



Instituto Federal Catarinense
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação
Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente
Campus Araquari

GABRIELA TRUPPEL SCHMIDT

**AVALIAÇÃO DA BIODISPONIBILIDADE DE METAIS TRAÇO VIA MEXILHÕES
MARINHOS *PERNA PERNA* NA BAIÁ BABITONGA**

Araquari

2024

GABRIELA TRUPPEL SCHMIDT

**AVALIAÇÃO DA BIODISPONIBILIDADE DE METAIS TRAÇO VIA MEXILHÕES
MARINHOS *PERNA PERNA* NA BAIA BABITONGA**

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente do Instituto Federal Catarinense - *Campus* Araquari, para a obtenção do título de Mestre em Ciências (área de concentração: Ciências Ambientais).

Orientador: Professor Dr. Sandro Augusto Rhoden
Coorientador: Professor Dr. Cleder Alexandre Somensi

Araquari

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática do ICMC/USP, cedido ao IFC e
adaptado pela CTI - Araquari e pelas bibliotecas do Campus de Araquari e Concórdia.

SSchmi Schmidt, Gabriela
dt, AVALIAÇÃO DA BIODISPONIBILIDADE DE METAIS TRAÇO
G.a VIA MEXILHÕES MARINHOS PERNA PERNA NA BAIÁ BABITONGA /
Gabriela Schmidt; orientador Sandro Rhoden ;
coorientador Cleder Somensi. -- Araquari, 2024.
74 p.

Dissertação (mestrado) - Instituto Federal
Catarinense, campus Araquari, , Araquari, 2024.


Inclui referências.

1. mexilhão. 2. metais traço. 3. Perna perna. 4.
maricultura. 5. intoxicação. I. Rhoden , Sandro, II.
Somensi, Cleder. III. Instituto Federal Catarinense.
. IV. Título.


GABRIELA TRUPPEL SCHMIDT

**AVALIAÇÃO DA BIODISPONIBILIDADE DE METAIS TRAÇO VIA MEXILHÕES
MARINHOS *PERNA PERNA* NA ÁREA DE INFLUÊNCIA PORTUÁRIA DA BAIÁ
BABITONGA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciências, e aprovada em sua forma final pelo curso de Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente do Instituto Federal Catarinense - *Campus Araquari*.

Documento assinado digitalmente
 **SANDRO AUGUSTO RHODEN**
Data: 15/02/2024 09:44:51-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Sandro Augusto Rhoden, PhD em Saúde e Meio Ambiente Univille
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **FABRÍCIO MOREIRA SOBREIRA**
Data: 15/02/2024 10:03:16-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Fabrício Moreira Sobreira
Coordenador do Curso - IFC *Campus Araquari*

Araquari
2023

A Deus, minha família e amigos pela força em todos os momentos!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus!

Aos meus pais Oscar e Izabella por terem deixado seus sonhos de lado para poder me ajudar a realizar os meus.

Minha irmã pela ajuda nas horas mais difíceis, meu irmão pelos carinhos do dia a dia que fizeram toda a diferença para que eu seguisse em frente.

Ao meu marido Osni ofereço um agradecimento mais do que especial por ter me incentivar todos os dias a ser uma pessoa melhor, pelo carinho, compreensão, companheirismo e amor.

As pessoas especiais que me incentivaram, acreditaram e me ajudaram até a conclusão deste trabalho. Muito obrigada por tudo!

Funcionários da empresa Ambient, em especial Daniel e Osni pelas revisões, ajudas, disponibilidade de dados e informações.

Aos funcionários da empresa Acquaplant que me ajudaram direta ou indiretamente nesta fase da minha vida, em especial ao Luciano e Renata que me ajudaram e incentivaram para a conclusão desta etapa em minha vida.

O Instituto Federal Catarinense-Campus Araquari e ao programa de Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente, pela oportunidade de ingresso ao curso.

O atual Coordenador deste curso, Professor Dr. Fabrício Moreira Sobreira por confiar na minha pessoa.

Ao meu Orientador Professor Dr. Sandro Augusto Rhoden por todo auxílio prestado e por sempre me manter confiante e tranquila.

Hoje eu vivo uma realidade que parece sonho, mas com muito esforço, determinação e paciência para chegar até aqui.

Obrigada a todos, mesmo aqueles não mencionados, que tanto contribuíram para a conclusão desta etapa e para a Gabriela que sou hoje.

“É impossível avaliar a força que possuímos sem medir o tamanho do obstáculo que podemos vencer, nem o valor de uma ação sem sabermos o sacrifício que ela comporta” (Beecher).

RESUMO

Parte da população utilizam os mexilhões *Perna Perna* na alimentação humana, e conseqüentemente servem como fonte de renda para diversos maricultores. Este mexilhão é muito utilizado em monitoramentos por possuir a capacidade de filtrar cerca de 80 litros de água/por dia e de bioacumular metais traço. São capazes de remover substâncias tóxicas como metais pesados, agrotóxicos e toxinas presentes na água e bioacumular nos seus tecidos causando deterioração subletal ou letal . O presente estudo analisou as concentrações de 8 metais: Mercúrio, Cobre, Cromo, Chumbo, Cádmio, Arsênio, Níquel e Zinco, em tecidos de mexilhões *Perna Perna* e comparou com os limites de referência para consumo humano e desta forma traçar perfil químico do corpo d'água. As coletas foram realizadas quadrimestralmente entre os anos de 2019 a 2022, em 5 pontos amostrais, 4 na Baía Babitonga (São Francisco do Sul/SC) e 1 ponto no município de Penha/SC na Praia da Paciência. No estudo, foi possível verificar que a maior média de crescimento (biometria) dos organismos coletados foram encontradas no Ponto #3, no qual no período de estudo era há uma (maricultura AMAPRI). Com relação a análise dos metais comparados entre os anos de amostragem foi possível constatar diferenças significativas ($P < 0,05$) para os metais Arsênio, Cádmio, Cobre, Mercúrio, Níquel e Zinco. Com relação a análise de dados de valores médio por ponto amostral, nenhum parâmetro apresentou diferença significativa ($P < 0,05$). Foi possível a constatação de níveis elevados destes metais (Cromo e Arsênio) contemplando todos os pontos amostrais, inclusive no ponto localizado no município de Penha/SC (Ponto#5) no qual indica que essa bioacumulação é possivelmente oriunda de fontes difusas de atividades diversas encontradas no entorno da Baía Babitonga ou que esteja relacionada a fatores geológicos naturais.

Palavras-chave: bioacumulação; cinco pontos; maricultura; intoxicação.

ABSTRACT

Several cities on the Brazilian coast use *Perna Perna* mussels as human food, and consequently serve as a source of income for several shellfish farmers. This mussel is widely used in monitoring due to its ability to filter around 80 liters of water per day and to bioaccumulate trace metals. They are capable of removing toxic substances such as heavy metals, pesticides and toxins present in water and bioaccumulating in their tissues and in other aquatic organisms, causing lethal or sublethal deterioration. The present study analyzed concentrations of 8 metals: Mercury, Copper, Chromium, Lead, Cadmium, Arsenic, Nickel and Zinc in tissues of *Perna Perna* mussels with the aim of comparing them with reference limits for human consumption. Collections were carried out every four months between 2019 and 2022, at 5 sampling points, 4 in Baía Babitonga and 1 point in the municipality of Penha/SC. Regarding the sampling experiment, it was possible to verify that the highest average growth (biometrics) of the organisms collected were found at Point #3, where there is currently a mariculture (AMAPRI). Regarding the analysis of metals compared between the sampling years, it was possible to observe significant differences ($P < 0.05$) for the metals Arsenic, Cadmium, Copper, Mercury, Nickel and Zinc. Regarding data analysis of average values per sample point, no parameter showed a significant difference ($P < 0.05$). It was possible to verify high levels of these metals (Chromium and Arsenic) covering all sampling points, including the point located in the municipality of Penha/SC, which indicates that this bioaccumulation is possibly originating from diffuse sources of various activities found in the surroundings of the Bay. Babitonga or that is related to natural geological factors.

Keywords: bioaccumulation; five points; mariculture; intoxication.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Malha amostral	36
Figura 2 - Comparação da concentração de Mercúrio (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com os limites emitido pelo Resolução RDC nº 42/2013 e Portaria nº 685/98.	50
Figura 3 - Comparação da concentração de Cobre Total (em mg/kg) resultante das análise químicas realizadas em comparação com o Decreto nº 55.871/1965.	52
Figura 4 - Comparação da concentração de Cromo (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com o Decreto nº 55.871/1965.	55
Figura 5 - Comparação da concentração de Chumbo (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com os limites emitido pelo Resolução RDC nº 42/2013 e Portaria nº 685/98.	57
Figura 6 - Comparação da concentração de Cádmió (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com os limites emitido pelo Resolução RDC nº 42/2013 e Portaria nº 685/98.	59
Figura 7 - Comparação da concentração de Arsênio (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com os limites emitido pelo Resolução RDC nº 42/2013 e Portaria nº 685/98.	61
Figura 8 - Comparação da concentração de Níquel (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com os limites emitido pelo Decreto nº 55.871/1965.	63
Figura 9 - Comparação da concentração de Zinco (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com os limites emitido pelo Decreto nº 55.871/1965.	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Coordenadas dos pontos de amostragem	37
Quadro 2 - Parâmetros físico-químicos da água nos pontos amostrados nas coletas realizadas neste estudo (1).	40
Quadro 3 - Parâmetros físico-químicos da água nos pontos amostrados nas coletas realizadas neste estudo (2).	41
Quadro 4 - Dados biométricos coletados durante a amostragem dos organismos utilizados neste estudo.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis medidas “in situ” na água.....	38
Tabela 2 - Substâncias para análise de bioacumulação.	45
Tabela 3 - Valores médios para os metais pesados comparados por ano de todos os organismos coletados.	46
Tabela 4 - Valores médios para os metais pesados comparado por pontos considerando todas as amostragens.	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
2 A UTILIZAÇÃO DO MEXILHÃO PERNA PERNA NA AVALIAÇÃO DE BIODISPONIBILIDADE DE METAIS TRAÇO NO BRASIL: REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 INTRODUÇÃO.....	18
2.2 DESENVOLVIMENTO.....	18
2.2.1 Primeiras Pesquisas	19
2.2.2 Características Gerais	19
2.2.3 Cultivo no Brasil	20
2.2.4 Cultivo em Santa Catarina	20
2.2.5 Fator Econômico	21
2.2.6 Espécie <i>Perna perna</i>	22
2.2.7 Monitoramento Ambiental	22
2.2.8 Bioindicador	23
2.2.9 Avaliação em Baías Brasileiras	24
2.2.10 Determinação de Metais Pesados	25
2.2.11 Políticas Públicas	26
2.3 CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS	27
3 BIOMONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS (2017-2023) EM PONTOS DA BAÍA BABITONGA UTILIZANDO A ESPÉCIE <i>PERNA PERNA</i>: UMA FERRAMENTA/ESTRATÉGIA INDICATIVA DA QUALIDADE DAS AÇÕES PORTUÁRIAS	33
3.1 INTRODUÇÃO.....	35
3.2 METODOLOGIA.....	35

3.2.1 Área de Estudo	35
3.2.2 Procedimento Amostral	36
3.2.3 Características da Amostra	37
3.2.4 Parâmetros físicos-químicos mensurados in situ	37
3.2.5 Parâmetros averiguados para a espécie <i>Perna Perna</i>	38
3.2.6 Análise Laboratorial	39
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.3.1 Parâmetros físico-químicos mensurados in situ	39
3.3.2 Bióticos	43
3.3.3 Biometria	43
3.3.4 Bioacumulação	44
3.3.5 Análises Estatísticas	45
3.3.6 Bioacumulação de Mercúrio	48
3.3.7 Bioacumulação de Cobre	51
3.3.8 Bioacumulação de Cromo	53
3.3.9 Bioacumulação de Chumbo	56
3.3.11 Bioacumulação de Arsênio	60
3.3.12 Bioacumulação de Níquel	62
3.3.13 Bioacumulação de Zinco	64
3.4 CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS	67
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74

1 INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O crescimento da população mundial, a rápida industrialização, a intensificação da aquicultura e a utilização indiscriminada dos recursos naturais têm gerado aumento nos níveis de poluição ambiental, causando sérios problemas para o ecossistema, principalmente devido à contaminação química.

O *Perna Perna* é muito utilizado em monitoramentos por possuir a capacidade de filtrar cerca de 80 (oitenta) litros de água/por dia e de bioacumular metais traço. Os moluscos são capazes de remover substâncias tóxicas como metais pesados, agrotóxicos e toxinas presentes na água e bioacumular em seus tecidos, causando deterioração subletal ou letal. Os metais tóxicos (Pb, Cd e Cr) e metais pesados biologicamente essenciais (Zn, Fe, Cu e Mn), quando acumulados em quantidades elevadas, provocam danos aos seres vivos.

Ao pesquisar dados científicos em plataforma de busca como Google Acadêmico relacionados com teores de metais traço em mexilhões *Perna Perna* verificou-se a carência de dados atuais, mesmo sendo um molusco que ocorre em abundância nas regiões costeiras do Brasil. Tais regiões geralmente possuem em seu entorno fontes industriais, portuários, efluentes urbanos, entre outros, que merecem destaque quanto a importância de monitoramento aquático. Diariamente, inúmeros compostos químicos aportam em regiões marinhas e costeiras decorrentes de diferentes atividades humanas.

A Baía Babitonga em São Francisco do Sul/SC onde foi realizado este estudo, possui baixa velocidade de circulação das águas e é historicamente receptora de efluentes dos seis municípios de entorno, especialmente efluentes industriais oriundos do maior pólo industrial do Estado de Santa Catarina, com indústrias do setor metal mecânico, efluentes domésticos, agrícolas, portuárias entre outras fontes de contaminação.

Pelo fato de ser um alimento consumido pela população é de extrema importância e urgência elaborar e iniciar programas de biomonitoramento. Estes monitoramentos permitem adquirir dados para um panorama de contaminação no local que ofereçam subsídios para traçar metas de controle de poluição em locais impactados.

O presente estudo analisou concentrações de 8 (oito) metais sendo: Mercúrio, Cobre,

Cromo, Chumbo, Cádmiio, Arsênio, Níquel e Zinco em tecidos de mexilhões *Perna Perna* com objetivo de comparar com os limites de referência para consumo humano. As coletas foram realizadas quadrimestralmente entre os anos de 2019 a 2022, em 5 (cinco) pontos amostrais, sendo 4 (quatro) na Baía Babitonga e 1 (um) ponto no município de Penha/SC.

A trutura da dissertação é a seguinte: Capítulo-1: Revisão a ser submetida na revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, qualis Ciências Ambientais, B1; Capítulo-2: Artigo experimental utilizando tecidos de mexilhões *Perna Perna* para análise de concentração de metais pesado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a biodisponibilidade de metais traços em mexilhões *Perna Perna* em 4 pontos localizados na Baía Babitonga e 1 ponto controle localizado no município de Penha. Foram realizadas coletas quadrimestrais ao longo dos anos de 2019 a 2022, a fim de monitorar a qualidade ambiental da Baía Babitonga.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar se houve alteração de acumulação de metais traço (mercúrio, cobre, cromo, chumbo, cádmio, arsênio, níquel e zinco) nos mexilhões ao longo dos anos e entre os pontos amostrais a fim de verificar se houve homogeneidade;
- b) Determinar, entre os pontos amostrais, quais deles apresentaram menor concentração de metais, com o objetivo de mapear locais mais favoráveis para instalação de mariculturas;
- c) Identificar se houve concentrações de metais acima dos limites de referência para consumo humano, e as possíveis causas.

2 A UTILIZAÇÃO DO MEXILHÃO PERNA PERNA NA AVALIAÇÃO DE BIODISPONIBILIDADE DE METAIS TRAÇO NO BRASIL: REVISÃO DA LITERATURA¹

RESUMO

A pesquisa sobre o cultivo da maricultura, especificamente, da espécie do mexilhão *Perna perna*, tem por objetivo avaliar a biodisponibilidade dos metais traço. Assim propõe-se apresentar a metodologia de revisão sistemática da literatura, através de estudos desta cultura, para compreender suas características, dificuldades e poluentes ambientais. Conclui-se a importância de estudos científicos para evitar que a saúde pública seja atingida por intoxicação por meio de metais pesados pela ingestão de mexilhões.

Palavras-chave: mexilhão; *perna perna*; metais traço.

THE USE OF *PERNA PERNA* MUSSELS IN THE ASSESSMENT OF BIOAVAILABILITY OF TRACE METALS IN BRAZIL: LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

Research into mariculture cultivation, specifically the *Perna Perna* mussel species, aims to evaluate the bioavailability of trace metals. Therefore, it is proposed to present the methodology of systematic literature review, through studies of this culture, to understand its characteristics, difficulties and environmental pollutants. It concludes the importance of scientific studies to prevent public health from being affected by heavy metal poisoning from ingesting mussels.

Keywords: *mussel, perna perna, trace metals*

¹ Capítulo I, que será submetido a revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, qualis ciências ambientais: B1. ISSN 2359-1412.

2.1 INTRODUÇÃO

A cultura de mariscos ou maricultura é a designação ampla para a prática de cultivar espécies marinhas e está presente em alguns estados litorâneos Brasileiro.

Com evolução em pesquisas científicas com o mexilhão da espécie *Perna Perna* é possível identificar suas características, as principais variáveis que interferem no processo produtivo assim como determinação e avaliação de metais traço.

A pesquisa caracteriza-se como qualitativa conforme os pressupostos enfatizados por Minayo (2006), uma vez que a principal fonte de dados consistiu no levantamento bibliográfico, documental e empírico. Para esta pesquisa foram consultados bancos de dados, utilizando palavras chaves como: *Perna Perna*, mexilhão, contaminação, metais traço, fator econômico e Baía Babitonga.

Dentro desse contexto, propõe-se apresentar uma revisão de literatura na área maricultura com influência de metais pesados no Brasil.

2.2 DESENVOLVIMENTO

O Cultivo de Mexilhões é conhecido pela denominação de miticultura e, pela primeira vez, foi utilizado de forma racional no século XIX na região da França, através de cultivos em balsas flutuantes. Dados arqueológicos e também registrados na literatura revelam que desde a Antiguidade os mexilhões foram utilizados como fonte de alimento pelo homem (Marques,1997).

