

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Maristela Lino Candido Cassita

Análise histórica da poluição ambiental no Estuário de Santos: Estudo histológico das brânquias do molusco *Mytella falcata* (Orbigny, 1846) como bioindicador.

Buri

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Maristela Lino Candido Cassita

Análise histórica da poluição ambiental no Estuário de Santos: Estudo histológico das brânquias do molusco *Mytella falcata* (Orbigny, 1846) como bioindicador.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Biologia da Conservação na Universidade Federal de São Carlos.

Orientação: Prof. Dr. José Augusto de Oliveira David.

Buri

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO
MARISTELA LINO CANDIDO CASSITA

Análise histórica da poluição ambiental no Estuário de Santos: Estudo histológico das brânquias do molusco *Mytella falcata* (Orbigny, 1846) como bioindicador.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Biologia da Conservação na Universidade Federal de São Carlos. Buri, 20 de abril de 2021.

Orientador(a)

Dr. José Augusto de Oliveira David

Centro de Ciências da Natureza – UFSCar Lago do Sino

Examinador(a)

Dra. Tatiana da Silva Souza

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

Examinador(a)

Ma. Sandra Steinmetz

Ambiental Consulting

Cassita, Maristela Lino Candido

Análise histórica da poluição ambiental no Estuário de Santos: Estudo histológico das brânquias do molusco *Mytella falcata* (Orbigny, 1846) como bioindicador. / Maristela Lino Candido Cassita -- 2021. 46f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): José Augusto de Oliveira David

Banca Examinadora: José Augusto de Oliveira David, Sandra Steinmetz, Tatiana da Silva Souza

Bibliografia

1. Biomonitoramento. 2. Ecotoxicologia . 3. Porto de Santos. I. Cassita, Maristela Lino Candido. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Marisa e André, em especial à minha mãe, que sempre acreditou no meu potencial de ser cientista! A ambos minha sincera gratidão.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha família, meus pais, por terem lutado para me proporcionar subsídio para estudar e ser quem eu desejar ser! Agradeço a minha tia Clarice e todos que de certa forma acrescentaram em minha formação, proporcionando apoio e todo tipo de ajuda, obrigada!

Agradeço ao corpo docente, impecável e atencioso, do curso de Biologia da Conservação da UFSCar Lagoa do Sino. Em especial meu professor orientador José Augusto David, que sempre me incentivou desde o momento da matrícula, obrigada por confiar no meu potencial!

Ao meu namorado, João Pedro, por sempre me apoiar, me incentivar e acreditar no meu potencial, me estimulando a atingir meu máximo em tudo que faço, obrigada!

Agradeço ao CNPq que forneceu bolsa durante 2017-2018 para realização do projeto de iniciação científica intitulado “Estudo histológico das brânquias do molusco *Mytella falcata* como indicador de poluição no estuário de Santos” que culminou para a elaboração do presente trabalho de conclusão de curso.

Agradeço aos meus colegas de turma e todos que participaram da minha formação, em especial o técnico Ueslei Lopes, que me orientou e auxiliou em análises e processos laboratoriais.

Em geral agradeço a todos que participaram dessa jornada que de forma tênue se encerra com este trabalho!

RESUMO

CASSITA, Maristela. **Análise histórica da poluição ambiental no Estuário de Santos:** Estudo histológico das brânquias do molusco *Mytella falcata* (Orbigny, 1846) como bioindicador. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, 2021.

Sabe-se que estuários são considerados verdadeiros viveiros de biodiversidade. Dessa forma, o estuário de Santos se destaca por ser uma região de extrema sensibilidade. O qual abriga o maior porto da América Latina, o Porto de Santos e o maior pólo industrial brasileiro, o Pólo Industrial de Cubatão. Este ecossistema sofre, por conseguinte, com pressões antrópicas e com poluentes industriais. Sendo assim, assume-se a necessidade de se monitorar a região, sendo a ecotoxicologia e moluscos *M. falcata* ferramentas para o indicar sobre a qualidade do meio. O presente estudo busca analisar a situação da poluição no estuário de Santos, através da histologia de bivalves, a fim de determinar sobre a saúde ecossistêmica do estuário de Santos, dez anos após o último estudo de cunho ecotoxicológico na região. Para isso foram coletados bivalves em três pontos amostrais, com diferentes impactos antrópicos. O ponto A localiza-se no Rio Branco, e não proximidade de indústrias. O ponto B localiza-se na Ilha Barnabé, margem esquerda do porto de Santos, e está sob influência constante de indústrias e trânsito de embarcações. O ponto C localiza-se próximo à Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA), em contato direto com poluentes industriais. Os animais coletados tiveram seus fragmentos das brânquias dissecados, e processados segundo rotina histológica para inclusão final em parafina. Os cortes dos tecidos foram corados com hematoxilina e eosina para identificação de quaisquer alterações. As lâminas foram analisadas conforme sistema de classificação de distúrbios e atribuição de índice de frequência para quantificação final das alterações observadas. Para embasamento estatístico realizou-se testes de normalidade e para

determinar a diferença entre os pontos amostrais. Os resultados apontaram distúrbios graves no Ponto B, como tumores e necrose, e distúrbios de grave a leve no Ponto C, como tumores e infiltrações. O Ponto A não apresentou distúrbios significativos, com pouca presença de distúrbios leves em alguns indivíduos. Estas alterações estão relacionadas à presença de metais pesados e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em concentrações elevadas. Através da análise dos resultados e comparação com relatórios ambientais, afirma-se que após dez anos do último estudo de biomonitoramento com bivalves na região, o estuário de Santos ainda apresenta níveis elevados de poluição, que continuam por impactar a saúde dos organismos e ecossistema.

Palavras-chave: Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos. Ecotoxicologia. Metais Pesados. Biomonitoramento. Porto de Santos. Pólo Industrial de Cubatão.

ABSTRACT

CASSITA, Maristela. **Historical analysis of environmental pollution in the Santos Estuary:** Histological study of the gills of *Mytella falcata* mussel (Orbigny, 1846) as a bioindicator. 2021. Conclusion Project – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, 2021.

It's well known that estuarine ecosystem is true nursery of biodiversity. Although, the estuary of Santos stands out for being an extreme sensitive region. Which shelter the biggest port of Latin America, the Port of Santos, and the biggest industrial pole of Brazil, the Cubatão Industrial Pole. This ecosystem suffers with anthropic pressure and industrial pollution. In order that, emerge the need to monitor the region, with ecotoxicology and *M. falcata* molluscs being tools to indicate the quality of the environment. The present study intent to make an analysis of the situation of pollution in the estuary of Santos, ten years after the last study of ecotoxicology in the region. For that, sample collection of bivalves were realizes in three different points, wich expressed difference in anthropic impact. The point A was located in Rio Branco, where was no influence of industries. The B point was located in Ilha Barnabé, left side of Port of Santos, and it was in constant influence of industries and ships traffic. The point C, was located next to Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA), and was in constant contact with industrial pollution. The animals had their gill dissected and processed by histological routine, for final inclusion in paraffin. The gill sections were stained with hematoxylin and eosin for forward identification of any disturb. The slides were analyzed according a system of disturb classification, and attribution of frequency index, for final quantification of the observed alterations. For statistic background was realized normality test and difference significance test. The results indicated severe disturbs in Point B, such as tumors and necroses; in Point C were indentified from severe to mild disorders, such as tumors and infiltration. The A Point showed a lack of sever disorders, however it presented some of mild disturbs. These alterations are

related to heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons presence in high concentration. Through analysis of results and comparison with environmental reports, is possible to claim that ten years after the last study with bivalve ecotoxicology in the region, the estuary of Santos remain negatively impacted with the pollution. The presence of high levels of contaminants harm the health of estuary and their organisms.

