminuição no aumento da concentração de Mercúrio Total (THg) em todas as espécies observadas.

Com isso, os objetivos deste estudo foram determinar as concentrações totais de Se e Hg em tecidos hepáticos de duas espécies (*P. blainvillei* e *S. guianensis*) de odontocetos e comparar as proporções molares destes elementos entre as espécies. Isso permite ampliar a compreensão sobre a sinergia Hg-Se entre os grupos de odontocetos estudados.

A presente pesquisa é importante para entender o potencial papel redutor de toxicidades do Se em relação ao Hg, ampliar a compreensão sobre a sinergia Hg-Se entre os grupos de odontocetos e produzir informações sobre o conteúdo de Hg em ecossistemas e organismos, que é fundamental para a compreensão de possíveis impactos ambientais e aumento de toxicidade por este elemento.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Equipamentos

- Pipetas, balanças analíticas, tubos plásticos, maceradores de plásticos, espátulas de porcelanas, tubos digestores e capela de fluxo laminar.
- Digestor (Ethos UP, modelo Milestone MLS, Sorisole, Italy). - Liofilizador (Alpha 1-2 Ldplus-Christ, Holanda).
- Espectrômetro de massas com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS - Thermo modelo X série II– Bremen – Alemanha).
- Espectrômetro de fluorescência atômica acoplado a geração de vapor frio (CV- AFS, PS Analytical model Millennium Merlin, Kent, United Kingdom).

### 2.2 Reagentes e Soluções

- Água ultrapura do sistema de purificação Milli-Q Direct-Q® 5 UV, com resistividade de 18,2 MΩ cm<sup>-1</sup> para o preparo das amostras, padrões e soluções.
- HNO<sub>3</sub> e HCl destilados abaixo do ponto de ebulição.
- Soluções-padrões de trabalho de Se e Hg, preparadas a partir de uma solução padrão estoque G1467V - 100 mg L<sup>-1</sup> SpecSol, Brasil (Quimlab, Jacareí, SP, Brazil).
- Amostras de materiais biológico de referência e certificados: certificado: TORT-3 (hepatopâncreas de lagosta, produzido pelo National Research Council, Canada) e material biológico de referência (tecido animal fresco de fígado bovino com adição de concentração conhecida de Hg) foram usados para avaliar a exatidão das análises.
- Solução de Padrão interno contendo: 6Li, 45Sc, 89Y, 103Rh, 115In, 159Tb, 169Ho, 209Bi para determinações por ICP-MS.
- Solução de KBr (1,19 %, m v<sup>-1</sup>) e KBrO<sub>3</sub> (0,28%, m v<sup>-1</sup>).
- Solução de HCl 2,5% (v v<sup>-1</sup>).
- Solução de SnCl<sub>2</sub> 2% (m v<sup>-1</sup>) dissolvido em HCl 10% (v v<sup>-1</sup>).
- Solução de cloridrato de hidroxilamina (5% m v<sup>-1</sup>).

### 2.3 Seleção das Amostras

Como parte do Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Santos (PMP-BS), amostras de tecido hepático de indivíduos mortos, encontrados encalhados ao longo do Oceano Atlântico Sudoeste, foram coletadas. A área de monitoramento abrange a costa dos estados de Santa Catarina (SC), Paraná (PR), São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ).

As amostras biológicas foram obtidas exclusivamente de indivíduos recém-mortos. O estágio de decomposição das carcaças e a amostragem dos tecidos hepáticos foram realizados em laboratório, seguindo um procedimento adaptado de Geraci et al., 2005. Para cada indivíduo, os parâmetros biológicos, a localização e a data de coleta foram registradas no Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática (SIMBA), um banco de dados online utilizado por todas as instituições participantes do PMP-BS. As amostras foram armazenadas em ultra-freezer (-80 °C) para análises posteriores.

As coletas foram realizadas nos estados de São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro e Santa Catarina pela Petrobrás e autorizadas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). No Projeto, foram previstas 40 amostras, sendo 20 de cada uma das duas espécies de odontocetos estudadas (*P. blainvillei* e *S. guianensis*). Foram analisadas 20 amostras de fígado para cada espécie, totalizando 40 amostras. As determinações de Hg já haviam sido realizadas como parte de um projeto maior (PMP-BS), com a colaboração essencial do Me. Guilherme dos Santos Lima. Para a determinação de Se em cada uma das duas espécies, foram selecionadas 10 amostras com as maiores concentrações de Hg e 10 amostras com as menores concentrações de Hg. Amostras com menos de 0,100 mg/kg de Hg foram desconsideradas.

### 2.4 Tratamento das Amostras

A digestão das amostras para determinação de Hg, foi realizada utilizando um micro-ondas modelo Ethos UP (Milestone MLS, Sorisole, Itália). Aproximadamente 0,5g de amostra úmida, in natura, previamente homogeneizada, foi adicionada a um tubo de digestão. Como há perda de mercúrio durante o processo de liofilização, a digestão deste foi feita in natura (Silva et al., 2021).

Na sequência, foram adicionados 2 mL HNO<sub>3</sub> (65 % m v<sup>-1</sup>) e 6 mL de HCl (37% m v<sup>-1</sup>) ambos destilados abaixo do ponto de ebulição. Os tubos foram fechados para pré-digestão overnight à temperatura ambiente. Depois da pré digestão, os tubos foram transferidos para o micro-ondas e submetidos ao processo de aquecimento com duas rampas: rampa 1 - a temperatura foi elevada para 170 °C em 20 min, mantido a 170 °C por 5 min (potência 1600 W); rampa 2- a temperatura foi aumentada de 170 para 200 °C em 10 min e mantida a 200 °C por 20 min (potência 1600 W).

Após digestão, o digerido foi dividido em três pseudo-réplicas com a transferência de 1 mL do extrato digerido para tubos de centrifuga de 50 mL. Para a determinação de Se, as amostras foram submetidas ao processo de liofilização, onde foi pesada aproximadamente 5 g de cada amostra congelada (-80 °C). As alíquotas foram inseridas no liofilizador (Alpha 1-2 LDplus CHRIST, Holanda) sob as condições -40 °C e 0,11 mbar por 72 horas.

Finalizado o procedimento de liofilização, as amostras foram maceradas e homogeneizadas para posteriormente serem digeridas. Para a digestão, pesou-se 0,175 g das amostras liofilizadas utilizando balança analítica. Juntamente com a amostra foi adicionado 5 mL de HNO<sub>3</sub> destilado abaixo do ponto de ebulição (65 % m v<sup>-1</sup>). O ácido permaneceu em contato com a amostra por 10 minutos em temperatura ambiente para uma digestão prévia. Então os frascos foram fechados e inseridos no digestor micro-ondas, onde foram submetidas a duas rampas de aquecimento, nas quais 170 °C foram alcançados em 10 minutos e mantidos por 5 minutos, após este procedimento a temperatura foi aumentada para 200 °C em 3 minutos e mantida por 20 minutos. Após isso, o digerido foi transferido quantitativamente para tubos de centrifuga e o volume final foi ajustado para 50 mL. Ao fim do procedimento de digestão, os extratos digeridos foram divididos em três pseudo-réplicas a partir de uma nova diluição (5 mL de extrato da amostra para 10 mL de água ultrapura) e posteriormente analisados por ICP-MS.

## **2.5 Determinação de Hg e Se**

As amostras foram analisadas por ICP-MS (Se) e por CV-AFS (Hg), ambos os equipamentos operados de acordo com as especificações presentes na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de operação dos equipamentos de ICP-MS e CV-AFS.

	<b>Parâmetros</b>	<b>Condição de Operação</b>
	Potência de radiofrequência	1300 W
	Vazão do gás de nebulização	0,88 L min <sup>-1</sup>
	Vazão do gás auxiliar	0,80 L min <sup>-1</sup>
<b>ICP-MS</b>	Vazão do gás do plasma	13,0 L min <sup>-1</sup>
	Vazão da amostra	1,5 mL min <sup>-1</sup>
	Padrões internos	Ge, Y
	Nebulizador	Burgener, Mira mist
	Cone de amostragem	Níquel
	Modo de leitura	Peak Jumping
	Vazão da amostra	5 mL min <sup>-1</sup>
	Vazão da solução de SnCl <sub>2</sub>	2,7 mL min <sup>-1</sup>
	Vazão do gás de arraste	250 mL min <sup>-1</sup>
<b>CV-AFS</b>	Ganho	100
	Tempo de espera	15s
	Tempo total de aquisição	30s
	Tempo de limpeza	20s

Fonte: Autor (2024)

Para a determinação de Hg por CV-AFS, uma fração do extrato concentrado foi separada em 3 pseudo réplicas para serem analisadas em triplicatas. Os seguintes valores foram transferidos para tubos de centrífuga de 15 mL, 0,6 mL do extrato concentrado; 1,2 mL da solução contendo KBr 1,19% m v<sup>-1</sup> e KBrO<sub>3</sub> 0,28%

m v<sup>-1</sup> ; 0,75 mL de HCl concentrado (duplamente destilado) e água ultrapura para um volume de aproximadamente 15 mL.

Em seguida, as pseudorréplicas foram mantidas para reação durante 30 minutos. Posteriormente, 0,018 mL de NH<sub>2</sub>OH (12% m v<sup>-1</sup>) foi adicionado a cada pseudorréplica. A solução de NH<sub>2</sub>OH foi usada para neutralizar o excesso de solução de KBr/KBrO<sub>3</sub>.