Ferreira e Magalhães (2004), referenciam a ocorrência de *Perna Perna* também para a região do Caribe, Ilhas Canárias, Senegal, Mauritània, Marrocos, adentrando no Mediterrâneo, no lado Africano de Gibraltar até o Golfo de Tunis.

A primeira citação, que se tem referência, sobre a vantagem do cultivo de moluscos no Brasil foi apresentada em 1934, pelo Comandante Alberto Augusto Gonçalves, no Primeiro Congresso Nacional de Pesca, organizado pelo Ministério da Agricultura – Divisão de Caça e Pesca (Poli; Littlepage, 1998).

O trabalho foi designado: “O Futuro Industrial da Ostricultura no País”, não especificava somente o cultivo de mexilhões, mas indicava a importância do cultivo de moluscos como atividade comercial, ou seja, há 70 anos já se discutia o tema “cultivo de moluscos” no Brasil.

2.2.1 Primeiras Pesquisas

O início das pesquisas com a espécie *Perna perna* foi no estado de São Paulo, conforme a comunicação pessoal de Professor Lunetta, do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, apresentada por Magalhães (1998).

Segundo Lunetta (2002), o primeiro Parque Experimental de Cultivo de Mexilhões foi instalado em dezembro de 1963, na Praia do Cabelo Gordo, próxima ao Laboratório do Instituto de Biologia Marinha da Universidade de São Paulo (Centro de Biologia Marinha - CEBIMar-USP), localizado no município de São Sebastião - SP.

Com este parque de cultivo permitiu o desenvolvimento dos trabalhos pioneiros com mexilhão no Brasil, entre estes destacam-se os de Umiji (1969) e de Lunetta (1969).

2.2.2 Características Gerais

Mexilhões são moluscos bivalves da família Mytilidae, de conchas ovaladas e escuras por fora. São conhecidos no Brasil por diversos nomes populares tais como marisco, marisco das pedras, marisco preto, sururu ou ostra de pobre. Os principais alimentos destes moluscos são microalgas e matéria orgânica particulada em suspensão (Jorgensen, 1990).

São organismos filtradores e sua capacidade de bioacumulação de metais pesados entre outras substâncias é bem conhecida e descrita na literatura (Ravera; Riccardi, 1997).

A qualidade dos moluscos bivalves, especialmente ostras e mexilhão, está diretamente relacionada com a qualidade dos ambientes onde são cultivados ou extraídos (Wood, 1979).

O pé dos mexilhões libera secreção viscosa que, ao se solidificar, forma o bisso, fixando os animais a costões rochosos, na região da variação das marés. Estes passam então a ter vida bentônica (Rios, 1984).

Com relação às principais características morfológicas, Rios (1994) salienta que o mexilhão *Perna perna*, apresenta duas conchas iguais, lisas com linhas de crescimento concêntricas, margem ventral reta, articulação com um ou dois dentes. O periostraco (concha externa) é de cor cinza escura variando de preto a marrom, concha interna nacarada de coloração roxa. Externamente, observa-se também o bisso, que são filamentos protéicos, secretados por um conjunto de glândulas bissogênicas, que estão localizadas no interior do pé do organismo, serve

para fixação do organismo ao substrato. Podem romper-se e posteriormente ser reconstruídas, permitindo assim o deslocamento do organismo. (Rosa *et al.*, 1998; Ferreira; Magalhães, 2004).

2.2.3 Cultivo no Brasil

A mitilicultura no Brasil se baseia na produção do *Perna Perna*, que apresenta ampla distribuição geográfica e é encontrada com abundância em quase toda a extensão do litoral brasileiro (Rios, 2009). É uma relevante fonte de renda para as famílias que realizam seu cultivo.

Brandini *et al.* (2000) afirmaram que o cultivo de moluscos filtradores em águas brasileiras tem um bom potencial, pois o litoral brasileiro possui baías, enseadas e regiões estuárias-lagunares.

Devido, às características ambientais propícias ao desenvolvimento desses moluscos, os quais necessitam de águas de temperaturas amenas e ricas em nutrientes, a produção está centralizada nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina. Essa atividade se desenvolve em quase todo o litoral catarinense, um dos principais produtores de moluscos cultivados no Brasil, superando 85% da produção nacional (Silva, 2007).

O cultivo de mexilhão e ostras no estado de Santa Catarina, segundo Ostrensky, Borghetti e Soto (2008) e Pereira e Rocha (2015), pode contribuir para o aumento da renda de diversas famílias de pequenos produtores, fundamentada principalmente nos baixos custos de produção.

2.2.4 Cultivo em Santa Catarina

O mar é um importante fornecedor de alimentos no mundo e a principal fonte de proteína para aproximadamente um bilhão de pessoas, por isso a relevância da maricultura, especialmente, a de pequeno porte (Paulilo, 2002). No estado de Santa Catarina, tem-se a mitilicultura e ostreicultura. Apesar de a maricultura comercial ser recente no Brasil, tendo se iniciado em Santa Catarina em 1990, foi se expandindo significativamente desde então (Paulilo, 2002).

Em Santa Catarina a maricultura foi desenvolvido graças às características de localização geográfica do estado, havendo grande aproveitamento de áreas propícias para tal prática (Roczanski *et al.*, 2000).

Segundo Ferreira e Magalhães (1989): “Em Santa Catarina o trabalho com mexilhões foi iniciado no Departamento de Aquicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, em 1986, com o estudo do ciclo reprodutivo desse molusco na Ilha de Santa Catarina. Em Agosto de 1988 foi criado o Laboratório de Mexilhões (LAMEX) daquele Departamento, onde se desenvolvem várias pesquisas relacionadas ao estudo da Biologia e Cultivo de mexilhões *Perna perna* no Estado de Santa Catarina”.

Entretanto, mesmo Santa Catarina destacando-se nacionalmente na mitilicultura, as primeiras referências sobre a biologia do mexilhão *Perna perna* são do final da década de 60 e originárias do estado de São Paulo, através dos trabalhos realizados por Lunetta (1969) e Umiji (1969).

Cabe salientar que a intensificação das pesquisas em Santa Catarina foi consequência do cultivo de mexilhões, finalmente, estar sendo desenvolvido de uma maneira comercial com o envolvimento de várias comunidades litorâneas do estado. Observou-se que estas pesquisas, de maneira geral, apresentavam um caráter prático, ou seja, normalmente estavam voltadas a resolver problemas do processo produtivo do cultivo (Manzoni, 2005).

2.2.5 Fator Econômico

Mexilhões são economicamente importantes, pois muitas espécies são comestíveis. Destaca-se como alimento rico em proteínas, iodo, zinco e vitaminas, devido aos seus altos teores proteico e vitamínico. Sua fonte proteica é de excelente qualidade nutritiva, superando a de muitas espécies marinhas, o que o torna excelente alternativa alimentar (Moreira, 2010).

A industrialização do produto catarinense ainda não é realizada no Estado. O processamento dos mexilhões é realizado de forma artesanal, normalmente em ranchos, com estruturas improvisadas, via de regra, sem condições ideais de higiene que permitam assegurar qualidade ao produto (Barcelos, 2000).

O consumo de moluscos no Brasil, devido à falta de tradição e de marketing adequado, apresenta dificuldades para colocação do produto no mercado nacional (Silva, 2007).

Em geral, o mexilhão *Perna perna* atinge o tamanho comercial, ao redor de 7,0 cm, em prazo que pode variar de 10 a 12 meses. (Moreira, 2010).

2.2.6 Espécie *Perna perna*

O mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758) é o maior mitilídeo brasileiro, encontrado na costa atlântica da América do Sul desde a Venezuela até o Uruguai, sendo abundante no Brasil entre os estados do Rio de Janeiro e Santa Catarina. (Pierri; Fossari; Magalhães, 2016).

A espécie *Perna perna* apresenta grande importância para os ambientes em que habita, estruturando a comunidade em litorais rochosos e sendo bioatratora de diversidade (Freitas; Velastin, 2010). Apresenta também características desejadas para a aquicultura, como rápido crescimento (Ferreira; Magalhães, 2004; Marenzi; Branco, 2006) e resistência a variações nos parâmetros físico-químicos da água, entre eles salinidade (Salomão; Magalhães; Lunetta, 1980) e temperatura (Vélez; Epifanio, 1981; Hicks; McMahon, 2002).

A espécie de molusco, *Perna perna*, pode atingir até 182 mm (Magalhães, 1998) e encontra-se normalmente fixado a substratos rochosos ou estruturas rígidas na região intermareal desde o supralitoral inferior até a profundidade de 19 metros (Fernandes, 1981).

Com relação aos aspectos reprodutivos, o mexilhão *Perna perna* é uma espécie dióica, que apresenta sexo separado, com raros casos de hermafroditismo (Ferreira, 1991). Externamente, não é possível realizar a diferenciação sexual, mas internamente sim, a partir da coloração das gônadas, uma vez que, os machos apresentam uma coloração branco-leitosa e as fêmeas vermelho-alaranjada.

A hipótese de que o mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758) seja uma espécie exótica do litoral do Brasil, tendo sido introduzida no país há pouco mais de 400 anos, devido ao tráfego de navios oriundos do continente africano, que, de acordo com Fernandes (2007), é tido como o berço dessa espécie. A hipótese é baseada principalmente em estudos de análise da malacofauna presente em sambaquis no litoral sudeste do Brasil (Souza; Costa; Silva, 2003; Souza *et al.*, 2010) argumentam que a ausência desses bivalves em sítios arqueológicos seja uma comprovação de sua condição invasora.

2.2.7 Monitoramento Ambiental

O monitoramento de águas doce e de mar com animais aquáticos envolve também análises de mexilhões, ostras e mariscos e é realizado em mais de setenta países (Markert *et al.*

1999).

É importante destacar que a criação de mexilhões requer cuidados especiais, como a escolha de áreas adequadas e o monitoramento constante da qualidade da água e das condições de cultivo. Além disso, é necessário atender as legislações ambiental e sanitária vigentes para a prática dessa atividade (AMESP, 2022). Da mesma forma, programas internacionais de monitoramento de poluentes no ambiente marinho recomendam o emprego de moluscos bivalves como o “Mussel Watch” nos Estados Unidos (Goldberg, 1975) e o “Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas” (UNEP, 2004).

Se por um lado o acúmulo de contaminantes pode trazer prejuízos à mitilicultura, por outro lado, pode ser aproveitado no monitoramento da qualidade das águas (Furlan *et al.* 2007). Considera-se a cultura de moluscos pouco agressiva do ponto de vista ambiental, por utilizar nutrientes naturalmente existentes nas águas (Moreira, 2010).

Muitos contaminantes causam efeitos drásticos devido à sua biodisponibilidade e toxicidade em processos biológicos (Kayasth; Swain, 2004).

Os moluscos são sensíveis a contaminantes e seu sistema imunológico funciona como agente de alerta a stresses ambientais, alterando o seu estado de bem-estar (Canesi *et al.*, 2001; Akaishi, 2007).

Alguns aspectos ambientais negativos da maricultura incluem a introdução de espécies exóticas, introdução de organismos patogênicos ou outras doenças consorciadas aos cultivos e degradação direta do ambiente devido ao deslocamento de terra (Pereira; Rocha 2015).

Os programas de biomonitoramento ambiental utilizando organismos, chamados biomonitores, são capazes de fornecer informações sobre a qualidade do ambiente, permitindo uma avaliação consistente dos níveis de contaminação ambiental (Eugene *et al.*, 2013).

2.2.8 Bioindicador

A utilização de organismos marinhos, como indicadores de aportes ao meio ambiente de substâncias tóxicas de origem antrópica, foi objeto de estudo em diversos trabalhos no Brasil (Callil, 1998; Medeiros *et al.*, 1998; Pereira *et al.*, 2002).

São organismos filtradores e sua capacidade de bioacumulação de metais pesados entre outras substâncias é bem conhecida e descrita na literatura (Ravera; Riccardi, 1997).

O mexilhão *Perna perna* apresenta capacidade de responder a variação de poluentes no ambiente, sendo reconhecido como eficiente bioindicador em ambientes aquáticos marinhos, além de ter sua biologia conhecida e ser animal sésil de ampla distribuição geográfica (Avelar *et al.*, 2000; Carvalho *et al.*, 2001; Lamparelli *et al.*, 2001; Resgalla *et al.*, 2008; Galvão *et al.*, 2009; Ferreira *et al.*, 2013, Marengoni *et al.*, 2013). Esta espécie parece responder de forma confiável a presença de elementos metálicos geralmente derivados de lançamento de esgotos domésticos (Francioni *et al.*, 2004).

Estes moluscos apresentam uma grande capacidade de filtração (cerca de oitenta (80) litros de água/dia). Devido a esta característica acumulam matérias (metais pesados, produtos químicos) e organismos (bactérias-vírus) que estão presentes na água. Estas características qualificam estes organismos como espécies bioindicadoras da qualidade ambiental da área onde são coletados (Almeida *et al.*, 1998; Callil, 1998; Carvalho *et al.*, 1998; Manzoni *et al.*, 1998; Medeiros *et al.*, 1998; Resgalla *et al.*, 1998).

2.2.9 Avaliação em Baías Brasileiras

Na Baía da Ilha Grande no estado do Rio de Janeiro o primeiro incentivo à Maricultura foi provido através da implantação do Projeto Desenvolvimento Sustentado da Ilha Grande, executado pela Prefeitura Municipal de Angra dos Reis (PMAR), devido às condições oceanográficas extremamente favoráveis ao cultivo de organismos marinhos. Com objetivo em contribuir para estruturação de um modelo de conservação e uso sustentável de longo prazo para os ecossistemas continentais, marítimos e insulares da Baía (FAO, 2015).

Outra Baía, também presente em pesquisas é denominada de Babitonga (Bernstorff, 2008) localizada ao norte de Santa Catarina, é um estuário que por suas características possui baixa velocidade de circulação das águas e é historicamente receptora de efluentes dos seis municípios de entorno, especialmente efluentes industriais oriundos do maior pólo industrial do Estado, com indústrias do setor metal mecânico, efluentes domésticos, agrícolas entre outras fontes de contaminação. O cultivo de Mariculturas presente na região, principalmente, o da espécie *Perna perna* especialmente, por ser fonte de renda da população (Simm *et al.*, 2009).

A qualidade de mexilhões *Perna Perna* foi investigada no estado de maior produção desses organismos no Brasil, Santa Catarina (Curtius *et al.*, 2003). Por esse motivo, a Baía de

Florianópolis na capital Catarinense também é alvo de pesquisas há pelo menos 51 anos, o litoral leste da ilha é voltado para o mar aberto e está mais exposto à ação das ondas (Horn, 2006). É justamente nesta face leste onde se encontram os locais de extração do mexilhão.

Na Baía de Benevente, localizada no litoral sul do Estado do Espírito Santo, realizou-se um estudo para estimar a abundância e morfometria dos bivalvos *Perna perna* nos costões rochosos. Contribuindo para a compreensão da dinâmica de interações e também possibilitando a apresentação de dados inovadores (Silva; Castro; Silva, 2011).

Estudos recentes demonstram que o setor aquícola nacional tem, em geral, uma percepção bastante crítica quanto às ações e atribuições que competem aos Governos e Políticas Públicas atualmente vigentes (FAO, 2015). Segundo Ostrensky Borghetti e Soto (2007), os principais problemas estariam relacionados a falta de clareza e a eficiência limitada das políticas públicas voltadas ao apoio técnico da atividade, incluindo treinamento, qualificação e difusão de conhecimento.

2.2.10 Determinação de Metais Pesados

Através da extração em grande escala dos minérios presentes na crosta terrestre, o homem influenciou o ciclo dos metais, especialmente o caso dos metais encontrados na atmosfera. Sendo assim taxas de emissão de metais traço para a atmosfera eram baixas, devido a sua baixa volatilidade. (Ansari, 2011).

Sendo assim os metais traço são transportados ao longo do ciclo hidrológico, neste processo, a água e a atmosfera promovem o intemperismo continental e são o meio de transporte. Considera-se todos os metais tóxicos para os organismos aquáticos, assim como para os humanos, se os níveis de exposição forem elevados. (Ansari 2011).

Determinar as concentrações dos contaminantes nos organismos marinhos proporciona o conhecimento da biodisponibilidade dos metais traço nos diferentes ecossistemas, o que permite avaliar os riscos potenciais aos quais a população está exposta, principalmente através da alimentação (Galvão *et al.*, 2009).

Costa, Paiva e Moreira (2000) investigaram os níveis de Hg em mexilhões *Perna Perna* da Baía de Guanabara na Urca e na Marina da Glória (RJ), em intervalos de 10 anos (1988 a 1998). Outra região poluída com metais traço está localizado no norte do Estado, a Ilha de Santana, as

concentrações de vários elementos (Al, Fe, Mn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn) foram investigadas nesta mesma espécie e alguns elementos de alta concentrações refere-se a entrada de metais proveniente da oxidação dos cascos dos navios (Amaral *et al.*, 2005).

Em outro estado do sudeste brasileiro, foram analisadas as concentrações de Cd, Cu, Cr, Pb e Zn em *Perna Perna* coletados na baía de Ubatuba (SP), em diferentes meses (Ferreira *et al.*, 2013). Ainda no estado de São Paulo, o estudo foi na região costeira por biomonitoramento ativo, e determinaram as concentrações de Cd, Pb, Hg, As, Ca, Co, Cr, Fe, Na, Se e Zn (Catharino *et al.*, 2008).

Para a da Baía de Santos (SP), Catharino *et al.* (2008), estudando mexilhões *Perna perna*, identificaram para a localidade de Itaipu maiores concentrações de Cd, Pb e Zn no verão, de Fe no inverno e de Cr no outono.

Na região sul do Brasil, foram estudadas as concentrações de Hg, Mn, Cr, Cu, Cd, Pb, Fe e Zn em *Perna Perna* na costa do Rio Grande do Sul, em locais pouco habitados e considerados livres de contaminação. (Ferreira *et al.*, 2013). Assim a expansão do cultivo de moluscos bivalves permite associar as atividades de mitilicultura com monitoramento ambiental, gerando resultados de ecotoxicologia, que conferem certificado de qualidade ao pescado produzido (Galvão *et al.*, 2009).

2.2.11 Políticas Públicas

Nos últimos anos, o oceano tem entrado em evidência no cenário geopolítico mundial. A partir de 2015, com a implementação da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável e seus 17 objetivos globais (ODSs), a Organização das Nações Unidas (ONU) voltou as atenções para a conservação e o uso sustentável do oceano, proclamando a Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável (2021-2030). Trata -se de um esforço coletivo envolvendo a sociedade civil, pesquisadores, agentes da política e da gestão a fim de promover ações direcionadas à proteção dos mares, oceano e da vida marinha. Mais do que nunca o Oceano assumirá um papel estratégico no combate à fome, seja pelo aumento da oferta de alimentos seja pela qualidade nutricional de seus produtos. (Silvestri; Caltabellotta, 2022).

