

Prêmio ANTAQ 2023 - Categoria Artigo Técnico-Científico

Inovação e Tecnologia no Monitoramento Ambiental Continuado do Porto do Rio Grande

Resumo

O monitoramento ambiental é uma etapa essencial da implementação de qualquer sistema de identificação e controle de riscos e impactos ambientais, e necessário para garantir o desenvolvimento de atividades portuárias com mínimo impacto negativo ao meio ambiente. O Porto do Rio Grande (Portos RS) desenvolve há 18 anos o Programa de Monitoramento Ambiental Continuado do Porto do Rio Grande em parceria com uma universidade pública do Sul do Brasil. Recentemente, o Programa passou por profunda revisão de metodologias e estratégias, implementando tecnologias de monitoramento ambiental de última geração aplicadas em portos do mundo inteiro. Este artigo apresenta um breve relato sobre a evolução histórica do Programa de Monitoramento Ambiental Continuado do Porto do Rio Grande (2006-2023), destacando o compromisso das instituições envolvidas com o entendimento e manejo adequado de questões ambientais de alta relevância em áreas portuárias. O foco no desenvolvimento sustentável e no uso de metodologias inovadoras para além das exigências ambientais legais, e aplicado a diversos táxons e compartimentos ecossistêmicos, pode servir de referência para outros portos no Brasil e no mundo.

Palavras-chave: Portos, Monitoramento Ambiental, Porto do Rio Grande, Estuário da Lagoa dos Patos

Abstract

Environmental monitoring is an essential part of the implementation of any system for identifying and controlling environmental risks and impacts, and necessary to ensure the development of port activities with minimal negative impact on the environment. The Port of Rio Grande (Portos RS) has been developing the Port of Rio Grande Continuous Environmental Monitoring Program for 18 years in partnership with a public university in southern Brazil. Recently, the Program underwent an in-depth review of methodologies and strategies, implementing state-of-the-art environmental monitoring technologies applied in ports around the world. This article presents a brief report on the historical evolution of the Port of Rio Grande Continuous Environmental Monitoring Program (2006-2023), highlighting the commitment of the institutions involved with the understanding and adequate management of highly relevant environmental issues in port areas. The focus on sustainable development and the use of innovative technologies beyond legal environmental requirements, and applied to different taxa and ecosystem compartments, can serve as a reference for other ports in Brazil and around the world.

Keywords: Ports, Environmental Monitoring, Port of Rio Grande, Patos Lagoon Estuary

1. Introdução

A preocupação mundial com o desenvolvimento sustentável dos sistemas portuários surgiu na década de 1990, gerando vasta produção acadêmica, que vai desde trabalhos conceituais até o projeto de sistemas de gestão ambiental e boas práticas. Entretanto, existem poucas contribuições metodológicas para tentar medir a sustentabilidade portuária.

Por outro lado, existe um entendimento mundial de que os impactos ambientais causados por atividades relacionadas aos portos devem ser reduzidos (Trozzi e Vaccaro, 2020), e o primeiro passo nesta direção é o adequado manejo de questões ambientais, o que requer o monitoramento ambiental continuado destas regiões (Darbra et al., 2009). Logo, o monitoramento é uma parte essencial da implementação de qualquer sistema de manejo ambiental e necessário para garantir que os administradores portuários estejam melhor preparados para responder a qualquer eventualidade que venha a acontecer num porto, incluindo situações de emergência. Além disso, as informações geradas são fundamentais para orientar novos empreendimentos portuários, permitindo identificar áreas mais sensíveis, com maior biodiversidade e que proveem serviços ecossistêmicos relevantes.

Esta concepção tem sido seguida pelo Porto do Rio Grande, que faz parte do sistema hidroportuário do Estado do Rio Grande do Sul (Fig. 1A), o qual é composto pelos Portos de Rio Grande, Pelotas, e Porto Alegre e 17 Terminais de uso privado sob a responsabilidade da Portos RS (<https://www.portosrs.com.br/site>). O Porto do Rio Grande opera legalmente desde 1997 através do licenciamento ambiental federal do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Enquanto instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente, o licenciamento ambiental tem como objetivo compatibilizar o desenvolvimento econômico-social com um meio ambiente ecologicamente equilibrado, permitindo que o Porto execute suas atividades em condições ambientais legalmente estabelecidas. Por outro lado, estabelece uma série de condicionantes e responsabilidades por parte da Autoridade Portuária no sentido de atender critérios ambientais determinados.

Dentre as atividades sob responsabilidade da Portos RS necessárias para a manutenção do licenciamento ambiental do Porto do Rio Grande figura a execução de um Programa de Monitoramento Ambiental Continuado para o monitoramento e conservação da comunidade bentônica, da ictiofauna, da ornitofauna, dos cetáceos e da bioacumulação de metais pesados e microcontaminantes orgânicos, desenvolvido desde 2006. Com base na experiência de um grupo consolidado de pesquisadores especializados nas diferentes áreas que compõe este Programa ao longo dos seus 18 anos, e em consonância com discussões recentes com a Diretoria de Meio Ambiente (DAM/Portos RS), foi elaborada uma proposta revisada e atualizada com metodologias inovadoras de última geração para o monitoramento do possível impacto das atividades portuárias no estuário da Lagoa dos Patos e região marinha adjacente, alinhada com estratégias amostrais já aplicadas em outros portos no mundo. As atividades executadas atendem às condicionantes nº 2.14, 2.15, 2.16, 2.17 e 2.18 e complementarmente as condicionantes nº 2.4 e nº 2.36 da Licença de Operação nº 03/1997 (3ª renovação) do Porto do Rio Grande, dos Pareceres Técnicos nº167/2022-COMAR/CGMAC/DILIC e nº37/2022-COMAR/CGMAC/DILIC, do IBAMA.

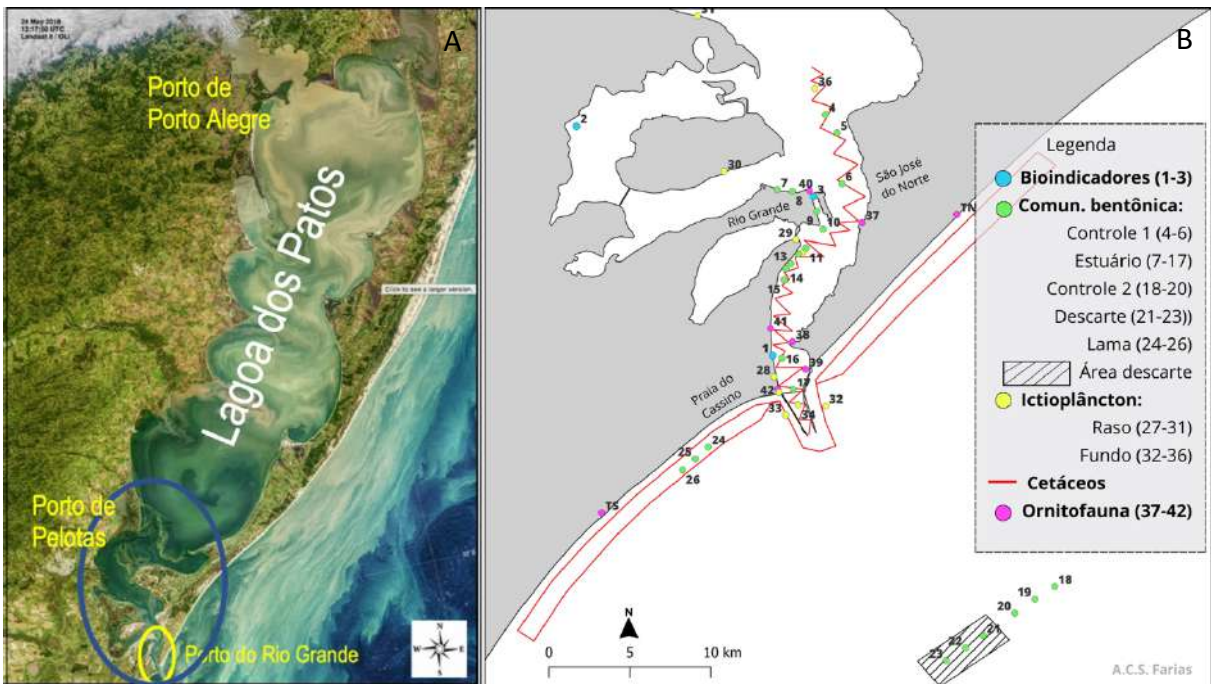


Figura 1 – A) A Lagoa dos Patos, seu estuário (destacado em azul) e o sistema hidroportuário do Estado do Rio Grande do Sul. Em amarelo, destaque para os Portos de Porto Alegre, Pelotas e Rio Grande (<http://www.portosrs.com.br>). B) Estações de amostragem do atual Programa de Monitoramento Contínuo do Porto do Rio Grande.

