



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA
INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE MARINHA DO NORTE

Avenida Presidente Tancredo Neves, 2501, Campus da UFRA - Bairro Montesie - Belém - CEP 66077-830

Telefone:

PLANO DE TRABALHO - PIBIC/ICMBIO
19º EDITAL DE SELEÇÃO – CICLO 2024/2025



Título do Plano de Trabalho: Concentração de metais de interesse toxicológico e parâmetros de estresse oxidativo da bycatch de pescarias praticadas na costa norte do Brasil: subsídios para o monitoramento ambiental

Grande Área do Conhecimento

<input type="checkbox"/> Ciências Exatas e da Terra	<input type="checkbox"/> Ciências da Saúde	<input type="checkbox"/> Ciências Humanas
<input checked="" type="checkbox"/> Ciências Biológicas	<input type="checkbox"/> Ciências Agrárias	<input type="checkbox"/> Linguística, Letras e Artes
<input type="checkbox"/> Engenharias	<input type="checkbox"/> Ciências Sociais Aplicadas	<input type="checkbox"/> Outras áreas

Orientador: Alex Garcia Cavalleiro de Macedo Klautau

Unidade do orientador: CEPNOR/PA

Coorientador: Rafael Anaisce das Chagas

Instituição do coorientador: CEPNOR/PA

Estudante: Yasmin Christiny de Aviz Freitas

Instituição do Estudante (Cidade/UF): Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém/PA

Curso de graduação e semestre atual do estudante: Engenharia de Pesca (4º semestre)

Escolha do(s) eixo(s):	Eixos temáticos prioritários de pesquisa - Conforme anexo I do 19º Edital PIBIC - 2024 /2025 A tabela disponível no modelo do SEI foi totalmente atualizada e deve ser substituída por esta.
	1 - Sociobiodiversidade, serviços ecossistêmicos e patrimônio espeleológico
X	2/3 - Gestão da informação sobre a biodiversidade para subsidiar o planejamento das ações de conservação
	4 - Planejamento e implementação da gestão nas unidades de conservação
	5 - Expansão e conectividade das áreas protegidas
	6 - Avaliação de impacto e licenciamento ambiental
	7 - Gestão pesqueira e cadeias produtivas em unidades de conservação de uso sustentável
	8 - Uso da fauna em unidades de conservação
	9 - Uso de produtos da sociobiodiversidade em unidades de conservação
	10 - Gestão e monitoramento participativos
	11 - Inteligência e efetividade na fiscalização e proteção da biodiversidade
	12 - Manejo de espécies exóticas invasoras
	13 - Restauração de habitats terrestres e aquáticos
	14 - Conservação de espécies ameaçadas
	15 - Manejo integrado do fogo

Indique – assinalando com um **X** – o(s) tema(s) no qual a proposta está inserida:

1- INTRODUÇÃO:

A nível global, os ecossistemas aquáticos estão sujeitos à ação de poluentes químicos oriundos dos mais diversos tipos de fontes (*p.ex.*, resíduos industriais, esgotos domésticos, agricultura) (AYLAGAS et al., 2018; BIGATTI et al., 2009; HALLETT et al., 2019). Estes efluentes resultam em contaminantes que são deletérios aos organismos aquáticos (CARVALHO-NETA; ABREU-SILVA, 2010; VAN DER OOST et al., 2003). Dos ecossistemas aquáticos, os ambientes costeiros e marinhos são aqueles acometidos de modo mais agressivo, principalmente, devido carregamento dos contaminantes pelos rios e seus afluentes (HALLETT et al., 2019). O impacto das atividades humanas sobre o ambiente e, principalmente, na biota aquática são relatados com frequência em estudos de monitoramento ambiental em todo o mundo (BORJA, 2004; NAMA et al., 2023; VEETIL et al., 2022; YANG et al., 2022).