Estudos recentes demonstram que o setor aquícola nacional tem, em geral, uma percepção bastante crítica quanto às ações e atribuições que competem aos Governos e Políticas

Públicas atualmente vigentes (FAO, 2015). Segundo Ostrensky, Borghetti e Soto (2007), os principais problemas estariam relacionados a falta de clareza e a eficiência limitada das políticas públicas voltadas ao apoio técnico da atividade, incluindo treinamento, qualificação e difusão de conhecimento.

2.3 CONCLUSÃO

Diante das pesquisas apresentadas, é extremamente importante o conhecimento científico da espécie *Perna perna*, nos diferentes estados do Brasil, para evitar a população de intoxicação por metais, traço presente no mexilhão.

Considerando que são 17 estados litorâneos e alguns destes apresentam características de regiões costeiras, faz necessário a implantação de programas ambientais de monitoramento para determinar possíveis poluição e suas origens. O risco de contaminação por estes metais afeta a saúde pública, causando impacto na população local que utilizam o mexilhão como fonte de alimento. Recomenda-se a criação nacional de gestão da maricultura em prol da sustentabilidade deste cultivo, inclusive poderia se criar uma instrução normativa referente a padronização da metologia e com os dados gerados, criar uma plataforma de integração a fim de disponibilizar a população e também ser uma fonte de dados base para novos estudos.

REFERÊNCIAS

- AKAISHI, F. M. **Avaliação dos efeitos tóxicos de esgoto doméstico tratado e não-tratado em bivalve marinho *Mytilus edulis***. 2007. Tese (Doutorado em Biologia Celular) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- ALMEIDA, E. A. *et al.* Análise de biomarcadores bioquímicos em mexilhões (*Perna perna*) de diferentes regiões do Estado de Santa Catarina. *In: Anais do V Encontro Brasileiro de Ecotoxicologia*. Itajaí, SC, 1998.
- AMARAL, M. C. R. *et al.* Bioaccumulation and depuration of Zn and Cd in mangrove oysters (*Crassostrea rhizophorae*, Guilding, 1828) transplanted to and from a contaminated tropical coastal lagoon. **Marine Environmental Research**, 2005.
- AMESP-Associação dos Maricultores do Estado de São Paulo. **Maricultura**. Ubatuba-SP, 2022. Disponível em: <https://amespmaricultura.org.br/maricultura/>. Acesso em: 09 out. 2023.

ANSARI, N. R. **Comparação da contaminação por metais no setor interno e externo da Baía de Guanabara utilizando *Bunodosoma caissarum* e *Perna perna* como espécies bioindicadoras**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011.

AVELAR, W. E. P. *et al.* The marine mussel *Perna perna* (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) as an indicator of contamination by heavy metals in the Ubatuba Bay, Sao Paulo, Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, 2000.

BERNSTORFF, M. **Notas sobre a Baía Babitonga e Porto de São Francisco do Sul**, 2008.

BRANDINI, F. P.; SILVA, S. S.; PROENÇA, L. A. O. **Oceanografia e maricultura**. In: VALENTI, W. C.; POLI, C. R.; PEREIRA, J. A.; BORGETTI, J. R. *Aqüicultura no Brasil*. Brasília: CNPQ, 2000.

CALLIL, C. T. Utilização de moluscos como indicadores de mercúrio: proposta de biomonitoração. In: Anais do **Encontro Brasileiro de Ecotoxicologia**. Itajaí, SC, 1998.

CANESI, L. *et al.* Surface interactions between *Escherichia coli* and hemocytes of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. leading to efficient bacterial clearance. **Applied and environmental microbiology**, 2001.

CARVALHO, C. E. V. *et al.* Distribuição de metais pesados em mexilhões (*Perna perna*, L.) da ilha de Santana (Macaé RJ). In: **Anais do V Encontro Brasileiro de Ecotoxicologia**. Itajaí, SC, 1998.

CATHARINO, M. *et al.* Biomonitoring of Hg, Cd, Pb and other elements in coastal regions of São Paulo State, Brazil, using the transplanted mussel *Perna perna* (Linnaeus, 1758). **Journal of radioanalytical and nuclear chemistry**, 2008.

COSTA, M.; PAIVA, E.; MOREIRA, I. Total mercury in *Perna perna* mussels from Guanabara Bay—10 years later. **Science of the total environment**, 2000.

CURTIUS, A. J. *et al.* Avaliando a contaminação por elementos traço em atividades de maricultura: resultados parciais de um estudo de caso realizado na ilha de Santa Catarina, Brasil. **Química Nova**, 2003.

BARCELOS, J. A. N. EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Pólo de Maricultura**. Folheto, 2000.

NG, E. *et al.* Depuration of trace metals in transplanted *Perna viridis* from polluted site at Kg Pasir Puteh to relatively unpolluted sites at Kg Sg Melayu and Sg Belungkor in the Straits of Johore. **Journal of Industrial Pollution Control**, 2013.

FAO - Food and Agriculture organization of the United Nations. **“Gestão Integrada do Ecossistema da Baía de Ilha Grande”**. Angra dos Reis, RJ, 2015.

FERNANDES, F. C. *et al.* Distribuição mundial e o impacto de sua introdução no Brasil. **O mexilhão Perna perna**, 2008.

FERNANDES, F. C. Ecologia e biologia do mexilhão *Perna perna* na região de Cabo Frio, Brasil. *In: SILVA, R. T. et al. Obtenção de sementes e ciclo reprodutivo de mexilhão Perna perna (L.) em áreas de produção do estado de Santa Catarina.* Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

FERREIRA, J. F.; MAGALHÃES, A. R. M. **Cultivo de mexilhões. In: Aquicultura: Experiências brasileiras.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

FERREIRA, J. F.; MAGALHÃES, A. R. M. Cultivo de Mexilhões em Santa Catarina: uma realidade. *In: Anais. ACAq – Associação Catarinense de Aquicultura.* Joinville, 1989.

FRANCIONI, E. *et al.* Evaluation of *Perna perna* (Linné, 1758) as a tool to monitoring trace metals contamination in estuarine and coastal waters of Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 2004.

FREITAS, M. O.; VELASTIN, R. Ictiofauna associada a um cultivo de mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758) Norte Catarinense, Sul do Brasil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, 2010.

FURLAN, E. F. *et al.* Estabilidade físico-química e mercado do mexilhão (*Perna perna*) cultivado em Ubatuba-SP. **Food Science and Technology**, 2007.

GALVÃO, P. M. A. *et al.* Bioacumulação de metais pesados em moluscos bivalves: aspectos evolutivos e ecológicos a serem considerados para a biomonitoração de ambientes marinhos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, 2009.

FERREIRA, J. F. Ocorrência de hermafroditismo no mexilhão *Perna perna* (Linné, 1758) (*Bivalvia*, *Mytilidae*). *In: Encontro Brasileiro de Malacologia.* São Paulo, 1991.

GOLDBERG, E. D. The mussel watch - A first step in global marine monitoring. **Marine Pollution Bulletin**, 1975.

HICKS, D. W.; MCMAHON, R. F. Respiratory responses to temperature and hypoxia in the nonindigenous Brown Mussel, *Perna perna* (*Bivalvia*: *Mytilidae*), from the Gulf of Mexico. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 2002.

JORGENSEN, C. B. Bivalve filter feeding: hydrodynamics, bioenergetics, physiology and ecology. Olsen & Olsen, 1990.

KAYASTH, S.; SWAIN, K. Role of analytical chemistry in environmental monitoring. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 2004.

LAMPARELLI, M. C. *et al.* Sistema Estuarino de Santos e São Vicente. *In: Sistema estuarino de*

Santos e São Vicente. 2001.

LUNETTA, J. E. Fisiologia da reprodução dos mexilhões (*Mytilus perna*-Mollusca lamellibranchia. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Zoologia e Biologia Marinha**, 1969.

LUNETTA, J. E. O florescimento da mitilicultura no Brasil. **Simpósio De Biologia Marinha**, 2002.

MAGALHÃES, A. R. M. **Efeito da parasitose por trematoda bucephalidae na reprodução, composição bioquímica e índice de condição de mexilhões *Perna perna* (L).** Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MANZONI, G. C; **Cultivo de Mexilhões *Perna perna*: Evolução da atividade no Brasil e avaliação econômica da realidade de Santa Catarina** .Jaboticabal, 2005.

MANZONI, G. C.; BARREIROS, M. A. B.; MARENZI, A. W. C. e SCHMITT, J. F. **Monitoramento bacteriológico (Colimetria) da água e dos moluscos cultivados na Enseada de Armação do Itapocoroy, (26°47'S- 48°36'W) Penha, (SC), Brasil.** In: Anais do V Encontro Brasileiro de Ecotoxicologia. Itajaí SC, 1998.

MARENGONI, N. G. *et al.* Bioacumulação de metais pesados e nutrientes no mexilhão dourado do reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu binacional. *Química Nova*, 2013.

MARENZI, A. W. C.; BRANCO, J. O. O cultivo do mexilhão *Perna perna* no município de Penha, SC. **Bases ecológicas para um desenvolvimento sustentável: estudos de caso em Penha-SC. (JO Branco & AWC Marenzi, eds.). Editora da UNIVALI, Itajaí, 2006.**

MARKERT, B. *et al.* The use of bioindicators for monitoring the heavy-metal status of the environment. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, 1999.

MARQUES, H. L. A. **Criação comercial de mexilhões**. NBL Editora, 1997.

MEDEIROS, I. D. *et al.* Biomonitoramento da contaminação aquática na Baía Norte da Ilha de Santa Catarina utilizando mexilhões *Perna perna* como organismos sentinela. **Anais do 5o Encontro Brasileiro de Ecotoxicologia**, 1998.

MOREIRA, E. G. **Preparo e caracterização de um material de referência de mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758).** 2010. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R.; SOTO, D. **Aqüicultura no Brasil: o desafio é crescer.** Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca. Brasília, 2008.

OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R.; SOTO, D. **Estudo setorial para consolidação de uma aqüicultura sustentável no Brasil.** Grupo Integrado de Aqüicultura e Estudos Ambientais (GIA), Curitiba, 2007.

- PAULILO, M. I. S. Maricultura e território em Santa Catarina-Brasil. **Geosul**, 2002.
- PEREIRA, L. A.; ROCHA, R. M. A maricultura e as bases econômicas, social e ambiental que determinam seu desenvolvimento e sustentabilidade. **Ambiente & Sociedade**, 2015.
- PEREIRA, O. M. *et al.* Determinação dos teores de Hg, Pb, Cd, Cu e Zn em moluscos (Crassostrea brasiliana, Perna perna e Mytella falcata). **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, 2002.
- PIERRI, B. S.; FOSSARI, T. D.; MAGALHÃES, A. R. M. O mexilhão Perna perna no Brasil: nativo ou exótico?. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 2016.
- POLI, C. R.; LITTLEPAGE, J. Desenvolvimento do cultivo de moluscos no estado de Santa Catarina. **Aquicultura Brasil**, 1998.
- RAVERA, O.; RICCARDI, N. Biological monitoring with organisms accumulator of pollutants. **Marine chemistry**, 1997.
- RESGALLA, C. Jr.; WEBER, L. I.; CONCEIÇÃO, M. B. **O mexilhão Perna perna (L.): biologia, ecologia e aplicações**. Editora Interciência. Rio de Janeiro, 2008.
- RESGALLA, C.; BELLOTTO, V. R.; REIS F. R. W.; KUEHN, J.; PELLENS, I. C.; MORA, F. G. e PESSATI, M. **Variabilidade das taxas de filtração, respiração, assimilação e do mecanismo de resistência à multixenobióticos (MXR) do mexilhão Perna perna sob influência do chumbo**. In: Anais do V Encontro Brasileiro de Ecotoxicologia. Itajaí SC, 1998.
- RIOS, E. C. **Compendium of brazilian sea shells**. Editora Evangraf, Rio Grande, RS, Brasil, 2009.
- RIOS, E. C.; **Seashells of Brazil**, 2 ed. Rio Grande, RS. Editora da Fundação Universidade do Rio Grande, 1984.
- ROCZANSKI, M. *et al.* A evolução da aquíicultura no estado de Santa Catarina-Brasil. In: **Anais do Aquicultura Brasil 2000: Simposio Brasileiro de Aquicultura, Florianópolis, Brasil**, 2000.
- ROSA, R. C. C.; FERREIRA, J. F.; PEREIRA, A.; MAGALHÃES, A. R. M.; NETO OLIVEIRA, F. M.; GUZENSKI, J.; ANTONIOLLI, M. A.; RODRIGUES, P. T. R.; OGLIARI, R. A.. **Biologia e cultivo de mexilhões**. Apostila –Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal.
- SALOMÃO, L. C.; MAGALHÃES, A. R. M.; LUNETTA, J. E. Influência da salinidade na sobrevivência de Perna perna (Mollusca: Bivalvia). **Boletim de fisiologia animal**, 1980.
- SILVESTRI, F.; CALTABELLOTTA, F. P. O oceano e a segurança alimentar na Macrometrópole Paulista. **Diálogos Socioambientais**, 2022.

- SIMM M. *et al.* **Teste de sobrevivência em exposição ao ar com mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758), utilizado como bioindicador para avaliar a situação ambiental da baía da Babitonga, Santa Catarina (Brasil).** In: MAS-PLA J., ZUPPI G.M. (eds.): **Gestión ambiental integrada de áreas costeras – Gestão ambiental integrada dos areas costeiras.** Barcelona, Rubes Editorial, 2009.
- SILVA, L. R. L.; CASTRO, G. A.; SILVA, C. C. Avaliações da Abundância e Morfometria de Bivalves Invasores em Costões Rochosos da Baía de Benevente-Espírito Santo. In: **XV Simpósio de Biologia Marinha**, Santos, SP, 2011.
- SILVA, D. **Resíduo Sólido da Malacocultura: Caracterização e Potencialidade de Utilização de Conchas de Ostras (*Crassostrea gigas*) e Mexilhão (*Perna perna*).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- SOUZA, R. C. C. L. *et al.* Archaeozoology of marine mollusks from Sambaqui da Tarioba, Rio das Ostras, Rio de Janeiro, Brazil. **Zoologia (Curitiba)**, 2010.
- SOUZA, R. C. C. L.; COSTA F. F.; SILVA, E. P. A study on the occurrence of the brown mussel *Perna perna* on the *sambaquis* of the Brazilian coast. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, 2003.
- UMIJI, S. Neurosecreção em *Mytilus perna* (Molusco-Lamelibrânquio). **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Zoologia e Biologia Marinha**, 1969.
- UNEP – United Nations Environment Programme. **Guidance for a Global Monitoring Programme for Persistent Organic Pollutants.** 2004. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sib3pop.menlhk.go.id/uploads/Regulasi/guidancegpm.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2023
- VÉLEZ, A.; EPIFANIO, C. E. Effects of temperature and ration on gametogenesis and growth in the tropical mussel *Perna perna* (L.). **Aquaculture**, 1981.
- WOOD, P. C. **Manual de higiene de los mariscos.** Zaragoza: Acribia, 1979.

3 BIOMONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS (2017-2023) EM PONTOS DA BAÍA BABITONGA UTILIZANDO A ESPÉCIE *PERNA PERNA*: UMA FERRAMENTA/ESTRATÉGIA INDICATIVA DA QUALIDADE DAS AÇÕES PORTUÁRIAS

RESUMO

Os moluscos bivalves são organismos filtradores e possuem capacidade de bioacumular metais pesados. A espécie *Perna perna* é reconhecida como um eficiente bioindicador em ambientes aquáticos marinhos visto ser capaz de bombear entre 0,5 a 4 litros de água por hora. Para este estudo foram realizadas coletas quadrimestrais entre os anos de 2019 e 2022 em 05 pontos amostrais, sendo 04 localizados na Baía Babitonga e um ponto controle no município de Penha. Foram realizadas análises dos metais Mercúrio, Cobre, Cromo, Chumbo, Cádmio, Arsênio, Níquel e Zinco, obtendo um total de 480 amostras (4 anos x 5 pontos x 3 coletas por ano amostrado x 8 metais analisados). Utilizou-se indivíduos em estágio juvenil, no qual foram distribuídos 100 indivíduos por ponto amostral e repostos a cada coleta. Após os meses de exposição foram realizadas as coletas dos organismos e encaminhados ao laboratório terceirizado para análise dos metais pesados e comparados os resultados com as legislações referente ao limite máximo de concentração para o consumo humano. Registrou-se concentrações de cromo e arsênio acima do limite legal para consumo humano nas áreas estudadas em mais de uma amostragem contemplando os 5 pontos amostrais. Sobre a bioacumulação de Cromo percebe-se uma contaminação crônica difusa. Com relação a bioacumulação do metal Arsênio, foi possível verificar que não há correlação com as atividades portuárias devido, por exemplo, a movimentação de fertilizantes. A constatação destes metais aponta haver fontes de contaminação que devem ser monitorados constantemente a fim de assegurar a saúde da baía e conseqüentemente da população que utilizada este mexilhão como fonte de alimento.

Palavras-chave: mexilhão, *perna perna*, metais traço, monitoramento.

BIOMONITORING OF HEAVY METALS CONCENTRATION (2017-2023) AT POINTS OF THE BABITONGA BAY USING DE *PERNA PERNA* SPECIES: A TOOL/STRATEGY INDICATIVE OF THE QUALITY OF PORT ACTIONS.