2. Marco Conceitual

O estado da arte sobre metodologias de monitoramento ambiental em regiões portuárias será abordado com base nas áreas de interesse do Programa de Monitoramento Ambiental Contínuo do Porto do Rio Grande, mas esta abordagem não exclui a relevância de outros aspectos ambientais não tratados aqui.

Por muitos anos, o Programa utilizou como estratégia de monitoramento a análise da contaminação na coluna de água e em organismos bioindicadores. Entretanto, a bioacumulação nos bioindicadores depende de diversos fatores físicos, químicos e biológicos, o que dificulta a interpretação de resultados individualizados, tornando a amostragem convencional da coluna de água pouco representativa. Neste sentido, amostradores passivos estão sendo cada vez mais utilizados para o estudo de microcontaminantes orgânicos (Vrana et al., 2018) e metais-traço (Davison e Zhang, 2012) no ecossistema aquático. A amostragem passiva apresenta menor custo e uma menor quantidade de interferentes analíticos, além de integrar a concentração do analito ao longo do tempo de amostragem, evitando a variabilidade pontual/momentânea e possibilitando avaliações relacionadas à sazonalidade ou em distintas áreas geográficas. Adicionalmente, possibilita estimar os contaminantes potencialmente lábeis (biodisponíveis) à biota na coluna d'água (O'Hara, 2009).

Dentre os amostradores passivos mais utilizados no estudo da contaminação por compostos orgânicos hidrofóbicos, a borracha de silicone se destaca (Smedes et al., 2010), a qual é baseada na difusão passiva de contaminantes hidrofóbicos da fase aquosa para o amostrador. Portanto, a aplicação de amostragens passivas em monitoramentos de contaminação ambiental por compostos hidrofóbicos como tributilestanho (TBT), hidrocarbonetos poliaromáticos (HPAs) e compostos

organoclorados pode reduzir significativamente a variabilidade temporal em comparação com amostragens de água, facilitando a identificação de tendências temporais de longo prazo.

Em relação aos metais-traço, o maior risco ecológico está associado à sua fração lábil ou potencialmente biodisponível, porque são facilmente acumulados pelos organismos quando estão na forma de íons livres ou fracamente complexados. Portanto, quantificar a concentração total de uma espécie química não reflete necessariamente o seu potencial tóxico aos organismos. Desta forma, ferramentas como a técnica DGT (*Diffusive Gradients in Thin Films* ou Gradientes Difusivos de Membrana Fina) foram desenvolvidas para permitir a determinação da fração lábil ou potencialmente biodisponível de metais traço.

Devido a esta particularidade da técnica, a mesma foi implantada com sucesso em ambientes estuarinos com condições hidrodinâmicas complexas e físico-químicas muito variáveis (Dunn et al., 2003). O uso de amostradores passivos DGT para metais-traço em estuários no Brasil está bem documentado em trabalhos no estuário da Lagoa dos Patos (Costa e Wallner-Kersanach, 2013) e em outros estuários do Brasil (Umbria-Salinas et al., 2021).

Em relação a comunidade de peixes presente em regiões costeiras e portuárias, os ecólogos reconhecem cada vez mais que uma análise desta comunidade baseada em atributos funcionais pode ser mais abrangente e útil do que as análises tradicionais baseadas somente na diversidade ou composição taxonômica (McGill et al., 2006), pois permitem uma descrição mais precisa da organização e funcionalidade das comunidades biológicas (Mouchet et al., 2013). Isso porque a ecologia funcional classifica as espécies em grupos com base na semelhança da função (e não apenas na sua identidade taxonômica), sendo uma abordagem útil para estudar a coexistência, redundância e interações entre as espécies (Ceulemans et al., 2019). Portanto, atributos funcionais das espécies são úteis para avaliar possíveis impactos associados com atividades portuárias, pois permitem avaliar efeitos não apenas na estrutura (e.g., composição de espécies, diversidade, abundância), mas também ao longo das cadeias alimentares que sustentam as comunidades de peixes.

Por outro lado, as respostas dos organismos marinhos bentônicos a modificações em seus ambientes podem ser analisadas por uma variedade de métodos. As estratégias *Before-After Control-Impact (BACI)* (Stewart-Oaten e Bence, 2001) e suas extensões (*Beyond BACI, Multiple BACI*) (Underwood 1993) são consideradas metodologias amostrais robustas em investigações que buscam distinguir entre variabilidade de origem natural e antrópica no bentos marinho. A robustez desse método está na possibilidade de analisar a variabilidade espacial (Controle-Impacto) e temporal (Antes-Depois), e as suas interações (Braun et al., 2019). Um delineamento amostral adequado que aplique o método *BACI* ou suas variações é considerado, portanto, o estado da arte para identificar possíveis impactos ambientais e alterações de habitat (Smokorowski e Randall, 2017). O monitoramento das respostas da macrofauna bentônica às atividades portuárias e dragagens tem utilizado tal estratégia em portos como Guadalquivir, Espanha (Donázar-Aremendía et al., 2018), Ria Formosa, Portugal (Piló et al., 2019) e Rotterdam, Holanda (Boon e Dalfsen, 2022).

Estimativas e monitoramento de parâmetros populacionais dos cetáceos que descrevem a história de vida de uma espécie (p.ex., tendências na abundância, nas taxas reprodutivas e de sobrevivência), bem como de parâmetros que indicam a saúde individual, populacional e do ecossistema (p.ex., níveis de contaminantes e de hormônios relacionados ao estresse), em áreas de influência portuária em comparação com áreas controle (zona marinha adjacente) são abordagens

fundamentais para avaliar como a espécie responde aos impactos causados pelas atividades humanas. Esta abordagem comparativa entre área de influência portuária e área controle permite ainda determinar os Limites de Alterações Aceitáveis – LAA (*Limits of Acceptable Changes – LAC*) nos parâmetros vitais desta população de botos. Embora estudos similares tenham sido realizados em estuários semelhantes ao da Lagoa dos Patos, como o estuário de Peel Harvey, no oeste australiano (e.g. Nicholson, 2021) e em Moray Firth, na Escócia (Pirotta et al., 2015), com base num levantamento bibliográfico, o estuário da Lagoa dos Patos é o único que dispõe de uma série de dados contínuos coletados sistematicamente para o monitoramento de uma população de golfinhos em área portuária.

O monitoramento das aves em áreas portuárias em diferentes locais do planeta tem comumente o foco na composição das comunidades e espécies de particular interesse, seja por serem migratórias, em risco de extinção ou por reproduzirem nestas áreas. A experiência no Reino Unido inclui uma fase crucial de aprendizado quanto às abordagens, grupos de interesse e metodologias (Morris e Gibson, 2007). Nesta fase definiu-se amostragens de áreas importantes a partir de critérios e da legislação europeia incluindo, além da obtenção de dados, a proposição de medidas compensatórias ou impeditivas à ampliação de infraestruturas que afetem espécies de interesse com populações substanciais na área.

Adicionalmente, em portos da Holanda, o rastreamento de uma espécie frequente indicou diferenças no forrageamento em relação ao sexo e ao uso de estruturas (como poleiros) associadas a atividades portuárias (Fijn et al., 2021). Também na Europa, no Porto de Zeebrugge, Bélgica, foram definidas ações de restauração ecológica (i.e., reconstrução de bancos de areia), que propiciaram habitats adequados à reprodução de trinta-réis (*Sterninae*), a partir dos dados de monitoramento. Esta espécie migratória é abundante na região estuarina e costeira de Rio Grande. Na China, o Porto da Baía de Tongzhou desenvolveu planejamento para ampliação considerando a manutenção e aumento de áreas utilizadas como habitats de alimentação de maçaricos (*Scolopacidae*) migratórios com base no monitoramento, visando compatibilizar o desenvolvimento portuário com a manutenção das populações de aves costeiras (Muller et al., 2020).