Nas últimas décadas, diversas metodologias foram desenvolvidas objetivando a avaliação da integridade dos ambientes aquáticos. Com isso, inúmeras ferramentas para se avaliar a sanidade da biota e do ambiente foram desenvolvidas (AYLAGAS et al., 2018; BIGATTI et al., 2009; MONSERRAT et al., 2007; VEETIL et al., 2022; YANG et al., 2022). Neste contexto, sabe-se que sedimentos costeiros e marinhos são os reservatórios naturais de detritos físicos e biológicos e de uma ampla variedade de compostos químicos,

servindo também como fontes poluidoras não-pontuais. Assim, medidas que possibilitam o monitoramento e avaliação desses ambientes são primordiais para sua conservação.

Em regiões como a Costa Norte brasileira, que recebem anualmente milhões de efluentes oriundos do rio Amazonas, o monitoramento é essencial e necessário. Além disso, é uma área importante para o setor pesqueiro, com a presença de centenas de embarcações (de diversas modalidades de pescarias) que atuam constantemente na região. Deste modo, é fundamental a aplicação de ferramentas que possibilitem o monitoramento da sanidade local frente as inúmeras perturbações antrópicas e naturais.

Com isso, o estudo geoquímico (“background”) a análise das concentrações de metais de interesse toxicológico em compartimentos abióticos e bióticos do ambiente marinho somadas à modulação dos biomarcadores bioquímicos (AGUIRRE-MARTÍNEZ et al., 2013; AMORIM, 2003; COOKE et al., 2013; DEPLEGGE et al., 1995) permitem a identificação e a caracterização do *status* atual e possíveis riscos à saúde ambiental e humana.

No Brasil, os estudos investigação de metais e/ou com biomarcadores bioquímicos têm destacado a importância dessas análises como complemento nos estudos de monitoramento, principalmente, de áreas perturbadas. Além disso, a Costa Norte é uma região delimitada na plataforma continental brasileira que possui um elevado nível de biodiversidade. Nesta área, a se destacar, está presente o Grande Sistema de Recifes na Amazônia (GSRA), que mundialmente é reconhecido como uma importante área e que ecologicamente ainda é subestimada.

Nessa perspectiva, o monitoramento ambiental, com base na utilização de estudo geoquímico e de biomarcadores contribuem para o diagnóstico prévio da situação dos estresses antrópicos e/ou naturais (WANG et al., 2016). Assim, a detecção de mudanças no meio ambiente, integrada com os métodos tradicionais (p.ex., físico-químicos e dados ecológicos) é essencial ao monitoramento, principalmente em ambientes vulneráveis como é o caso GSRA.

Assim como nos métodos tradicionais de monitoramento, as metodologias com biomarcadores utilizam os organismos aquáticos como biomonitores (NUNES et al., 2020). Neste contexto, moluscos, crustáceos e peixes estão entre os organismos mais utilizados como biomonitores nos estudos de avaliação dos impactos ambientais (CARVALHO-NETA; ABREU-SILVA, 2010; DEPLEGGE et al., 1995; KAWAKAMI et al., 2023; MONSERRAT et al., 2007; VAN DER OOST et al., 2003). Além disso, os peixes caracterizam o grupo de organismos mais utilizados, principalmente devido sua ampla distribuição nos mais diferentes ambientes aquáticos (VAN DER OOST et al., 2003). Adicionalmente, os peixes respondem com facilidade ao estresse ambiental (CARVALHO-NETA; ABREU-SILVA, 2010; HALLETT et al., 2019; MONSERRAT et al., 2007; NUNES et al., 2020; VAN DER OOST et al., 2003).

2 - OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS DO PLANO DE TRABALHO

Objetivo Geral

Objetiva-se determinar as concentrações de metais de interesse toxicológico em água, sedimento e biota e modular os parâmetros de biomarcadores bioquímico na bycatch encontrada nas pescarias praticadas na costa norte do Brasil.