ABSTRACT

Bivalve molluscs are filter-feeding organisms and have the ability to bioaccumulate heavy metals. The *Perna Perna* species is recognized as an efficient bioindicator in marine aquatic environments as it is capable of pumping between 0.5 and 4 liters of water per hour. For this study, four-monthly collections were carried out between 2019 and 2022 at 05 sampling points, 04 of which were located in Babitonga Bay and a control point in the municipality of Penha. Analyzes of the metals Arsenic, Cadmium, Lead, Copper, Chromium, Mercury and Zinc were carried out, obtaining a total of 480 samples (4 years x 5 points x 3 collections per year sampled x 8 metals analyzed). Individuals in the juvenile stage were used, in which 100 individuals were distributed per sampling point and replaced at each collection. After months of exposure, the organisms were collected and sent to the laboratory for analysis of heavy metals and the results were compared with legislation regarding the maximum concentration limit for human consumption. Chromium and arsenic concentrations above the legal limit for human consumption were recorded in the areas studied in more than one sampling covering the 5 sampling points. Regarding the bioaccumulation of Chromium, diffuse chronic contamination can be seen. It is believed that the origin of these elements is related to urban and industrial waste. There are still groups of researchers who claim that the maximum concentration limit indicated for this metal is mistaken and that it is necessary to reevaluate this standard for bioaccumulation in bivalves. Regarding the bioaccumulation of the metal Arsenic, it was possible to verify that there is no correlation with port activities due to, for example, the movement of fertilizers. The finding of these metals indicates that there are sources of contamination that must be constantly monitored in order to ensure the health of the bay and consequently of the population that uses this mussel as a food source.

Keywords: *mussel, perna perna, trace metals, monitoring.*

3.1 INTRODUÇÃO

A Baía Babilonga, está localizada no litoral Norte Catarinense e abrange 6 municípios, sendo eles: São Francisco do Sul, Itapoá, Joinville, Araquari; Balneário Barra do Sul e Garuva (GERCO/SC, 2004). Possui um papel fundamental no processo de povoamento e de desenvolvimento socioeconômico da região Norte e Nordeste de Santa Catarina.

O grau de relevância da Baía Babilonga se dá em função da sua destacada importância socioeconômica e ecológica. O município de Joinville representa a cidade mais populosa e o maior complexo industrial de Santa Catarina, enquanto Araquari é a cidade de maior taxa de crescimento do Brasil (Brasil, 2023). A importância econômica desta baía se expressa por abrigar um grande complexo portuário do Brasil, com intensa movimentação graneleira e de contêineres (PORTO DE SÃO FRANCISCO DO SUL, 2007), assim como um complexo petrolífero, várias comunidades de pescadores artesanais e pesca semi-industrial, aliada às atividades de turismo e esportes náuticos, vela e motor (Rodrigues, 2000).

3.2 METODOLOGIA

O estudo foi realizado na Baía da Babilonga em Santa Catarina, entre os anos de 2019 a 2020. A baía é um sistema estuarino de grande importância social e econômica, devido à presença de grandes instalações portuárias e de centros urbanos.

3.2.1 Área de Estudo

Localizada em uma área a nordeste da cidade de Joinville (SC), representa uma região industrializada e urbanizada, com uma população de 620.000 habitantes e uma grande área industrial com aproximadamente 1600 indústrias (Barros *et al.*, 2010). Dentro do estuário, as atividades econômicas estão relacionadas aos portos de São Francisco do Sul e Itapoá, pesca e criação de ostras (Rizzi; Taniguchi; Martins, 2017). A Baía de Babilonga possui um regime de maré mista, com dominância semidiurna e desigualdades diurnas (Truccolo; Schettini, 1999). Cerca de $7,8 \times 10^8 \text{ m}^3$ de água são movimentados, em um tempo de residência de aproximadamente 140 dias (IME /DNIT, 2004), estando associada principalmente às dinâmicas das

marés, hidrológica e meteorológica.

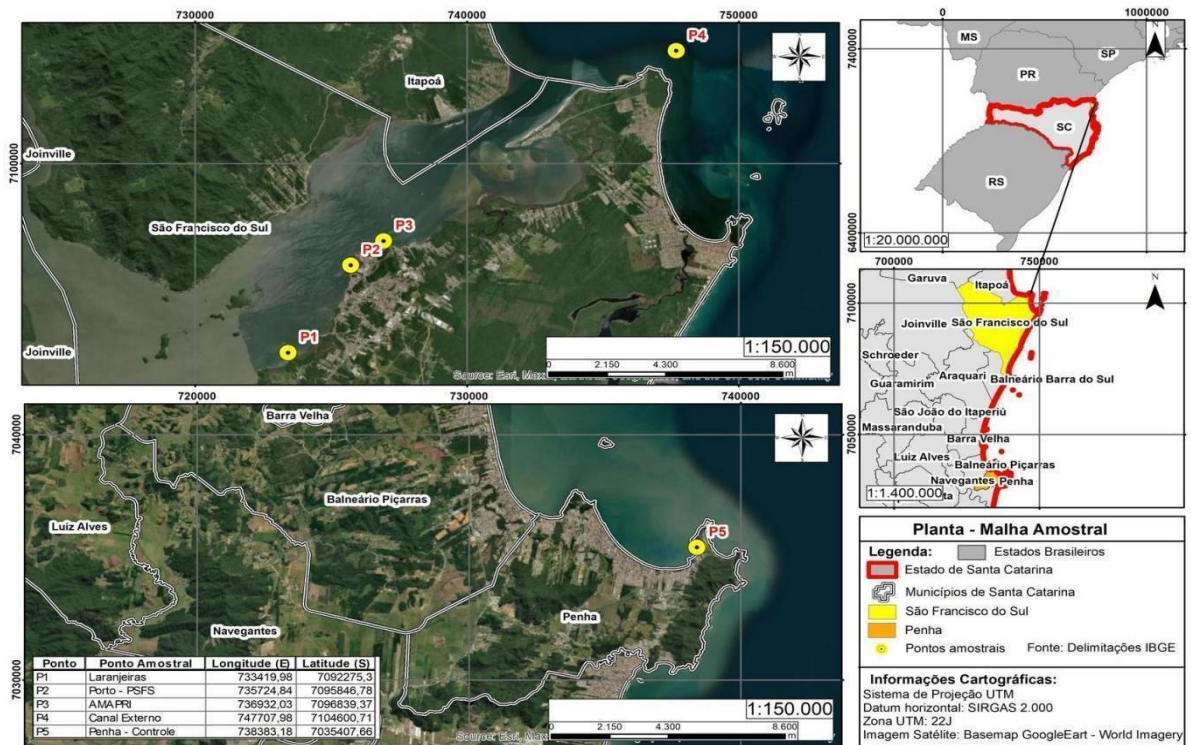
3.2.2 Procedimento Amostral

A malha amostral possui quatro pontos localizados na Baía da Babitonga em São Francisco do Sul e uma no município de Penha, utilizado como ponto controle que é onde os mexilhões são coletados em estado juvenil para serem transplantados para a área a ser monitorada.

A escolha dos pontos amostrais foi realizada tendo como direção, área de influência direta do Porto de São Francisco do Sul, Canal Externo (onde há acesso de navios e próximo ao descarte de atividades de dragagem e derrocagem, um na maricultura no qual gera renda para a comunidade, ponto próximo ao bairro laranjeiras em São Francisco do Sul, onde há avistagens de cetáceos e um ponto controle em Penha.

Os pontos utilizados para este monitoramento são: Controle – Penha (#5); Laranjeiras – Ilha do Araújo (#1); proximidade do píer do Porto de São Francisco do Sul (#2); área de cultivo – AMAPRI (#3) e, Canal de navegação externo (#4) (FIGURA 1, QUADRO 1).

Figura 1 - Malha amostral



Fonte: Google, 2023.

Quadro 1 - Coordenadas dos pontos de amostragem.

<i>Ponto</i>	<i>Local</i>	<i>Proj. UTM - Datum WGS84 - Zona 22J</i>	
		<i>UTM E (m)</i>	<i>UTM N (m)</i>
#01	<i>Laranjeiras</i>	733419.98	7092275.30
#02	<i>Porto - PSFS</i>	735724.84	7095846.78
#03	<i>AMAPRI</i>	736932.03	7096839.37
#04	<i>Canal Externo</i>	747707.98	7104600.71
#05	<i>Penha - Controle</i>	738383.18	7035407.66

Fonte: autora (2023).

3.2.3 Características da Amostra

Para o estudo da bioacumulação foram utilizados indivíduos de mexilhões *Perna Perna*, em estágio juvenil. Estes mexilhões em estágio juvenil foram coletados na área de cultivo da praia da Paciência, localizada em Penha/SC, sendo este denominado o ponto controle do estudo em local onde há tempos é destinada como área de cultivo de moluscos.

Foi analisado o crescimento dos mexilhões, para que a criação de um comparativo, sobre o comportamento desses indivíduos no local, esta comparação serviu para que variáveis espúrias não afetassem o resultado.

Em cada ação de transplante de material da área controle para a área de monitoramento foram retirados cerca de 500 (quinhentos) organismos, sendo disponibilizados 100 em cada ponto amostral. Estes organismos foram inseridos em lanternas que são estruturas tradicionalmente utilizadas para cultivos de ostras, que são fixadas a 2 metros de profundidade nos pontos de amostragem.

3.2.4 Parâmetros físicos-químicos mensurados in situ

Durante as coletas das amostras da biota foram analisados alguns parâmetros em campo (TABELA 1), parâmetros físico-químicos de importância para análise dos resultados utilizando uma sonda HORIBA U-50 no qual possui múltiplos sensores com limites de quantificação abaixo

dos valores estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005 (Brasil, 2005). Esta sonda é inserida no mar e a medição é feita de maneira simultânea dos parâmetros. Após a medição os dados ficam salvos no equipamento e transferidos para o computador por cabo USB.

Tabela 1 - Variáveis medidas “in situ” na água.

VARIÁVEIS ANALISADAS
pH
emperatura
Salinidade
Oxigênio Dissolvido (OD)
Turbidez
Condutividade
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)
Potencial Redox (ORP)

Fonte: autora (2023).

3.2.5 Parâmetros averiguados para a espécie *Perna Perna*

Foram realizadas as seguintes biometrias utilizando um paquímetro digital:

- ✓ Longitudinal (C = comprimento)
- ✓ Vertical (L = largura)
- ✓ Transversal (E = espessura das duas conchas unidas)

Após 4 (quatro) meses de exposição, os mexilhões foram coletados e encaminhados para análise dos metais. Após a coleta, eles foram armazenados em gelo, retirado o tecido mole dos organismos no qual é necessário ao menos 50 gramas de amostras de tecido e em seguida encaminhou-se ao laboratório terceirizado para análise dos metais pesados.

Cada coleta obteve, ao menos, 50 gramas de amostra de tecido para cada ponto amostral, sendo estes enviados ao laboratório para análises e quantificação dos parâmetros químicos, viabilizando os procedimentos de avaliação da bioacumulação.

3.2.6 Análise Laboratorial

As análises foram realizadas pelo laboratório credenciado no município de Timbó SC.

Neste laboratório os organismos coletados foram medidos e dissecados. Foi realizada a separação das conchas dos tecidos. Os tecidos foram colocados em estufas á 60°C para secagem e posterior obtenção do peso seco. Após a secagem, o material foi macerado e homogeneizado com gral e pistilo de ágata. Uma massa conhecida, pré-determinada de tecido seco de cada organismo é diluída com uma mistura de ácido nítrico suprapur e peróxido de hidrogênio suprapur (3:1) em bloco digestor á 100° C. Após isso é injetada a amostra no equipamento ICP-OES para detecção e quantificação do analito. Para o mercúrio, é realizado a digestão da amostra em sistema fechado (microondas), após isso é utilizado um redutor químico e com câmara de nebulização específica, é injetado a amostra no equipamento ICP-OES para detecção e quantificação do analito.

O ICP-EOS é realizado através do processo que consiste em ionizar a amostra líquida em um plasma de argônio, que é gerado por meio de uma fonte de energia eletromagnética. A alta temperatura do plasma, que pode chegar a 10.000 °C, faz com que os elementos presentes na amostra sejam ionizados e emitam radiação eletromagnética característica, que é medida por um espectrômetro óptico.

O espectrômetro óptico é capaz de identificar e quantificar os elementos presentes na amostra com alta precisão, pois cada elemento emite radiação eletromagnética em comprimentos de onda específicos, que são detectados pelo equipamento. A partir dessa informação, é possível determinar a concentração de cada elemento presente na amostra.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Parâmetros físico-químicos mensurados in situ

Os valores de temperatura (°C), pH, ORP, condutividade, turbidez, oxigênio

dissolvido (mg/L), sólidos totais dissolvidos e salinidade, foram mensurados nos momentos das coletas, conforme tabela apresentada a seguir (QUADRO 2).

Quadro 2 - Parâmetros físico-químicos da água nos pontos amostrados nas coletas realizadas neste estudo (1).

ESPECIFICAÇÕES		Temperatura (°C)	pH	Potencial Redox ORP (mV)	Condutividade de (mS/cm)	Turbidez (NTU)	Oxigênio Dissolvido o OD (mg/L)	Sólidos Totais Dissolvidos STD (g/L)	Sal.
03/19	#1	20,79	8,52	138	41,3	3,8	6,65	25,2	26,4
	#2	21,65	8,51	139	46,7	4,6	5,66	28,5	30,3
	#3	21,12	8,53	138	44,8	3,7	6,38	27,3	28,9
	#4	21,25	8,52	145	48,3	3,1	6,68	29,5	31,4
	#5	21,49	7,68	132	50,20	19,40	4,97	30,10	33
06/19	#1	25,39	8,19	99	42,4	21,6	4,93	25,9	27
	#2	25,44	8,32	95	46,1	15,6	5,12	28,1	30
	#3	25,41	8,38	-67	47	7,9	6,01	28,7	31
	#4	25,11	8,4	71	57,7	10,5	6,79	30,4	33
	#5	25,08	8,32	248	51,30	9,60	6,55	30,80	34
10/19	#1	25,39	7,92	96	38,40	35,10	6,72	23,40	24
	#2	24,02	8,04	113	40,30	43,30	6,88	24,40	26
	#3	24,55	8,18	111	43,10	25,90	6,91	26,30	28
	#4	24,31	8,24	115	43,50	25,80	7,38	26,60	28
	#5	22,06	8,45	204	39,70	5,40	8,46	24,20	25
01/20	#1	28,43	8,15	137	46,40	37,60	6,39	28,30	30
	#2	27,65	8,13	133	47,80	34,80	6,18	29,00	31
	#3	27,70	8,23	124	48,70	29,10	6,30	29,70	32
	#4	26,89	8,35	101	51,20	30,90	6,11	30,70	34
	#5	28,20	7,49	173	40,90	2,30	7,01	25,00	26
05/20	#1	21,70	8,09	159	49,10	12,20	7,09	29,90	32
	#2	21,80	8,24	154	50,80	50,10	7,02	30,50	33
	#3	21,87	8,29	149	50,60	3,80	7,09	30,30	33
	#4	21,84	8,36	160	52,40	1,20	7,12	31,40	35
	#5	22,64	8,27	156	42,80	5,00	7,50	26,10	28
12/20	#1	27,62	8,12	59,90	48,30	12,20	7,09	29,10	31
	#2	25,79	7,99	50,50	50,00	50,10	6,10	30,80	33
	#3	25,63	8,32	50,30	51,30	3,80	6,23	30,60	33
	#4	25,8	8,52	51,40	52,20	1,20	7,12	32,40	34
	#5	24,98	8,33	46,10	42,00	5,00	6,34	22,80	27
02/21	#1	28,14	7,49	145,00	42,10	61,90	5,95	25,70	27,00
	#2	27,75	7,67	149,00	44,20	25,50	5,02	27,00	28,50
	#3	28,73	8,07	156,00	46,10	8,30	6,87	28,10	29,90
	#4	28,45	7,97	150,00	46,40	4,20	7,87	28,30	30,00
	#5	25,03	8,04	140,00	49,40	3,60	6,49	30,10	32,30
	#1	17,98	7,94	147	45,50	12,60	6,60	27,70	29
	#2	17,62	8,08	159	56,3	9,6	6,94	33,8	27

07/21	#3	17,79	8,15	166	60,5	22,4	7,07	36,3	27
	#4	16,96	8,33	174	59,4	2,7	6,88	35,6	34
	#5	17,09	8,02	135	47,30	3,50	6,24	30,10	30
09/21	#1	21,29	8,35	71	57,30	4,20	5,49	34,40	27

Fonte: autora (2023).

Quadro 3 - Parâmetros físico-químicos da água nos pontos amostrados nas coletas realizadas neste estudo (2).

ESPECIFICAÇÕES		Temperatura (°C)	pH	Potencial Redox ORP (mV)	Condutividade de (mS/cm)	Turbidez (NTU)	Oxigênio Dissolvido OD (mg/L)	Sólidos Totais Dissolvidos STD (g/L)	Sal.
	#2	20,6	8,37	69	60,60	0,50	4,24	36,40	29
	#3	20,78	8,42	88	60,80	1,00	5,57	36,50	29
	#4	19,92	8,48	55	65,60	0,00	6,75	39,30	32
	#5	20,13	8,43	95	60,80	0,20	6,24	36,50	29
	03/22	#1	26,04	8,19	43	38,70	30,00	6,81	23,60
#2		26,2	8,18	33	50,50	35,30	6,95	30,30	33
#3		26,24	8,24	23	54,20	2,90	7,55	32,50	36
#4		26,08	8,21	21	57,20	1,60	7,11	32,30	35
#5		26,13	8,23	64	58,90	0,34	6,56	35,76	28
07/22	#1	22,64	8,30	80,00	47,20	3,00	7,30	28,60	30,00
	#2	22,65	8,30	76,00	46,80	2,70	7,40	28,60	30,00
	#3	22,63	8,39	72,00	47,30	3,00	7,30	28,80	31,00
	#4	22,72	8,33	82,00	48,20	5,40	7,10	29,40	32,00
	#5	22,23	8,36	111,00	46,60	9,50	5,80	28,40	30,00
10/22	#1	24,72	8,03	74	62,00	166,70	6,41	37,20	24
	#2	23,06	8,83	50	43,68	154,00	5,41	29,99	25
	#3	22,44	7,32	252	47,87	70,60	6,75	31,12	26
	#4	21,72	8,03	254	62,00	6,70	7,11	37,20	32
	#5	24,06	8,83	50	45,68	154,00	5,41	27,99	25
MÉDIA		23,66	8,21	111,09	49,41	22,01	6,53	29,89	29,83
DESVIO PADRÃO		3,06	0,28	59,10	6,64	35,55	0,79	3,81	3,03
Resolução CONAMA N° 357/2005		-	6,5 a 8,5	-	-	-	< 5mg/L O₂	-	-

Fonte: autora (2023).

A temperatura como esperado apresentou uma média de 23,66 °C, com um desvio padrão $\pm 3,06^{\circ}\text{C}$, estando dentro dos padrões para as diferentes estações. As maiores temperaturas foram registradas na coleta de fevereiro de 2021 e as menores foram registradas em julho de 2021.