As concentrações de Hg foram determinadas por um CV-AFS. A curva analítica foi obtida a partir de sucessivas diluições de uma solução padrão de estoque certificada de Hg 1000 mg L<sup>-1</sup> SpecSol (Quimlab, Jacareí, SP, Brasil), usando 6 soluções padrão com concentrações de 0; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0 e 2,0 µg kg<sup>-1</sup>. A mesma quantidade das soluções de KBr/KBrO<sub>3</sub>, HCl e hidroxilamina foram adicionadas aos padrões.

Após a curva analítica, soluções padrão, materiais de referência (uma certificada, TORT-3, que consiste em hepatopâncreas de lagosta fornecido pelo Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá. A segunda amostra, MR, composta por fígado bovino fresco, que foi adicionada uma concentração conhecida de Hg e brancos foram analisados em triplicatas antes das amostras e a cada 10 amostras, buscando a validação do método e para avaliar a precisão das análises. Enfim, a concentração de Hg nas amostras foi obtida em mg kg<sup>-1</sup>.

Para determinação de Se por ICP-MS, as amostras já digeridas foram analisadas usando padronização interna. Soluções-padrão de trabalho foram obtidas a partir de diluições sucessivas de soluções-padrão estoque certificadas (TORT-3 [National Research Council, Canadá] e material de referência do fígado bovino liofilizado [MR-05/12, Embrapa, Brasil]). Uma curva analítica com 5 a 6 padrões, preparados com a mesma concentração de HNO<sub>3</sub> presente nas amostras (10 % v v<sup>-1</sup>) foi utilizada.

Após a padronização, um padrão com concentração conhecida (padrão de verificação), foi utilizado para avaliar o drift instrumental, o qual o valor não deve ter variações superiores a 10 % do valor esperado. A cada 10 análises, foi analisado o padrão de verificação juntamente com o padrão de menor concentração da curva analítica (branco analítico). Junto dos padrões e amostras foi introduzido uma solução contendo padrões internos: 6Li, 45Sc, 89Y, 103Rh, 115In, 159Tb, 169Ho, 209Bi.

O padrão interno tem a função de corrigir possíveis interferências provenientes da matriz. Para avaliar o quão exatas as análises estão, uma quantidade conhecida do analito foi adicionada, chamada de spike, a uma amostra que já havia sido digerida. As recuperações dos analitos não devem variar 25 % do valor adicionado (75 – 125 %). As amostras contendo esses spikes foram quantificadas junto com as análises com uma periodicidade de 20 amostras.

As amostras de referência e as amostras certificadas foram analisadas juntamente com as amostras de tecido dos tetrápodes marinhos em uma periodicidade de 20 amostras consecutivas. O material de referência e a amostra certificada sofreram o mesmo tratamento que as amostras que foram analisadas. E assim, as concentrações de Se nas amostras foram quantificadas em mg kg<sup>-1</sup>.

## **2.6 Análises Estatísticas**

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software BioEstat 5.0 para Windows. Os dados foram testados para tratamentos estatísticos mais detalhados como o teste de normalidade (Shapiro-Wilk). Posteriormente, foi feito teste não paramétrico (Kruskal-Wallis). Neste caso, foram considerados fatores intraespecíficos como a idade (filhote, juvenil e adultos) e sexo (machos e fêmeas) e local (São Paulo, Santa Catarina, Paraná e Rio de Janeiro) com o objetivo de se obter dados capazes de ampliar a compreensão sobre a sinergia Hg-Se entre os grupos de tetrápodes marinhos estudados. Foi feito também a regressão múltipla (R<sup>2</sup>) para determinar a relação entre Hg e Se no fígado das espécies avaliadas. Foi feito também o teste de regressão múltipla para sexo (machos e fêmeas) e idade (filhote, juvenil e adultos). Um valor de p menor do que 0,05 foi escolhido para indicar significância estatística.

### 3 RESULTADOS

Foram obtidos limites de detecção (peso seco) de 0,04 mg kg<sup>-1</sup> e 0,13 mg kg<sup>-1</sup> para Hg e Se, respectivamente, que foram calculados seguindo as normas do Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). As recuperações (%) para Se e Hg nas amostras certificadas ficaram entre 87 - 103% e 95 - 101%, respectivamente.

Os resultados das análises para as concentrações totais de Hg e Se (peso seco) determinados por ICP-MS e CV-AFS para as espécies *P. blainvillei* e *S. guianensis* são apresentados abaixo, nas tabelas 2 e 3. O teor de umidade de cada amostra foi utilizado para converter a concentração de Hg para base seca (mg kg<sup>-1</sup>) por meio da Equação 1:

$$C \text{ seca} = C \text{ úmida} / [(100 - U_{\text{amostras}}) / 100]$$

(1) onde: C seca = concentração em base seca (mg kg<sup>-1</sup>); C úmida = concentração em base úmida (mg L<sup>-1</sup>); U<sub>amostras</sub> = umidade das amostras (%).

Tabela 2 - Concentrações totais de Hg e Se (peso seco) nas amostras de fígado de *P. blainvillei* analisadas por ICP-MS e CV-AFS.

<b>Amostras <i>P. blainvillei</i></b>	<b>Hg [µg/g]</b>	<b>Se [µg/g]</b>
1	33.1	20.8
2	28.6	26.8
3	18.9	13.2
4	12.7	7.43
5	11.5	12.7
6	7.72	14.0
7	7.04	16.7
8	6.23	12.5
9	5.46	9.45
10	5.39	3.34

11	1.09	4.00
12	0.83	3.70
13	0.79	2.41
14	0.72	3.19
15	0.60	4.10
16	0.59	1.99
17	0.59	1.82
18	0.54	4.14
19	0.54	3.20
20	0.53	30.9
<hr/>		
<b>Média</b>	7.18	9.82
<b>SD</b>	9.60	8.58
<b>RSD</b>	134	87.4

Fonte: Autor (2024)

Tabela 3 - Concentrações totais de Hg e Se (peso seco) nas amostras de fígado de *S. guianensis* analisadas por ICP-MS e CV-AFS.

<b>Amostras <i>S. guianensis</i></b>	<b>Hg [<math>\mu\text{g/g}</math>]</b>	<b>Se [<math>\mu\text{g/g}</math>]</b>
1	283	12.3
2	259	46.3
3	187	50.1
4	152	143
5	128	66.8
6	126	44.9
7	101	1.20
8	98.2	33.0

9	81.2	35.8
10	77.1	15.9
11	0.85	3.02
12	0.67	1.08
13	0.57	1.75
14	0.48	1.89
15	0.45	1.20
16	0.43	3.03
17	0.41	1.17
18	0.26	0.86
19	0.25	1.00
20	0.21	69.5
<b>Média</b>	74.9	26.7
<b>SD</b>	91.2	36.2
<b>RSD</b>	122	136

Fonte: Autor (2024)

Representadas nas Tabelas 4 e 5 estão as concentrações molares e as razões molares de Se/Hg. As razões foram obtidas considerando os pesos moleculares de Hg (200,59) e Se (78,96).

Tabela 4 - Concentrações e razões molares de Hg e Se nas amostras de fígado de *P. blainvillei*.

<b>Amostras <i>P. blainvillei</i></b>	<b>Hg (mM)</b>	<b>Se (mM)</b>	<b>Razão Molar</b>
1	0.1651	0.2637	1.60
2	0.1426	0.3395	2.38
3	0.0944	0.1671	1.77
4	0.0634	0.0940	1.48

5	0.0575	0.1604	2.79
6	0.0385	0.1773	4.61
7	0.0351	0.2115	6.03
8	0.0311	0.1579	5.08
9	0.0272	0.1196	4.40
10	0.0269	0.0423	1.57
11	0.0054	0.0506	9.37
12	0.0042	0.0469	11.17
13	0.0039	0.0305	7.82
14	0.0036	0.0403	11.19
15	0.0030	0.0519	17.3
16	0.0029	0.0253	8.72
17	0.0029	0.0230	7.93
18	0.0027	0.0524	19.41
19	0.0027	0.0405	15
20	0.0027	0.3913	144.93
<b>Média</b>	<b>0.04</b>	<b>0.12</b>	<b>14.23</b>
<b>Razão Se:Hg</b>	<b>3.5</b>		

Fonte: Autor (2024)

Tabela 5 - Concentrações e razões molares de Hg e Se nas amostras de fígado de *S. guianensis*.