Objetivos Específicos

- Determinar a concentrações de metais de interesse toxicológico em água, sedimento e nas principais espécies presentes na bycatch das pescarias;
- Modular os biomarcadores bioquímicos em tecidos (cérebro, fígado, brânquias e músculos) nas principais espécies presentes na bycatch das pescarias;

- Testar possíveis diferenças sazonais entre nas concentrações de metais de interesse toxicológico e nos biomarcadores na área de estudo;
- Indicar espécie(s) biomonitora(s) para monitoramento ambiental na Costa Norte brasileira.

3 - METODOLOGIA

Área de estudo

A costa Norte do Brasil compreende a região entre a foz do rio Oiapoque, que delimita a fronteira do Brasil com a Guiana Francesa, e a foz do rio Parnaíba, que delimita a fronteira dos estados do Maranhão e do Piauí (EKAU; KNOPPERS, 1999). Estendendo-se por mais de 2.500 km, apresenta a linha da costa bastante heterogênea e altamente instável em termos geomorfológicos em decorrência da erosão e da significativa deposição de sedimentos, que formam planícies alagadas e muitas ilhas (FLORIANI et al., 2004).

Reentrâncias e recortes da linha costeira favorecem a existência de ecossistemas estuarinos, dominados pela vegetação de manguezal, sendo que os estados do Amapá, Pará e Maranhão abrigam a maior área de manguezal contínuo do planeta, responsável pela grande quantidade de nutrientes encontrados em águas marinhas adjacentes, incluindo o Grande Sistema de Recifes da Amazônia (DITTMAR, 1999; FRANCINI-FILHO et al., 2018).

Somente o rio Amazonas descarrega no oceano entre 80.000 e 250.000m³ de água doce por segundo e até 1,4 milhão de toneladas anuais de sedimentos (CURTIN, 1986). A descarga de um volume tão elevado de água doce e sedimentos no ambiente marinho resulta em um sistema altamente energético, que influencia uma série de processos oceanográficos, mas principalmente determina a composição e a distribuição dos recursos naturais da região (COSTA; FIGUEIREDO JR., 1998).

A dinâmica hidrológica da costa Norte é sujeita a grande variação sazonal, influenciada pela descarga do rio Amazonas, pela Corrente Norte do Brasil e por ventos alísios. A Corrente Norte do Brasil, ou Corrente das Guianas, transporta águas da plataforma externa e do talude na direção noroeste, enquanto o ciclo de marés e a pluviosidade fornecem nutrientes para manutenção da fauna demersal (RICHARDSON et al., 1994). A região também sofre influência da bacia do rio Orinoco, sendo que a descarga combinada de água doce dos rios Amazonas e Orinoco forma a “Pluma do Amazonas-Orinoco”, conferindo à região características oceanográficas únicas (GRODSKY et al., 2014).

No cenário descrito, o Grande Sistema Recife da Amazônia (GSRA) é um ambiente de fundo consolidado complexo, formado por organismos vivos, primeiramente evidenciado por Collette e Rützler (1977). Recentemente, o conhecimento sobre o GSRA foi ampliado por trabalho de exploração realizado por sondas de dragagem (MOURA et al., 2016) e imagens submersas captadas pelo submarino Deep Worker, entre 70 a 250 metros, com estimativas que o Grande Sistema Recife da Amazônia tenha 9.500 km² a de cerca de 56.000 km², sendo composto por recifes mesofóticos típicos, encontrados entre 70 a 220 m de profundidade, construídos principalmente por algas calcárias, esponjas e corais escleractínios (FRANCINI-FILHO et al., 2018; MOURA et al., 2016).

Na plataforma continental média, a grande diversidade de habitats, incluindo algas, rodólitos, esponjas, coral mole e coral negro, tem os limites determinados pela descarga de sedimentos e material em suspensão do rio Amazonas, assim como pelas fortes correntes marinhas (RICHARDSON et al., 1994), sendo a penetração da luz diretamente associada à influência da pluma do rio Amazonas e das águas claras da Corrente Norte do Brasil (FRANCINI-FILHO et al., 2018) (Figura 1).