Keywords: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Ecotoxicology. Heavy metals. Biomonitoring. Port of Santos. Cubatão Industrial Pole.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pontos de coletas no estuário de Santos.....28

Figura 2 – Vista dos pontos de coleta no estuário de Santos.....29

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Valores de importância, descrição e nome dos diferentes distúrbios observados em bivalves *Mytella falcata*.....30
- Tabela 2** – Atribuição de valor final de distúrbio para cada indivíduo.....32
- Tabela 3** – Concentração de contaminantes de acordo com pontos os pontos amostrais.....34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESP – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CIESP – Centro das Indústrias do Estado de São Paulo

COSIPA – Companhia Siderúrgica Paulista

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CODESP – Companhia Docas do Estado de São Paulo

HPAs – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISQG – Interim sediment quality guidelines

PEL – Probable effect level

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. ARTIGO	20
2.1.INTRODUÇÃO	24
2.2.MÉTODOS	27
2.3.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
2.4.CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS.....	40
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas os ambientes aquáticos e costeiros sofrem pressões oriundas de impactos antrópicos, devido ao lançamento incorreto e indiscriminado de efluentes. Dessa forma, os contaminantes presentes nas águas costeiras e marinhas alteram as condições desses ecossistemas ameaçando a saúde dos organismos que nele habitam. Essas pressões e ameaças ao rico ecossistema marinho geraram conscientização tornando este ambiente o foco de diversos estudos de monitoramento ambiental (WILHELMSSON *et al.*, 2013).

Os estuários reúnem a interação entre água doce e marinha, englobando assim, tanto ecossistema fluvial como marinho, garantindo uma renovação periódica e transformação intensa de matéria orgânica (BERTHELSEN *et al.*, 2020). Estes ambientes, considerados verdadeiros viveiros de espécies, recebem e concentram material originário de toda sua bacia de drenagem, constituindo um grande aporte de produção primária de biomassa e ciclagem de nutrientes (PEREIRA FILHO *et al.*, 2003; JESUS *et al.*, 2020).

Em acréscimo, dois terços de grandes cidades estão localizadas adjacentes a estuários, tendo em vista o aporte que estes ambientes oferecem a instalação de portos e indústrias. Sendo assim, a industrialização surge para cumprir a demanda do bem estar humano, com incentivo do crescimento econômico, é alavancada em detrimento do ambiente em seu entorno (PEREIRA FILHO *et al.*, 2003).

A geração de grandes quantidades de efluentes sobrecarrega a resiliência dos ecossistemas aquáticos. Logo, quando efluentes são lançados ao meio sem tratamento adequado ou em concentrações maiores do que as adequadas, geram diversos efeitos tóxicos aos organismos aquáticos (KAMALI *et al.*, 2019).

Entre os efluentes mais comuns, destacam-se metais pesados, solventes, pigmentos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e compostos não biodegradáveis de águas residuais (THANEKAR; GOGATE, 2020). Ademais, ressalta-se que estes poluentes apresentam uma

grande ameaça à saúde de ecossistemas estuarinos, visto que apresentam potencial acumulativo e de persistência. Por conseguinte, a presença desses compostos no estuário pode variar entre bioacumulação, suspensão e deposição em sedimentos (HINOJOSA-GARRO *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2020).

Para evitar efeitos catastróficos no meio ambiente, em enfoque o aquático, no ano de 1981 no Brasil, foi decretado a Lei Nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, atribuindo ao Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA em seu Art. 8, a responsabilidade de estabelecer normas e critérios para licenciar atividades potencialmente poluidoras (BRASIL, 1981). Desta forma, o CONAMA em sua Resolução nº430/2011 do CONAMA, dispõe condições e padrões para lançamento de efluentes, e em seu Art.24, estabelece que as indústrias com potencial poluidor devem realizar o auto-monitoramento para acompanhamento periódico dos efluentes lançados, sendo competente ao órgão ambiental responsável efetuar a averiguação do auto-monitoramento e avaliar a qualidade do corpo receptor (CONAMA, 2011).

Para o Estado de São Paulo fica em incumbência da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB fiscalizar, realizar monitoramento ambiental, especialmente da qualidade de recursos hídricos, e impor penalidades a quem cause degradação do meio ambiente (SÃO PAULO, 1973).

No entanto, através de análises físico-químicas não é possível mensurar a toxicidade de efluentes, sendo necessário para tal o monitoramento biótico. Este monitoramento fornece dados através de respostas biológicas às mudanças ambientais, principalmente causados por impacto antrópico (BERTHELSEN *et al.*, 2020). Dessa forma, são estipulados organismos bioindicadores, que fornecem evidências da presença de contaminantes no meio, uma vez que denotam resposta xenofóbica aos mesmos, apontando diversas alterações, como bioquímicas e fisiológicas (HINOJOSA-GARRO *et al.*, 2020).

Dessa forma surge a ecotoxicologia, a área da ciência que investiga o impacto causado por poluentes químicos no meio ambiente através de um bioindicador. Esta área analisa sinais de contaminação nos organismos a níveis molecular, individual, fisiológico ou ecológico, se baseando em testes laboratoriais e de campo. Assim é possível determinar se dado agente químico se mantém em seu controle de toxicidade, isto é, não ultrapassando o seu padrão numérico de emissão e concentração em um meio (LOPES *et al.*, 2020). Logo, biomarcadores complementam dados de análises físico-químicas, que embora forneçam a concentração de cada poluente presente no meio estudado, não transparecem as consequências causadas por eles (HINOJOSA-GARRO *et al.*, 2020; BERTHELSEN *et al.*, 2020).

A aplicação de macroinvertebrados em estudos de monitoramento em estuários têm se tornado comum, visto que pontuam sobre a saúde ecológica desses ecossistemas (BERTHELSEN *et al.*, 2020). Moluscos bivalves são, então, organismos em destaque na ecotoxicologia aquática, amplamente aplicados em monitoramento ambiental e considerados um dos melhores organismos aquáticos para acompanhar a bioacumulação de poluentes (BOFFI, 1979; MAIOLI *et al.*, 2010).

A relevância desses organismos se dá devido ao seu hábito filtrador, que através da estrutura de brânquias, realizam processos de absorção, digestão e respiração por meio da filtração da água (DAVID *et al.*, 2008).

Dada a importância dos moluscos como bioindicadores, estes são usados em estudos ecotoxicológicos grandiosos, como o “*Mussel Watch*”, programa que foi desenvolvido em 1986, nos Estados Unidos, com o objetivo de monitorar a qualidade das águas costeiras e doces através de moluscos. Este estudo realiza avaliações periódicas, anualmente, a cerca de 20 anos (KIMBROUGH *et al.*, 2008).

Moluscos do gênero *Mytella* como a espécie *Mytella falcata* (Orbigny, 1842) são facilmente encontrados fixos em substratos, em rochas ou no leito de corpos hídricos, onde se

encontram semi-enterrados (BOFFI, 1979). Seu epitélio branquial possui uma superfície dividida em dois semi-brânquios com um formato semelhante à letra V, os quais possuem numerosos filamentos conectados por discos ciliares. É através dessa superfície que os moluscos criam uma corrente hidrodinâmica, por meio da movimentação de seus cílios, e obtêm sua fonte de nutrientes (DAVID *et al.*, 2008).

Devido o contato direto que seu epitélio tem com o meio, este pode ter suas funções alteradas na presença de poluentes, como por exemplo, metais pesados e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPAs (MAIOLI *et al.*, 2010; DANG *et al.*, 2020). Estes últimos, representando uma classe de poluentes de grandes riscos ao ambiente e populações costeiras, devem receber atenção maior. Os HPAs têm alto potencial mutagênico e carcinogênico e são lançados como efluentes industriais, no entanto, podem também ser advindos de resíduos urbanos, descarte de petróleo e escoamento subsuperficial, por exemplo. O fator agravante de risco é que estes compostos são mais resistentes à biodegradação, bem como persistem em sedimentos, água, e em bioacumulados, ameaçando a saúde ecossistêmica aquática (MAIOLI *et al.*, 2010).

Moluscos *M. falcata* denotam ampla distribuição na América Latina, nas costas do Oceano Atlântico e Pacífico, e no Brasil ocupando toda extensão de seu litoral (NARCHI; GALVÃO-BUENO, 1983). Como no caso do estuário de Santos, litoral do estado de São Paulo, onde a espécie é explorada pela população local como fonte de alimento (DAVID; FONTANETTI, 2009).