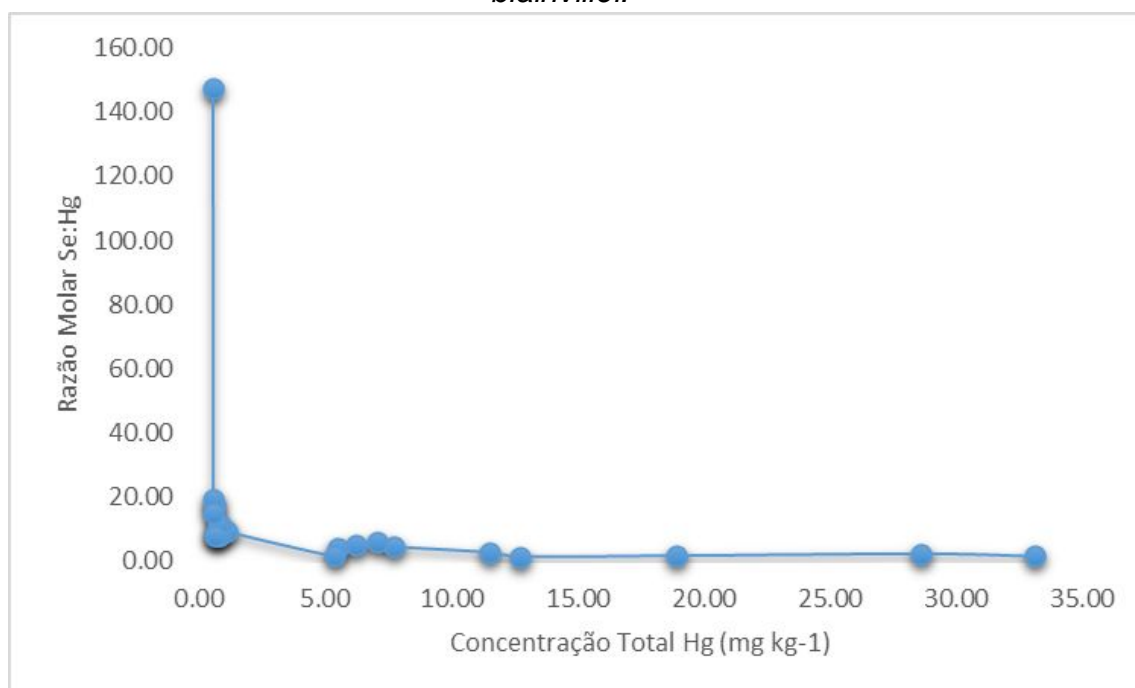
<b>Amostras <i>S. guianensis</i></b>	<b>Hg (mM)</b>	<b>Se (mM)</b>	<b>Razão Molar</b>
1	1.4103	0.1552	0.11
2	1.2916	0.5868	0.45
3	0.9341	0.6347	0.68
4	0.7576	1.8088	2.39

5	0.6375	0.8464	1.33
6	0.6289	0.5685	0.90
7	0.5046	0.0152	0.03
8	0.4896	0.4173	0.85
9	0.405	0.4536	1.12
10	0.3843	0.2011	0.52
11	0.0043	0.0382	8.88
12	0.0033	0.0137	4.15
13	0.0029	0.0221	7.62
14	0.0024	0.0239	9.96
15	0.0023	0.0153	6.65
16	0.0021	0.0384	18.29
17	0.0021	0.0149	7.10
18	0.0013	0.011	8.46
19	0.0013	0.0127	9.77
20	0.001	0.8801	880.1
<hr/>			
<b>Média</b>	<b>0.37</b>	<b>0.34</b>	<b>48.47</b>
<hr/>			
<b>Razão Se:Hg</b>	<b>0.91</b>		

Fonte: Autor (2024)

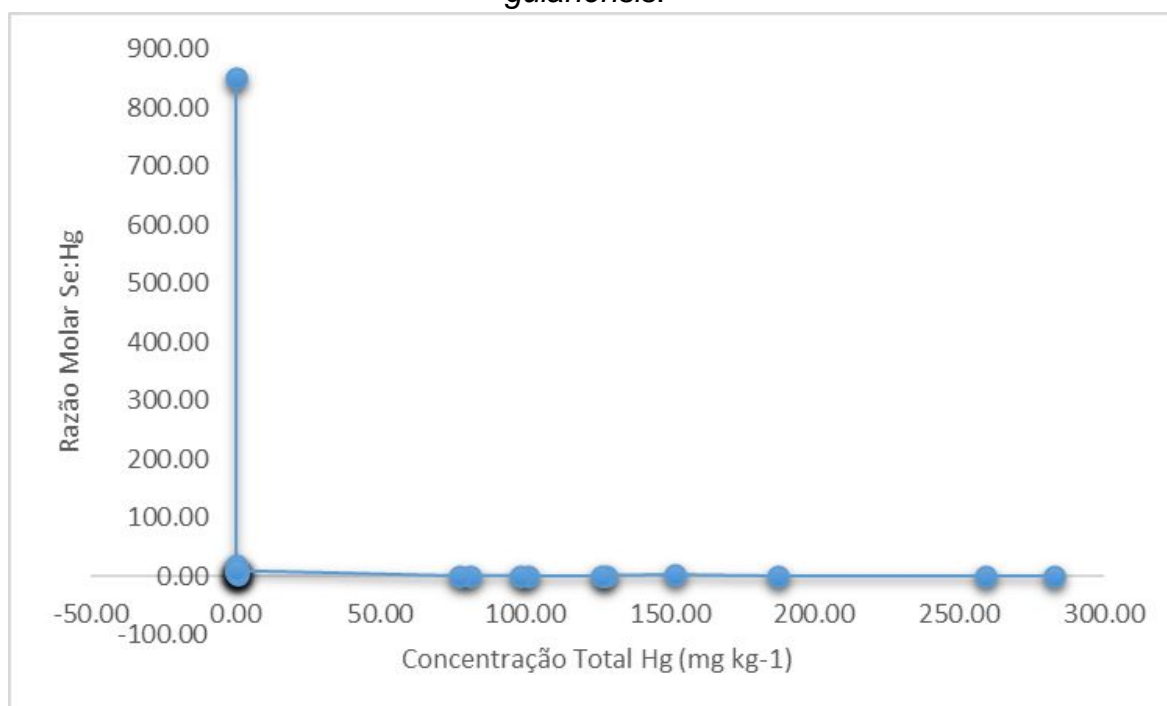
As proporções molares de Se:Hg foram negativamente correlacionadas com as concentrações totais de Hg no fígado destes odontocetos como mostra as Figuras 1 e 2, ou seja, quando há mais Mercúrio total no fígado desses animais, a proporção de Se:Hg tende a ser menor. Enquanto as demandas fisiológicas de Se permanecem relativamente estáveis (Figuras 3 e 4).

Figura 1 - Relação da razão molar Se:Hg e concentração total de Hg em *P. blainvillei*.



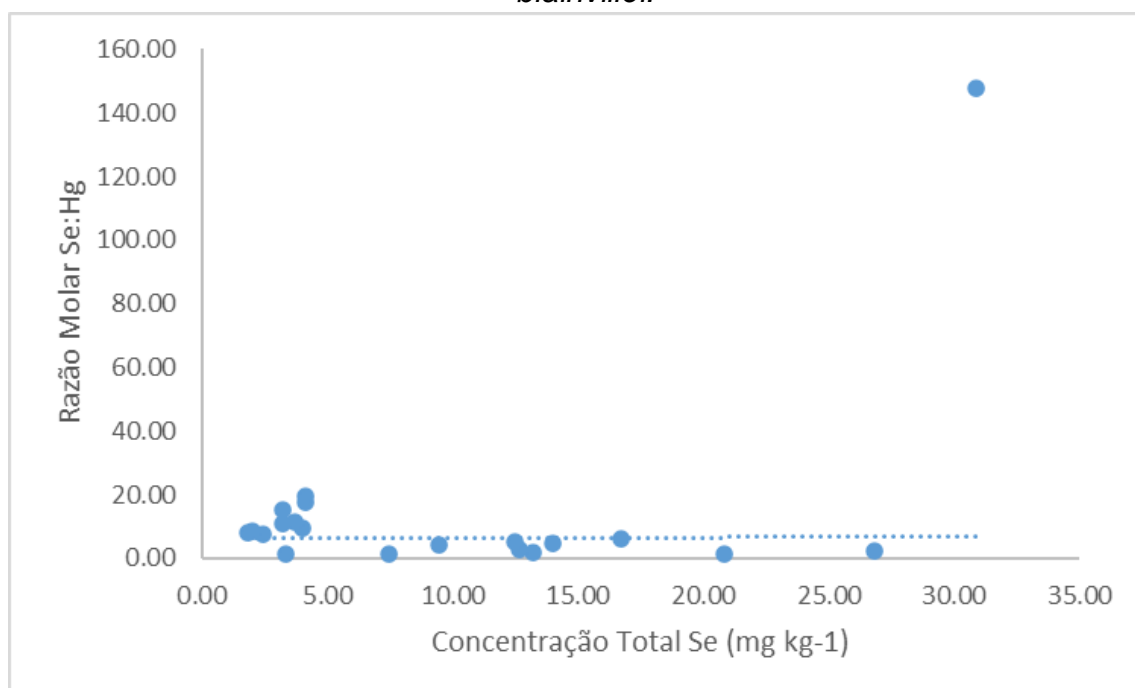
Fonte: Autor, 2024

Figura 2 - Relação da razão molar Se:Hg e concentração total de Hg em *S. guianensis*.