As concentrações de elementos traços em mexilhões são controladas em grande parte

pelos níveis ambientais locais e estão relacionadas com os parâmetros hidrológicos do ambiente (Sokolowski *et al.*, 2004; Maanan, 2008).

Há evidências que os elevados índices pluviométricos que ocorreram no verão, proporcionam maior carreamento de elementos traços de origem natural ou antrópica pela drenagem pluvial e fluvial para a região costeira e, conseqüentemente, maior biodisponibilidade para os mexilhões, tanto de nutrientes como de maiores concentrações de metais traço (Pellegatti; Galvani, 2010; Campolim; Barbieri, 2016). De acordo com Loo e Rosenberg (1983) a temperatura interfere diretamente no desenvolvimento dos mexilhões, tanto na taxa de crescimento como no ciclo sexual e filtração. Isso ocorre por consequência da energia radiante que é fundamental na disponibilidade de alimento por condicionar a produção primária. Campolim (2017), avaliaram a concentração dos elementos-traço metálicos, na Ilha Urubuqueçaba, na Baía de Santos e verificaram que os mexilhões apresentaram as maiores concentrações de cádmio, cobre, chumbo e zinco, no verão, provavelmente também, em função do aumento da taxa de metabolismo e filtração de água.

Como na área de estudo não há fonte hídrica continental significativa, a salinidade manteve-se dentro dos índices esperados para a massa de água desta região costeira, com média 29,89°.

De acordo com Salomão *et al.* 1980 os valores de temperatura e salinidade (média de 23°C) registrados neste estudo, afirmam o potencial da Baía Babitonga, um local adequado ao cultivo de *Perna Perna*. Essa afirmação é fundamental para instalação segura de uma maricultura comercial, pois as interações entre temperatura e salinidade regulam o ritmo de filtração e, conseqüentemente, atuam diretamente no desenvolvimento dos mexilhões (Andréu, 1976). Portanto na instalação de cultivos de organismos filtradores, é imprescindível identificar os níveis de compostos potencialmente poluentes no meio, visto que a poluição orgânica é o principal fator limitante na seleção de áreas propícias à aquicultura (Borghetti *et al.* 2003).

O pH apresentou uma média de 8,21 com um desvio padrão de $\pm 0,28$. O oxigênio dissolvido (OD) apresentou uma média de 6,53 com desvio padrão de $\pm 0,79$ mg/L.

As maiores variações ocorreram nos parâmetros ORP, condutividade e turbidez, no qual a maior diferença se deu ao fato de haver pontos amostrais internos na Baía Babitonga e pontos mais externos, com maior influência marinha como se poderia prever, pois, trata-se de uma área de maior hidrodinâmica.

3.3.2 Bióticos

A seguir serão apresentados os resultados obtidos a partir das análises dos organismos, no qual se referem as análises biométricas e análises químicas do tecido orgânico.

3.3.3 Biometria

As médias biométricas foram similares entres os mexilhões nas coletas realizadas ao longo das campanhas realizadas, portanto como pode ser observado maiores médias tanto para comprimento, largura e espessura foram registrados no Ponto #3, conforme pode ser observado na tabelas 4. Este ponto está localizado em uma maricultura do município de São Francisco do Sul (AMAPRI).

Quadro 4 - Dados biométricos coletados durante a amostragem dos organismos utilizados neste estudo.

	Pontos	mar/19	jun/19	out/19	jan/20	mai/20	dez/20	fev/21	jul/21	set/21	mar/22	jul/22	out/22	Média
Comprimento (cm)	#1	8,63	6,01	7,56	7,43	6,64	6,52	6,54	6,10	6,28	7,45	6,14	4,63	6,66
	#2	8,42	5,01	7,63	7,34	6,70	6,20	6,06	5,76	6,26	7,34	5,63	5,39	6,48
	#3	8,62	7,13	7,28	7,30	7,27	6,81	5,88	5,86	7,74	8,18	7,43	7,05	7,21
	#4	7,63	6,28	7,80	7,01	6,11	6,54	5,78	5,74	6,64	7,13	6,46	6,60	6,64
	#5	8,32	5,67	7,33	7,14	5,38	6,30	5,34	5,16	7,00	7,66	6,33	5,81	6,45
Largura (cm)	#1	4,26	2,85	7,77	3,67	3,23	3,32	3,36	2,94	3,18	3,69	3,01	3,28	3,71
	#2	4,28	2,44	3,79	3,65	3,13	2,95	2,60	2,74	3,18	3,69	2,81	2,77	3,17
	#3	4,37	3,39	3,63	3,66	3,50	3,19	2,84	2,88	3,54	3,95	3,46	3,63	3,50
	#4	3,75	3,34	3,88	3,54	2,86	3,10	2,96	2,60	3,20	3,47	3,27	3,40	3,28
	#5	4,16	3,31	3,67	3,58	2,86	3,14	2,82	2,54	3,38	3,77	3,34	3,40	3,33
Espessura (cm)	#1	2,70	1,85	2,49	2,45	2,34	2,30	2,36	2,16	2,24	2,47	2,04	1,47	2,24
	#2	2,90	1,66	2,52	2,42	2,06	2,07	1,88	1,74	2,16	2,53	1,91	2,05	2,16
	#3	2,76	2,60	2,52	2,54	2,42	2,32	2,16	2,08	2,48	2,62	2,54	2,17	2,43
	#4	2,51	2,11	2,58	2,55	2,03	2,04	2,02	1,70	2,02	2,26	2,06	2,00	2,16
	#5	2,72	3,81	2,55	2,51	1,74	2,01	1,74	1,70	2,22	2,47	3,01	1,16	2,30

Fonte: autora (2023).

Importante destacar que os mexilhões avaliados no trabalho apresentaram um crescimento de comprimento maior em comparação aos de outros estudos realizados, como por exemplo em Ubatuba/SP onde o tamanho do mexilhão varia entre 6,0 cm a 9,0 cm apenas após 9 meses de cultivo (Assumpção, 1999).

3.3.4 Bioacumulação

A bioacumulação é definida como a absorção de um contaminante no meio ambiente pelos organismos (Gerber, 2009; Maher *et al.*, 2016).

As toxinas biodisponíveis são a fração poluente mais crítica do ponto de vista ecotoxicológico (Kim *et al.*, 2015), na medida em que resultam em um risco potencial de equilíbrio para a cadeia da vida (Schöne; Krause, 2016). Já que, o consumo de frutos do mar contaminados por poluentes persistentes pode resultar em potenciais riscos a humanos (AbdElGhany, 2017) já listados anteriormente. Foram analisados os tecidos moles dos mexilhões quanto à presença de oito metais, sendo eles, cádmio, chumbo, cromo, cobre, mercúrio, níquel, arsênio e zinco.

Os resultados obtidos nas análises de contaminantes nas amostras foram comparados com os limites de referência para consumo humano, definidos pela Resolução RDC nº 42/2013 da ANVISA.

A Portaria nº 685/98 da Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde trata dos “Princípios Gerais para o Estabelecimento de Níveis Máximos de Contaminantes Químicos em Alimentos”. A citada portaria legisla somente sobre a “qualidade do peixe e produto da pesca”, dentre outros alimentos, definindo “valores máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos em alimentos e outros compostos”. Para os parâmetros que não dispõe de limite estabelecido nestas legislações, foi utilizado o Decreto nº 55.871-65 do Planalto que foi revogado no ano de 2019.

Para análise da bioacumulação foram utilizados como base a Portaria nº 685/98 e Resolução - RDC nº 42, conforme tabela apresentada a seguir (Tabela 2).

Tabela 2 - Substâncias para análise de bioacumulação.

Substância	Portaria nº 685/98	RDC nº 42/13	Decreto nº 55.871/65 (revogado em 2019)
Arsênio (mg/kg)	1	1	1
Cádmio (mg/kg)	1	2	1
Chumbo (mg/kg)	2	1,5	2
Cobre (mg/kg)	-	-	30
Cromo (mg/kg)	-	-	0,1
Mercúrio (mg/kg)	0,5	0,5	0,5
Níquel (mg/kg)	-	-	5
Zinco (mg/kg)	-	-	50

Fonte: autora (2023).

3.3.5 Análises Estatísticas

Os dados obtidos das concentrações de metais pesados foram submetidos à análise de variância paramétrica (ANOVA), em caso de efeito significativo ($P < 0,05$), foi realizado o teste de comparação múltipla de Tukey em nível de 5% de significância. Antes de todas as análises, foi verificada a normalidade dos erros (Shapiro-Wilk, 1965) e homogeneidade das variâncias (teste de Levene). As análises foram efetuadas por meio do programa computacional Statistica 7.1 (Statsoft, 2005).

No quadro 6 expõe-se a organização dos dados referente a valores médios dos metais comparados por ano de amostragem. Foram constatadas diferenças significativas ($P < 0,05$) para os metais Arsênio, Cádmio, Cobre, Mercúrio, Níquel e Zinco.

Tabela 3 - Valores médios para os metais pesados comparados por ano de todos os organismos coletados.

Anos	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Níquel	Zinco
2019	1,976 ±	0,024 ±	0,049 ±	3,673 ±	0,205 ±	0,500 ±	0,625 ±	15,769 ±
	1,722 b	0,029 a	0,049a	4,138 b	0,171	0,001 a	0,386 ab	8,745 a
2020	0,576 ±							
	0,849 a	0,082 ±	0,020 ±	0,927 ±	0,269 ±	0,501 ±	0,755 ±	19,521 ±
		0,055 b	0,001a	1,038 a	0,332	0,002 a	0,887 ab	11,864 ab
2021	0,699 ±	0,007 ±	0,103 ±	0,897 ±	0,236 ±	0,333 ±	0,150 ±	13,874 ±
	1,143 ab	0,001 a	0,322 a	1,047 a	0,318	0,243 b	0,001 a	10,864 a
2022	1,477 ±	0,018 ±	0,085 ±	1,522 ±	0,256 ±	0,009 ±	1,017 ±	27,148 ±
	1,505 ab	0,031 a	0,116 a	1,453 ab	0,475	0,014 c	0,761 b	12,553 b

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: autora (2023).

Para o metal Arsênio, referente aos anos de 2019, 2020, 2021 e 2022, foram constatadas diferenças ($P < 0,05$). O menor valor observado foi para o ano de 2020, com 0,576, o ano de 2019 apresentou 2,5 vezes maior em relação ao ano de 2020.

Cádmio também apresentou diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os anos. Destaque para o ano de 2020, com 0,082. Não houve diferenças significativas entre os três anos restantes. No entanto, deve-se ressaltar que o ano de 2020 apresentou 1000 vezes maior em relação a 2021.

Para o Chumbo não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os anos, entretanto, apresentou menor valor em 2020 (0,020), sendo 4 vezes maior em relação ao ano que apresentou maior valor, que neste caso foi de 2021 com 0,103.

Para o Cobre foram constatadas diferenças significativas ($P < 0,05$), apresentou uma diferença 3 vezes maior com relação ao ano que apresentou maior valor, em 2019 com 3,673, e o menor valor em 2021 com 0,897.

Para o Cromo não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os anos, entretanto, o cromo é o metal que apresentou diferença de 0,3, entre o ano de 2019 e 2020, no qual apresentou o menor valor de 0,205 e o maior valor de 0,269, respectivamente.

Para o mercúrio, foram constatadas diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os anos.

Foi o metal que teve a maior diferença entre os anos analisados com mais de 5000 vezes maior entre o ano de 2019 e 2022. O ano de 2019 apresentou maior valor com 0,500, e menor valor de 0,009 foi para o ano de 2022.

Níquel também apresentou diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os anos, de 600 vezes maior entre o ano que apresentou menor valor (2021) com 0,150 e o ano de maior valor (2022) com 1,017.

O Zinco também apresentou diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os anos. Uma diferença 2 vezes maior entre o ano de maior valor (2022) com 27,148 e o de menor valor (2021) com 13,874.

Na tabela 4, quanto às análises de dados de valores médios por ponto, nenhum parâmetro observado apresentou diferença significativa ($P < 0,05$).

Tabela 4 - Valores médios para os metais pesados comparado por pontos considerando todas as amostragens.

Anos	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Níquel	Zinco
Ponto 1	0,989 ± 1,074a	0,029 ± 0,044a	0,058 ± 0,099a	1,961 ± 2,794a	0,227 ± 0,171a	0,334 ± 0,244a	0,540 ± 0,577a	17,916 ± 11,847a
Ponto 2	0,850 ± 1,370a	0,038 ± 0,049a	0,049 ± 0,076a	1,307 ± 1,133a	0,155 ± 0,132a	0,336 ± 0,242a	0,770 ± 0,904a	18,358 ± 11,958a
Ponto 3	1,127 ± 1,506a	0,029 ± 0,044a	0,045 ± 0,059a	2,824 ± 4,487a	0,244 ± 0,264a	0,338 ± 0,238a	0,518 ± 0,450a	17,556 ± 9,601a
Ponto 4	1,533 ± 1,625a	0,036 ± 0,046a	0,023 ± 0,011a	1,352 ± 1,358a	0,376 ± 0,583a	0,334 ± 0,244a	0,396 ± 0,376a	20,068 ± 13,605a
Ponto 5	1,408 ± 1,655a	0,033 ± 0,048a	0,14 ± 0,359a	1,331 ± 1,152a	0,205 ± 0,332a	0,334 ± 0,244a	0,760 ± 0,816a	21,493 ± 13,985a

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: autora (2023).

Com relação ao Arsênio, embora não tenham sido encontradas diferenças estatísticas ($P < 0,05$), o maior valor médio observado foi para o Ponto 4 (1,533) e o menor valor para o Ponto 2 (0,850), cerca de 80% de diferença entre os pontos.

O Cádmiio, o maior valor médio observado foi para o Ponto 2 (0,036) e o menor valor para os Pontos 1 e 3 (0,029), cerca de 31,03% de diferença entre os pontos

O Chumbo, o maior valor médio registrado foi do Ponto 5 (0,14) e o menor valor para o Ponto 4 com 0,023, cerca de 508,69% de diferença entre estes pontos.

Para o Cobre, o maior valor médio foi registrado no Ponto 3 (2,824) e o menor no Ponto 2 (1,307), cerca de 116,06% de diferença entre os pontos.

Cromo apresentou maior valor médio no Ponto 4 (0,376) e o menor valor no Ponto 2 (0,155), no qual apresenta cerca de 142,58% de diferença entre os pontos.

Mercúrio apresentou maior valor no Ponto 3 (0,338) e o menor valor nos Pontos 1, 4 e 5 (0,334), no qual apresentou cerca de 1,19%.

Níquel teve maior valor médio no Ponto 2 (0,770) e menor valor no Ponto 4 (0,396), tendo cerca de 94,44% de diferença entre os pontos.

Zinco apresentou maior valor no Ponto 5 (21,493) e menor valor no Ponto 3 (17,556), tendo cerca de 22,45% de diferença entre os pontos.

Diante do exposto, é possível verificar que o ponto com menor diferença foi para o metal Mercúrio e o metal com maior diferença entre em pontos foi para o metal Chumbo.

A seguir serão apresentados de forma individual os metais analisados sendo discorrido sobre sua capacidade potencial de bioacumulação.

3.3.6 Bioacumulação de Mercúrio

Costa, Paiva e Moreira (2000) investigaram os níveis de Hg em mexilhões *Perna Perna* da Baía de Guanabara na Urca e na Marina da Glória, em intervalos de 10 anos (1988 a 1998).

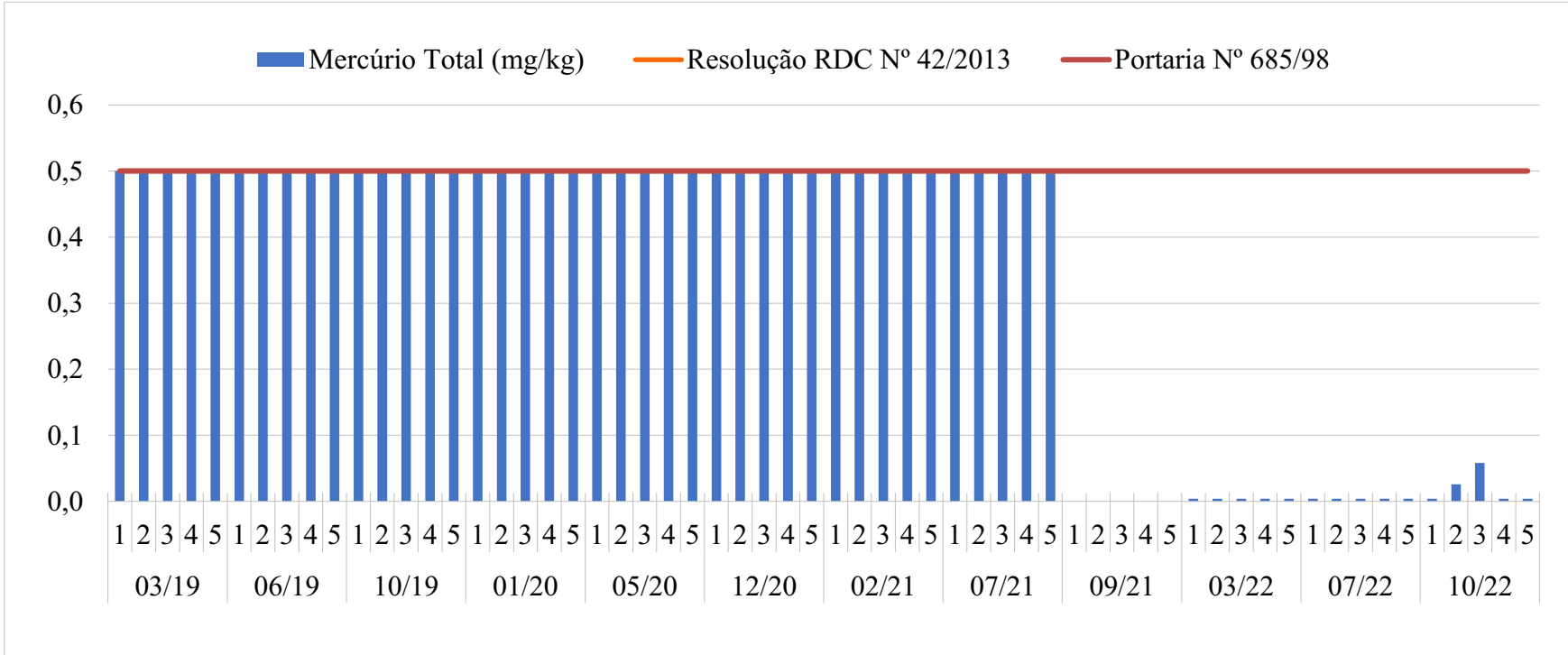
Naturalmente proveniente da lixiviação das rochas contendo mercúrio ou da emissão de gases em áreas vulcânicas, as concentrações desse metal na atmosfera, hidrosfera, solo e biota têm aumentado muito em função de atividades antrópicas (Mason, 1991).