Situado em região de planície costeira cercado pelo Oceano Atlântico e escarpas da serra do mar, o estuário de Santos apresenta hidrografia complexa. A morfologia do seu sistema hidrográfico pode ser dividida em um complexo de três estuários e uma baía: Estuário do Canal de Bertioga, Estuário do Canal do Porto de Santos, Estuário de São Vicente e Baía de Santos (ROVERSI; ROAMAN; HARARI, 2016).

Segundo o Centro das Indústrias do Estado de São Paulo - CIESP (2014), o estuário está situado na região metropolitana da Baixada Santista, onde abriga o maior porto da América Latina e o maior pólo industrial do Brasil, o pólo industrial de Cubatão, com empresas químicas, petroquímicas, siderúrgicas e de fertilizantes. Dessa forma, devido ao grande desenvolvimento da região, a poluição hídrica se torna uma consequência.

Ademais, devido ao grande desenvolvimento econômico dessa área, Santos apresenta uma população de 433 mil habitantes, aproximadamente, e com densidade populacional de 1.494,26 hab/ km² (IBGE, 2010; IBGE, 2020).

Portanto, devido à magnitude e desenvolvimento desta região, e o despejo de efluentes nas águas estuarinas de Santos se torna um fato, tanto provindo de indústrias, bem como de resíduos urbanos. Sendo assim, a poluição dos corpos hídricos altera a qualidade da água e provoca a bioacumulação de contaminantes tóxicos. Quando ingeridos por um consumidor primário, esses elementos perigosos são passados pelas teias alimentares sendo biomagnificados a cada nível trófico, podendo atingir o homem, topo da cadeia, que como cultura caiçara se alimenta de mexilhões e peixes que ali habitam (DAVID *et al.*, 2008; HINOJOSA-GARRO *et al.*, 2020).

Dada a importância ecossistêmica dos estuários, em especial o estuário de Santos, o presente trabalho busca analisar o impacto de efluentes lançados neste ecossistema através de análise histopatológica em brânquias de bivalves *M. falcata*. Os resultados obtidos serão comparados com relatórios ambientais, de análise físico-química, atuais da CETESB, e com o último estudo de monitoramento biológico de *M. falcata* da região, realizado por David e Fontanetti (2009), a fim de pontuar se a presença de poluentes na região continua a impactar negativamente a saúde ecológica desse ecossistema.

2. ARTIGO

Análise histórica da poluição ambiental no Estuário de Santos: Estudo histológico das brânquias do molusco *Mytella falcata* (Orbigny, 1846) como bioindicador.

Resumo

O estuário de Santos historicamente apresenta uma imagem de poluição e catástrofes ambientais. Na década de 1980 foi chamado de Vale da Morte e após repercussão pública e mitigação se tornou exemplo de recuperação ambiental. Este estudo busca avaliar a saúde ecossistêmica do estuário de Santos utilizando moluscos bivalves *Mytella falcata* e a histologia como ferramenta. Foram realizadas coletas de bivalves em três pontos amostrais, com diferentes impactos antrópicos. O ponto A, localizado no Rio Branco, não apresenta impacto de indústrias. O ponto B, localizado na Ilha Barnabé, na margem esquerda do porto de Santos. O ponto C, localizado próximo à Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA), em contato direto com efluentes industriais. Os animais coletados tiveram os fragmentos das brânquias dissecados, fixados e processados segundo rotina histológica para inclusão em parafina. Os cortes dos tecidos foram corados com hematoxilina e eosina para identificação das alterações morfológicas. Para a análise das lâminas utilizou-se um sistema de classificação de distúrbios e atribuição de índice de frequência para quantificação dos distúrbios observados. Para embasamento estatístico foram realizados os testes de normalidade e de diferença significativa entre os pontos amostrais. Os resultados apontaram distúrbio grave nos Pontos B e C, como tumores, no entanto o primeiro apresentou maior frequência e com agravação, levando a necrose. O Ponto A não apresentou distúrbios graves, ocorrendo apenas em alguns indivíduos distúrbios leves, como infiltração. Doravante a presença de metais pesados e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos com concentrações elevadas em locais próximos aos Pontos B e C, levaram a alterações com valor alto de importância. Através da análise dos resultados, e comparação com dados ambientais,

afirma-se que mesmo após 10 anos do último estudo com histologia de bivalves na região, a situação da poluição no estuário de Santos não mudou, e ainda apresenta níveis elevados de contaminantes que afetam diretamente a saúde ecossistêmica e de seus organismos.

Palavras-chave: Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos. Ecotoxicologia. Metais Pesados. Efluentes. Porto de Santos. Pólo Industrial de Cubatão.

Abstract

Historical analysis of environmental pollution in the Santos Estuary: Histological study of the gills of *Mytella falcata* mussel (Orbigny, 1846) as a bioindicator.

The Santos estuary historically represents an image of pollution and environmental catastrophes. In 1980's the region was named Death Valley and after public repercussion and mitigation actions it has become an example of environmental recuperation. The present study looked for evaluate the health of Santos estuary ecosystem by using bivalve *Mytella falcate* and histology as a tool. Sample collections were realized in three distinct points, where the industry impact was different. The A point, was located at Rio Branco, and it didn't shown any impact of industries. The Point B, was located at Ilha Barnabé on left side of Port of Santos, and was in constant contact with industries and ship traffic. The Point C was located near Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA), in constant contact with industrial effluents. They had their gill dissected, fixed, and processed by histological routine, for final inclusion in paraffin. Gills sections were stained with hematoxylin and eosin, for a later identification of morphology alterations. The slides were analyzed according a system of disturb classification, and attribution of frequency index, for final quantification of the observed alterations. For statistic background was realized normality test and difference significance test. The results pointed to severe disorders in Point B and C, such as tumors, but the first one shown bigger frequency and aggravating, such as necroses. The A Point doesn't shown severe disturbs, however mild disorders were present, such as infiltration. Henceforth, the presence of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in high levels, next to the Points B and C, induced to high importance value alterations. Through the results analysis, and comparation with environmental reports, is possible to claim that, even after ten years of the last bivalve histological study in the area, the situation of pollution in Santos estuary wasn't change. There are yet high levels of contaminants that interfere directly in the estuarine health and in their organisms.

Key-words: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Ecotoxicology. Heavy metals. Effluents. Port of Santos. Cubatão Industrial Pole.

2.1. INTRODUÇÃO

A construção de grandes centros urbanos vem sendo relacionada, historicamente, aos estuários. Estas regiões apresentam ricas estruturas geográficas que dão aporte à construção de portos e indústrias, promovendo o tão estimado desenvolvimento. Logo, ressalta-se que cerca de dois terços das grandes cidades são construídas adjacentes a regiões estuarinas (Pereira Filho *et al.*, 2003).

O estuário de Santos, não diferente da maioria, foi um subsídio fundamental do marco de desenvolvimento no Brasil. Este se tornou, então, abrigo do maior pólo industrial brasileiro, o Pólo Industrial de Cubatão, e maior porto da América Latina, o Porto de Santos.

Devido à proximidade entre a cidade de Cubatão e São Paulo, o aporte do Porto de Santos nas imediações e a construção da Via Anchieta, estrada que ligava o planalto ao litoral, Cubatão se tornou, então, um local de interesse nacional. As áreas de planícies e manguezais eram vistas como o local ideal para a construção do primeiro pólo industrial do Brasil, símbolo do avanço e da modernização (Ferreira 1991).

Desde seu primórdio o estuário de Santos foi base para a construção do porto de Santos. Delineado desde a chegada de navios coloniais e definitivamente estabelecido desde 1892, o primeiro porto do Brasil, já apresentava 260 metros de cais acostáveis (CODESP 2006). No entanto, apenas em 1929 foi concebido e estruturado o primeiro Plano de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ) do Porto de Santos. Plano este que foi responsável pela ampliação da infraestrutura e profundidade do cais, adequando-se às exigências internacionais da época (Souza 2006, CODESP 2006).