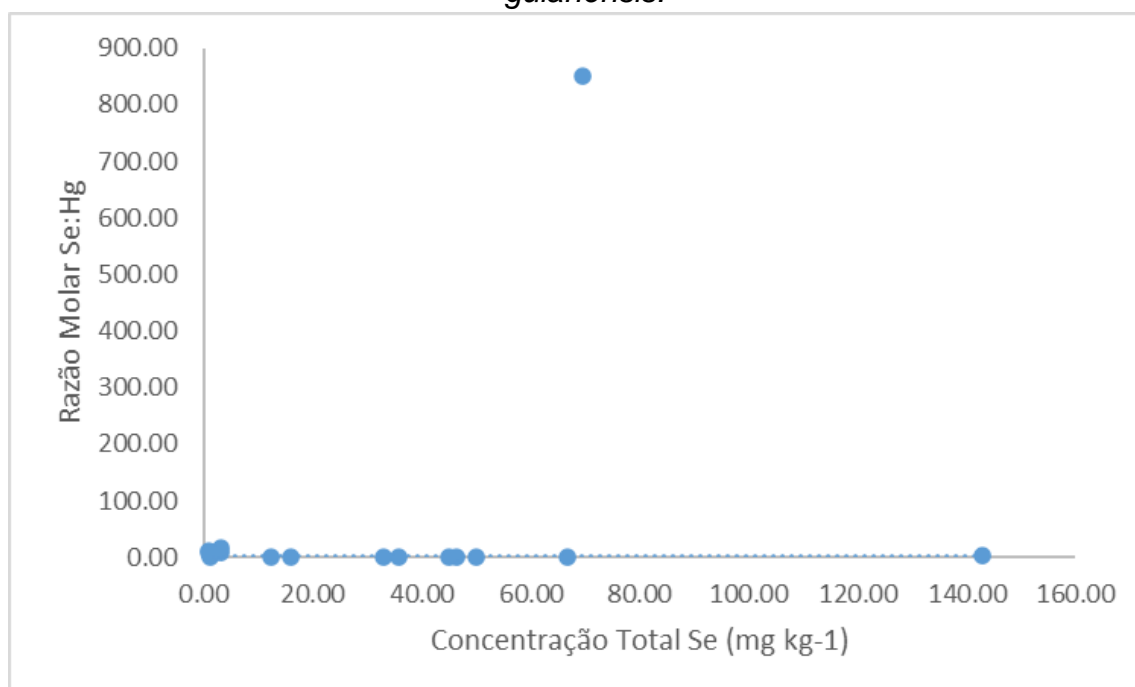
Fonte: Autor, 2024

Figura 3 - Relação da razão molar Se:Hg e concentração total de Se em *P. blainvillei*.



Fonte: Autor, 2024

Figura 4 - Relação da razão molar Se:Hg e concentração total de Se em *S. guianensis*.



Fonte: Autor, 2024

Amostras de tecidos hepáticos de Se e Hg em concentrações totais das duas espécies estudadas (*P. blainvillei* e *S. guianensis*) relacionadas a idade, sexo e local são mostrados nas tabelas abaixo (tabelas 6, 7 e 8).

Tabela 6 - Amostras de Se e Hg em concentrações totais relacionadas a idade.

<b>Espécie</b>	<b>Idade</b>	<b>Hg [mg/Kg]</b>	<b>Se [mg/Kg]</b>
<i>P. blainvillei</i>	<b>Filhote</b>	2.73	6.90
<i>P. blainvillei</i>	<b>Juvenil</b>	8.77	7.96
<i>P. blainvillei</i>	<b>Adulto</b>	10.83	13.66
<i>S. guianensis</i>	<b>Filhote</b>	0.43	1.60
<i>S. guianensis</i>	<b>Juvenil</b>	0.56	1.75
<i>S. guianensis</i>	<b>Adulto</b>	135.76	47.14

Fonte: Autor (2024)

Tabela 7 - Amostras de Se e Hg em concentrações totais relacionadas ao sexo.

<b>Espécie</b>	<b>Sexo</b>	<b>Hg [mg/Kg]</b>	<b>Se [mg/Kg]</b>
<i>P. blainvillei</i>	<b>Macho</b>	7.94	7.63
<i>P. blainvillei</i>	<b>Fêmea</b>	6.41	12.00
<i>S. guianensis</i>	<b>Macho</b>	90.79	31.51
<i>S. guianensis</i>	<b>Fêmea</b>	53.85	15.32

Fonte: Autor (2024)

Tabela 8 - Amostras de Se e Hg em concentrações totais relacionadas ao local.

<b>Espécie</b>	<b>Local</b>	<b>Hg [mg/Kg]</b>	<b>Se [mg/Kg]</b>
<i>P. blainvillei</i>	<b>Santa Catarina</b>	9.61	12.99
<i>P. blainvillei</i>	<b>São Paulo</b>	7.89	10.57
<i>P. blainvillei</i>	<b>Paraná</b>	3.81	9.35
<i>P. blainvillei</i>	<b>Rio de Janeiro</b>	4.14	6.07

<i>S. guianensis</i>	Santa Catarina	81.24	35.81
<i>S. guianensis</i>	São Paulo	94.79	24.94
<i>S. guianensis</i>	Paraná	126.16	44.89
<i>S. guianensis</i>	Rio de Janeiro	48.86	28.63

Fonte: Autor (2024)

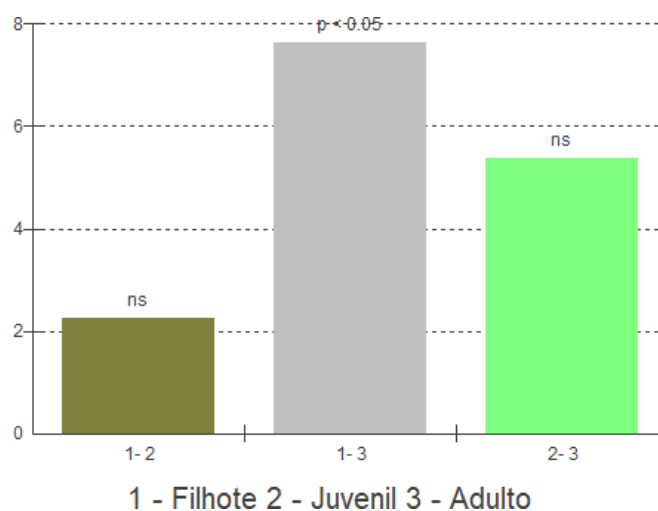
### Shapiro-Wilk

Para *P. blainvillei* o teste de normalidade (Shapiro-Wilk) relacionados às concentrações totais (mg/kg) de Hg e Se mostrou os seguintes resultados ( $p=0,0084$  e  $W= 0.7311$  para Hg e  $p= 0,0096$  e  $W= 0.8366$  para Se). Para *S. guianensis*, foram obtidos estes resultados ( $p= 0,0093$  e  $W= 0.8044$  para Hg e  $p= 0,0086$  e  $W= 0.7422$  para Se). Com isso, temos evidências de que a distribuição não é normal.

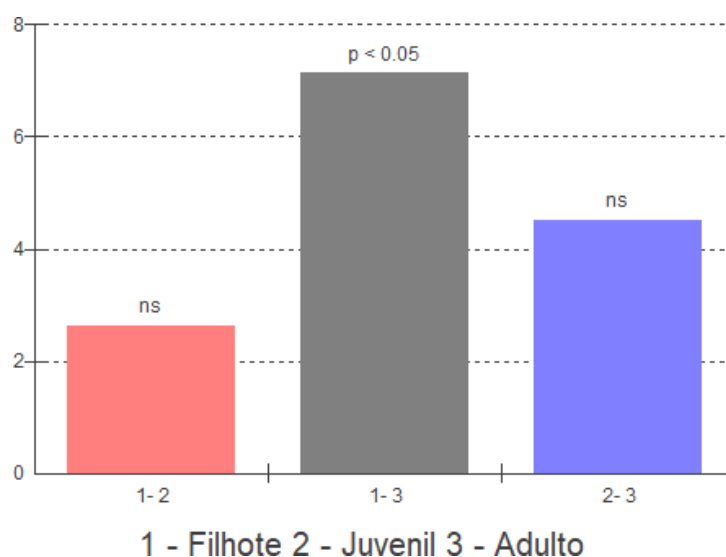
### Kruskal-Wallis - Idade

A partir do teste de Kruskal-Wallis foi feita a análise comparando as idades das espécies que variavam de filhote, juvenil e adultos, relacionados às concentrações totais (mg/kg). Para *P. blainvillei*, apresentou  $p= 0,0323$  e  $H= 6.8679$  para Hg e o método de comparação de Dunn apresentou significância entre Filhote e Adultos, mas não significativo para Juvenis e Adultos (Figura 5). O valor de  $p$  para Se em *P. blainvillei* foi de  $0.0528$  e  $H= 5.8821$ , e o método de comparação de Dunn apresentou significância entre Filhotes e Adultos, mas não significativo para Juvenis e Adultos (Figura 6).

Figura 5 - Diferença entre as médias dos pontos de Hg em *P. blainvillei*.

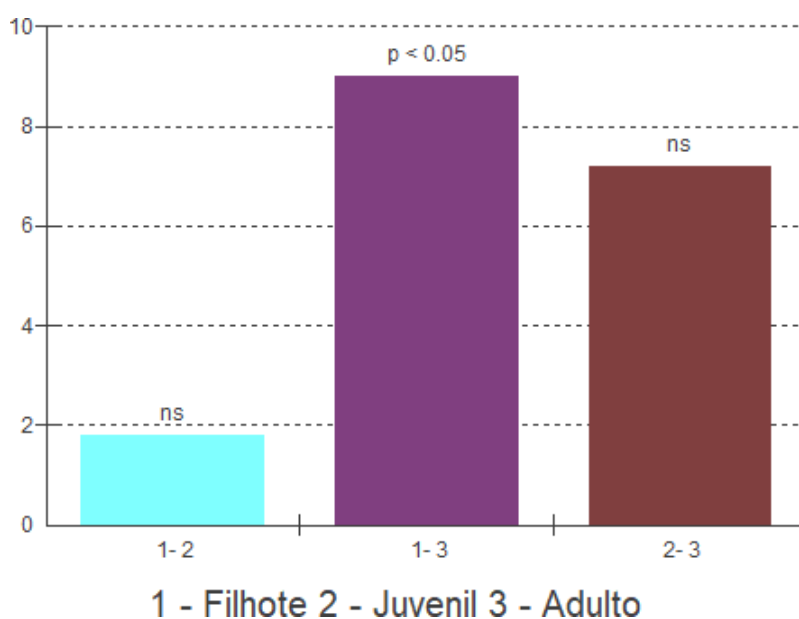


Fonte: Autor, 2024

Figura 6 - Diferença entre as médias dos pontos de Se em *P. blainvillei*.