Dada a complexidade da região metropolitana da Baixada Santista, Silva *et al.*, (1983) coletaram mexilhões nas Baías de Santos e São Vicente, e ostras no complexo estuarino da Baixada

Santista, registrando níveis de mercúrio menores que 0,05 µg/g nos bivalves.

A figura 2 apresentada a seguir é uma comparação da concentração de Mercúrio (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com os limites apresentados pela Resolução RDC nº 42/2013 da ANVISA e Portaria nº 685/98 Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde. Porém, é possível notar que a partir da campanha de setembro de 2021 houve diminuição dos valores de concentração. Este fato se deve a alteração de metodologia do laboratório que realiza a análise no qual o valor do limite de quantificação mudou de 0,5 mg/kg para 0,004 mg/kg. Damato, São Clemente e Santos (1997) analisaram mexilhões *Perna Perna* da Baixada Fluminense e encontraram níveis médios de mercúrio que variaram de 0,03 a 0,06 mg/kg.

Figura 2 - Comparação da concentração de Mercúrio (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com os limites emitido pelo Resolução RDC nº 42/2013 e Portaria nº 685/98.



Fonte: autora (2023).

3.3.7 Bioacumulação de Cobre

O cobre é um elemento essencial, necessário aos organismos em quantidades reduzidas, portanto, em concentrações superiores aos limites exigidos, pode desencadear respostas tóxicas com significativo potencial para bioacumulação. Entre as fontes naturais do cobre destacam-se a mineração, as atividades de fundição, incineração, além disso o cobre constituiu um metal amplamente utilizado em formulações de fungicidas, bactericidas, algicidas fertilizantes e tintas anti-incrustantes (Buratini; Brandelli, 2006). Está presente em altas concentrações em resíduos urbanos como já observado na Baía de Guanabara. (Fernandez *et al.*, 2005).

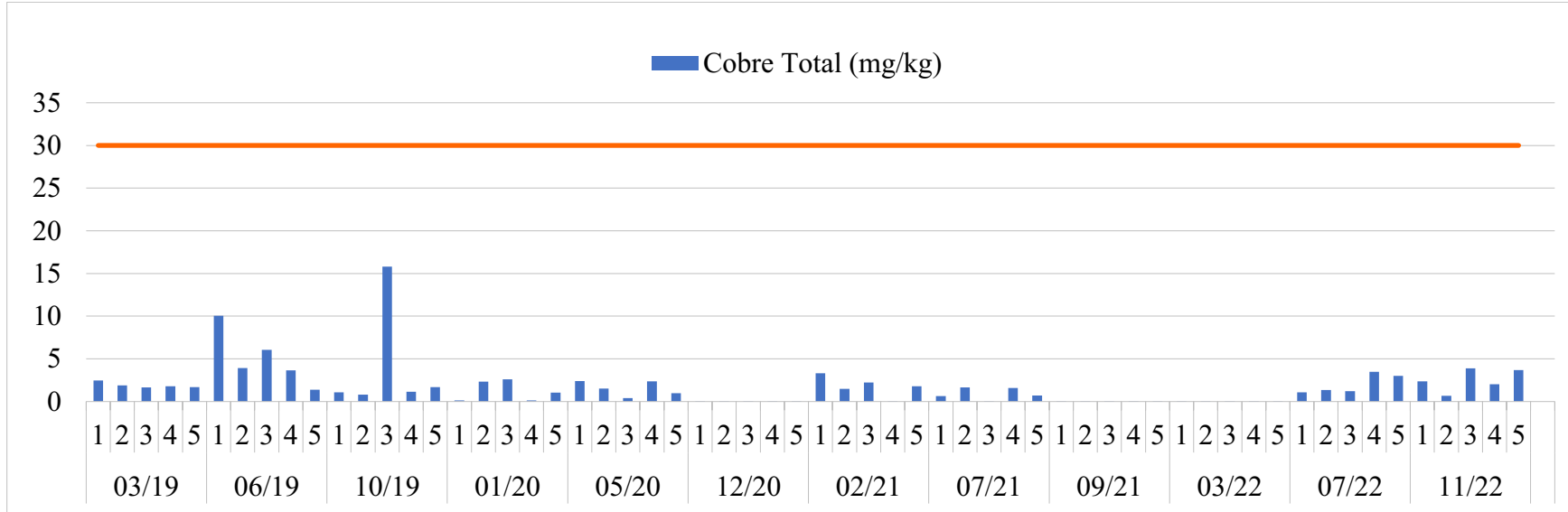
De acordo com os resultados das análises não se averiguou valores de cobre acima do preconizados pelo nas legislações pertinentes ao estudo tabela 3. Atualmente não possui limites definidos por legislações por estes metais.

A maior concentração deste metal foi no ponto #3 em outubro de 2019 com 15,79 mg/kg, portanto ainda abaixo do limite do Decreto revogado de nº 55.871/1965 (30,00 mg/Kg). Carvalho e Lacerda (1992) observaram que as concentrações de cobre em diversos organismos foram similares ao longo da costa do Rio de Janeiro e supõem que este fato provavelmente reflete a forte regulação metabólica deste metal essencial por organismos marinhos. Rezende e Lacerda (1986) observaram o mesmo comportamento no *Perna perna*. Estes autores encontraram concentrações de cobre no mexilhão entre 6,5 a 12 mg/kg na Baía de Guanabara. Carvalho e Lacerda (1992) encontraram concentrações de cobre de aproximadamente 10 mg/kg em *Perna perna* e em *Bunodosoma caissarum* nos locais de amostragem na baía.

Uma possibilidade é a rápida remoção deste metal para o sedimento na Baía de Guanabara observada por Rebello *et al.*, 1986. Eles relataram que somente foram encontradas altas concentrações de cobre nas águas da baía em um raio de 6 a 7 km da fonte pontual, fora deste limite as concentrações deste metal foram nitidamente menores.

Monteiro (2008) encontrou nos sedimentos estuarinos superficiais do Rio Iguaçu (região noroeste da Baía de Guanabara) e da região da Área de Proteção Ambiental de Guapimirim (região nordeste da baía) concentrações de cobre de aproximadamente 70 e 12 mg/kg, respectivamente. Rebello *et al.* (1986) identificaram que a região noroeste da baía como a mais contaminada por cobre, local onde encontraram concentrações de cobre de aproximadamente 200 mg/kg e próximo à ponte Rio – Niterói as concentrações foram aproximadamente 100 mg/kg.

Figura 3 - Comparação da concentração de Cobre Total (em mg/kg) resultante das análise químicas realizadas em comparação com o Decreto nº 55.871/1965.



Fonte: autora (2023).

3.3.8 Bioacumulação de Cromo

O Cromo (Cr) é comumente utilizado em aplicações industriais e doméstica, como na produção de alumínio anodizado, aço inoxidável, explosivos, papel e fotografia (CETESB, 1993), podendo este metal ter como origem os fertilizantes minerais, que podem conter em sua composição diversos elementos-traço (Campos *et al.* 2005; Marchi *et al.* 2009).

Böhm *et al.* (2014) em um estudo sobre bioacumulação de Cromo em uma área costeira no mesmo município do presente estudo, situado próximo ao ponto amostral #4 (cerca de 20 km ao sul) apresentou resultados de bioacumulação em moluscos bivalves, incluindo espécies de ostras, todos em área estuarinas, comparados com os resultados com o bivalve *Donax hanleyanus* em área costeira. De acordo com autores, os resultados obtidos com a revisão da literatura, assim como o “case” apresentado, com o monitoramento passivo de *D. hanleyanus*, alertam para os elevados índices de Cromo, fato que merece atenção, pois este metal pode biomagnificar causando danos ao longo da cadeia trófica, podendo ser o humano o consumidor final, uma vez que estes bivalves fazem parte da cultura alimentar de diversas comunidades.

Ainda os mesmos autores encontraram maiores concentrações de cromo na água e sedimentos na região noroeste da Baía de Guanabara. Na Baía de Vitória estudos com o bioindicador *Perna Perna* investigando as concentrações de elementos traços, também detectaram índices de Cromo acima dos limites legais, evidenciando risco à saúde pública por biomagnificação (VIEIRA *et al.*, 2021).

O cromo é um metal que apresenta um dos maiores fatores de acumulação em moluscos bivalves como o mexilhão, pequenas concentrações no ambiente podem resultar em elevados níveis de acumulação no organismo. Inclusive já foram observadas concentrações deste metal em moluscos bivalves em área isenta de qualquer tipo de poluição e geralmente apresentaram valores superiores aos limites máximos toleráveis (Bellotto *et al.*, 2005).

Inclusive alguns pesquisadores como Ferreira, Machado e Zalmon (2000) alertam que “medidas equivocadas de restrição do consumo de certas espécies importantes na dieta alimentar da população podem ser eventualmente tomadas” e consideram que “uma nova revisão destes índices se faz necessária, de preferência seguindo-se critérios internacionais de quantificação, por meio de testes de toxicidade”.

Atualmente não há legislação com os limites legais para este metal, visto que o Decreto

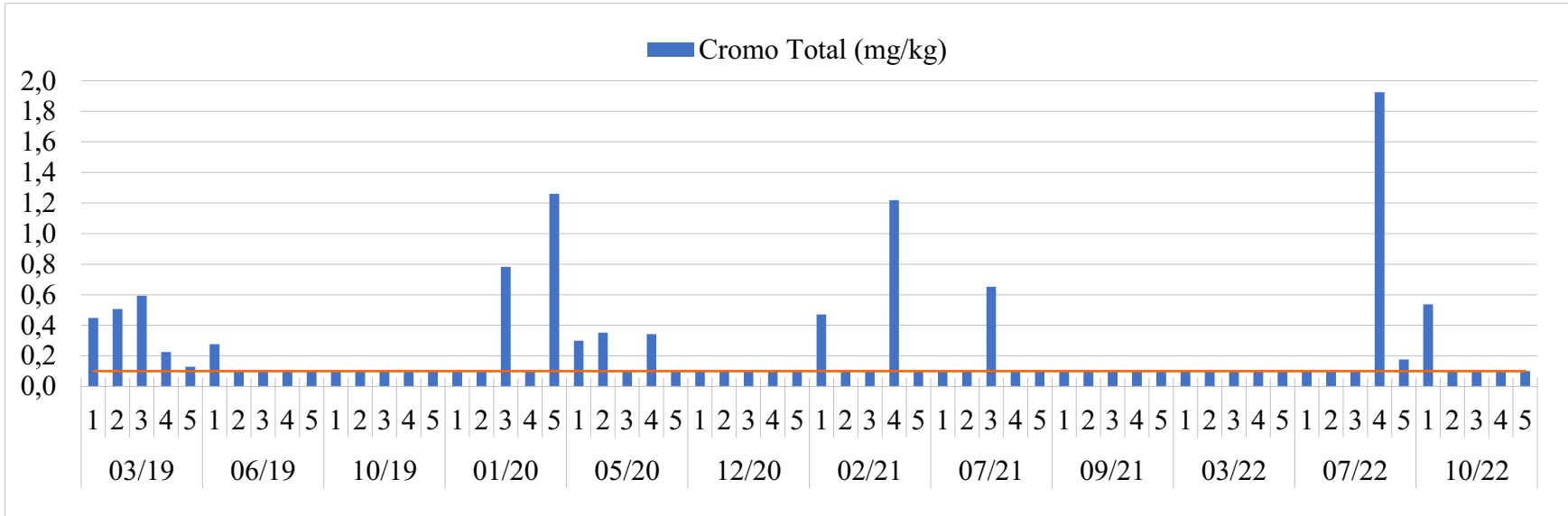
nº 55.871/1965 foi revogado. Portanto, por não haver esta limitação, foi realizada a comparação com este Decreto revogado.

Nas amostragens realizadas neste estudo foram o cromo apresentou concentrações acima do limite legal de 0,1 mg/kg indicando a sua presença de forma difusa, pois, as exceções foram: na amostragem de junho de 2019, apenas o ponto #01 obteve o valor acima do limite legal, na campanha de janeiro de 2020, os níveis elevados foram encontrados em dois pontos amostrais no #3 e no #5, nos pontos #1 e #2 da campanha de fevereiro de 2021 e no #4 da campanha de julho de 2022, na campanha de julho de 2022, no #04, #01 na campanha de outubro de 2022 e em todos os pontos na campanha de dezembro de 2022 as concentrações estiveram acima do limite legal. Francioni (1997) encontrou em *Perna perna* provenientes da Baía de Guanabara concentrações de cromo de aproximadamente 0,24 ppm. Estes valores foram bem menores que os encontrados no presente estudo. A partir desta comparação parece que as concentrações deste metal na baía aumentaram desde o estudo de Francioni (1997).

Curtius *et al.* (2003) e Ferreira, Horta e Cunha (2010) encontraram para o cromo valores abaixo da resolução ambiental (0,0012 – 0,0771; 0,0007 – 0,0037 mg.l⁻¹), na Baía de Sepetiba (RJ) e na Ilha de Santa Catarina (SC).

Importante ressaltar que os resultados da concentração se referem ao cromo total, sendo assim, verificou que um estudo de especiação desse elemento poderia ser realizado com o objetivo de observar em quais formas está presente no local de estudo.

Figura 4 - Comparação da concentração de Cromo (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com o Decreto nº 55.871/1965.



Fonte: autora (2023).

3.3.9 Bioacumulação de Chumbo

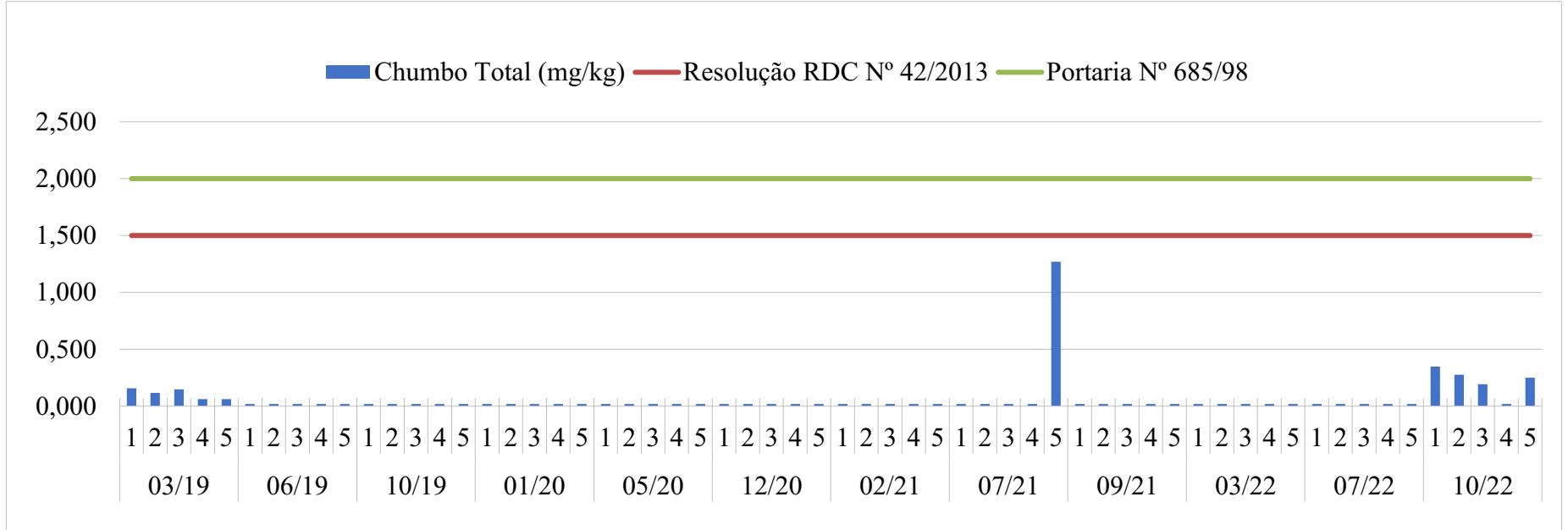
O Chumbo (Pb) é um metal com amplo uso na indústria de tintas, baterias, tubulações e como aditivo em derivados do petróleo, ocorrendo em formas inorgânicas e, menos frequentemente, em orgânicas. Suas formas físicas e químicas influenciam sua distribuição e comportamento no ambiente, bem como seu potencial de absorção e toxicidade aos organismos vivos. Embora o Chumbo se concentre nos organismos, não há evidências de biomagnificação ao longo da cadeia trófica.

Rebello *et al.* (1986) encontraram padrões de distribuição uniformes de chumbo nos sedimentos por toda a Baía de Guanabara.

De acordo com os resultados deste estudo, não houve concentração deste metal acima do limite da Resolução RDC N° 42/2013 e Portaria n° 685/98. O ponto #5 de julho de 2021 a concentração deste metal foi mais elevada, contudo ainda ficou abaixo dos limites. A concentração média de chumbo encontrada ($2,0 \pm 0,93 \text{ mg.kg}^{-1}$) é quase dez vezes superior àquela do mexilhão não exposto ao grupo de controle. (Maia; Almeida; Moreira, 2006). Este valor encontra-se no limite máximo permitido pela Legislação Brasileira para consumo de pescado ($2,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), representando um risco à população, principalmente se o seu uso na dieta se der de forma continuada (Ministério da Saúde, 1990).

Rezende e Lacerda (1986) observaram em *Perna Perna* oriundos da Boa viagem, na Baía de Guanabara, concentrações de chumbo um pouco menores que as concentrações encontradas em organismos da mesma espécie em outros sete pontos amostrados ao longo do litoral sudeste do Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5 - Comparação da concentração de Chumbo (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com os limites emitido pelo Resolução RDC nº 42/2013 e Portaria nº 685/98.



Fonte: autora (2023).