Em contrapartida as instalações industriais em Cubatão já se firmavam desde 1912, com a instalação das indústrias pioneiras, dando início ao seu primeiro ciclo industrial. Durante a primeira Guerra Mundial, em Cubatão se instalavam as indústrias “Cia. Curtidora Marx”, “Cia.

De Anilinas, Produtos Químicos e Material Técnico” e “Cia. Santista de Papel”, a mais famosa das pioneiras (Ferreira Filho 2015).

O avanço do complexo industrial e portuário que se formava na região estuarina de Santos não parou por aí, progredindo em rumo ao desenvolvimento insustentável, já previsto e experienciado pelos países desenvolvidos do hemisfério Norte (Milaré & Magri 1992, Klanovicz & Ferreira Filho 2018).

Em 1950, com a expansão industrial, já era possível prever os futuros impactos ambientais negativos resultantes do desenvolvimento desenfreado e sem planejamento. A industrialização acelerada, despreocupada com o meio ambiente e o planejamento urbano, conduziu Cubatão ao marco do avanço em 1970, para o Vale da Morte em 1980 (Pinto 2015, Klanovicz & Ferreira Filho 2018).

Em 1980 a poluição provinda do complexo industrial de Cubatão contaminava rios, lençóis freáticos e atmosfera (Klanovicz & Ferreira Filho 2018). Contínuas de chuvas ácidas, vazamentos de resíduos poluentes, intoxicação de animais e lançamentos de gases venenosos 24 horas por dia, durante décadas, teciam o Vale da Morte. Este cenário caótico de poluição apontava para catástrofes ambientais iminentes (Ferreira Filho 2015).

O silêncio do que ocorria na região foi quebrado apenas no início da década de 1980 quando a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB a pedido da 1ª Vara de Cubatão tornou público por meio de relatório de condições ambientais os acontecimentos catastróficos causados por avanço industrial e poluição de Cubatão. As 30 toneladas diárias de poluentes lançados diretamente na atmosfera declaravam uma tragédia iminente. Por conseguinte, este documento desencadeou uma série de debates ambientais, sociais e políticos que divergiam em segmentos sociais e setores federais (Klanovicz & Ferreira Filho 2018).

Por conseguinte, logo após o extenso debate, que divergia em esferas ambientais, sociais e políticas, sobre o caso de Cubatão, a partir de 1983 ficou a cargo da CETESB a execução do

Plano de Controle da Poluição Ambiental em Cubatão. Este plano apresentava diretrizes básicas como controle das fontes poluidoras, desenvolvimento de pesquisas, conscientização de entidades e instituições da comunidade local (CETESB 2018).

Após a finalização da primeira etapa do projeto, no ano de 1989, a CETESB apontava em seu relatório de monitoramento de 1990, que 89% das 320 fontes poluidoras autuadas estavam controladas. A redução de poluentes na região, tanto atmosféricos quanto hídricos, havia reduzido significativamente. Em 1994, se finalizava a segunda etapa do plano, e conforme o relatório da CETESB de situação do controle da poluição em Cubatão, 91% das fontes poluidoras autuadas estavam controladas, restando 20 fontes sem controle (Ferreira 2007).

A devastação ecossistêmica, com devido monitoramento, foi aos poucos se revertendo, tornando o estuário de Santos palco de um grande exemplo de recuperação ambiental. Sendo assim, as atividades potencialmente poluidoras da região estuarina são até os dias de hoje controladas pela CETESB, a qual realiza monitoramento ambiental periódico dos poluentes através de relatórios (Silva & Gomes 2012).

Tais relatórios apontam análises de qualidade de água e sedimentos, evidenciando a presença e quantidade de poluentes, por meio testes de mutagenicidade e toxicológicos, por exemplo. No entanto, não há testes ecotoxicológicos mais aprofundados, que investiguem a presença de contaminantes químicos em organismos, pontuando sobre seus impactos nos mesmos (Lopes *et al.* 2020).

Por conseguinte, se reforça que testes ecotoxicológicos são fundamentais para compreensão de respostas biológicas aos poluentes. Sendo assim, moluscos bivalves, considerados um dos melhores bioindicadores aquáticos, são instrumentos ideais para ecotoxicologia, fornecendo dados bióticos que aferem sobre a saúde ecossistêmica. Devido seu hábito sésil e filtrador, obtêm seus nutrientes através de estrutura branquial, por meio de filtração da água. Além do mais, sua estrutura de brânquias atua também como uma barreira

física de proteção, visto que permanecem em contato constante com o meio e podem apresentar funções alteradas quando em contato com contaminantes (David *et al.* 2008, David & Fontanetti 2009, Dang *et al.* 2020).

Por fim, se evidencia a importância dos ecossistemas estuarinos, regiões de interação entre água doce e salgada, estes promovem grande ciclagem de nutrientes resultando em uma alta produtividade. Entretanto, estes ambientes considerados verdadeiros viveiros de espécies, apresentam elevada sensibilidade, uma vez que são locais de significativo interesse econômico (Pereira Filho *et al.* 2003, Jesus *et al.* 2020, Berthelsen *et al.* 2020). Dessa forma, o presente estudo busca analisar historicamente a poluição no estuário de Santos através de histologia em brânquias de *Mytella falcata* (Orbigny, 1846). Comparando resultados obtidos com relatórios ambientais atuais da CETESB e com o último estudo de histopatologia de brânquias realizado na região por David & Fontanetti (2009), a fim de pontuar sobre a situação da poluição atual.

2.2. MÉTODOS

Coleta de Amostras

Para o desenvolvimento do presente estudo foram estabelecidos três pontos amostrais no Estuário de Santos, a coleta dos organismos foi realizada no ano de 2018. Para cada ponto foram coletados 10 exemplares de *M. falcata* em conjunto da água de origem dos respectivos pontos, este procedimento teve como intenção diminuir os impactos provenientes do estresse da coleta.

Os pontos de coleta no estuário de Santos foram definidos por: Ponto A, no Rio Branco, onde não há presença de indústrias (23°54'52.82''S, 46°25'51.59''W), sendo considerado ponto de referência; Ponto B, localizado na Ilha Barnabé, margem esquerda do porto de Santos, sob constante influência de indústrias e tráfego de embarcações (23°55'7.32''S, 46°20'7.37''W); e Ponto C, localizado no canal de acesso ao terminal da Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, (23°52'46.13''S, 46°22'37.17''W); ilustrados na Figura 1 e 2. A escolha destes