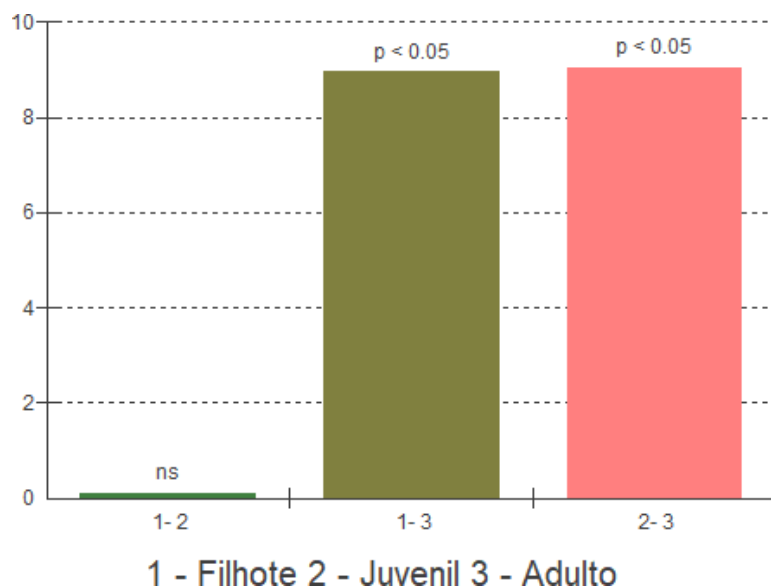
Fonte: Autor, 2024.

Para *S. guianensis*, apresentou  $p = 0.0079$  e  $H = 9.6732$  para Hg e o método de comparação de Dunn apresentou significância entre Filhote e Adultos, mas não significativo para Juvenil e Adultos (Figura 7). O valor de  $p$  para Se em *S. guianensis* foi de  $0.0033$  e  $H = 11.4306$ , e o método de comparação de Dunn apresentou significância entre Filhote e Adultos e juvenil e adultos mas não significativo para filhote e juvenil (Figura 8).

Figura 7 - Diferença entre as médias dos pontos de Hg em *S. guianensis*.

Fonte: Autor, 2024

Figura 8 - Diferença entre as médias dos pontos de Se em *S. guianensis*.



Fonte: Autor, 2024

#### Kruskal-Wallis - Sexo

Em relação ao sexo dos animais para *P. blainvillei* apresentou valor de  $p = 0.7055$  e  $H = 0.1429$  para Hg. O valor de  $p$  para Se foi de  $0.0963$  e  $H = 2.7657$ . Os dados mostram que não há significância estatística.

Para *S. guianensis*, apresentou valor de  $p = 0.3620$  e  $H = 0.8311$  para Hg. O valor de  $p$  para Se foi de  $0.3620$  e  $H = 0.8311$ . Os dados mostram que não há significância estatística.

#### Kruskal-Wallis - Local

Em relação aos locais (Santa Catarina, São Paulo, Paraná e Rio de Janeiro) para *P. blainvillei* apresentou valor de  $p = 0.9939$  e  $H = 0.0818$  para Hg. O valor de  $p$  para Se foi de  $0.7429$  e  $H = 1.2422$ . Os dados mostram que não há significância estatística.

Para *S. guianensis*, apresentou valor de  $p = 0.5582$  e  $H = 0.3429$  para Hg. O valor de  $p$  para Se foi de  $0.5582$  e  $H = 0.3429$ . Os dados mostram que não há significância estatística.

#### Regressão linear

A regressão linear entre concentração molar de Se e Hg em *P. blainvillei* foi significativa (equação  $y = 0.0756 + 1.3491x$ , tamanho amostral de 20,  $F = 10.1030$ ,  $R^2 = 0.3595$  e valor de  $p = 0.0053$ ). Para *S. guianensis*, a regressão linear também

foi significativa (equação  $y = 0.1663 + 0.4607x$ , tamanho amostral de 20,  $F = 4.7143$ ,  $R^2 = 0.2075$  e valor de  $p = 0.0414$ ).

### **Idade**

A regressão linear entre concentração molar de Se e Hg em *P. blainvillei* para filhotes não foi estatisticamente significativa ( $p = 0.8941$ ). Porém, para juvenis houve significância estatística (equação  $y = 0.0424 + 1.2800x$ , tamanho amostral de 4,  $F = 1279.5619$ ,  $R^2 = 0.9984$  e valor de  $p = 0.0007$ ). Em adultos, houve significância estatística (equação  $y = 0.0883 + 1.5924x$ , tamanho amostral de 8,  $F = 14.3781$ ,  $R^2 = 0.7056$  e valor de  $p = 0.0093$ ).

A regressão linear entre concentração molar de Se e Hg em *S. guianensis* para filhotes não foi estatisticamente significativa ( $p = 0.6422$ ). Para juvenis não houve significância estatística ( $p = 0.2636$ ). Em adultos, não houve significância estatística ( $p = 0.8523$ ).

### **Sexo**

A regressão linear entre concentração molar de Se e Hg em *P. blainvillei* para machos foi estatisticamente significativa (equação  $y = 0.0307 + 1.6401x$ , tamanho amostral de 10,  $F = 68.0938$ ,  $R^2 = 0.8949$  e valor de  $p = 0.0001$ ). Para as fêmeas não houve significância estatística ( $p = 0.8619$ ).

A regressão linear entre concentração molar de Se e Hg em *S. guianensis* para machos não foi estatisticamente significativa ( $p = 0.3400$ ). Para as fêmeas houve significância estatística (equação  $y = 0.0314 + 0.8477x$ , tamanho amostral de 7,  $F = 28.9636$ ,  $R^2 = 0.8528$  e valor de  $p = 0.0037$ ).

#### 4 DISCUSSÃO

Na Tabela 9, estão mostrados os resultados (valores médios) encontrados na literatura para Hg e Se para as 2 espécies estudadas neste projeto.

Tabela 9 - Resultados encontrados na literatura expressos em  $\mu\text{g g}^{-1}$  para *P. blainvillei* e *S. guianensis*.

	Hg ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Se ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Peso	Local	Referências
<b>Fígado</b>					
<i>P. blainvillei</i>	8.58	10.58	Seco	Argentina	Romero et al., 2016
	1.05	1.3	Úmida	Rio de Janeiro	Kehrig, et al., 2016
	5.37		Úmida	Rio de Janeiro	Lailson-Brito et al., 2002
	3.5	9.1	Seco	São Paulo/Paraná	Kunito et al., 2004
	5.98	6.52	Seco	Rio Grande do Sul/Rio de Janeiro	Moreira et al., 2009
	0.33	0.91	Úmido	Rio de Janeiro	Lemos et al., 2013
	1.1	3.03	Seco	Rio de Janeiro	Lemos et al., 2013
	7.18	9.82	Seco	Santa Catarina/São Paulo/Paraná/Rio de Janeiro	Presente Estudo
<b>Fígado</b>					
<i>S. guianensis</i>	8.4	3.35	Úmido	Rio de Janeiro	Kehrig, et al., 2016
	9.98		Úmido	Rio de Janeiro	De Carvalho et al., 2008
	77	38	Seco	São Paulo/Paraná	Kunito et al., 2004
	27.77	14.31	Seco	Rio de Janeiro	Seixas et al., 2009
	15.46	4.03	Úmido	Rio de Janeiro	Lemos et al., 2013
	47.88	11.83	Seco	Rio de Janeiro	Lemos et al., 2013
	74.9	26.7	Seco	Santa Catarina/São Paulo/Paraná/Rio de Janeiro	Presente Estudo

Fonte: Autor, 2024

A dieta é a principal fonte de aquisição de Hg para os odontocetos. Porém, variáveis ecológicas (posição trófica da presa, o habitat de forrageamento e as condições ambientais) determinam a metilação e a biomagnificação do Hg na cadeia alimentar e podem influenciar as concentrações de Hg nos tecidos (Stavros et al., 2007, 2011; Hong et al., 2012; Baptista et al., 2016; Monteiro et al., 2016; Damseaux et al., 2017; Chételat et al., 2020; McCormack et al., 2020b).

O fígado é o principal local de desintoxicação do MeHg. Com isso, este órgão é alvo do acúmulo de Hg em odontocetos (Frodello et al., 2000; Cardellicchio et al., 2002; Carvalho et al., 2002; McCormack et al., 2020a). De acordo com as tabelas 3 e 4 *S. guianensis* possui as maiores concentrações totais de Hg e Se (mg kg<sup>-1</sup>) comparada com *P. blainvillei*.

Comparando os resultados desta pesquisa com a literatura expressos em µg g<sup>-1</sup> (Tabela 9), nota-se que há uma certa relação entre os valores para *P. blainvillei* quando comparado com Romero et al. (2016) – que foi feita uma análise comparativa das concentrações de Hg, Se e metalotioneínas (MT) em diferentes faixas etárias de *P. blainvillei* e Moreira et al. (2009) – que conduziu um estudo focado na acumulação de Hg e Se, nos tecidos de *P. blainvillei*. Para *S. guianensis* há relação entre os valores vistos em Kunito et al. (2004), que investigou a concentração e distribuição subcelular de elementos traços no fígado de pequenos cetáceos (principalmente *S. guianensis*).