3.3.10 Bioacumulação de Cádmio

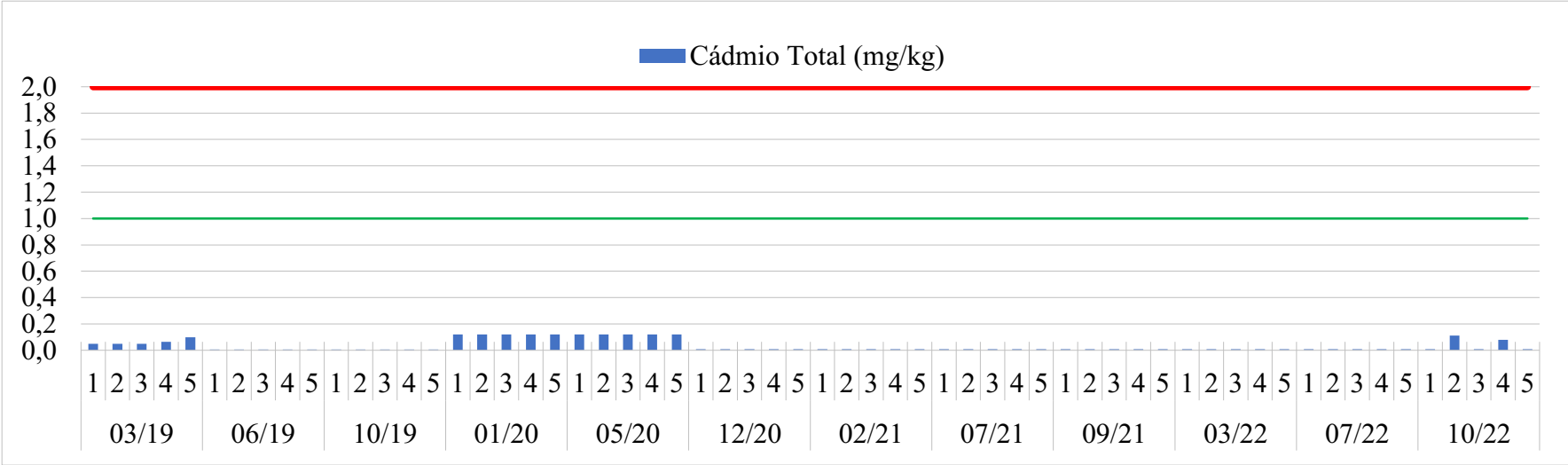
O Cádmio (Cd) é utilizado principalmente em indústrias de galvanoplastia, na fabricação de baterias, em tubos de televisão, lâmpadas fluorescentes e como pigmento e estabilizador de plásticos polivinílicos (Carvalho, 2005). Já no caso do Cd, este se encontra presente em baixos níveis em alguns alimentos como vegetais, carnes (fígado e rim), crustáceos e moluscos (Satarug *et al.*, 2003).

Este metal quando introduzido no organismo humano, via oral é pouco absorvido, já que 95% do total é eliminado. Portanto o restante pode acumular nos rins e no fígado, onde foi detectado que sua meia vida biológica é de 10 anos (Carvalho, 2005). Este metal é altamente tóxico a algumas formas de vida, acumulando-se em microrganismos, tecidos vegetais e animais. Francioni *et al.* (2004) e Batista (2010) também encontraram concentrações mais altas no setor externo da baía do que na parte interna da baía.

A Figura 6 é uma comparação dos resultados de Cádmio (em mg/kg peso úmido) nos moluscos amostrados neste estudo, em comparação com os limites emitido pela Portaria nº 685/98 e Resolução ANVISA RDC nº 42/2013. Observa-se que em nenhum organismo, em nenhuma campanha, averiguou-se valores de cádmio acima do preconizado pelas legislações incidentes. Segundo a literatura, os bivalves acumulam grande quantidade de cádmio, preferencialmente via absorção da água (Cossa, 1989; Clark, 1996).

Provavelmente estas maiores concentrações de cádmio no setor externo ocorrem na fase dissolvida, pois em águas salinas este metal forma clorocomplexos que podem estar mais disponíveis quanto maior a salinidade e o pH (Waeles *et al.*, 2009); e em ambientes mais redutores, como a região interna da baía, este metal precipita como sulfeto de cádmio (Chasin e Cardoso, 2003) e possivelmente apresenta baixa biodisponibilidade. De acordo com Comans e Van Dijk (1988) e Vieira *et al.* (2021) em estuários, o cádmio pode ser mobilizado do material particulado proveniente de rios quando ocorre a mistura com a água do mar. Esta mobilização ocorre devido à formação de clorocomplexos de cádmio que se apresentam na forma dissolvida. Segundo Francioni *et al.* (2004), a biodisponibilidade de cádmio é muito mais influenciada pela salinidade do local e pelo conteúdo do material particulado do que pela presença de ligantes orgânicos.

Figura 6 - Comparação da concentração de Cádmio (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com os limites emitido pelo Resolução RDC nº 42/2013 e Portaria nº 685/98.



Fonte: autora (2023).

3.3.11 Bioacumulação de Arsênio

O arsênio é considerado sem função essencial na fisiologia animal ou vegetal, porém podem representar uma ameaça ambiental significativa (Pinot *et al.*, 2000; Satarug *et al.*, 2003; Kim, *et al.*, 2014; Freitas *et al.*, 2018). A exposição de bivalves ao arsênio trivalente (arsenito) é 60 vezes mais tóxica do que a forma oxidada pentavalente (arseniato), podendo resultar no desenvolvimento de profundo estresse hematopoiético e cardíaco (Chakraborty *et al.*, 2012). Para a saúde humana, o Arsênio possui um alto potencial carcinogênico e a dieta representa a maior via de exposição deste contaminante (Tchounwou *et al.*, 2003). Todas as formas de As tendem a se acumular no sedimento de fundo, podendo se remobilizar por vários processos e alcançar a biota aquática, como os mexilhões (Magalhães; Carvalho; Pfeiffer, 2001).

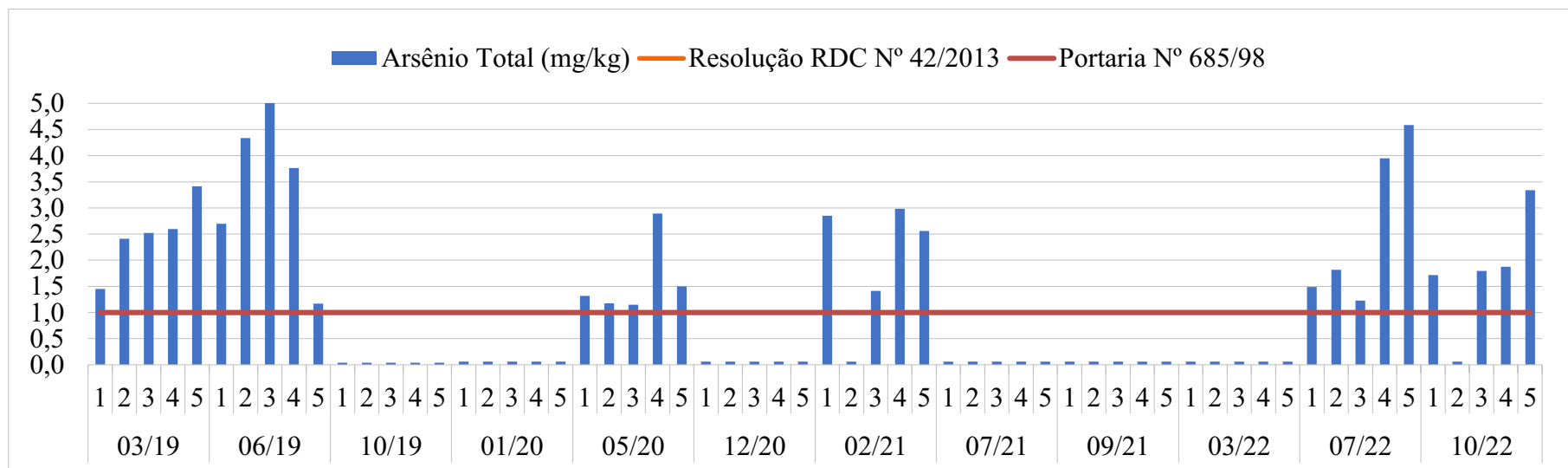
Foram observados limites acima do permitido em todos os pontos das amostragens de março e junho de 2019 e todos os pontos amostrais inclusive no ponto localizado no município de Penha na campanha de maio de 2020. Na campanha de fevereiro de 2021 a exceção do #02, na campanha de julho (todos os pontos) e outubro (#01, #03, #04 e #05) de 2022, as demais amostras apresentaram concentrações abaixo do limite legal.

Vieira *et al.* (2021) investigando a biodisponibilidade de metais traço na Baía de Vitória, por meio do bioindicador *Perna Perna*, também detectaram índices superiores aos limites brasileiros legais, salientando índices de perigo (Hazard index - HI) e alvo de risco cancerígeno (Target Cancer Risk - TCR) elevados, evidenciando que o consumo de mariscos oriundos da área de estudo representa fator de sérios riscos à saúde humana.

No entanto, concentrações elevadas de Arsênio podem causar efeitos deletérios para a biota e para a saúde humana. Inibição da respiração mitocondrial, competição com o fosfato durante a fosforilação oxidativa, inibição de enzimas de reparo de DNA, diminuição das defesas antioxidantes e diminuição da atividade de algumas enzimas mitocondriais são os principais efeitos tóxicos causados pelo arsênio (Curcho, 2009).

De acordo com Oliveira (2006), que realizou estudos de bioacumulação na baía da Babitonga, para a leitura das amostras em espectrofotômetro de absorção atômica, o Arsênio Total é lido na forma de As⁺³. Isso significa que, do valor total encontrado, apenas aproximadamente 20% podem ser considerado Arsênio tóxico.

Figura 7 - Comparação da concentração de Arsênio (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com os limites emitido pelo Resolução RDC n° 42/2013 e Portaria n° 685/98.



Fonte: autora (2023).

3.3.12 Bioacumulação de Níquel

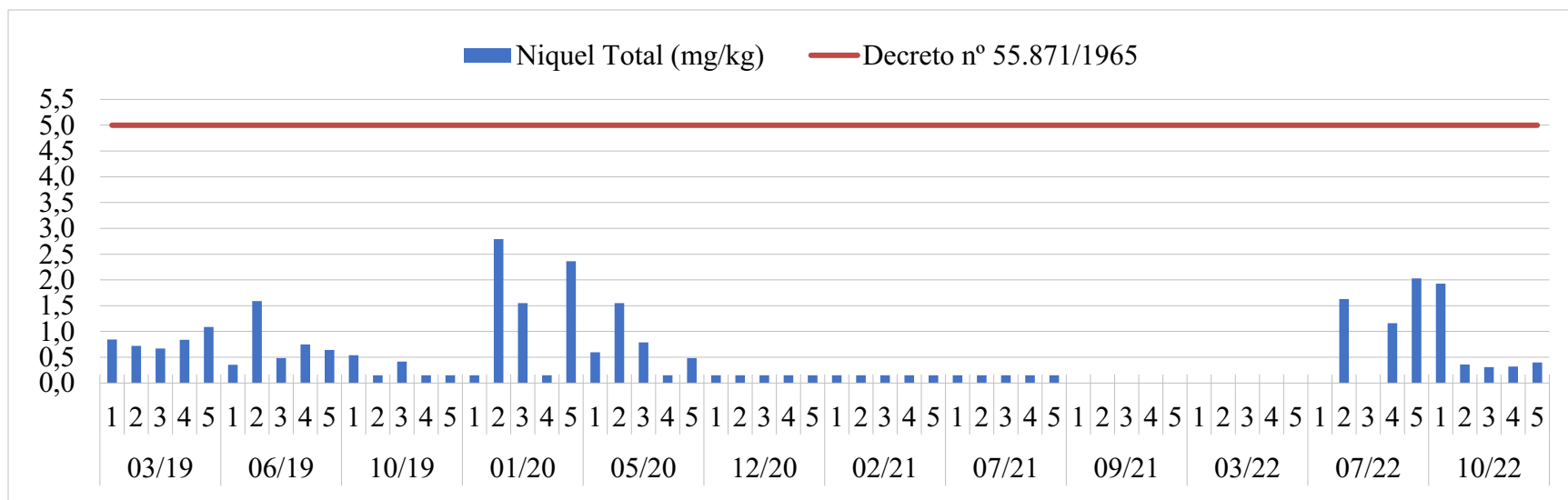
O Níquel (Ni) está presente na crosta terrestre com um valor médio de 245 µg/g (Rohde, 2013). O metal é normalmente encontrado em efluentes líquidos industriais, principalmente em refinarias de petróleo, siderúrgicas, fábricas de fertilizantes e de celulose e de papel (CETESB, 2001). O níquel é também utilizado em galvanoplastias. Assim como para outros íons metálicos, em soluções diluídas, este elemento pode precipitar a secreção da mucosa produzida pelas brânquias dos peixes, impedindo as trocas gasosas entre a água e os tecidos branquiais do peixe, provocando a morte por asfixia. Concentrações de 1,0 mg/L de níquel são tóxicas aos organismos de água doce (CETESB, 2003).

De acordo com as análises realizadas neste estudo, não foram registrados valores acima do preconizado no Decreto nº 55.871/1965. Como já mencionado este Decreto foi revogado, portanto as novas legislações não contemplam limites para este metal, o decreto neste estudo foi apenas utilizado para fins de comparação.

As concentrações de níquel encontradas nos tecidos dos organismos provavelmente refletem as concentrações biodisponíveis deste metal, já que este não tem função fisiológica conhecida na biota marinha (Amiard *et al.*, 1987; Azevedo; Chasin, 2003).

Estes autores observaram baixas concentrações de níquel em *Perna Perna* nas estações de amostragem na Baía de Guanabara quando comparadas às concentrações de organismos provenientes de outros locais ao longo do litoral do Estado do RJ. (Rezende; Lacerda, 1986).

Figura 8 - Comparação da concentração de Níquel (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com os limites emitido pelo Decreto nº 55.871/1965.



Fonte: autora (2023).

3.3.13 Bioacumulação de Zinco

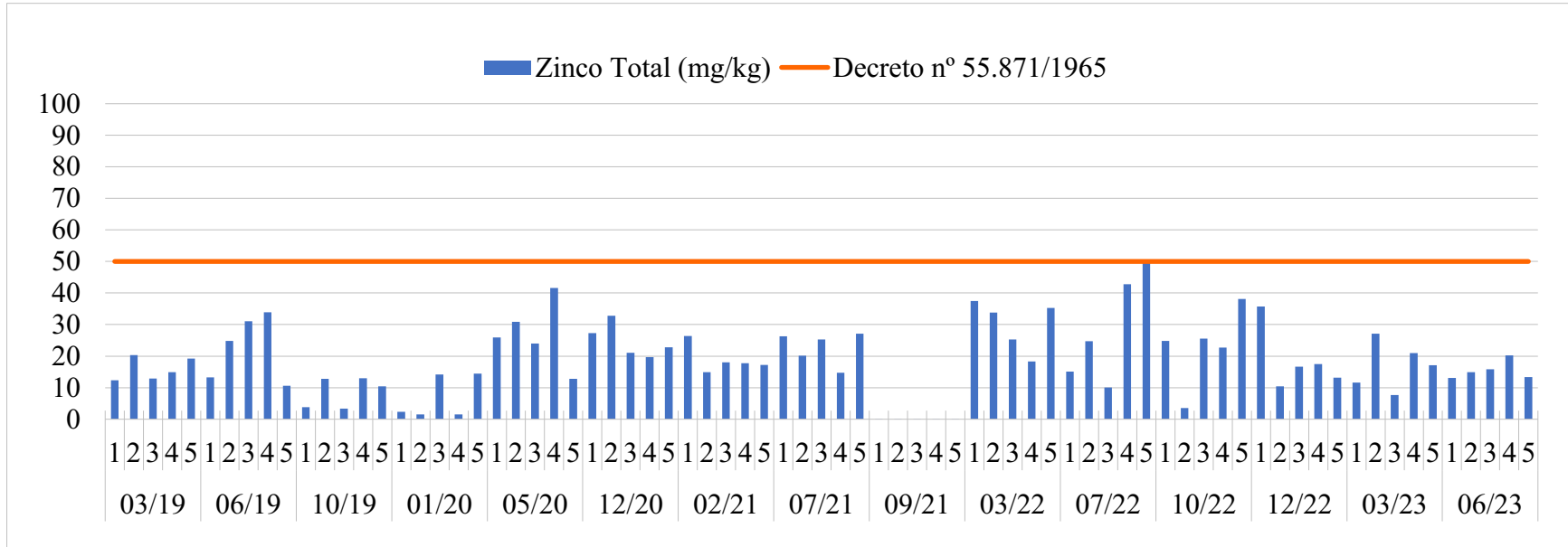
Organismos aquáticos são afetados pela toxicidade do zinco. Geralmente as concentrações mais elevadas de zinco são encontradas em moluscos filtradores (Eisler, 2000), como os bivalves do presente estudo. Quando em excesso, provoca mudanças adversas na morfologia e fisiologia dos animais, além de retardar o crescimento e maturação (Sampaio, 2003; Campaneli, 2008). Mesmo sendo um metal com toxicidade relativamente baixa, seu excesso no organismo humano ocasiona úlceras, anemias, fibrose pulmonar, problemas pancreáticos, neutropenia e desmineralização dos ossos. Além disso, por contribuir na formação da proteína β -amilóide, o excesso desse elemento pode provocar um agregamento dessa proteína o que resulta na formação de placas que se acumulam no cérebro. Este processo é responsável pelo desenvolvimento do mal de Alzheimer (Shuqair, 2002; Quinágua, 2006).

Segundo CETESB (2001), no estuário de Santos (SP) foram observados valores de zinco variando de 231,4 a 296,9 ppm. Tureck (2002) encontrou valores de 53,62 a 184,64 ppm também em um ambiente estuarino, na baía da Babitonga (SC). Oliveira (2006) obteve para o canal do Linguado em São Francisco do Sul (SC), valores de zinco entre 6,2 e 7,33 ppm e para a baía da Babitonga valores que ultrapassaram os 1000 ppm.

A partir dos resultados de Zinco (em mg/kg peso úmido) nos moluscos em comparação com os limites emitido pelo Decreto nº 55.871/1965 foi possível observar que em nenhum organismo averiguou-se valores de zinco acima do preconizado. Conforme já citado anteriormente, para este metal, as atuais legislações não contemplam limites de concentração.