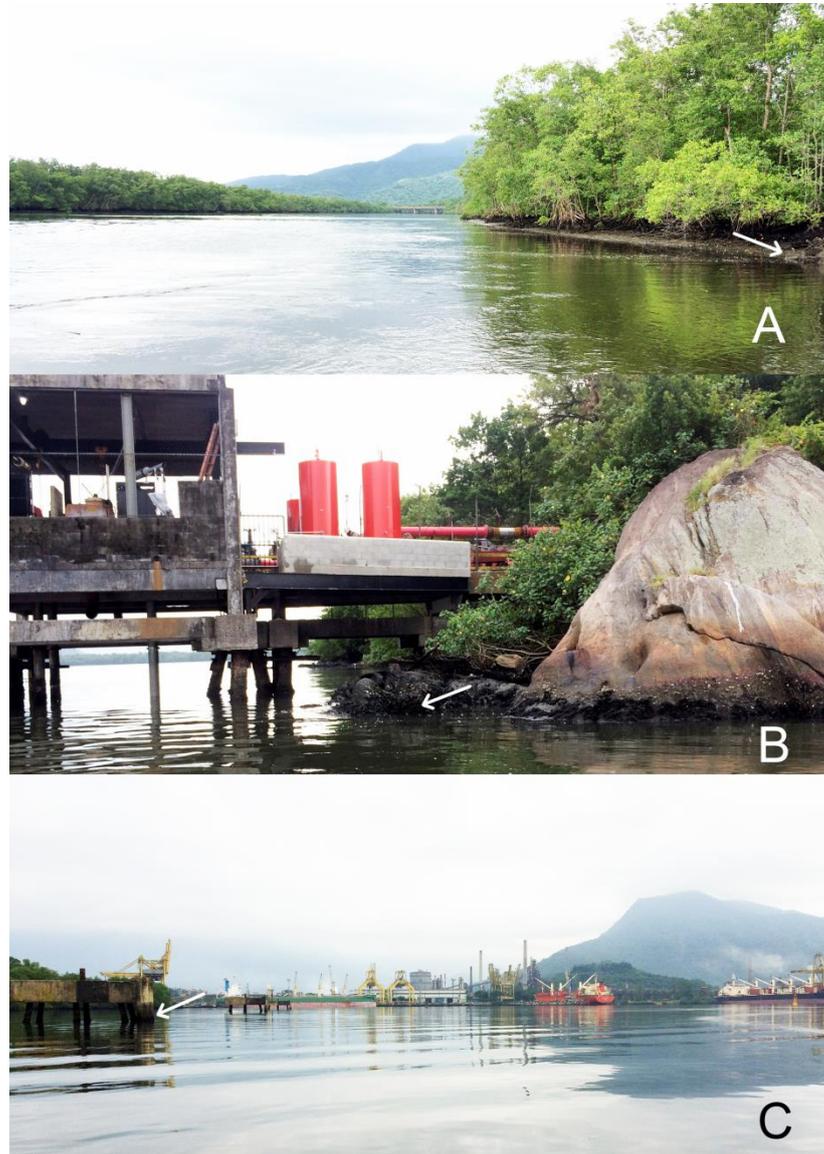
pontos amostrais teve como intenção replicar o estudo realizado por David & Fontanetti (2009) culminado em sua tese, David (2007), a fim de efetuar uma análise histórica pontual da poluição regional após 10 anos, aproximadamente, dos últimos estudos ecotoxicológicos realizados no estuário de Santos.

Figura 1. Pontos de coletas no estuário de Santos.



Legenda: Mapa do estuário de Santos apontando os três pontos de coleta de bivalves *Mytella falcata*. Sendo: Ponto A - Rio Branco; Ponto B - Ilha Barnabé; Ponto C - COSIPA.

Figura 2. Vista dos pontos de coleta no estuário de Santos.



Legenda: Vista englobando a paisagem dos pontos de coleta no estuário de Santos. Sendo: (A) Vista do Ponto A; (B) Vista do Ponto B; (C) Vista do Ponto C; para todos os pontos a seta indica o local onde foi realizada a coleta.

Processamento Histológico

Para análise em laboratório, os animais tiveram suas brânquias dissecadas juntamente com o manto e fixadas em formol tamponado 10%. Em seguida os fragmentos de brânquias e

manto foram processados segundo rotina histológica, sendo desidratados em série crescente de álcool, diafanizados em xilol e incluídos em parafina.

Os blocos obtidos foram cortados em micrótomo KD-2258, Kedee Histology, com espessura de 5 μm , para cada ponto amostral foram analisados cinco indivíduos. Para cada indivíduo foram feitas três lâminas, com cortes de brânquias. Por conseguinte, as lâminas foram coradas com hematoxilina e eosina e montadas em bálsamo do Canadá para final avaliação em microscópio Primo Star, Zeiss.

Análise de Lâminas

Para a análise das lâminas foi utilizado como parâmetro o protocolo para avaliação de poluição aquática de Bernet *et al.* (1999), que estipulou um valor de importância para cada distúrbio observado em peixes. Este protocolo foi modificado e adaptado para o presente estudo, como ilustrado na Tabela 1. Cada lâmina foi analisada em microscópio de luz em aumento até 40x.

Tabela 1: Valores de importância, descrição e nome dos diferentes distúrbios observados em bivalves *Mytella falcata*.

Nome do Distúrbio	Alteração causada	Valor de Importância
Infiltração	Hemócitos infiltram o ducto sanguíneo	2
Tumor	Células de multiplicação rápida e homogênea	3
Alteração arquitetônica e estrutural	Mudança na estrutura tecidual	1
Alteração plasmática	Alteração no plasma celular	1
Atrofia	Redução do volume celular	2

Necrose	Perda de função	3
Hipertrofia	Aumento do tecido celular	1
Hiperplasia	Aumento do número de células	2
Edema/Hemorragia	Vazamento de hemócitos para tecido e/ou rompimento do tecido	1

Dessa forma, para determinar a frequência de alterações nas lâminas formulou-se uma escala de frequência que variou de 0 a 3, sendo: (0) Ausente; (1) Presente em uma lâmina; (2) Presente em duas lâminas; e (3) Presente em pelo menos 3 lâminas.

Por fim, para determinar um valor final de distúrbio, chamado de índice de alteração, foi multiplicado o valor de importância de cada alteração pela escala de frequência. Esta atribuição foi feita para todas as alterações apresentadas por indivíduo, e somadas ao final resultando no índice de alteração por indivíduo.

Análise Estatística

Para a análise estatística tomou-se como base os dados obtidos na Tabela 2, adaptados para posterior análise no BioEstat (Versão 5.3). O teste estatístico iniciou-se com teste de normalidade de dados Shapiro-Wilk, por conseguinte, para testar a confiabilidade dos dados, foi realizado o teste Anova One-Way. Por fim, foi realizado o teste Dunnett, a fim de apontar as diferenças entre os pontos amostrais.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo foram evidenciados distúrbios teciduais e morfológicos em moluscos *M. falcata*, coletados em três pontos do estuário de Santos. A análise das lâminas

culminou na construção da Tabela 2, que evidencia as alterações individuais apresentadas em cada ponto amostral, e seu resultado final, o índice de alteração por indivíduo.

Tabela 2. Atribuição de valor final de distúrbio para cada indivíduo.

Alterações	Ponto A					Ponto B					Ponto C					
	A1	A2	A3	A4	A5	X	B1	B2	B3	B4	X	C1	C2	C3	C4	X
Infiltração	2	1	1	2	2	1.6	3	2	3	3	2.8	3	3	2	3	2.8
Tumor	0	0	2	0	0	0.4	3	1	3	0	1.8	2	1	0	2	1.3
Alteração arquitetônica e estrutural	0	0	0	0	0	0	3	3	2	2	2.5	2	2	1	3	2
Alteração plasmática	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1	1.8	2	1	0	2	1.3
Atrofia	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.5	1	2	0	1	1
Necrose	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	1.3	0	0	0	2	0.5
Hipertrofia	0	0	2	0	0	0.4	1	2	2	0	1.3	0	0	0	2	0.5
Hiperplasia	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	2.3	2	1	1	3	1.8
Edema/ Hemorragia	0	0	1	0	0	0.2	3	3	1	1	2	0	2	0	3	1.3
Índice de alteração	4	2	11	4	4	5	39	26	33	12	28*	22	20	7	36	21*

Legenda: (X) representa a média das alterações; e (*) representa diferença significativa em relação ao Ponto A com $p < 0,05$.

Por conseguinte, os resultados apresentados na Tabela 2 forneceram subsídio para a construção da análise estatística, que teve como base o índice de alteração de cada indivíduo, por ponto amostral.

A normalidade de dados testadas através do teste Shapiro-Wilk apontou uma distribuição normal entre os dados, com valor $p > 0,05$. Por conseguinte, baseando-se nesta análise estatística foi realizado o teste Anova One-Way que apontou diferença significativa entre os pontos amostrais, com valor $p < 0,05$. Por fim, foi realizado o teste de Dunnett, que apontou diferenças significativas entre os pontos A e B; e A e C, com valor $p < 0,05$.

Partindo do embasamento estatístico, é possível afirmar que os dados obtidos fornecem uma margem de confiabilidade alta e diferenças significativas entre pontos de coleta. Tornando assim, os resultados obtidos confiáveis.

Para análise de dados foram comparados os resultados obtidos no presente estudo com dados de relatórios atuais da CETESB e com o estudo de David & Fontanetti (2009), presente também em sua tese, David (2007). Sendo assim, a Tabela 3, representa os dados de concentração de poluentes no estuário de Santos, partindo dos dados utilizados por David (2007), a 20 anos atrás, em comparação com relatórios ambientais atuais.