No estudo de McCormack et al., 2020a, as razões molares de Se:Hg em odontocetos foram bem próximas a 1. No presente estudo, as razões molares de *P. blainvillei* e *S. guianensis* foram, em média, de 3,5 (tabela 4) e 0,91 (tabela 5), respectivamente. Isso mostra que, possivelmente, em ambas as espécies, o Se pode sim mostrar um caráter protetor contra a toxicidade do mercúrio, pois o fígado é o local-alvo do acúmulo de Hg e o principal órgão para a desintoxicação de Hg mediada pelo Se, conseqüentemente, neste órgão, as proporções molares de Se:Hg, para que o Se tenha efeito protetor contra a toxicidade do Hg, são próximas de 1:1 (McCormack et al., 2020a). As proporções molares de Se:Hg encontradas neste estudo sugerem que as concentrações molares de Se são grandes o suficiente para que o Se possa ter um efeito protetor contra a toxicidade do Hg nas espécies estudadas. Entretanto, o efeito protetor do Se só pode ocorrer se os

indivíduos com altas concentrações molares de Hg puderem manter concentrações molares igualmente altas de Se, assim como encontradas no estudo de McCormack et al., 2020a.

Conforme encontrado na literatura, foi descoberto neste estudo que as proporções molares de Se:Hg diminuíram com o aumento das concentrações totais de Hg seguindo uma relação de decaimento exponencial – Figuras 1 e 2 - (Cáceres-Saez et al., 2013; Krey et al., 2015; Bellante et al., 2017; McCormack et al., 2020a). O mercúrio se biomagnifica na cadeia alimentar de uma forma maior que o Se, e como as taxas de absorção de Hg excedem as taxas de excreção de Hg, o Hg se acumula ao longo do tempo, enquanto as demandas fisiológicas de Se permanecem relativamente estáveis - figuras 3 e 4 (Nigro et al, 2002; Hong et al., 2013; Kehrig et al., 2013; Kershaw e Hall, 2019).

Os resultados das análises indicaram que *S. guianensis* apresenta concentrações totais mais elevadas de Hg e Se em comparação com *P. blainvillei*. Essa diferença nas concentrações pode sugerir que as duas espécies adotam estratégias de forrageamento distintas e ocupam diferentes tipos de habitats. Isso significa que *S. guianensis* pode estar se alimentando em áreas de presas que possuem maiores níveis desses elementos, enquanto *P. blainvillei* pode estar forrageando em ambientes ou consumindo presas com menores concentrações de Hg e Se.

As amostras de tecidos hepáticos relacionados ao Se e Hg (concentrações totais) de *P. blainvillei* e *S. guianensis* mostraram que os adultos possuem maior quantidade destes elementos (tabela 6), corroborando com a pesquisa de Gerpe et al., 2002 e Lailson-Brito et al, 2012, que mostra que os adultos de *P. blainvillei* e *S. guianensis* possuem as maiores concentrações de mercúrio, indicando que o acúmulo de mercúrio aumenta com a idade. Em relação ao sexo, *P. blainvillei* e *S. guianensis* apresentaram a maior concentração de Hg em machos, essa situação pode ser explicada por fatores como hábitos alimentares e exposição ambiental, pois os machos geralmente têm áreas de vida maiores e podem consumir mais presas contaminadas que fêmeas, levando ao aumento dos níveis de Hg (Viola et al., 2017). A maior concentração de Se em *P. blainvillei* foi encontrada em fêmeas e em *S. guianensis* em machos (tabela 7), isso mostra que a maior ou menor concentração de Se não está relacionada ao sexo, mas sim a diferentes dietas e condições ambientais em que as duas espécies estudadas se encontram. As amostras de *P.*

*blainvillei* que encaharam ao longo da costa de Santa Catarina apresentaram concentrações mais altas de Hg e Se nos tecidos hepáticos. Enquanto em *S. guianensis* o local que apresentou as maiores concentrações de Hg e Se é o estado do Paraná (tabela 8). Mostrando as diferentes condições ambientais em que as duas espécies estudadas se encontram.

O teste de Shapiro-Wilk mostrou resultados que podemos concluir que os dados não seguem uma distribuição normal. Com isso, foi feito o teste de Kruskal-Wallis comparando as idades das espécies para *P. blainvillei* e *S. guianensis* e há evidências que o grupo 1 (filhotes) e 3 (adultos) têm medianas significativamente diferentes tanto para Hg quanto para Se. Isso confirma a biomagnificação desses dois elementos, pois as concentrações totais de Hg e Se aumentaram à medida em que esses animais ficaram mais velhos.

O teste de regressão linear revelou significância estatística (indicando a probabilidade de que os resultados observados não sejam devidos ao acaso) entre Se e Hg, mostrando que o Se tem influência sobre o Hg no fígado destes odontocetos estudados (Kehrig et al., 2016; Romero et al., 2016; McCormack et al., 2020a). Este órgão é o local-alvo do acúmulo de Hg e o principal órgão para a desintoxicação de Hg mediado por Se (McCormack et al., 2020a). Em relação a idade em *P. blainvillei*, houve relevância estatística em juvenis e adultos, mostrando que as concentrações molares de Se são grandes o suficiente, em indivíduos mais velhos, para que o Se possa ter um efeito protetor contra a toxicidade do Hg nesta espécie (Gerpe et al., 2002; Seixas et al., 2007). Em relação ao sexo, para *P. blainvillei*, houve influência do Se sobre o Hg apenas nos machos e para *S. guianensis* houve apenas em fêmeas, isso mostra que não há uma relação significativa relacionadas ao sexo para estas espécies.

## 5 CONCLUSÃO

A partir da revisão da literatura e dos resultados deste estudo, fica evidente que a dieta é a principal fonte de mercúrio para os odontocetos, influenciada por variáveis ecológicas que afetam a metilação e biomagnificação do Hg na cadeia alimentar. O fígado é o principal local de acumulação de Hg, com o Se desempenhando um papel crucial em sua desintoxicação.

As análises mostraram que *S. guianensis* possui maiores concentrações totais de Hg e Se em comparação com *P. blainvillei*, mostrando diferentes estratégias de forrageamento e habitats. As razões molares de Se:Hg observadas em *P. blainvillei* e *S. guianensis* indicam que o Se provavelmente possui um efeito protetor contra a toxicidade do Hg, especialmente quando as proporções molares se aproximam de 1:1, o que foi encontrado neste estudo, assim como discutido por McCormack et al. (2020a).

Além disso, os resultados confirmam a biomagnificação de Hg e Se comparando a idade, evidenciada pelas diferenças significativas nas concentrações entre filhotes e adultos, conforme demonstrado pelo teste de Kruskal-Wallis. A análise de regressão linear revelou uma relação estatisticamente significativa entre Se e Hg no fígado dos odontocetos, destacando a influência direta do Se na diminuição da toxicidade do Hg.

Embora variações significativas tenham sido observadas entre idades e, em alguns casos, entre sexos, os resultados sugerem que as concentrações molares de Se são suficientemente altas para potencialmente proteger contra os efeitos adversos do Hg, dependendo da idade e possivelmente do sexo dos indivíduos estudados.

Portanto, este estudo contribui não apenas para o entendimento dos mecanismos de acumulação e desintoxicação de metais pesados em odontocetos, mas também destaca a importância das interações ecológicas na dinâmica desses elementos na cadeia alimentar marinha.

## REFERÊNCIAS

- ANAN, Yasumi et al. Speciation and identification of low molecular weight selenium compounds in the liver of sea turtles. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, v. 26, n. 1, p. 80-85, 2011.
- ARAI, Teruko et al. Chemical forms of mercury and cadmium accumulated in marine mammals and seabirds as determined by XAFS analysis. *Environmental science & technology*, v. 38, n. 24, p. 6468-6474, 2004.
- AUDRY, Stéphane et al. Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France). *Environmental Pollution*, v. 132, n. 3, p. 413-426, 2004.
- BAPTISTA, Gilberto et al. Mercury, selenium and stable isotopes in four small cetaceans from the Southeastern Brazilian coast: influence of feeding strategy. *Environmental Pollution*, v. 218, p. 1298-1307, 2016.
- BASSOI, Manuela et al. Intrapopulation variation in the diet of franciscana dolphin (*Pontoporia blainvillei*) off southern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 101, n. 3, p. 621-637, 2021.
- BASU, Niladri et al. Is dietary mercury of neurotoxicological concern to wild polar bears (*Ursus maritimus*)?. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, v. 28, n. 1, p. 133-140, 2009.
- BASU, Niladri et al. Is dietary mercury of neurotoxicological concern to wild polar bears (*Ursus maritimus*)?. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, v. 28, n. 1, p. 133-140, 2009.
- BECHSHOFT, T. et al. Mercury and cortisol in Western Hudson Bay polar bear hair. *Ecotoxicology*, v. 24, p. 1315-1321, 2015.
- BECHSHOFT, T. et al. Mercury and cortisol in Western Hudson Bay polar bear hair. *Ecotoxicology*, v. 24, p. 1315-1321, 2015.
- BELLANTE, Antonio et al. Hg and Se exposure in brain tissues of striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*) and bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) from the Tyrrhenian and Adriatic Seas. *Ecotoxicology*, v. 26, p. 250-260, 2017.
- BOISSET, M. Mercure et métaux lourds dans l'alimentation: quels risques?. *Sciences des aliments*, v. 28, n. 3, p. 231-242, 2008.
- BOSSART, G. D. Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. *Ocean*. 19 (2): 134-137. 2006.
- BURITICÁ, Santiago Monsalve; ABREGO, Joan Gastón Zamora. Efecto de los metales pesados sobre la diversidad: el caso del mercurio en quelonios. Fondo Editorial Biogénesis, p. 83-98, 2019.