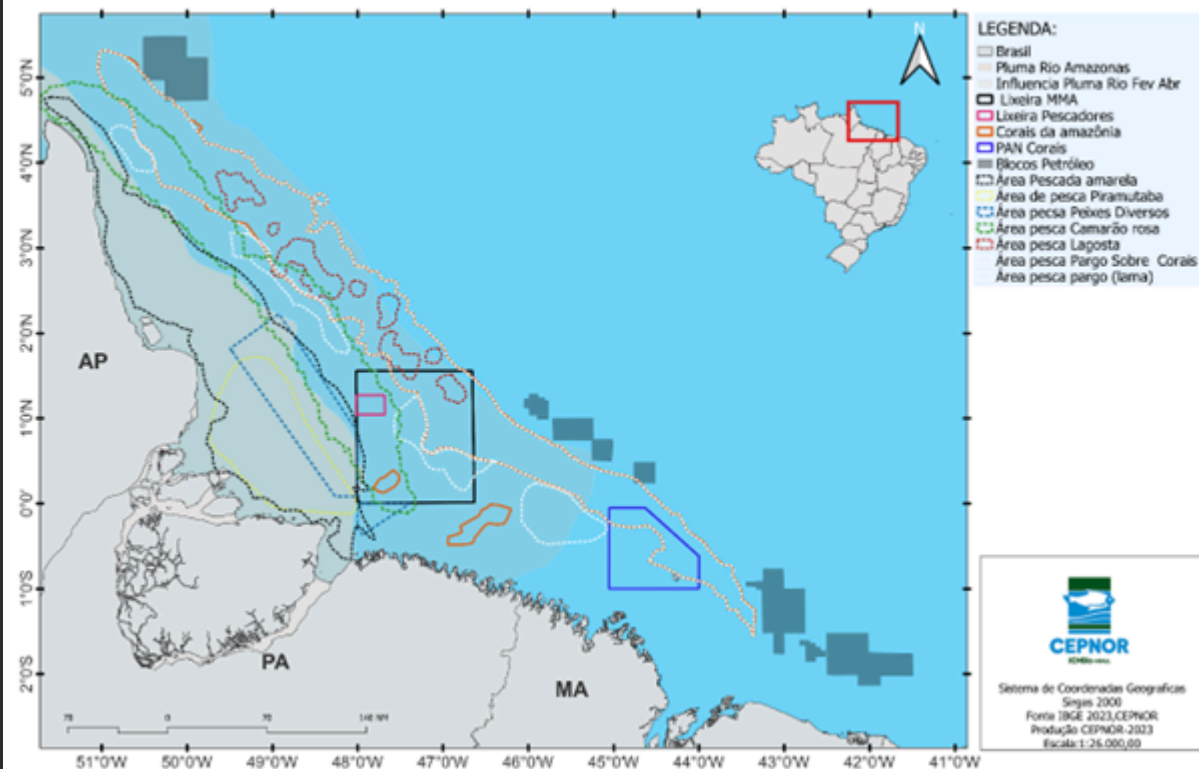


Figura 1: Áreas de pescarias praticadas na costa norte brasileiras, destacando outras áreas importante para o monitoramento.

Protocolo de amostragem

A amostragem de espécimes será realizada em embarques mensais de observadores científicos nas frotas que operam na pesca na costa norte.

Em cada embarque, após a retirada dos apetrechos (redes ou armadilhas), os organismos amostrados serão crioadestesiados – anestesia pela imersão no gelo –. Após a morte do animal, as amostras serão codificadas e extraídos quatro tipos de tecidos (cérebro, fígado, brânquias e músculos) para peixes. Para moluscos, serão fixados o conjunto manto-pé das espécies e para demais invertebrados (equinodermas e crustáceos) serão amostrados parte do tecido das espécies. Adicionalmente serão determinados o comprimento total e o peso de cada organismo.