Tabela 3. Concentração de poluentes nos sedimentos em pontos de monitoramento mais próximos dos três pontos amostrais (CETESB 2001 *apud* David 2007, CETESB 2019a, CETESB 2019b).

Poluentes analisados	CETESB (2001)			CETESB (2019a)	CETESB (2019b)			ISQG	PEL	
	<i>apud</i> David (2007)				Rio Branco	Canal de Piaçaguera				Canal de Santos
	Pontos	A	B	C		1	3			3
Metais Pesados ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	As	0,6	4,5	3,8	5,94	9,34	9,57	11,2	7,24	41,6
	Hg	0,4	0,7	0,6	0,02	0,32	0,2	0,16	0,13	0,7
	Cr	34,3	36,3	56	10,5	44,4	40,3	45,3	52,3	160
	Cd	0,98	<0,05	1,38	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,7	4,2
	Pb	26,3	15	219,6	12,1	28,5	22,9	25,8	30,2	112
	Cu	20,3	12	39,3	4,86	21,6	18,7	19,8	18,7	108
HPAs ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	2-metilnaftaleno	-	-	-	<20	138	23,7	<20	20,2	201
	Benzo(a)pireno	-	-	-	11,8	616	61	50	88,8	763
	Fluoranteno	-	-	-	25,5	909	54,5	38,9	113	1494
	Totais	37,46	620,73	320553,3	57,5	-	-	-	-	8040

Legenda: O ponto A do presente estudo corresponde ao Ponto Rio Branco do Relatório de Qualidade de Águas Interiores do Estado de São Paulo – CETESB (2019a); O ponto B do presente estudo se localiza entre os pontos de monitoramento 3 do Canal de Piaçaguera e ponto 3 do Canal de Santos dos relatórios da CETESB (2019b); O ponto C do presente estudo corresponde ao ponto de monitoramento 3 do Canal de Piaçaguera do relatório da CETESB (2019b). Valor limite para substâncias tóxicas para efeito limiar (ISQG); Valor limite para substâncias tóxicas para efeito severo (PEL); Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs).

Sendo assim, é válido ressaltar que ao longo dos anos os pontos de monitoramento da CETESB sofreram alteração, no entanto a título de comparação os dados abordados na Tabela 3 se aproximam entre si, e entre os pontos amostrais do presente estudo.

A partir da análise de comparação dos dados, foi possível pontuar que os animais coletados no Ponto A, utilizado neste estudo como ponto de referência, correspondem ao esperado. Estes denotam ausência para a maioria dos distúrbios em todos os organismos analisados, e os menores índices de alterações observados, variando de 2 a 11. No entanto, ainda se observa a ocorrência de distúrbios como, por exemplo, infiltração, de forma constante neste ponto.

Segundo Dang *et al.* (2020), estruturas branquiais funcionam como barreiras epiteliais de proteção, que, devido o contato direto com o meio, podem apresentar função alterada, ou até mesmo distúrbios na presença de contaminantes.

Uma possível justificativa é que mesmo em ambiente menos impactado por poluentes, como o Ponto A, a intensa urbanização da região continua por afetar o ecossistema ao redor, e seus organismos. Conforme o Relatório de Águas Interiores do Estado de São Paulo da CETESB de 2019, esta região apresenta eutrofização oriunda de efluentes domésticos, justificando a ocorrência de distúrbios leves neste ponto (CETESB 2019a). Ademais como Maioli *et al.* (2020) afirma, os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos - HPAs podem ser lançados no meio ambiente de diversas maneiras, como por resíduos urbanos e escoamento do solo.

Como observado David & Fontanetti (2009) moluscos sob efeitos tóxicos de contaminantes expressam respostas comportamentais e fisiológicas. Em seu estudo, foram analisadas células mucosas em resposta a condições ambientais, visto que estas podem apresentar aumento expressivo na presença de contaminantes tóxicos, como por exemplo,

metais pesados. Ademais, os animais observados no Ponto A deste estudo apresentaram os menores números de células mucosas.

De forma geral, os indivíduos do Ponto A do presente estudo apresentaram estruturas de brânquias sem ou com pouca alteração, se assemelhando a condições observadas 10 anos atrás por David & Fontanetti (2009).

O Ponto B, localizado em frente ao porto em sua margem esquerda, na Ilha Barnabé, é o ponto que apresenta maior influência da poluição. Os animais ali coletados apresentam os maiores índices de alteração, como apontado na Tabela 2. Além do mais, as exposições constantes aos poluentes, que ocorrem neste ponto, culminaram nos maiores valores de alterações e em altos níveis de importância. Sendo assim, a qualidade de água e sedimentos neste ponto induziu a alterações graves e irreversíveis como, por exemplo, tumores e necrose.

Os distúrbios observados neste ponto são relacionados com valores elevados para metais pesados e hidrocarbonetos, conforme a Tabela 3. Em adição evidenciam-se também alguns valores de concentração de poluentes acima do ISQG.

Segundo Maioli *et al.* (2010), HPAs são considerados contaminantes perigosos visto que são mais resistentes à biodegradação, persistentes em sedimentos e são bioacumuláveis, ou seja, são acumulados nos organismos vivos e biomagnificados a cada nível trófico. Ademais, apresentam alto potencial mutagênico e carcinogênico que justificam a grande quantidade de tumores observados nos animais do Ponto B, bem como a ocorrência de distúrbios mais graves como necrose.

Por conseguinte, conforme observado na Tabela 3, os dados apontam, também, para extrapolação para alguns metais pesados. Como se observa Arsênio (As), Mercúrio (Hg) e Cobre (Cu) com valores atuais acima do ISQG.

Segundo Hinojosa-Garro *et al.* (2020), metais pesados como arsênio, chumbo, mercúrio, cromo e cádmio podem ser extremamente tóxicos, mesmo em níveis baixos, quando ultrapassam concentrações naturais.

Evidencia-se também, que os resultados obtidos neste ponto provêm de impactos do Porto de Santos, e de suas atividades como processos de dragagem e a circulação constante de embarcações. Segundo Silva (2012), compostos químicos e contaminantes tóxicos são ressuspensos durante a dragagem, e podem se dissolver na água e/ou entrar em suspensão e contaminar o corpo hídrico, afetando a qualidade da água do estuário.

Outro fator que pode ser destacado é que embora a Lei 9.966 de 28 de Abril de 2000, em seu Art. 15 e 16 proíba a descarga de água de lastro em água sob jurisdição nacional (Brasil 2000), ainda há relatos da ocorrência desta atividade no interior do estuário de Santos. Este fato pode ser um agravante a poluição hídrica, pois como afirmado por Tolian *et al.* (2020), quando águas de lastro são captadas em áreas poluídas podem conter substâncias perigosas, como metais pesados, capazes de causar impactos negativos aos ecossistemas marinhos de destino.

Destaca-se também, que os indivíduos coletados neste ponto estavam em rochas próximas ao leito do estuário em maior proximidade com os sedimentos, que devido à baixa da maré foi possível a sua coleta. Este fator justifica a gravidade dos distúrbios observados, mesmo com valores de concentrações de alguns poluentes menores do que os encontrados no Ponto C.

Por conseguinte, se ressalta que conforme observado por David & Fontanetti (2009), os animais coletados no Ponto B, deste estudo, apresentaram os maiores valores de células mucosas. Este fato se deve as concentrações elevadas de contaminantes tóxicos presentes neste ponto em 2009. Dessa forma, é possível se afirmar que, comparado a situação de 10 anos atrás, o Ponto B continua sendo o mais impactado pela poluição do estuário de Santos.

Já o Ponto C embora apresente índices elevados de alteração, estes ainda são menores do que aqueles observados no Ponto B. Este fato é refletido nos resultados da Tabela 2, os quais

apresentam índices de alterações que variam entre 7 a 36. Ressalta-se ainda, que este ponto denota pouca ocorrência de distúrbios de maior valor de importância, entretanto alguns indivíduos ainda apresentam ocorrência de tumores, por exemplo. Denotam também, valores altos para distúrbios de menor valor de importância, como por exemplo, infiltração e alteração arquitetônica e estrutural.