3. Metodologia - Uma construção com base em 18 anos do Programa de Monitoramento Ambiental Continuado do Porto do Rio Grande (2006 – 2023)

3.1. Programa de Monitoramento da Bioacumulação de Metais Pesados e Microcontaminantes Orgânicos

O monitoramento no estuário da Lagoa dos Patos utilizando bioindicadores foi proposto visando verificar a qualidade do ambiente. Os resultados da primeira década de monitoramento, entretanto, não ofereceram uma compreensão aprofundada desta problemática. Embora organismos sésseis como bivalves sejam conhecidos por serem mais apropriados para este tipo de estudo, infelizmente não são encontrados no estuário da Lagoa dos Patos (Fig. 1). Os organismos indicadores que vinham sendo utilizados (peixes e camarão), por outro lado, muitas vezes impossibilitavam uma adequada avaliação dos locais mais impactados pelo aporte antropogênico em razão da sua mobilidade. Além disso, a avaliação da contaminação no músculo de

bioindicadores também se mostrou questionável, pois os contaminantes em estudo se acumulam preferencialmente em tecidos com maior teor de lipídios e/ou metabolismo mais elevado que o músculo, sendo mais apropriado utilizar tecidos como fígado ou brânquias para avaliar os possíveis impactos.

Uma estratégia empregando amostradores passivos expostos na coluna de água (Fig. 2), juntamente com a análise de tecidos (fígado e músculo) de peixes no estuário, foi recentemente proposta para avaliar o impacto das atividades antrópicas nas áreas sob influência do Porto do Rio Grande. A atual estratégia de monitoramento compreende o uso de 2 tipos de amostradores (Fig. 2), sendo um para microcontaminantes orgânicos (borracha de silicone) e um para metais-traço (DGT), os quais ficam expostos em 3 locais no estuário (Fig. 1B), definidos em base no aporte proveniente das atividades portuárias e a segurança para os amostradores não serem perdidos por vandalismo. As borrachas de silicone são expostas 4 vezes ao ano, tendo cada coleta uma duração de 3 meses, enquanto os amostradores DGT são expostos 6 vezes ao ano, tendo cada coleta uma duração de 48 h.



Figura 2 - Estrutura de exposição dos amostradores passivos: à esquerda para os microcontaminantes orgânicos e à direita para os metais-traço.

3.2. Programa de Monitoramento e Conservação da Ictiofauna

O estuário da Lagoa dos Patos e região costeira adjacente (Fig. 1), representa um importante berçário natural para dezenas de espécies de peixes, das quais várias, como a tainha, o peixe-rei e a corvina, são importantes para a pesca artesanal da região (Haimovici e Cardoso, 2016). Atualmente, mais de 120 espécies já foram registradas, sendo que novos registros de espécies vêm ocorrendo continuamente nos últimos anos e décadas (Vieira et al., 2010). Devido as mudanças climáticas, particularmente o aumento da temperatura dos oceanos associada ao aquecimento global, vem ocorrendo mudanças significativas na composição de espécies com expansão de sua ocorrência dos trópicos para as zonas subtropicais/temperadas. Portanto, existe a expectativa que esse processo venha a ocorrer no estuário da Lagoa dos Patos, o que acarretaria mudanças na atual composição de espécies de peixes na região (Vollrath et al., 2023). As interações dessas mudanças globais com impactos regionais e locais associadas a atividades humanas, como a atividade portuária, ainda é pouco compreendida.

Nesse contexto, o monitoramento da ictiofauna do Porto do Rio Grande que vem sendo realizado nas últimas décadas tem sido importante para avaliar com rapidez e

acurácia os impactos de possíveis acidentes e alterações ambientais na região portuária. A experiência adquirida ao longo deste período indica que o monitoramento dos peixes apenas com atributos ecológicos tradicionais, como a composição de espécies, abundância e diversidade, pode resultar em diagnósticos limitados sobre os impactos das ações humanas. De forma crescente, os pesquisadores têm utilizado a análise de atributos funcionais das comunidades biológicas como uma ferramenta importante na avaliação de impactos ambientais e antrópicos (Strong et al., 2015; Mao et al., 2021).

Logo, o atual monitoramento da ictiofauna na região do Porto do Rio Grande ampliou e atualizou sua abordagem metodológica (Fig. 1B) com a inclusão da análise de atributos funcionais. Essa abordagem funcional tem sido aplicada com sucesso para avaliar a resposta de comunidades biológicas ao estresse ambiental e perturbações antrópicas (Strong et al., 2015) e tem grande potencial de ser usada no monitoramento ambiental de atividades portuárias.

Pesquisas mais recentes com a ictiofauna do estuário da Lagoa dos Patos combinaram atributos funcionais dos peixes com características relacionadas ao uso do habitat estuarino (e.g. estuarino-residentes, estuarino-dependentes, visitantes de água doce, entre outros) e ao uso de recursos alimentares (e.g., zooplânctívoros, detritívoros, herbívoros, piscívoros, entre outros), as quais revelaram respostas funcionais frente a variações ambientais locais e climáticas. (Possamai et al., 2018). A partir dessa experiência, o atual monitoramento da ictiofauna no estuário ampliou o número de atributos funcionais (e.g., incluindo aspectos reprodutivos dos peixes) visando uma análise mais abrangente das funcionalidades desses grupos e suas possíveis respostas aos impactos ambientais e antrópicos.

3.3. Programa de Monitoramento e Conservação da Comunidade Bentônica

Diferentes estratégias amostrais foram adotadas no interior do estuário da Lagoa dos Patos e na plataforma interna ao longo dos anos do Programa de Monitoramento e Conservação da Comunidade Bentônica. O desenho inicial (2006) do monitoramento compreendia amostragens bi-sazonais (~ 45 dias; duas vezes por estação) de 11 pontos (1 controle à jusante, 1 disposto em área potencial para descarte de material dragado, e 9 pontos no canal de navegação). A partir dos resultados obtidos e de orientações do IBAMA, o descarte de material dragado no interior do estuário foi abandonado. Com nova demanda pelo monitoramento adicional dos Terminais Portuários, as amostragens foram executadas semestralmente (verão/inverno) nos 11 Terminais e em 2 pontos à jusante (controle). Por fim, em 2018 foi aumentado o esforço amostral para amostragens sazonais de primavera, verão, outono e inverno nos mesmos pontos.

Na região de plataforma interna, região onde atualmente ocorrem os despejos de material dragado pelo Porto do Rio Grande, o desenho amostral inicial previa o monitoramento sazonal de apenas 2 pontos (um no interior do polígono de descarte estabelecido pelo IBAMA e um outro ponto controle). A ocorrência de depósitos de lama na Praia do Cassino levou à evolução desta estratégia, sendo incluído o monitoramento de 2 pontos no canal de navegação externo aos Molhes da Barra do Rio Grande, de 2 pontos próximos à Praia do Cassino, e de 2 pontos nas áreas de descarte e controle.

No período de mais de uma década, o monitoramento das comunidades bentônicas envolveu amostragens gradativamente mais refinadas e direcionadas a demandas específicas do IBAMA e da Autoridade Portuária. Também foi sendo

evidenciada, entretanto, a necessidade de uma reformulação do plano amostral que propiciasse a realização de análises ainda mais robustas, concomitantes à necessária otimização do grande esforço amostral, a implementação de um monitoramento específico associado às dragagens e a priorização do estabelecimento de mais pontos controle, para o maior equilíbrio nos testes estatísticos dos resultados ecológicos.

Atualmente (2023), o desenho amostral do Programa de Monitoramento e Conservação da Comunidade Bentônica do Porto do Rio Grande (Fig. 1B) contempla amostragens sazonais (sempre ao final de cada estação: primavera, verão, outono e inverno) em 3 pontos controle (mantidos os 2 históricos, mais 1 adicional), em 8 pontos distribuídos no estuário da Lagoa dos Patos, e em apenas 3 Terminais Portuários, selecionados em função da natureza de suas atividades e potencial risco ambiental (movimentação de produtos químicos, de derivados de petróleo e de fertilizantes agrícolas e nitratos). A redução do número de Terminais monitorados permitiu a otimização do esforço através do redirecionamento do “n” amostral total para o aprimoramento da malha amostral do monitoramento. Assim, se tornou viável o estabelecimento de mais pontos controle e o acompanhamento de possíveis efeitos de dragagens com experimentos direcionados de curto prazo.