Como há uma variedade de pescarias praticadas na região, os dados serão agrupados por tipos de substrato, proximidades a área do GSRA, área de influência da pluma do rio Amazonas e das áreas/blocos determinados para a exploração de petróleo. Um total de 30 indivíduos serão amostrados em cada área. Adicionalmente, serão registradas informações de pesca (período do dia, data, profundidade, número de redes/armadilhas, dentre outros).

Após o desembarque, as amostras serão transportadas ao Laboratório de Ecotoxicologia da Universidade Federal do Pará – LABECOTOX/UFPA.

Análise bioquímica

Preparação de Amostras

Em laboratório, as amostras de tecido oriundo de cada local serão pesadas em balança analítica imediatamente antes do preparo das amostras para dosagens bioquímicas. As amostras de peixes serão homogêneas na proporção 1/4 (peso/volume) com tampão de homogeneização para vertebrados e depois centrifugados a 20.000x por 20 min a 4 °C, segundo metodologia de Bainy et al. (1996). Posteriormente, o sobrenadante será retirado, aliquotado e congelado a -80°C até o momento das dosagens.

Quantificação de Proteínas Totais

A análise de proteínas totais será realizada com kit comercial (Doles Ltda, Brazil) baseado no teste Biureto (citrato trissódico 0,114M, carbonato de sódio 0,21M e sulfato de cobre 0,01M) para proteínas, as leituras serão realizadas em leitor de microplacas multimodal (Victor X3, Perkin Elmer) a 550 nm. Os resultados são expressos em miligramas de proteínas/ml.

Capacidade antioxidante total contra radicais peroxil (ACAP)

A capacidade antioxidante total frente aos radicais peroxil será analisada de acordo com método utilizado por Amado et al. (2009). As leituras serão realizadas em leitor de microplacas de fluorescência (485 e 530 para excitação e emissão respectivamente) durante uma hora (Victor 2, Perkin Elmer). Os resultados são expressos como o inverso da área relativa.

Atividade da Glutathione-S-transferase (GST)

A dosagem de Glutathione-S-transferase (GST) será baseada nos trabalhos de Habig e Jakoby (1981). As leituras serão expressas em UGST/mg de proteína que representa a quantidade necessária da enzima para conjugar 1 μ Mol de CDNB/min/mg de proteína, a 25°C e pH 7,0. O protocolo utilizado para atividade de Glutamato cisteína ligase e concentração reduzida de glutathione (GSH) seguirá o trabalho de White et al. (2003). As leituras serão realizadas em espectrofluorímetro (Victor 2, Perkin Elmer) com leitor de placas (472 para excitação e 528 para emissão) e os resultados serão expressos em nmol de GSH e atividade de GCL (nmol/min/mg de proteína).

Peroxidação lipídica (LPO)

Os níveis de lipoperoxidação ou peroxidação lipídica (LPO) serão determinados pelo método de Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARS), seguindo o trabalho de Oakes e van Der Kraak (2003), no qual o malondialdeído (MDA) será quantificado. As leituras serão realizadas em leitor de microplacas de fluorescência (515 para excitação e 553 nm para emissão) (Victor \times 3, Perkin 108 Elmer). Os resultados serão expressos em nM MDA/g de tecido úmido.

Caracterização dos metais de interesse toxicológico

Para caracterização do background da composição de metais (total, dissolvido e particulado) serão coletadas (em triplicata) amostras de sedimento e água superficial. Além disso, serão amostradas um total de 30 espécimes de diferentes posições tróficas (cada). As amostras da biota serão conservadas em nitrogênio líquido até o desembarque.

As amostras de água serão coletadas em frascos plásticos de 250ml previamente esterilizados e acidificados (ácido nítrico a 5%). As amostras de água serão acidificadas, subsequentemente a amostragem, com a inserção de 200 microlitros de ácido clorídrico puro no respectivo frasco e mantidos em câmara frigorífica até o desembarque. As amostras de sedimentos serão coletadas quando disponível na retirada do apetrecho com o auxílio de uma pá e armazenadas em sacos plásticos até o desembarque.