Os resultados obtidos neste ponto se relacionam com a proximidade da COSIPA e com o trânsito de embarcações que se abastecem no terminal da companhia, mesmo que menos intenso.

Sendo assim, os valores da Tabela 3 denotam elevadas concentrações de poluentes tóxicos neste ponto, com valores ainda maiores do que os correlatos ao Ponto B. No entanto, os organismos coletados neste ponto foram encontrados em estruturas de concreto próximos à superfície, com uma distância maior dos sedimentos do que os organismos do Ponto B, justificando alterações maiores para este último.

Os resultados obtidos no Ponto C se assemelham ao estudo de David & Fontanetti (2009), que se observou valores altos de células mucosas, para seu Ponto C, com valores próximos ao Ponto B no entanto menores.

A replicação dos pontos amostrais de David & Fontanetti (2009), possibilitou aferir que o estuário de Santos ao longo do tempo não apresentou melhora em seu cenário da poluição portuária e industrial. Por conseguinte, a repetição deste biomonitoramento viabiliza alegar que a saúde ambiental do estuário de Santos, após uma década, continua prejudicial aos seus organismos, causando alterações comportamentais e fisiológicas graves e continuadas.

2.4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados do presente estudo foi possível afirmar que mesmo após o estuário de Santos experienciar processos de recuperação ambiental, ainda se observa ao decorrer dos anos, altas concentrações de poluentes na região. Estes fatos se embasam no último

estudo de biomonitoramento em 2009 e atualmente através do presente estudo de monitoramento ambiental.

Este aumento continua por impactar a saúde do ecossistema do estuário de Santos, e, por conseguinte, dos organismos que ali vivem, como o molusco *M. falcata*.

Os resultados de 10 anos atrás, bem como os atuais, evidenciam as atividades de trânsito constante de embarcações do porto de Santos, dragagem e lançamento de efluentes industriais como fatores determinantes para a poluição do estuário de Santos, impactando negativamente a região.

Logo, o estuário de Santos reflete uma situação ambiental preocupante, novamente evidenciando que é imprescindível que avaliemos o desenvolvimento humano, a fim de nos questionar. Nessa perspectiva restam dúvidas quanto ao rumo da saúde ambiental da região. O estuário de Santos será um exemplo catastrófico novamente? O desenvolvimento em prol da demanda humana irá sempre suprimir o meio ambiente em seu entorno? Estamos caminhando rumo ao desenvolvimento insustentável?

REFERÊNCIAS

- BERNET, D., SCHMIDT, H., MEIER, W., BURKHARDT-HOLM, P. & WAHLI, T. 1999. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. *Journal Of Fish Diseases*, 22(1): 25-34. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2761.1999.00134.x>
- BERTHELSEN, A., CASANOVAS, P., CLAPCOTT, J., CLARK, D., WAGENHOFF, A., PATTERSON, M. & SINNER, J. 2020. Relationships in ecological health between connected stream and estuary ecosystems. *Ecological Indicators*, 115: 1-13. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106374>>
- BRASIL. Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 137, n. 82-A, p. 1, 29 abr. 2000.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2018. *50 anos de história e estórias*. São Paulo: CETESB, 102 p.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2019a. *Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2019*. São Paulo: CETESB. 366 p.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2019b. *Qualidade das águas costeiras no estado de São Paulo 2019*. São Paulo: CETESB. 204 p.
- CODESP, Companhia Docas Estado de São Paulo. 2006. In: Plano de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ) do Porto de Santos. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/pdz29-pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- DANG, M., PITTMAN, K., SONNE, C., HANSSON, S., BACH, L., SØNDERGAARD, J., STRIDE, M. & NOWAK, B. 2020. Histological mucous cell quantification and mucosal mapping reveal different aspects of mucous cell responses in gills and skin of shorthorn sculpins (*Myoxocephalus scorpius*). *Fish & Shellfish Immunology*, 100: 334-344. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fsi.2020.03.020>>
- DAVID, J.A.O. & FONTANETTI, C.S. 2009. The Role of Mucus in *Mytella falcata* (Orbigny 1842) Gills from Polluted Environments. *Water, Air, And Soil Pollution*, 203(1-4): 261-266. <<http://dx.doi.org/10.1007/s11270-009-0009-9>>
- DAVID, J.A.O. 2007. *Estudo de Mytella falcata (Mollusca, Bivalvia) como indicador de efeitos genotóxicos e citotóxicos no estuário de Santos, SP*. 205 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas: Biologia Celular e Molecular) - Instituto de Biociências de Rio Claro. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.
- DAVID, J.A.O., SALAROLI, R.B., FONTANETTI, C.S. 2008. Fine structure of *Mytella falcata* (Bivalvia) gill filaments. *Micron*, 39(3): 329-336. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.micron.2007.06.002>>
- FERREIRA FILHO, C. B. 2015. *A (Toxi)Cidade de Cubatão: História Ambiental, Desastres Tecnológicos e a Construção do Imaginário Ambiental da Cidade Tóxica na Década de 1980*.

114 f. Dissertação (Mestrado em História) - Curso de História. Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná, Irati, 2015.

FERREIRA, L. G. 2007. *A gestão do pólo industrial de Cubatão a partir do programa de controle da poluição iniciado em 1983: atores, instrumentos e indicadores*. 289 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) – Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FERREIRA, L.C. 1991. *Os Fantasmas do Vale: representações e modos de ação social em Cubatão*, 233 f. Dissertação (Mestrado em Sociologia) - Curso de Sociologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991.

HINOJOSA-GARRO, D., OSTEN, J. R-V. & DZUL-CAAMAL, R. 2020. Banded tetra (*Astyanax aeneus*) as bioindicator of trace metals in aquatic ecosystems of the Yucatan Peninsula, Mexico: experimental biomarkers validation and wild populations biomonitoring. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 195(1): 1-10.<<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110477>>

JESUS, M.S.S., FRONTALINI, F., BOUCHET, V.M.P., YAMASHITA, C., SARTORETTO, J.R., FIGUEIRA, R.C.L. & SOUSA, S.H.M. 2020. Reconstruction of the palaeo-ecological quality status in an impacted estuary using benthic foraminifera: the Santos estuary (São Paulo state, se Brazil). *Marine Environmental Research*, 162: 105-121.<<http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105121>>

KLANOVICZ, J., FERREIRA FILHO, C.B. 2018. A fabricação de uma cidade tóxica: a tribuna de santos e os desastres tecnológicos de Cubatão (Brasil) na década de 1980. *Revista Cadernos do Ceom*, 31(48): 10-20.< <http://dx.doi.org/10.22562/2018.48.01>>

LOPES, R.M., HAUSER-DAVIS, R.A., OLIVEIRA, M.M., PIERINI, M.F., SOUZA, C.A.M., CAVALCANTE, A.L.M., SANTOS, C.R., COMARĎ, M.W. & TINOCA, L.A.F. 2020. Principles of problem-based learning for training and professional practice in ecotoxicology. *Science Of The Total Environment*, 702: 1-7.<<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134809>>

MAIOLI, O. L.G., RODRIGUES, K.C., KNOPPERS, B.A. & AZEVEDO, D.A. 2010. Polycyclic aromatic and aliphatic hydrocarbons in *Mytella charruana*, a bivalve mollusk from Mundaú Lagoon, Brazil. *Microchemical Journal*, 96(1): 172-179. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2010.03.001>>

MILARÉ, É. & MAGRI, R.V.R. 1992. Cubatão um modelo de desenvolvimento não-sustentável. *São Paulo em Perspectiva*, 1(6): 99-105.

PEREIRA FILHO, J., SPILLERE, L.C. & SCHETTINI, C.A.F. 2003. Dinâmica de nutrientes na região portuária do rio Itajaí-Açu, SC. *Atlântica, Rio Grande*, 25(1): 11-20.