Um desenho amostral mais robusto também foi idealizado para a região de plataforma interna (Fig. 1B). A sua execução é sazonal através do monitoramento de 3 pontos localizados no interior do polígono de descarte do material dragado em isóbatas de 22-23 m, 3 pontos controle localizados nas mesmas isóbatas, e outros 3 pontos distribuídos próximos à Praia do Cassino.

Apesar da modificação da estratégia amostral ao longo dos anos, é importante destacar que sempre foi mantida a utilização de modelos de equipamentos busca-fundos semelhantes, amostradores quantitativos do tipo van Veen (até 2021) ou Ponar (a partir de 2022), ambos com 0,08 m² de área amostral, para permitir comparações espaço-temporais das densidades e número de espécies do banco de dados. Foram também padronizadas a caracterização físico-química-sedimentar dos pontos monitorados (coluna de água e substrato), bem como o processamento e triagem dos organismos bentônicos.

3.4. Programa de Monitoramento e Conservação de Cetáceos

O estuário da Lagoa dos Patos (Fig. 1A) é a principal área de ocorrência da maior população boto de Lahille (*Tursiops truncatus gephyreus*), subespécie restrita à região costeira do Atlântico Sul Ocidental, desde o sul do Brasil até o norte da Argentina. As atividades vitais (alimentação e reprodução), descanso e socialização dos botos ocorrem no estuário da Lagoa dos Patos. Desde que foi iniciado o monitoramento sistemático da população dos botos do estuário da Lagoa dos Patos e costa marinha adjacente (2006), um conjunto de dados sem precedentes no Brasil foi coletado e analisado, resultando em várias publicações (e.g. Fruet et al., 2015, 2021; Genoves et al., 2018; Secchi et al., 2017). Como base para estes e outros trabalhos, foi utilizada a foto-identificação como fonte primária dos dados, possibilitando estimar a abundância, as taxas reprodutivas e de sobrevivência, bem como descrever e acompanhar a dinâmica populacional dos botos e sua relação com o ambiente (ecologia espacial e trófica) (Fig. 3). Esta abordagem forneceu subsídios para auxiliar os órgãos ambientais nas suas políticas públicas voltadas à gestão e conservação na área de abrangência portuária no estuário da Lagoa dos Patos.

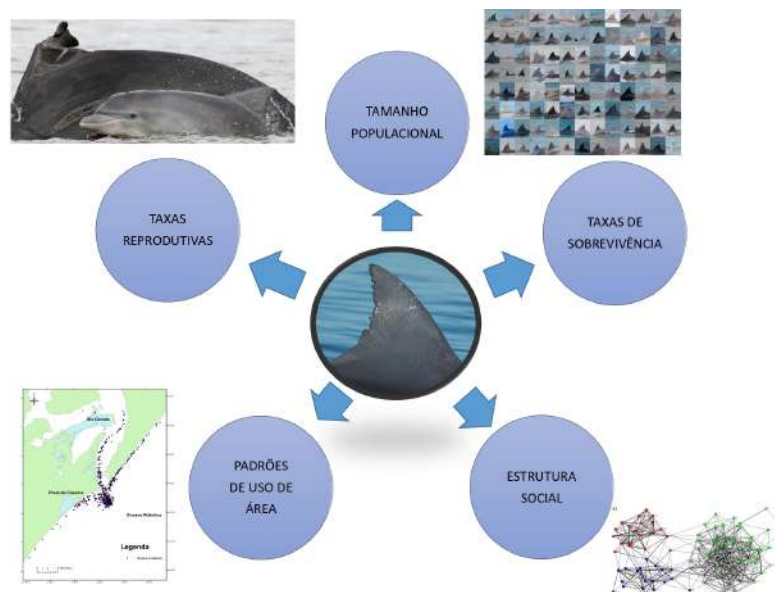


Figura 3 – Os estudos realizados, com base nos indivíduos foto-identificados no estuário da Lagoa dos Patos e costa marinha adjacente, incluem estimativas de abundância, taxas reprodutivas, sobrevivência, padrões de uso do habitat e relações sociais.

Com base no conhecimento gerado ao longo dos anos de monitoramento, foi possível perceber que alterações na ecologia trófica não estão diretamente vinculadas às atividades portuárias (Secchi et al., 2017). Sob o ponto de vista do escopo do monitoramento portuário, foi definido selecionar e coletar anualmente amostras de 10 indivíduos conhecidos da população para a determinação dos seus níveis de contaminação e de cortisol (indicador do nível de estresse dos animais) e acompanhamento da variação temporal e sua relação com as condições de qualidade ambiental (por exemplo, intensidade de ruídos e poluentes). Foi sugerido, portanto, que o monitoramento poderia se beneficiar com o ajuste de alguns de seus objetivos (Fig. 1B), conforme segue: i. Avaliar tendências na abundância e nas taxas anuais de sobrevivência e reprodução; ii. Avaliar os padrões de uso do ambiente por esta população de botos; iii. Estimar a carga de poluentes orgânicos persistentes e sua variação temporal nos botos; iv. Determinar os níveis de hormônios indicadores de estresse (e.g. cortisol) a sua relação com níveis de perturbação (e.g. ruídos e carga de contaminantes) do ambiente; e v. Determinar os Limites de Alterações Aceitáveis - LAA (*Limits of Acceptable Changes - LAC*) nos parâmetros vitais desta população de botos.

O conceito de LAA foi adotado como uma nova abordagem no Porto do Rio Grande, e requer a identificação de uma faixa mensurável de variação natural em parâmetros ecológicos (p.ex. abundância, sobrevivência, taxas de natalidade) com valores medidos potencialmente fora de sua faixa normal e que possam levar ao declínio populacional (COP6, Resolução VI.1, 1996). Um valor de LAA deve ser definido, como base referencial, de forma que as mudanças possam ser monitoradas e avaliadas objetivamente. Da mesma forma, o uso potencial do cortisol obtido a partir de pele ou gordura das amostras, como medida para estresse crônico nesta espécie, tem amplas implicações no gerenciamento ambiental. Os maiores níveis de cortisol podem estar relacionados a maiores ruídos e concentração de poluentes no ambiente. A hipótese a ser testada com estas novas abordagens é de que a parcela da população dos botos sob influência das atividades no entorno do Porto do Rio Grande teria menores taxas reprodutivas e de sobrevivência, bem como maiores

concentrações de hormônios relacionados ao estresse que a parcela que ocupa predominantemente a costa marinha adjacente. Estas análises podem ser tomadas como linhas referenciais, com uma base científica robusta, para qualificar o programa de monitoramento a longo prazo.

3.5. Programa de Monitoramento e Conservação da Ornitofauna

A estratégia para monitoramento das aves ao longo dos anos do Programa de Monitoramento e Conservação da Ornitofauna foi concentrada em amostragens e censos sazonais, por pontos e transecções, com detecção visual e acústica das espécies e sua quantificação. Durante este período, foi possível acompanhar mudanças na abundância e distribuição das aves, registros de espécies ameaçadas de extinção, assim como variações interanuais e sazonais da avifauna residente e migratória. No entanto, devido à baixa frequência de realização dos censos (sazonais) fez-se necessária a realização de análises de longo prazo para determinar as tendências na composição da assembleia de aves.

Nos Terminais Portuários, os monitoramentos realizados tiveram foco no pombo-doméstico, *Columba livia*, uma espécie sinantrópica e com potencial zoonótico. Foi realizada a avaliação e propostas medidas de controle aplicadas nos Terminais Públicos e Privados, e em especial aquelas associadas à disponibilidade de alimento (grãos, água e espaços para ninhos). De modo a cobrir a área de influência do Porto do Rio Grande, estratégias complementares aos monitoramentos já realizados, com relação direta com as atividades portuárias e que possibilite uma avaliação em diferentes dimensões – organismo, população, comunidade e ecossistema – e em diferentes escalas temporais – rápidas, i.e. associadas a mudanças de comportamento, e uso de áreas, até longas – como mudanças interanuais nas concentrações de contaminantes e no nicho trófico e na composição das assembleias de aves – mencionados acima, fizeram-se necessárias. A nova abordagem (Fig. 1B) não se preocupa apenas com o cumprimento de diretrizes mínimas de monitoramento exigidas ou recomendadas pelo órgão licenciador (IBAMA), mas sim com a obtenção de abordagens modernas e complementares, em diferentes dimensões, conforme ilustrado na Figura 4.