Os metais serão analisados por espectrometria de absorção atômica com atomização em chama, forno de grafite, vapor frio de mercúrio e geração de hidretos. A caracterização da composição de metais será efetuada por parte da equipe no Laboratório de Análises Químicas, na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no Rio Grande de Sul.

Serão quantificados Al, Ba, Mn, Cr, Ni, Pb, As, Cd, Fe e Hg em amostras de água superficial (fração total, dissolvida e particulada) e em sedimentos superficiais. A quantificação dos elementos será determinada por Espectrometria de Absorção Atômica com atomização em Chama, Forno de Grafite, Vapor Frio de Mercúrio e Geração de Hidretos.

As amostras de água acidificadas serão filtradas em membrana de 0,45 µm para análises de fração solúvel e não sofrerão pré-tratamento para análises de fração total e particulada.

Para a análise de sedimentos, as amostras serão previamente submetidas a um processo de evaporação utilizando estufa e posteriormente a digestão total em Forno de Micro-ondas. Inicialmente, as amostras serão processadas por digestão ácida por meio da mistura oxidante HNO₃ + H₂O₂ segundo o método de referência EPA3050B descrito pela EPA (Método 3050B: digestão ácida de sedimentos, lodos e solos).

Em seguida, as amostras serão diluídas em água ultrapura (Milli-Q) e analisadas de acordo com as metodologias validadas para cada elemento. As análises são comparadas com resultados de amostras certificadas internacionalmente pelo NIST (National Institute of Standards and Technology – USA) para a expressão da exatidão final dos resultados em todas as amostras analisadas. As concentrações dos elementos serão calculadas em µg/L (ppb) para água e mg/kg (ppm) para sedimento.

Análise dos dados

Inicialmente, serão calculados e testados os pressupostos de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e de homoscedasticidade (teste de Levene). Quando necessário, os dados serão log transformados.

A análise consistirá na estimação da média dos dados de metais (água, sedimento e biota) e biomarcadores bioquímicos estudados e comparados por área amostrada. Será utilizado o teste ANOVA para testar a diferença das médias dos biomarcadores analisados por área, sendo posteriormente aplicado o teste post hoc de Tukey. Quando os pressupostos da ANOVA não forem atingidos, será realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. O nível de significância adotado será de 5% (ZAR, 2010).

Todas as análises serão consideradas a um nível de significância de 95% e executadas no software R versão 4.1.0 (R Foundation for Statistical Computação) (R CORE TEAM, 2023), usando o pacote Vegan (OKSANEN et al., 2019).

- Caso necessário, figuras, mapas e esquemas poderão ser adicionados.

4 - RESULTADOS ESPERADOS

Com o desenvolvimento do projeto de pesquisa, espera-se que ocorra a quantificação, concentração e análise da média dos dados de metais (água, sedimento e biota) e biomarcadores bioquímicos estudados e comparados por área amostrada, possibilitando dados detalhados sobre os impactos ambientais, gerando assim uma gestão ambiental da região de modo eficiente e eficaz.

Ademais, a pesquisa pode desempenhar papel fundamental na Conservação da biodiversidade e na gestão das unidades de conservação ao fornecer informações essenciais para identificar, monitorar e mitigar os impactos auxiliando assim na proteção de espécies locais além conseguir desenvolver políticas públicas.

5 - IMPORTÂNCIA DA EXECUÇÃO DA PESQUISA PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Sabe-se que sedimentos costeiros e marinhos são os reservatórios naturais de detritos físicos e biológicos e de uma ampla variedade de compostos químicos, servindo também como fontes poluidoras não-pontuais. Assim, medidas que possibilitam o monitoramento e avaliação desses ambientes são primordiais para sua conservação.