PINTO, C. S. 2015. *PAISAGEM INDUSTRIAL EM CUBATÃO-SP: O caso da Companhia Fabril e da Usina Henry Borden*. 181 f. Dissertação (Mestrado em Teoria da História e Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SILVA, O.R. & GOMES, M.B.M. 2012. Impactos das Atividades Portuárias no Sistema Estuarino de Santos. *Revista Metropolitana de Sustentabilidade*, 2(2): 64-81.

SOUZA, C. D. C. 2006. *Planejamento urbano e políticas públicas em projetos de requalificação de áreas portuárias: Porto de Santos - desafio deste novo século*. 277 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

TOLIAN, R., MAKHSOOSI, A.H. & BUSHEHRI, P.K. 2020. Investigation of heavy metals in the ballast water of ship tanks after and before the implementation of the ballast water convention: bushehr port, persian gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 157: 111-378.<<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111378>>

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do presente estudo é possível ter uma visão histórica sobre a poluição no Estuário de Santos. Não obstante, este evidencia, também, fatos sobre a saúde do estuário, que após sofrer com adversidade e passar por processo de recuperação ambiental, ainda assim não apresenta condições favoráveis aos seus organismos.

A contínua poluição hídrica no estuário de Santos acarreta em alterações fisiológicas e morfológicas em sua biota, observadas há aproximadamente 10 anos atrás e recorrente na realização do presente estudo.

O crescimento e desenvolvimento humano não podem acontecer em detrimento do meio ambiente, uma vez que podem provocar consequências catastróficas, como já observadas na região. Sendo assim se abre o questionamento: Qual a magnitude real da poluição no estuário de Santos? Ele está caminhando para um ambiente sem vida? É compensatório investir em um desenvolvimento insustentável?

Devemos cada vez mais nos atentar ao impacto causado pelo homem, procurar remediá-lo e buscar um desenvolvimento sustentável. Buscar como valor o respeito ao meio ambiente, e ter a certeza que é junto a ele que evoluímos, e não ao detrimento do mesmo.

REFERÊNCIAS

BERTHELSEN, A. *et al.* Relationships in ecological health between connected stream and estuary ecosystems. **Ecological Indicators**, [s.l.], v. 115, p. 1-13, Ago. 2020. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106374>.

BOFFI, A.V. **Moluscos brasileiros de interesse médico e econômico**. HUCITEC: São Paulo, 1979.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins, e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 119, n. 167, p. 16.509, 31 ago. 1981.

CIESP (Centro das Indústrias do Estado de São Paulo). Pólo industrial de Cubatão – Relatório Anual 2014.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução nº430, de 13 de maio de 2011, “Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº357/2005 do CONAMA”. Publicada no **Diário Oficial da União**: nº 92, de 16 de maio de 2011.

DANG, Mai *et al.* Histological mucous cell quantification and mucosal mapping reveal different aspects of mucous cell responses in gills and skin of shorthorn sculpins (*Myoxocephalus scorpius*). **Fish & Shellfish Immunology**, [s.l.], v. 100, p. 334-344, Mai. 2020. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fsi.2020.03.020>.

DAVID, J.A.O. **Estudo de *Mytella falcata* (Mollusca, Bivalvia) como indicador de efeitos genotóxicos e citotóxicos no estuário de Santos, SP**. 2007. 205 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

DAVID, José Augusto de Oliveira; FONTANETTI, Carmem S.. The Role of Mucus in *Mytella falcata* (Orbigny 1842) Gills from Polluted Environments. **Water, Air, And Soil Pollution**, [s.l.], v. 203, n. 1-4, p. 261-266, 25 Fev. 2009. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-009-0009-9>.

DAVID, José Augusto de Oliveira; SALAROLI, Renato B.; FONTANETTI, Carmem S. Fine structure of *Mytella falcata* (Bivalvia) gill filaments. **Micron**, [s.l.], v. 39, n. 3, p. 329-336, Abr. 2008. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micron.2007.06.002>.

HINOJOSA-GARRO, Demián *et al.* Banded tetra (*Astyanax aeneus*) as bioindicator of trace metals in aquatic ecosystems of the Yucatan Peninsula, Mexico: experimental biomarkers validation and wild populations biomonitoring. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [s.l.], v. 195, n. 1, p. 1-10, Jun. 2020. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110477>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE. **População**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/santos/panorama>. Acesso em: 10 mar. 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE. Santos. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/santos.html>. Acesso em: 10 mar. 2020.

JESUS, Márcio S. dos S. de *et al.* Reconstruction of the palaeo-ecological quality status in an impacted estuary using benthic foraminifera: the Santos estuary (São Paulo state, se brazil). **Marine Environmental Research**, [s.l.], v. 162, p. 105-121, Dez. 2020. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105121>.

KAMALI, Mohammadreza *et al.* Sustainability considerations in membrane-based technologies for industrial effluents treatment. *Chemical Engineering Journal*, [s.l.], v. 368, p. 474-494, Jul. 2019. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.075>.

KIMBROUGH, K. L., W. E. JOHNSON, G. G. LAUENSTEIN, J. D. CHRISTENSEN and APETI, D. A. **An Assessment of Two Decades of Contaminant Monitoring in the Nation's Coastal Zone**. Silver Spring, MD. 105 f. NOAA Technical Memorandum. 2008.

LIU, Jianwei *et al.* Interannual variation, ecological risk and human health risk of heavy metals in oyster-cultured sediments in the Maowei Estuary, China, from 2011 to 2018. **Marine Pollution Bulletin**, [s.l.], v. 154, p. 1-2, Mai. 2020. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111039>.

LOPES, Renato Matos *et al.* Principles of problem-based learning for training and professional practice in ecotoxicology. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 702, p. 1-7, Fev. 2020. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134809>.

MAIOLI, Otávio L. *et al.* Polycyclic aromatic and aliphatic hydrocarbons in *Mytella charruana*, a bivalve mollusk from Mundaú Lagoon, Brazil. **Microchemical Journal**, [s.l.], v. 96, n. 1, p. 172-179, Set. 2010. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2010.03.001>.

NARCHI, Walter; GALVÃO-BUENO, Mario Sergio. Anatomia funcional de *Mytella charruana* (d'Orbigny, 1846) (Bivalvia: mytilidae). **Boletim de Zoologia**, [s.l.], v. 6, n. 6, p. 113-145, 14 Dez. 1983. Universidade de Sao Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas-SIBiUSP. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2526-3358.bolzoo.1983.121956>.

PEREIRA FILHO, J.; SPILLERE, L.C.; SCHETTINI, A.A.F. Dinâmica de nutrientes na região portuária do rio Itajaí-Açu, SC. **Atlântica, Rio Grande**, Rio Grande, v. 25, n. 1, p.11-20, 2003.

ROVERSI, F.; ROSMAN, P.C.C.; HARARI, J. Análise das trajetórias das águas continentais afluentes ao sistema estuarino de Santos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p.242-250, Jan./Mar. 2016.

SÃO PAULO. **Lei nº 118, de 29 de junho de 1973**. Autoriza a constituição de uma sociedade por ações, sob denominação de CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle da Poluição das Águas, e dá providências correlatas. São Paulo: Assembléia Legislativa, [1973]. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1973/lei-118-29.06.1973.html#:~:text=Autoriza%20a%20constitui%C3%A7%C3%A3o%20de%20uma,%C3%81guas%2C%20e%20d%C3%A1%20provid%C3%A2ncias%20correlatas>>. Acesso em: 01 abr. 2021.

THANEKAR, Pooja; GOGATE, Parag R. Improved processes involving hydrodynamic cavitation and oxidants for treatment of real industrial effluent. **Separation and Purification Technology**, [s.l.], v. 239, p. 01-10, Mai. 2020. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116563>.

WILHELMSSON, Dan *et al.* Marine Pollution. In: NOONE, Kevin J.; SUMAILA, Ussif Rashid; DIAZ, Robert J. **Managing Ocean Environments in a Changing Climate: Sustainability and Economic Perspectives**. San Diego: Elsevier, 2013. p. 127-169.