Assim como foi observado por Carvalho, Lacerda e Gomes (1991) e Carvalho e Lacerda (1992) na Baía de Guanabara, as concentrações de zinco nos organismos foram as maiores, em ordem de grandeza, quando comparadas às dos outros metais. Estas altas concentrações de zinco, principalmente nos moluscos e crustáceos, provavelmente ocorrem devido à importância deste elemento no seu metabolismo. De acordo com Bowen (1979), o zinco compõe cerca de 90 enzimas destes organismos e é acumulado em grânulos polimetálicos. Além disso, este metal também é utilizado na produção de gametas e no transporte de oxigênio (Rezende; Lacerda, 1986). Estes fatores permitem que os organismos suportem altas concentrações de zinco em sua composição sem que sejam afetados.

Figura 9 - Comparação da concentração de Zinco (em mg/kg peso úmido) resultante das análises químicas realizadas em comparação com os limites emitido pelo Decreto nº 55.871/1965.



Fonte: autora (2023).

3.4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados apresentados neste estudo pode-se concluir que:

A maior média de crescimento (biometria) dos organismos coletados foram encontradas no Ponto #3, no qual atualmente há uma maricultura (AMAPRI). No qual confirma que é um ótimo local para operação desta maricultura com relação ao crescimento destes organismos.

De acordo com a organização dos dados referente a valores médios dos metais comparados por ano de amostragem, foi possível constatar diferenças significativas ($P < 0,05$) para os metais Arsênio, Cádmio, Cobre, Mercúrio, Níquel e Zinco.

Com relação a análise de dados de valores médio por ponto amostral, nenhum parâmetro apresentou diferença significativa ($P < 0,05$). Portanto, embora não tenham sido encontradas diferenças estatísticas, comparando o maior e o menor valor registrado para cada metal, é possível observar cerca de 508, 69% de diferença entre os pontos para o metal Chumbo.

Foram encontradas nas amostras de mexilhões concentrações de Cromo e Arsênio acima do limite legal para consumo humano nas áreas estudadas.

A constatação de níveis elevados destes metais (Cromo e Arsênio) contemplando todos os pontos amostrais, inclusive no ponto localizado no município de Penha/SC, indica que essa bioacumulação é possivelmente oriunda de fontes difusas de atividades diversas encontradas no entorno da Baía Babitonga ou que esteja relacionada a fatores geológicos naturais.

Sobre a bioacumulação de Cromo percebe-se uma contaminação crônica difusa. Acredita-se que a origem desses elementos esteja relacionada a resíduos urbanos e industriais, e, também, à atividade agropecuária. Há ainda correntes de pesquisadores que alegam que o limite de concentração máxima indicada deste metal é equivocado e que é necessário reavaliar este padrão para bioacumulação em bivalves.

Como o resultado obtido para Cromo e Arsênio refere-se ao Cromo e Arsênio total, sugere-se estudo de especiação desse elemento, a fim de saber em quais formas está presente no local de estudo e devido ao potencial de toxicidade desses elementos traço.

Sobre a bioacumulação de Arsênio não houve apenas contaminação pontual, visto que foram registrados limites acima do permitido pela legislação em todos os pontos amostrais nas coletas de março/19, julho/19, maio/20, julho/22. Em fevereiro/21 e outubro de 2022 também foram registradas concentrações de arsênio acima do permitido em todos os pontos amostrais, com

exceção do ponto #2. O Porto de São Francisco do Sul movimenta fertilizantes que poderia ser uma das possíveis causas de contaminação. Portanto conforme descrito, tiveram coletas que tiveram concentração acima do limite em todos os pontos amostrais exceto no ponto #2, no qual é o mais próximo a este Porto. Sendo assim, estas constatações apontam para a possibilidade de haver fontes de contaminação no local e necessitam ser monitoradas a fim de verificar as possíveis causas e tomar medida de mitigação.

A partir dos resultados obtidos, sugere-se que devem ser realizadas diferentes exposições destes mexilhões com maior periodicidade como por exemplo realizar a coleta em 4, 8, 12 meses após a exposição deles, a fim de verificar se há maior bioacumulação.

Recomenda-se fortemente que programas de monitoramento espacial e temporal sejam aplicados para geração de dados de base continuados na Baía Babitonga, os quais em conjunto com dados oceanográficos/estuarinos e associados ao conhecimento dos processos envolvidos tanto naturais como antrópicos, forneçam a base necessária para condução de estudos sobre contaminação e poluição.

REFERÊNCIAS

ABD EL GHANY, S. Heavy metal bioaccumulation in the edible bivalve *Venerupis decussata* collected from Port Said, Egypt. **Wulfenia Journal**, 2017.

AMIARD, J. C. *et al.* Comparative study of the patterns of bioaccumulation of essential (Cu, Zn) and non-essential (Cd, Pb) trace metals in various estuarine and coastal organisms. **Journal of experimental marine biology and ecology**, 1987.

ANDRÉU, B. El cultivo del mejillon en Europa. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, 1976.

BRASIL. **DECRETO Nº 55.871, DE 26 DE MARÇO DE 1965**. Referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1960-1969/decreto-55871-26-marco-1965-396122-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 05 dez. 2023.

ASSUMPÇÃO, A. **Estudo da viabilidade de criação de cooperativa dos produtores de mexilhões do litoral norte paulista**. Piracicaba: ESALQ. Depto. Economia, Administração e Sociologia, 1999.

BARROS, G. V. *et al.* Stable isotopes of bulk organic matter to trace carbon and nitrogen dynamics in an estuarine ecosystem in Babitonga Bay (Santa Catarina, Brazil). **Science of the Total Environment**, 2010.

BATISTA, D. **Potencial das esponjas marinhas (Filo Porífera) como biomonitoras de poluição no litoral do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.** 2010. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) Departamento de Invertebrados – Museu Nacional - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

BELLOTTO, V. R. *et al.* Biomonitoramento ativo de metais traço e efeito biológico em mexilhões transplantados para área de influência de efluente de indústria de beneficiamento de aço-Fase I. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, 2005.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Araquari e Joinville.** 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc.html> Acesso em: 08 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Portaria nº 685/98.** Acesso em: 08 dez. 2023.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005.** Conselho Nacional de Meio Ambiente.
Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_co_nama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acesso em: 08. Dez 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – **RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013, dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos.** Disponível em: Anvisa - Resolução RDC Nº 42 de 29 de agosto de 2013 - Internaliza a Resolução GMC RES N.º 12 2011.pdf —

BORGHETTI, N. R. *et al.* **Aqüicultura: uma visão sobre a produção de organismos aquáticos no Brasil e no Mundo.** 2003. Disponível em: <https://gia.org.br/portal/2003-aquicultura-uma-visao-geral/>. Acesso em: 08 dez. 2023.

IME/DNIT. Diagnóstico dos estudos de circulação de água no Canal do Linguado e na Baía da Babitonga. 2004.

BOWEN, H. J. M. **Environmental Chemistry of the Elements.** Londres: Academic Press, 1979.

BURATINI, S. V.; BRANDELLI, A. Bioacumulação. **Ecotoxicologia aquática, princípios e aplicações.** São Carlos: Rima, 2006.

CAMPANELI, L. B. **Avaliação espaço-temporal de metais pesados no rio Paraíba do Sul e rio Imbé por meio de plantas de *Eichhornia crassipes* (mart.) Solms (aguapé), séston e sedimento.** Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, 2008.

CAMPOLIM, M. B.; BARBIERI, E. **Determinação das concentrações de elementos traços metálicos quanto à sazonalidade, sexo e classe de comprimento em mexilhões (*Perna perna*)**

coletados na Ilha de Urubuqueçaba – Baía de Santos – São Paulo – Brasil. Dissertação (Mestrado em Aquicultura e Pesca) – Instituto de Pesca, São Paulo, 2016.

CAMPOLIM, M. B. *et al.* Metal trace elements in mussels in Urubuqueçaba Island, Santos Bay, Brazil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 2017.

CAMPOS, M. L. *et al.* Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2005.

CARVALHO, A. L. **Efeitos da recirculação do percolado sobre a qualidade do efluente de lixo doméstico de diferentes idades.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, UFV, 2005.

CARVALHO, C. E. V.; LACERDA, L. D. **Heavy metals in the Guanabara Bay biota: Why such low concentrations?** *Ciência e Cultura*, 1992.

CARVALHO, C. E. V.; LACERDA, L. D.; GOMES, M. P. Heavy metal contamination of the marine biota along the Rio de Janeiro coast, SE-Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, 1991.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo). 1993. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2023.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2001- 2003.** São Paulo, 2004. em <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2023.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo). **Sistema Estuarino de Santos e São Vicente**, 177 p, 2001. em <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2023.

CHAKRABORTY, S.; RAY, M.; RAY, S. Arsenic toxicity: A heart-breaking saga of a freshwater mollusc. **Tissue and Cell**, 2012.

CLARK, R.B. **Marine Pollution**. 3rd ed. New York: Oxford University Press, 1996.

COMANS, R. NJ; VAN DIJK, C. PJ. Role of complexation processes in cadmium mobilization during estuarine mixing. **Nature**, 1988.

COSSA, D. A review of the use of *Mytilus* spp as quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal waters. **Oceanologica acta**, 1989.

COSTA, M.; PAIVA, E.; MOREIRA, I. Total mercury in Perna perna mussels from Guanabara Bay-10 years later. **Science of the total environment**, 2000.

CURCHO, M. R. S. M. **Avaliação de micro e macroelementos, elementos tóxicos (Cd, Hg e Pb) e ácidos graxos, em peixes disponíveis comercialmente para consumo 69 em Cananéia e Cubatão, estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia

Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo, São Paulo 2009.

CURTIUS, A. J. *et al.* Avaliando a contaminação por elementos traço em atividades de maricultura: resultados parciais de um estudo de caso realizado na ilha de Santa Catarina, Brasil. **Química Nova**, 2003.

DAMATO, C.; SÃO CLEMENTE, S. C.; SANTOS, N. N. Levantamento sobre os índices de mercúrio presentes em mexilhões (*Perna perna* L.) oriundos da Praia de Piratininga e Baía de Guanabara e Sepitiba. **Revista Higiene Alimentar**, 1997.

REBELLO, A. L. *et al.* The fate of heavy metals in an estuarine tropical system. **Marine chemistry**, 1986.

EISLER, R. **Handbook of Chemical Risk Assessment: Health Hazards to Humans, Plants, and Animals**, vol. 1. Metals. Lewis Publishers, Boca Raton, 2000.

FERNANDEZ, M. A. *et al.* Imposex and surface sediment speciation: a combined approach to evaluate organotin contamination in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Marine Environmental Research**, 2005.

FERREIRA, A. G.; MACHADO, A. L. S.; ZALMON, I. R. Metais pesados em moluscos bivalves no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro. **Ecotoxicologia-Perspectivas para o Século XXI**.(Gaeta Espíndola, EL; Rispoli Botta Paschoal, CM, 2000.

FERREIRA, A. P.; HORTA, M. A. P.; CUNHA, C. L. N. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garçada-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, 2010.

FRANCIONI, E. **Avaliação dos registros de cádmio, cobre, cromo e zinco em mexilhões *Perna perna* (Linné, 1758) do litoral do estado do Rio de Janeiro (Brasil)**. Dissertação (Mestrado em Química) - Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1997.

FRANCIONI, E. *et al.* Evaluation of *Perna perna* (Linné, 1758) as a tool to monitoring trace metals contamination in estuarine and coastal waters of Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 2004.

FREITAS, R. *et al.* The influence of Arsenic on the toxicity of carbon nanoparticles in bivalves. **Journal of hazardous materials**, 2018.

GERBER, K. User's Guide and Technical Documentation KABAM Version 1.0 (K OW (based) Aquatic Bioaccumulation Model). **Report of Environmental Fate and Effects Division Office of Pesticide Programs, US Environmental Protection Agency, Washington, DC**, 2009.

GERCOS/SC. 2004. Entendendo o processo de gerenciamento costeiro para o litoral de Santa

Catarina. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Social, Urbano e Meio Ambiente. Florianópolis

KIM, R. Y. *et al.* Bioavailability of heavy metals in soils: definitions and practical implementation—a critical review. *Environmental geochemistry and health*, 2015.

KIM, E. *et al.* Chronic exposure to cadmium alters gut immune homeostasis and innate immunity (MUC8P. 810). **The Journal of Immunology**, 2014.

LOO, L. O.; ROSENBERG, R. *Mytilus edulis* culture: growth and production in western Sweden. **Aquaculture**, 1983.

MAANAN, M. Heavy metal concentrations in marine molluscs from the Moroccan coastal region. **Environmental Pollution**, 2008.

MAGALHÃES, V. F.; CARVALHO, C. E. V.; PFEIFFER, W. C. Arsenic contamination and dispersion in the Engenho inlet, Sepetiba Bay, SE, Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, 2001.

MAHER, B. *et al.* Bioaccumulation. In: **Sediment quality assessment: a practical guide**. CSIRO Publishing, 2016.

MAIA, C. B.; ALMEIDA, A. C. M.; MOREIRA, F. R. Avaliação do teor de chumbo em mexilhões da espécie *Perna perna* na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, 2006.

MARCHI, G. *et al.* **Elementos-traço e sua relação com qualidade e inocuidade de fertilizantes, corretivos agrícolas e resíduos orgânicos no Brasil**. Embrapa Cerrados, 2009.

MASON, G. J. Stereotypies: a critical review. **Animal behaviour**, 1991.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria no 16 – DINAL/MS**. In: **Compêndio da Legislação de Alimentos**. Atos do Ministério da Saúde, 1990.

MONTEIRO, F. F. **Histórico de acumulação de metais-traço em sedimentos estuarinos do Rio Iguaçu e da região da Área de Proteção Ambiental de Guapimirim, Baía de Guanabara, RJ**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental). Departamento de Geoquímica Ambiental - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2008.

OLIVEIRA, F. A. **“Estudo do aporte sedimentar em suspensão na Baía da Babitonga sob ótica da geomorfologia”**. 2006. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **Metais: Gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003.

PELLEGATTI, C. H. G.; GALVANI, E. Avaliação da precipitação na Serra do Mar–SP em eventos

de diferentes intensidade e duração. GEOUSP Espaço e Tempo (Online), 2010.

PINOT, F. *et al.* Cadmium in the environment: sources, mechanisms of biotoxicity, and biomarkers. **Reviews on environmental health**, 2000.

QUINÁGLIA, G. A. **Caracterização nos níveis basais de concentração de metais nos sedimentos do sistema estuarino da Baixada Santista**. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

REZENDE, C. E.; LACERDA, L. D. Metais pesados em mexilhões (*Perna perna* L.) no litoral do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Biologia**, 1986.

RIZZI, J.; TANIGUCHI, S.; MARTINS, C. C. Polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) in sediments from an urban-and industrial-impacted subtropical estuary (Babitonga Bay, Brazil). **Marine pollution bulletin**, 2017.

RODRIGUES, A. M. T. **Diagnóstico socioeconômico e a percepção ambiental das comunidades de pescadores artesanais do entorno da Baía da Babitonga (SC): um subsídio ao gerenciamento costeiro**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

ROHDE, G. **Geoquímica ambiental e estudos de impacto—4ª ed.** Oficina de Textos, 2013.

SALOMÃO, L. C.; MAGALHÃES, A. R. M.; LUNETTA, J. E. Influência da salinidade na sobrevivência de *Perna perna* (Mollusca: Bivalvia). **Boletim de fisiologia animal**, 1980.

SAMPAIO, A. C. S. **Metais pesados na água e sedimentos dos rios da bacia do alto Paraguai**. 2003. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2003.

SATARUG, S. *et al.* A global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population. **Toxicology letters**, 2003.

SCHÖNE, B. R.; KRAUSE JR, R. A. Retrospective environmental biomonitoring—Mussel Watch expanded. **Global and Planetary Change**, 2016.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, 1965.

SHUQAIR, S. M. S. **Estudo da contaminação do solo e água subterrânea por elementos tóxicos originados dos rejeitos das minas de carvão de Figueira no estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Ciências: Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

SILVA, C. C. A. *et al.* **Metais pesados na Baía de Santos e estuários de Santos e São Vicente. Relatório final para o projeto “Metais Pesados” da SEMA**. In: Seminário Sobre Uma

Síntese do Conhecimento Sobre A Baixada Santista. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1983.

SOKOLOWSKI, A.; BAWAZIR, A. S.; WOLOWICZ, M. Trace metals in the brown mussel *Perna perna* from the coastal waters off Yemen (Gulf of Aden): How concentrations are affected by weight, sex, and seasonal cycle. **Archives of environmental contamination and toxicology**, 2004.

STATSOFT, INC. **Statistic for Windows (data analysis software system), version 7.1.** Statsoft, Tulsa, Oklahoma 123 (USA), 2005.

TCHOUNWOU, P. B.; PATLOLLA, A. K.; CENTENO, J. A. Invited reviews: carcinogenic and systemic health effects associated with arsenic exposure—a critical review. **Toxicologic pathology**, 2003.

TRUCCOLO, E. C.; SCHETTINI, C. A. Marés astronômicas na Baía da Babitonga, SC. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, 1999.

TURECK, C. R. **Avaliação do crescimento e contaminação em *Crassostrea gigas* (molusca bivalve) cultivadas na Baía da Babitonga, Santa Catarina.** 2002. Dissertação (Mestrado em Saúde e Meio Ambiente) – Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE. Joinville, 2002.

VIEIRA, K. S. *et al.* Evaluation of bioavailability of trace metals through bioindicators in a urbanized estuarine system in southeast Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, 2021.

WAELES, M. *et al.* Speciation of dissolved copper and cadmium in the Loire estuary and over the North Biscay continental shelf in spring. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 2009.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Destaques desta pesquisa:

a) Levantar dados sobre a bioacumulação de metais pesados em *Perna Perna* em pontos localizados na Baía Babitonga a fim de verificar se houve aumento da concentração destes metais ao longo dos anos e suas possíveis causas.

b) Verificar se estava havendo contaminação próximas ao Porto de São Francisco do Sul que poderiam estar sendo causadas pelas atividades portuárias.

c) Oferecer dados científicos atualizados de modo a salvaguardar a saúde dos consumidores de mexilhão, no qual atualmente é verificada a carência de estudos relacionados aos teores de metais traço em mexilhões *Perna Perna*.

d) Dar subsídios para a implantação de programas de controle da poluição ambiental, contribuindo assim para a melhoria da qualidade de vida da população.

Recomenda-se a criação nacional de gestão da maricultura em prol da sustentabilidade deste cultivo.

Salientar a importância da continuidade dos programas de monitorização dos bivalves para avaliação da sua qualidade e também do meio ambiente, no qual fornecerá uma série histórica mais robusta que auxiliará na interpretação de novos resultados.