Desta forma, está em execução o rastreamento de uma ave aquática frequente no Porto do Rio Grande, e que permanece bastante tempo na água, o biguá, *Nannopterum brasilianum*. Esta espécie possui características de uma boa biomonitora, e auxiliará na identificação do uso de habitat, com uso de rastreadores tridimensionais, incluindo mergulho, e recursos com análises de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio, os quais permitem inferências sobre de nicho isotópico e identificação do uso de diferentes presas e habitats.

O uso de estruturas físicas (como torres de transmissão) pelos biguás, já foi registrado na Lagoa dos Patos, com deslocamento para estruturas incluindo o sistema portuário de Rio Grande. Por ser uma ave piscívora, o biguá utiliza o estuário da Lagoa dos Patos também em busca de recursos, como a corvina-branca (*Micropogonias furnieri*), encontrada na dieta da espécie por meio da análise de pellets em estudo realizado por Barquete et al. (2008).

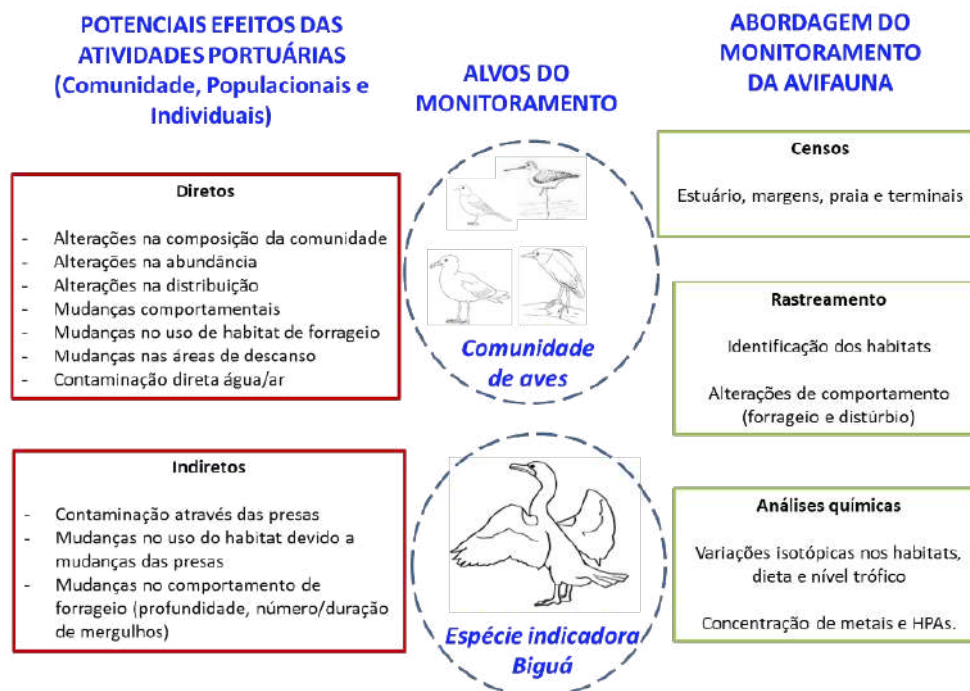


Figura 4. Diagrama conceitual do monitoramento das aves no Porto do Rio Grande em diferentes escalas, alvos de amostragem e técnicas.

Além disso, o biguá pode ser contaminado por elementos-traço ou contaminantes orgânicos de fontes diversas, incluindo hidrocarbonetos, presentes nos ambientes aquáticos. Estudos anteriores com biguás demonstraram a toxicidade assim como os efeitos de contaminantes no grupo ao ingerirem peixes contaminados (Cunningham et al., 2017). Na Lagoa dos Patos, a presença de elementos-traço já foi relatada em *M. furnieri*, principal presa encontrada na dieta do biguá (Barquete et al., 2008). Dessa forma, a análise de elementos-traço e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs) nos tecidos de *N. brasiliense* auxiliará na determinação da contaminação oriunda de fontes alimentares presentes no polígono portuário de Rio Grande. Neste momento, estão sendo obtidos os dados que formarão a linha de base, sobre a qual serão comparados os resultados em anos subsequentes.

4. Resultados e Discussão

Os resultados preliminares da nova estratégia de monitoramento de bioindicadores (Fig. 1B), baseada na amostragem passiva através do uso de amostradores indicam a presença de microcontaminantes orgânicos na fração dissolvida da coluna de água dos 3 pontos monitorados ao longo do estuário sob influência do Porto do Rio Grande. As concentrações são relativamente baixas, na ordem de pg L^{-1} , mas indicam a biodisponibilidade dos contaminantes à biota.

A aplicação da técnica DGT para metais-traço tem mostrado resultados que diferenciam muito bem a contaminação de metais-traço nas diferentes áreas do Porto do Rio Grande. Os resultados iniciais demonstraram concentrações menores do que as já registradas em estudos pretéritos das áreas marginais do estuário (Costa e Wallner-Kersanach, 2013; Umbria-Salinas et al., 2021).

As vantagens do uso dos amostradores passivos se deve a exposição contínua dos amostradores na água, integrando ao longo do tempo a concentração de contaminantes potencialmente lábeis (biodisponíveis) na coluna d'água, possibilitando estimar possíveis efeitos das concentrações dos contaminantes à biota frente a diferentes condições hidrológicas. Adicionalmente, as técnicas são consideradas como uma “química verde”, por utilizar poucos reagentes e gerar o mínimo de resíduos líquidos no laboratório.

Os dados gerados com os amostradores passivos poderão ser correlacionados com os obtidos pelos bioindicadores, no sentido de verificar se os organismos estão expostos às mesmas fontes e o grau de exposição dos organismos frente à influência destes contaminantes no meio. Ainda, os resultados fornecerão informações sobre a ocorrência de contaminantes acima dos níveis considerados normais no meio aquático e suas possíveis relações com as atividades portuárias, propiciando uma base para a gestão ambiental do porto em relação aos possíveis aporte antropogênicos.

Inicialmente, no Programa de Monitoramento e Conservação da Ictiofauna foi realizado um levantamento das espécies de peixes que ocorrem no estuário da Lagoa dos Patos e região marinha adjacente tendo como base bancos de dados históricos (1979-1987; 1996-2022). Após a atualização e validação dos nomes científicos, cada espécie foi classificada em diferentes atributos funcionais dos peixes do estuário da Lagoa dos Patos (Mai e Possamai et al., 2022). Até o momento, cerca de 90 espécies de peixes já foram classificadas em atributos funcionais relacionados ao uso do habitat, hábitos alimentares e modos de reprodução (Fig. 5). O monitoramento continuado das comunidades de peixes a partir destes atributos funcionais, e em combinação com métodos tradicionais, é crucial para que se possa avaliar eventuais impactos das atividades humanas e gerenciar conflitos de uso de recursos comuns como a água e o ecossistema estuarino.



Figura 5 - Classificação da ictiofauna (% espécies) do estuário da Lagoa dos Patos e região marinha adjacente em diferentes atributos funcionais relacionados ao uso do habitat, hábitos alimentares e reprodução.

O gradual aprimoramento dos métodos amostrais do Programa de Monitoramento e Conservação da Comunidade Bentônica nas últimas duas décadas, tanto devido às novas demandas da Autoridade Portuária quanto pelas respostas ecológicas do zoobentos, sempre priorizou o desenvolvimento das estratégias *BACI*. A ampla cobertura espacial das amostragens, sua sistemática replicação temporal (sazonal ao longo de muitos anos) e o estabelecimento de múltiplos controles (três em cada ambiente monitorado) atuaram de forma sinérgica para atingir a eficiência do presente Monitoramento.

Uma das vantagens da ampliação da série temporal e consequente implementação de monitoramentos de longo prazo das assembleias da macrofauna é a possibilidade de análises e identificação de respostas biológicas como as flutuações sazonais, interanuais e possíveis respostas a eventos climáticos. Organismos da macrofauna bentônica são considerados bons bioindicadores ambientais por sua baixa mobilidade, abundância relativamente elevada e sua posição de ligação entre o substrato / coluna de água e níveis tróficos superiores. No caso do estuário da Lagoa dos Patos, o gastrópode *Heleobia australis* (d'Orbigny, 1835) pode ser considerado uma espécie indicadora como *proxy* de qualidade ambiental em função de seu papel na estrutura trófica da comunidade estuarina (Colling e Bemvenuti, 2010). Resultados históricos evidenciaram picos de densidades médias de *H. australis* em ~ 15.000 ind.m⁻² (anos de 2008, 2009 e 2011) seguido de um longo período de declínio e ausência do gastrópode (2015, 2018, 2019 e 2020). No verão de 2023, entretanto, o gastrópode atingiu uma densidade média de ~ 60.000 ind.m⁻², quatro vezes a média histórica (Fig. 6), que pode ser interpretada como um provável retorno da dominância numérica da espécie no estuário da Lagoa dos Patos.