- CÁCERES-SAEZ, Iris et al. Mercury and selenium in subantarctic Commerson's dolphins (*Cephalorhynchus c. commersonii*). *Biological Trace Element Research*, v. 151, p. 195-208, 2013.
- CAPELLI, R. et al. Study of trace elements in organs and tissues of striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) found dead along the Ligurian coasts (Italy). *Advances in Environmental Research*, v. 4, n. 1, p. 31-42, 2000.
- CARDELLICCHIO, N. et al. Accumulation and tissue distribution of mercury and selenium in striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) from the Mediterranean Sea (southern Italy). *Environmental Pollution*, v. 116, n. 2, p. 265-271, 2002.
- CARVALHO, M. L.; PEREIRA, R. A.; BRITO, J. Heavy metals in soft tissues of *Tursiops truncatus* and *Delphinus delphis* from west Atlantic Ocean by X-ray spectrometry. *Science of the total environment*, v. 292, n. 3, p. 247-254, 2002.
- CAUSSY, Deoraj et al. Lessons from case studies of metals: investigating exposure, bioavailability, and risk. *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 56, n. 1, p. 45-51, 2003.
- CHÉTELAT, John et al. Methylmercury exposure in wildlife: a review of the ecological and physiological processes affecting contaminant concentrations and their interpretation. *Science of the Total Environment*, v. 711, p. 135117, 2020.
- CORREA, Lucero et al. Assessment of mercury and selenium tissular concentrations and total mercury body burden in 6 Steller sea lion pups from the Aleutian Islands. *Marine Pollution Bulletin*, v. 82, n. 1-2, p. 175-182, 2014.
- CREMER, Marta J.; PINHEIRO, Pedro C.; SIMÕES-LOPES, Paulo C. Prey consumed by Guiana dolphin *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) and franciscana dolphin *Pontoporia blainvillei* (Cetacea, Pontoporiidae) in an estuarine environment in southern Brazil. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 102, p. 131-137, 2012.
- CRESPO, Enrique A. Franciscana Dolphin: *Pontoporia blainvillei*. In: *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press, 2018. p. 388-392.
- DA SILVA, Vera MF; BEST, R. C. *Sotalia fluviatilis*. *Mammalian Species*, n. 527, p. 1-7, 1996.
- DAMSEAUX, France et al. Spatial variation in the accumulation of POPs and mercury in bottlenose dolphins of the Lower Florida Keys and the coastal Everglades (South Florida). *Environmental Pollution*, v. 220, p. 577-587, 2017.
- DAS, Krishna; DEBACKER, Virginie; BOUQUEGNEAU, Jean-Marie. Metallothioneins in marine mammals. *Cellular and Molecular Biology*, v. 46, n. 2, 2000.
- DE CARVALHO, Carlos Eduardo Veiga et al. Heavy metal distribution in two cetacean species from Rio de Janeiro State, south-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 88, n. 6, p. 1117-1120, 2008.
- DI BENEDETTO, Ana Paula Madeira et al. Use of multiple tools to assess the feeding preference of coastal dolphins. *Marine Biology*, v. 158, p. 2209-2217, 2011.

EGGLETON, Jacqueline; THOMAS, Kevin V. A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. *Environment international*, v. 30, n. 7, p. 973-980, 2004.

ENDO, Tetsuya; HARAGUCHI, Koichi; SAKATA, Masakatsu. Mercury and selenium concentrations in the internal organs of toothed whales and dolphins marketed for human consumption in Japan. *Science of the Total Environment*, v. 300, n. 1-3, p.15-22, 2002.

FALNOGA, Ingrid; TUŠEK-ŽNIDARIČ, Magda. Selenium–mercury interactions in man and animals. *Biological trace element research*, v. 119, p. 212-220, 2007.

FEROCI, Giorgio; BADIELLO, Roberto; FINI, Adamo. Interactions between different selenium compounds and zinc, cadmium and mercury. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, v. 18, n. 3, p. 227-234, 2005.

FLORES, Paulo AC; DA SILVA, Vera MF; FETTUCCIA, Daniela de C. Tucuxi and Guiana dolphins: *Sotalia fluviatilis* and *S. guianensis*. In: *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press, 2018. p. 1024-1027.

FRODELLO, J. P.; ROMEO, M.; VIALE, D. Distribution of mercury in the organs and tissues of five toothed-whale species of the Mediterranean. *Environmental Pollution*, v. 108, n. 3, p. 447-452, 2000.

GERACI, Joseph R.; LOUNSBURY, Valerie J. *Marine mammals ashore: a field guide for strandings*. National Aquarium in Baltimore, 2005.

GERPE, Marcela Silvia et al. Accumulation of heavy metals in the franciscana (*Pontoporia blainvillei*) from Buenos Aires Province, Argentina. 2002.

HONG, Yong Seok et al. Assessment of mercury and selenium concentrations in captive bottlenose dolphin's (*Tursiops truncatus*) diet fish, blood, and tissue. *Science of the Total Environment*, v. 414, p. 220-226, 2012.

HONG, Yong Seok et al. Assessment of mercury and selenium concentrations in captive bottlenose dolphin's (*Tursiops truncatus*) diet fish, blood, and tissue. *Science of the Total Environment*, v. 414, p. 220-226, 2012.

HONG, Yong-Seok et al. Bioaccumulation and biomagnification of mercury and selenium in the Sarasota Bay ecosystem. *Environmental toxicology and chemistry*, v. 32, n. 5, p. 1143-1152, 2013.

ICMBio. (2018). *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção*. Brasília, Brasil.

KAKUSCHKE, Antje et al. Effects of methyl-, phenyl-, ethylmercury and mercurychlorid on immune cells of harbor seals (*Phoca vitulina*). *Journal of Environmental Sciences*, v. 21, n. 12, p. 1716-1721, 2009.

KAKUSCHKE, Antje et al. Effects of methyl-, phenyl-, ethylmercury and mercurychlorid on immune cells of harbor seals (*Phoca vitulina*). *Journal of Environmental Sciences*, v. 21, n. 12, p. 1716-1721, 2009.

KEHRIG, H. A. et al. Different species of mercury in the livers of tropical dolphins. *Analytical Letters*, v. 41, n. 9, p. 1691-1699, 2008.

KEHRIG, Helena A. et al. Mercury and selenium biomagnification in a Brazilian coastal food web using nitrogen stable isotope analysis: a case study in an area under the influence of the Paraíba do Sul River plume. *Marine Pollution Bulletin*, v. 75, n. 1-2, p. 283-290, 2013.

KEHRIG, Helena A. et al. Mercury and selenium biomagnification in a Brazilian coastal food web using nitrogen stable isotope analysis: a case study in an area under the influence of the Paraíba do Sul River plume. *Marine Pollution Bulletin*, v. 75, n. 1-2, p. 283-290, 2013.

KEHRIG, Helena A. et al. Mercury species, selenium, metallothioneins and glutathione in two dolphins from the southeastern Brazilian coast: mercury detoxification and physiological differences in diving capacity. *Environmental Pollution*, v. 213, p. 785-792, 2016.

KEHRIG, Helena A. et al. Mercury species, selenium, metallothioneins and glutathione in two dolphins from the southeastern Brazilian coast: mercury detoxification and physiological differences in diving capacity. *Environmental Pollution*, v. 213, p. 785-792, 2016.

KEHRIG, Helena A. et al. Mercury species, selenium, metallothioneins and glutathione in two dolphins from the southeastern Brazilian coast: mercury detoxification and physiological differences in diving capacity. *Environmental Pollution*, v. 213, p. 785-792, 2016.

KERSHAW, Joanna L.; HALL, Ailsa J. Mercury in cetaceans: exposure, bioaccumulation and toxicity. *Science of The Total Environment*, v. 694, p. 133683, 2019.

KHAN, Mohammad AK; WANG, Feiyue. Mercury-selenium compounds and their toxicological significance: Toward a molecular understanding of the mercury-selenium antagonism. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, v. 28, n. 8, p. 1567-1577, 2009.

KHAN, Mohammad AK; WANG, Feiyue. Mercury-selenium compounds and their toxicological significance: Toward a molecular understanding of the mercury-selenium antagonism. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, v. 28, n. 8, p. 1567-1577, 2009.

KOEMAN, Jan Hein et al. Mercury-selenium correlations in marine mammals. *Nature*, v. 245, n. 5425, p. 385-386, 1973.

KREY, Anke; OSTERTAG, Sonja K.; CHAN, Hing Man. Assessment of neurotoxic effects of mercury in beluga whales (*Delphinapterus leucas*), ringed seals (*Pusa hispida*), and polar bears (*Ursus maritimus*) from the Canadian Arctic. *Science of the Total Environment*, v. 509, p. 237-247, 2015.

KUNITO, Takashi et al. Concentration and subcellular distribution of trace elements in liver of small cetaceans incidentally caught along the Brazilian coast. *Marine Pollution Bulletin*, v. 49, n. 7-8, p. 574-587, 2004.

KUNITO, Takashi et al. Concentration and subcellular distribution of trace elements in liver of small cetaceans incidentally caught along the Brazilian coast. *Marine Pollution Bulletin*, v. 49, n. 7-8, p. 574-587, 2004.

LAHAYE, Virginie et al. Biological and ecological factors related to trace element levels in harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) from European waters. *Marine Environmental Research*, v. 64, n. 3, p. 247-266, 2007.

LAILSON-BRITO JR, José et al. Trace metals in liver and kidney of the franciscana (*Pontoporia blainvillei*) from the northern coast of Rio de Janeiro State, Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, p. 107-114, 2002.

LAILSON-BRITO, José et al. Mercury-selenium relationships in liver of Guiana dolphin: the possible role of Kupffer cells in the detoxification process by tiemannite formation. 2012.

LEMOS, Leila Soledade et al. Small cetaceans found stranded or accidentally captured in southeastern Brazil: Bioindicators of essential and non-essential trace elements in the environment. *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 97, p. 166-175, 2013.

LIN, Yu-Hung. Effects of dietary organic and inorganic selenium on the growth, selenium concentration and meat quality of juvenile grouper *Epinephelus malabaricus*. *Aquaculture*, v. 430, p. 114-119, 2014.

MANHÃES, B. M. R. et al. Changes in mercury distribution and its body burden in delphinids affected by a morbillivirus infection: Evidences of methylmercury intoxication in Guiana dolphin. *Chemosphere*, v. 263, p. 128286, 2021.

MCCORMACK, Meaghan A. et al. Mercury concentrations in blubber and skin from stranded bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) along the Florida and Louisiana coasts (Gulf of Mexico, USA) in relation to biological variables. *Environmental research*, v. 180, p. 108886, 2020b.

MCCORMACK, Meaghan A.; JACKSON, Brian P.; DUTTON, Jessica. Relationship between mercury and selenium concentrations in tissues from stranded odontocetes in the northern Gulf of Mexico. *Science of The Total Environment*, v. 749, p. 141350, 2020a.

MEHDI, Youcef et al. Selênio no meio ambiente, metabolismo e envolvimento nas funções corporais. *Molecules*, v. 18, n. 3, pág. 3292-3311, 2013.

MMA, 2016. Ministério do Meio Ambiente, Portal da Biodiversidade, *Sotalia guianensis*. <<https://portaldabiodiversidade.icmbio.gov.br/portal/search>>(acessado em 04 fevereiro 2024).

MONTEIRO, Sílvia S. et al. Ecological variables influencing trace element concentrations in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*, Montagu 1821) stranded in continental Portugal. *Science of the Total Environment*, v. 544, p. 837-844, 2016.

MONTEIRO, Sílvia S. et al. Ecological variables influencing trace element concentrations in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*, Montagu 1821) stranded in continental Portugal. *Science of the Total Environment*, v. 544, p. 837-844, 2016.

MOREIRA, I. et al. Selenium and mercury (total and organic) in tissues of a coastal small cetacean, *Pontoporia blainvillei*. *Journal of Coastal Research*, p. 866-870, 2009.

MURILLO CISNEROS, Daniela Alejandra. Bioacumulación de mercurio, selenio y cadmio en rayas del alto Golfo de California y Costa Occidental de Baja California Sur. 2014. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.

NAKAZAWA, Emiko et al. The presence of mercury selenide in various tissues of the striped dolphin: evidence from  $\mu$ -XRF-XRD and XAFS analyses. *Metallomics*, v. 3, n. 7, p. 719-725, 2011.

NIGRO, Marco et al. Mercury exposure and elimination rates in captive bottlenose dolphins. *Marine pollution bulletin*, v. 44, n. 10, p. 1071-1075, 2002.

NRIAGU, Jerome O.; PACYNA, Jozef M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *nature*, v. 333, n. 6169, p. 134-139, 1988.

PALMISANO, F.; CARDELLICCHIO, N.; ZAMBONIN, P. G. Speciation of mercury in dolphin liver: a two-stage mechanism for the demethylation accumulation process and role of selenium. *Marine Environmental Research*, v. 40, n. 2, p. 109-121, 1995.

PANSARD, Kelly Cristina Araújo et al. Feeding ecology of the estuarine dolphin (*Sotalia guianensis*) on the coast of Rio Grande do Norte, Brazil. *Marine Mammal Science*, v. 27, n. 4, p. 673-687, 2011.

RODRIGUEZ, César Augusto Barrios et al. Influence of size on total mercury (THg), methyl mercury (MeHg), and stable isotopes of N and C in green turtles (*Chelonia mydas*) from NE Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, p. 20527-20537, 2020.

ROMERO, María Belén et al. The role of metallothioneins, selenium and transfer to offspring in mercury detoxification in Franciscana dolphins (*Pontoporia blainvillei*). *Marine Pollution Bulletin*, v. 109, n. 1, p. 650-654, 2016.

SALVAGNI, Thamara. Metais não essenciais em tecidos de *Puffinus puffinus* e *P. gravis* (Aves, Procellariiformes) no Litoral Norte e Médio Leste do Rio Grande do Sul, Brasil. 2013.

SASAKURA, Chieka; SUZUKI, Kazuo T. Biological interaction between transition metals (Ag, Cd and Hg), selenide/sulfide and selenoprotein P. *Journal of inorganic biochemistry*, v. 71, n. 3-4, p. 159-162, 1998.

SCHAEFER, Adam M. et al. Associations between mercury and hepatic, renal, endocrine, and hematological parameters in Atlantic bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) along the eastern coast of Florida and South Carolina. *Archives of environmental contamination and toxicology*, v. 61, p. 688-695, 2011.

SECCHI, E. R.; FLETCHER, D. Modelling the population growth and viability analysis for four franciscana stocks: effects of stock-specific differences in life traits, fishing bycatch, parameter uncertainty and stochasticity. Technical paper SC/56/SM20

presented to the Scientific Committee of the International Whaling Commission, v. 29, 2004.

SEIXAS, Tércia G. et al. Differences in methylmercury and inorganic mercury biomagnification in a tropical marine food web. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, v. 92, p. 274-278, 2014.

SEIXAS, Tércia G. et al. Ecological and biological determinants of trace elements accumulation in liver and kidney of *Pontoporia blainvillei*. *Science of the Total Environment*, v. 385, n. 1-3, p. 208-220, 2007.

SEIXAS, Tércia G. et al. Essential (Se, Cu) and non-essential (Ag, Hg, Cd) elements: what are their relationships in liver of *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae)? *Organohalogen Compounds*, v. 69, p. 1341-1345, 2009.

SIMÕES LOPES, Paulo Cesar. Ocorrência de uma população de *Sotalia fluviatilis* Gervais, 1853, (Cetacea, Delphinidae) no limite sul de sua distribuição, Santa Catarina, Brasil. 1988.

SINAEI, Mahmood; BOLOUKI, Mehdi. Metals in blood and eggs of green sea turtles (*Chelonia mydas*) from nesting colonies of the northern coast of the sea of Oman. *Archives of environmental contamination and toxicology*, v. 73, n. 4, p. 552-561, 2017.

STARRANTINO, Carmelo Antonio et al. Efectos de los contaminantes sobre el sistema inmune de cetáceos. 2018.

STAVROS, Hui-Chen W. et al. Trace element concentrations in skin of free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from the southeast Atlantic coast. *Science of the Total Environment*, v. 388, n. 1-3, p. 300-315, 2007.

STORELLI, Maria Maddalena; ZIZZO, Nicola; MARCOTRIGIANO, G. O. Heavy metals and methylmercury in tissues of Risso's dolphin (*Grampus griseus*) and Cuvier's beaked whale (*Ziphius cavirostris*) stranded in Italy (South Adriatic sea). 1999.

TELLECHEA, Javier S. et al. Feeding habits of franciscana dolphins (*Pontoporia blainvillei*): echolocation or passive listening?. *Aquatic Mammals*, v. 43, n. 4, p. 430, 2017.

TONG, Jing; WANG, Youwei; LU, Yuanan. In vitro evaluation of inorganic and methyl mercury mediated cytotoxic effect on neural cells derived from different animal species. *Journal of Environmental Sciences*, v. 41, p. 138-145, 2016.

VIOLA, María Natalia Paso et al. Intra-specific isotope variations of franciscana dolphin *Pontoporia blainvillei* regarding biological parameters and distinct environment. *Mammalian Biology*, v. 85, p. 47-54, 2017.

WAGEMANN, Rudolf et al. Mercury species in the liver of ringed seals. *Science of the Total Environment*, v. 261, n. 1-3, p. 21-32, 2000.

WELLS, Randall S. et al. Bottlenose dolphins as marine ecosystem sentinels: developing a health monitoring system. *EcoHealth*, v. 1, p. 246-254, 2004.

WINTLE, Nathan JP et al. Total mercury in stranded marine mammals from the Oregon and southern Washington coasts. *Marine Mammal Science*, v. 27, n. 4, p. E268-E278, 2011.

YANG, Dan-Yi et al. Selênio e mercúrio nos organismos: interações e mecanismos. *Revisões Ambientais*, v. 16, n. NA, p. 71-92, 2008.

ZERBINI, A. N. et al. Franciscana: *Pontoporia blainvillei*. 2017.

ZORZETTO, Priscila Spinola. Fontes de selênio na dieta de matrizes pesadas. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.