A implementação de estratégias amostrais de maior frequência, como amostragens mensais, permite também a análise de possíveis impactos de atividades antrópicas de curta periodicidade. As últimas operações de dragagem de manutenção no Porto do Rio Grande tiveram como foco principal as áreas com maior assoreamento, visando a segurança da navegação (Nota Técnica 06/2023 DMA/DINFRA – PORTOS RS). Para o monitoramento de possíveis impactos ao zoobentos pelas dragagens, amostragens sistemáticas mensais desde dois meses antes até dois meses depois das dragagens, nas áreas impactadas e controle, foram implementadas como uma tradicional abordagem *BACI* de alta frequência. Enquanto nos pontos controle as densidades médias da macrofauna mostraram comportamento temporal semelhante, nos pontos dragados evidenciaram um aumento das densidades do zoobentos após um mês da dragagem, seguido de estabilização semelhante a um estado prévio ao impacto.

As vantagens da implementação de estratégias de monitoramento das assembleias da macrofauna bentônica a longo (sazonais e interanuais) e curto prazo (mensais) (Fig. 1B) são evidentes, uma vez que permitem tanto a identificação de características inerentes às flutuações naturais das espécies e assembleias, quanto as suas respostas frente a atividades geradoras de impacto. Em ambientes muito dinâmicos como estuários subtropicais, e onde a sobreposição de flutuações naturais e perturbações são frequentes como o estuário da Lagoa dos Patos (Odebrecht et al., 2017), a macrofauna bentônica é geralmente caracterizada por uma baixa diversidade e grandes flutuações espaço-temporais. Neste sentido, a execução de dragagens em áreas menores e intercaladas com períodos sem dragagem é a estratégia mais indicada. Além disso, tal estratégia permite a implementação de protocolos amostrais com maior facilidade.

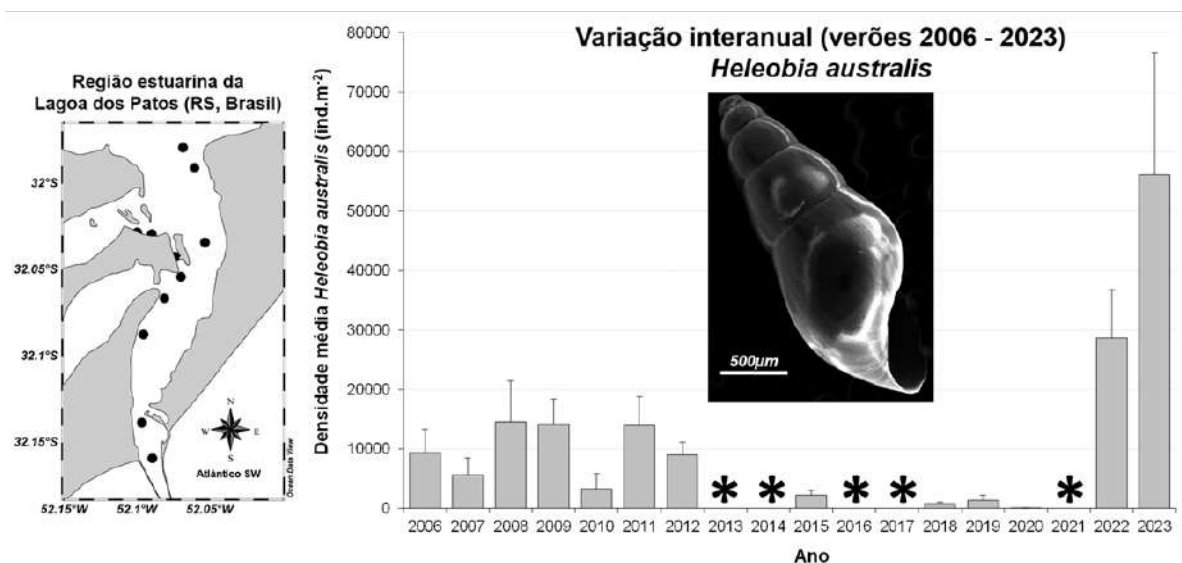


Figura 6. Série histórica das densidades médias (\pm erro padrão) do gastrópode *Heleobia australis* nos Verões de 2006 a 2023 (eixo X), nas áreas de Canal na região estuarina da Lagoa dos Patos (RS, Brasil). Escala em Y: 0–60.000 ind.m⁻²). *: ausência de coleta nesta estação.

A partir dos resultados de 18 anos do Programa de Monitoramento e Conservação de Cetáceos, foi possível acompanhar a dinâmica populacional dos botos e sua relação com o ambiente e, assim, fornecer subsídios para auxiliar os órgãos ambientais nas suas políticas públicas voltadas à gestão e conservação na área de abrangência portuária no estuário da Lagoa dos Patos e costa marinha adjacente. Estimou-se abundância (Fruet et al., 2011), as taxas reprodutivas e de sobrevivência (Fruet et al., 2015), bem como foi possível descrever e acompanhar a dinâmica populacional dos botos e sua relação com o ambiente (ecologia espacial e trófica – Secchi et al., 2017). Entretanto, estas informações não permitiram relacionar qualquer efeito de impactos ambientais decorrentes de atividades portuárias na variação dos parâmetros vitais ou da relação entre os animais e seu ecossistema (por exemplo, mudanças na dieta). A nova estratégia (Fig. 1B), que visa selecionar e coletar, anualmente, amostras de indivíduos conhecidos da população para a determinação dos seus níveis de contaminação e de cortisol (indicador do nível de estresse dos animais) e o acompanhamento da variação temporal e sua relação com as condições de qualidade ambiental (por exemplo, intensidade de ruídos e poluentes) permitirá uma análise mais direta das atividades portuárias no estado de saúde e conservação dos animais. Além disso, como dispõem-se de dados dos parâmetros vitais coletados no estuário (área de maior atividade portuária) e zona costeira adjacente (região controle) será possível estimar valores de referência destes parâmetros e seus LAA (Limites Aceitáveis de Alteração) que garantam a viabilidade populacional.

Os dados sobre a composição e abundância da comunidade de aves obtidos ao longo dos anos permitiram a identificação de espécies chave, incluindo aquelas importantes para o funcionamento do ecossistema, espécies ameaçadas de extinção em nível estadual e nacional, além da identificação de áreas importantes para as aves na região portuária. Adicionalmente, o monitoramento das aves sinantrópicas, em especial os pombos-domésticos, permitiu mapear riscos e indicar ações de manejo para o controle populacional não letal. Com isso, as atividades de monitoramento puderam ser redirecionadas a outros temas e com novas abordagens. Assim, o

conjunto de análises apresentadas para a nova fase do Programa de Monitoramento e Conservação da Ornitofauna possui potencial de auxiliar na determinação de alterações de curto, médio e longo prazo, com efeitos diretos e indiretos sobre as aves, em nível populacional, da comunidade e individual. Ao amostrar uma ave bioindicadora, espécie comum desde o sul dos Estados Unidos até a Argentina, esta abordagem de interesse para a região do Porto do Rio Grande é potencialmente aplicável em outros portos marinhos e continentais, no Brasil e exterior.

5. Conclusões e Recomendações

Este breve relato da evolução temporal do Programa de Monitoramento Ambiental Continuado do Porto do Rio Grande é um marco na evolução da legislação e do licenciamento ambiental dos portos brasileiros. O Porto do Rio Grande foi pioneiro na implementação de um Programa de Monitoramento Ambiental Continuado nacionalmente e, desde a sua concepção, contou com o respaldo técnico e científico de uma universidade pública do Sul do Brasil, ilustrando uma importante e produtiva parceria de sucesso entre a academia e a iniciativa privada (Portos RS). Além disso, os dados adquiridos através desta parceria subsidiaram inúmeras monografias, dissertações e teses, bem como artigos relevantes para a comunidade científica, desta forma também compartilhando o conhecimento adquirido com a comunidade portuária e órgãos reguladores.

O sucesso desta parceria e a experiência adquirida ao longo dos 18 anos do Programa de Monitoramento Ambiental Continuado do Porto do Rio Grande se reflete no amadurecimento das estratégias e tecnologias de monitoramento, em consonância com o que vem sendo feito em portos do mundo inteiro. A nova configuração do Programa foi amplamente discutida e teve total apoio da Diretoria de Meio Ambiente (DMA) da Portos RS ao longo de 2021, sendo aprovada pelo IBAMA e implementada com sucesso a partir de 2022. Desta iniciativa, resultou um novo Programa de Monitoramento Ambiental Continuado do Porto do Rio Grande, baseado em um conjunto de metodologias de última geração para o monitoramento de regiões portuárias, que podem servir de referência para outros portos no Brasil e no mundo.

A nova estratégia amostral do Programa de Monitoramento da Bioacumulação de Metais Pesados e Microcontaminantes Orgânicos, baseada nos amostradores passivos, permite avaliar mais rapidamente a introdução de contaminantes antropogênicos potencialmente biodisponíveis à biota. Isto possibilita ações mais pró-ativas para a gestão da contaminação e que refletem de forma temporal a condição da exposição da biota à contaminação. Logo, a nova estratégia de exposição de amostradores passivos na água estuarina de áreas portuárias pode se tornar uma referência nacional pelas vantagens que apresenta. Em nível internacional, os amostradores estão sendo utilizados amplamente em monitoramentos e inclusive a técnica DGT está sendo sugerida para ser incluída na legislação europeia.

A partir da gama de atributos funcionais obtida pelo Programa de Monitoramento e Conservação da Ictiofauna, será possível acrescentar novas perspectivas às análises e complementar abordagens tradicionais de monitoramento que vão além da identidade taxonômica das espécies. Como demonstram estudos com a ictiofauna em outros ambientes costeiros ao redor do mundo, a influência de fatores naturais e antrópicos pode provocar alterações no papel funcional desses organismos no

ecossistema, que vão além de variações na composição de espécies e padrões de abundância. Portanto, o emprego dessa nova abordagem funcional, em conjunto com análise de atributos tradicionais baseados na identidade taxonômica da espécie, irá gerar subsídios mais eficazes e abrangentes para a gestão ambiental do Porto do Rio Grande, além de contribuir para a conservação da biodiversidade dos peixes e dos seus serviços ecossistêmicos no estuário da Lagoa dos Patos.

O aprimoramento da estratégia amostral do Programa de Monitoramento e Conservação da Comunidade Bentônica consolida um plano de monitoramento de longo prazo, e estabelece um refinamento do monitoramento de possíveis impactos de curto prazo das dragagens sobre o zoobentos, que só é possível com a padronização dos equipamentos amostrais utilizados. Por fim, uma correta interpretação das respostas da biota só é possível quando aplicado o maior rigor científico possível na identificação taxonômica dos organismos coletados. A compreensão ecológica correta da variabilidade no espaço-tempo e antes-depois de impactos se torna possível quando interpretadas e analisadas as respostas em nível de espécie ou gênero dos componentes das assembleias da macrofauna bentônica.

A nova abordagem proposta para o Programa de Monitoramento e Conservação de Cetáceos possibilitou adequar a estratégia de coleta de dados para que as análises de abundância, sobrevivência e taxas reprodutivas desta população de botos sejam aceitas pelos órgãos de fiscalização ambiental com base na determinação dos LAA destes parâmetros vitais. Além disso, os novos procedimentos permitirão investigar se algumas atividades portuárias e correlatas, como por exemplo poluição química e/ou sonora, que anteriormente não eram avaliadas, podem estar afetando a saúde desses animais. Com isso, a gestão ambiental portuária terá um panorama geral do impacto gerado por suas atividades através do estudo de um predador de topo e sentinela ambiental, podendo assim, em caso de eventuais interações negativas, adequar suas atividades visando atender as demandas dos órgãos ambientais e ao bem-estar do ambiente ao qual está inserido. Se esta abordagem for bem-sucedida, poderá ser tomada como referência e replicada em outros portos do Brasil.

A integração de métodos complementares proposta para o novo Programa de Monitoramento e Conservação da Ornitofauna possui o potencial de avaliar a qualidade do ecossistema como um todo e é uma abordagem inovadora e complementar aos monitoramentos que já vêm sendo realizados na área portuária e adjacências. A partir da inspiração em metodologias aplicadas em outros portos, adaptadas à realidade local e à composição da avifauna do estuário da Lagoa dos Patos e adjacências, os resultados da estratégia amostral contribuirão para determinar medidas de mitigação dos impactos para aves que utilizam os ambientes estuarinos com potencial para ser referência em outras regiões portuárias. Poderá subsidiar, ainda, a proposição de medidas de restauração ecológica em longo prazo, como já realizado em portos na Europa.

Este breve relato sobre a evolução histórica do Programa de Monitoramento Ambiental Continuado do Porto do Rio Grande (2006-2023), com destaque para a apresentação de novas estratégias amostrais inovadoras adotadas a partir de 2022, destacam o compromisso das instituições envolvidas com o entendimento e adequado manejo de questões ambientais de alta relevância na área do Porto do Rio Grande, contribuindo para seu desenvolvimento sustentável, e servindo de referência no Brasil e no mundo.

6. Referências

- BARQUETE, V.; BUGONI, L.; VOOREN, C. M. Diet of Neotropical cormorant (*Phalacrocorax brasilianus*) in an estuarine environment. **Marine Biology**, 153, p. 431–443, 2008.
- BOON, A.R e DALFSEN, J. Long-term changes in the macrobenthic assemblages at a Harbour sediment disposal site in the Southern North Sea. **Marine Environmental Research**, v. 178, 105663, 2022.
- BRAUN, D. C.; SMOKOROWSKI, K. E.; BRADFORD, J. M.; GLOVER, L. A review of functional monitoring methods to assess mitigation, restoration, and offsetting activities in Canada. Canadian Science Advisory Secretariat (CSAS), **Research Document 2019/057**, p. 75, 2019.
- CEULEMANS, R.; GAEDKE, U.; KLAUSCHIES, T.; GUILL, C. The effects of functional diversity on biomass production, variability, and resilience of ecosystem functions in a tritrophic system. **Scientific reports**, v. 9(1), p. 1-16, 2019.
- COLLING, L. A. e BEMVENUTI, C. E. As comunidades de macroinvertebrados bentônicos. *In*: Seeliger, U. e Odebrecht, C. (Eds.). **O Estuário da Lagoa dos Patos, um século de transformações**. Rio Grande: EDFURG, p. 179, 2010.
- COSTA, L.D.F. e WALLNER-KERSANACH, M. Assessment of the labile fractions of copper and zinc in marinas and port areas in Southern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, p. 6767-6781, 2013.
- CUNNINGHAM, F.; DEAN, K.; HANSON-DORR, K.; HARR, K.; HEALY, K.; HORAK, K.; LINK, J.; SHRINER, S.; BURSIA, S.; DORR, B. Development of methods for avian oil toxicity studies using the double crested cormorant (*Phalacrocorax auritus*). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.141, p. 199–208, 2017.
- DARBA, R. M.; PITTAM, N.; ROYSTON, K. A.; DARBA, J. P.; JOURNEE, H. Survey on environmental monitoring requirements of European ports. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 1396-1403, 2009.
- DAVISON, W. e ZHANG, H. Progress in understanding the use of diffusive gradients in thin films (DGT) – back to basics. **Environmental Chemical**, v. 9, p. 1-13, 2012.
- DONÁZAR-ARAMENDÍA, I.; SÁNCHEZ-MOYANO, J. E.; GARCÍA-ASENCIO, I.; MIRÓ, J. M.; MEGINA, C.; GARCÍA-GÓMEZ, J. C. Maintenance dredging impacts on a highly stressed estuary (Guadalquivir estuary): A BACI approach through oligohaline and polyhaline habitats I. **Marine Environmental Research**, v. 140, p. 455-467, 2018.
- DUNN, R. J. K.; TEASDALE, P. R.; WARNKEN, J.; SCHLEICH, R. R. Evaluation of the diffusive gradient in a thin film technique for monitoring trace metal concentrations in estuarine waters. **Environmental Science and Technology**, v. 37, p. 2794–2800. 2003.

- FIJN, R. C.; JONG, J. W.; ADEMA, J.; VAN HORSSSEN, P. W.; POOT, M. J. M.; VAN RIJN, S.; VAN EERDEN, M. R.; BOUDEWIJN, T. J. GPS-tracking of great cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis* reveals sex-specific differences in foraging behavior. **Ardea**, v. 109, p. 491–505, 2021.
- FRUET, P. F.; DAURA-JORGE, F. G.; MÖLLER, L. M.; GENOVES, R. C.; SECCHI, E. R. Abundance and demography of bottlenose dolphins inhabiting a subtropical estuary in the Southwestern Atlantic Ocean. **Journal of Mammalogy**, v. 96(2), p. 332–343, 2015.
- FRUET, P. F.; MÖLLER, L. M.; SECCHI, E. R. Dynamics and Viability of a Small, Estuarine-Resident Population of Lahille's Bottlenose Dolphins From Southern Brazil. **Frontiers in Marine Science**, v. 7, p.1-13, January 2021.
- FRUET, P. F.; SECCHI, E. R.; DI TULLIO, J. C.; KINAS, P. G. Abundance of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus* (Cetacea: Delphinidae), inhabiting the Patos Lagoon estuary, southern Brazil: implications for conservation. **Zoologia (Curitiba, Impresso)**, v. 28(1), p. 23-30, 2011.
- GENOVES, R. C.; FRUET, P. F.; DI TULLIO, J. C.; MÖLLER, L. M.; SECCHI, E. R. Spatiotemporal use predicts social partitioning of bottlenose dolphins with strong home range overlap. **Ecology and Evolution**, v. 8(24), p. 12597-12614, 2018.
- HAIMOVICI, M. e CARDOSO, L. G. Long-term changes in the fisheries in the Patos Lagoon estuary and adjacent coastal waters in Southern Brazil. **Marine Biology Research**, v. 13, p. 135-150, 2016.
- MAI, A. C. G. e POSSAMAI, B. Categorizing estuarine fish assemblages in the Warm Temperate Southwestern Atlantic Province: The case of Patos Lagoon Estuary, Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, v. 54, 102482, 2022.
- MAO, Z.; GU, X.; CAO, Y.; LUO, J.; ZENG, Q.; CHEN, H.; JEPPESEN, E. How does fish functional diversity respond to environmental changes in two large shallow lakes? **Science of the Total Environment**, v. 753, 142158, 2021.
- MCGILL, B. J.; ENQUIST, B. J.; WEIHER, E.; WESTOBY, M. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in Ecology e Evolution**, v. 21, p. 178–185, 2006.
- MORRIS, R. K. A.; GIBSON, C. Port development and nature conservation—Experiences in England between 1994 and 2005, **Ocean e Coastal Management**, v. 50, p. 443-462, 2007.
- MOUCHET, M. A.; BURNS, M. D. M.; GARCIA, A. M.; VIEIRA, J. P.; MOUILLOT, D. Invariant scaling relationship between functional dissimilarity and co-occurrence in fish assemblages of the Patos Lagoon estuary (Brazil): environmental filtering consistently overshadows competitive exclusion. **Oikos**, v. 122, p. 247-257, 2013.

MULLER, J. R. M.; CHAN, Y-C.; PIERSMA, T.; CHEN, Y.; AARNINKHOF, S. G. J.; HASSELL, C. J.; TAO, J.; GONG, Z.; WANG, Z. B.; VAN MAREN, D. S. Building for Nature: preserving threatened bird habitat in port design. **Water**, v. 12, p. 2134, 2020.

NICHOLSON, K. Dolphins as part of the ecological character of Ramsar-listed wetlands: a case study of Indo-Pacific bottlenose dolphins in the Peel-Harvey Estuary, Western Australia. Doctoral Thesis. **Murdoch University**, Austrália, p. 185, 2021.

O'HARA, Susan. **Silicone rubber passive samplers for water quality monitoring of persistent organic pollutants in the marine environment**. 2009. 241 f. Tese. Dublin Institute of Technology. Dublin, Irlanda, 2009.

ODEBRECHT, C.; SECCHI, E. R.; ABREU, P. C.; MUELBERT, J. H; UIBLEIN, F. Biota of the Patos Lagoon estuary and adjacent marine coast: long-term changes induced by natural and human related factors. **Marine Biological Research**, v. 13(1), p. 3-8, 2017.

PILÓ, D.; CARVALHO, A. N.; PEREIRA, F.; COELHO, H. E.; GASPAR, M. B. Evaluation of macrobenthic community responses to dredging through a multimetric approach: effective or apparent recovery? **Ecological Indicators**, v. 96, p. 656-668, 2019.

PIROTTA, E.; HARWOOD, J.; THOMPSON, P. M.; NEW, L.; CHENEY, B.; ARSO, M. Predicting the effects of human developments on individual dolphins to understand potential long-term population consequences. **Proc. Biol. Sci.**, v. 282 (1818), 2015.

POSSAMAI, B.; VIEIRA, J. P.; GRIMM, A. M.; GARCIA, A. M. Temporal variability (1997-2015) of trophic fish guilds and its relationships with El Niño events in a subtropical estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 202, p. 145–154, 2018.

SECCHI, E. R.; BOTTA, S.; WIEGAND, M. M.; LOPEZ, L. A.; FRUET, P. F.; GENOVES, R. C.; DI TULLIO, J. C. (2017). Long-term and gender-related variation in the feeding ecology of common bottlenose dolphins inhabiting a subtropical estuary and the adjacent marine coast in the western South Atlantic. **Marine Biology Research**, v. 13(1), p. 121–134, 2017.

SMEDES, F.; BAKKER, D.; DE WEERT, J. The use of passive sampling in WFD monitoring. The possibilities of silicon rubber as a passive sampler, **Deltares**, p. 1–59, 2010.

SMOKOROWSKI, K. E. e RANDALL, R. G. Cautions on using the Before-After-Control-Impact design in environmental effects monitoring programs. **Facets**, v. 2(1): p. 212-232, 2017.

STEWART-OATEN, A; MURDOCH, W. W.; PARKER, K. R. Environmental impact assessment: “pseudoreplication” in time? **Ecology**, v. 67(4), p. 929–940, 1986.

STRONG, J. A.; ANDONEGI, E.; BIZSEL, K. C.; DANOVARO, R.; ELLIOTT, M.; FRANCO, A.; GARCES, E.; LITTLE, S.; MAZIK, K.; MONCHEVA, S.; PAPAPOPOULOU, N.; PATRÍCIO, J.; QUEIRÓS, A. M.; SMITH, C.; STEFANOVA, K.; SOLAUN, O. Marine biodiversity and ecosystem function relationships: The potential

for practical monitoring applications. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 161, p. 46–64, 2015.

TROZZI, C. e VACCARO, R. Environmental impact of port activities. In: BREBBIA, C.A., OLIVELLA, J. (Eds.), **Maritime Engineering and Ports II**. **WIT Press, Southampton**, p. 151–161, 2020.

UMBRIA-SALINAS, K.; VALERO, A.; WALLNER-KERSANACH, MÔNICA; ANDRADE, C. F.; YABE, M J. S.; WASSERMAN, J. C.; KUROSHIMA, K. N.; ZHANG, H. Labile metal assessment in water by Diffusive Gradients in Thin Films in shipyards on the Brazilian subtropical coast. **Science of the Total Environment**, v. 1, 145184, 2021.

UNDERWOOD, A. J. The mechanics of spatially replicated sampling programmes to detect environmental impacts in a variable world. **Austral Ecology**, v. 18, p. 99–116, 1993.

VIEIRA, J. P.; GARCIA, A. M.; MORAES, L. A assembleia de peixes. In: Seeliger e Odebrecht. (Org.). **O Estuário da Lagoa dos Patos: Um século de transformações**. 1ed. Rio Grande: FURG, p. 180, 2010.

VOLLRATH, S. R.; TANNER, S. E.; REIS-SANTOS, P.; POSSAMAI, B.; GRIMM, A. M.; GILLANDERS, B. M.; VIEIRA, J. P.; GARCIA, A. M. Complex interactions of ENSO and local conditions buffer the poleward shift of migratory fish in a subtropical seascape. **Science of The Total Environment**, 165129, 2023.

VRANA, B.; SMEDES, F.; ALLAN, I.; RUSINA, T.; OKONSKI, K.; HILSCHEOVÁ, K.; NOVÁK, J.; TARÁBEK, P.; SLOBODNÍK, J. Mobile dynamic passive sampling of trace organic compounds: Evaluation of sampler performance in the Danube River. **Science of the Total Environment**. v. 636, p. 1597-1607, 2018.