Neste contexto, a Costa Norte é uma região delimitada na plataforma continental brasileira que possui um elevado nível de biodiversidade. Deste modo, é fundamental a aplicação de ferramentas que possibilitem o monitoramento da sanidade local frente as inúmeras perturbações antrópicas e naturais. Com isso, o estudo geoquímico das concentrações de metais de interesse toxicológico em compartimentos abióticos e bióticos do ambiente marinho somadas à modulação dos biomarcadores bioquímicos permitirão a identificar a caracterização do status atual e possíveis riscos à saúde ambiental e humana.

A partir disso, será possível subsidiar devidas ações de mitigação, caso se detectem elementos perigosos que constituam uma ameaça para a sanidade local. Neste contexto, a utilização de embarcações pesqueiras para a amostragem permitirá uma avaliação do real panorama da área estudada, permitindo amostragem de sedimento, água e da biota. Deste modo, o desenvolvimento do presente projeto de pesquisa pretende subsidiar processos de gestão da área, servindo como um agente preventivo às perturbações ambientais.

6 - ETAPAS E CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DO PLANO DE TRABALHO

Etapa 1 – Revisão bibliográfica

Etapa 2 – Embarques científicos

Etapa 3 – Caracterização dos metais de interesse toxicológico em amostras de sedimento, água superficial e na biota.

Etapa 4 – Caracterização dos parâmetros de estresse oxidativo em tecido da biota

Etapa 5 – Análise estatística dos dados

Etapa 6 – Escrita do relatório parcial

Etapa 7 – Escrita do relatório final

Etapa	Set/24	Out/23	Nov/24	Dez/24	Jan/25	Fev/25	Mar/25	Abr/25	Mai/25	Jun/25	Jul/25	Ago/25
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2		X		X		X		X				
3			X	X	X	X	X	X	X	X		
4			X	X	X	X	X	X	X	X		
5					X						X	
6					X	X						
7											X	X

Marque com um X o período correspondente a cada uma das etapas. Podem ser acrescentadas novas etapas caso necessário

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE-MARTÍNEZ, G.V.; DEL VALLS, T.A.; MARTÍN-DÍAZ, M.L. Early responses measured in the brachyuran crab *Carcinus maenas* exposed to carbamazepine and novobiocin: Application of a 2-tier approach. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 97, n. p. 47-58, 2013.

AMADO, L.L.; GARCIA, M.L.; RAMOS, P.B.; FREITAS, R.F.; ZAFALON, B.; FERREIRA, J.L.R.; YUNES, J.S.; MONSERRAT, J.M. A method to measure total antioxidant capacity against peroxy radicals in aquatic organisms: Application to evaluate microcystins toxicity. **Science of The Total Environment**, v. 407, n. 6, p. 2115-2123, 2009.

AMORIM, L.C.A. Os biomarcadores e sua aplicação na avaliação da exposição aos agentes químicos ambientais. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 6, n. p. 2003.

AYLAGAS, E.; BORJA, A.; MUXIKA, I.; RODRIGUEZ-EZPELETA, N. Adapting metabarcoding-based benthic biomonitoring into routine marine ecological status assessment networks. **Ecological Indicators**, v. 95, n. p. 194-202, 2018.

BAINY, A.C.D.; SAITO, E.; CARVALHO, P.S.M.; JUNQUEIRA, V.B.C. Oxidative stress in gill, erythrocytes, liver and kidney of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from a polluted site. **Aquatic Toxicology**, v. 34, n. 2, p. 151-162, 1996.

BIGATTI, G.; PRIMOST, M.A.; CLEDON, M.; AVERBUJ, A.; THEOBALD, N.; GERWINSKI, W.; ARNTZ, W.; MORRICONI, E.; PENCHASZADEH, P.E. Biomonitoring of TBT contamination and imposex incidence along 4700 km of Argentinean shoreline (SW Atlantic: from 38S to 54S). **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, n. 5, p. 695-701, 2009.

BORJA, A. The biotic indices and the Water Framework Directive: the required consensus in the new benthic monitoring tools. **Marine Pollution Bulletin**, v. 48, n. 3-4, p. 405-408, 2004.

COOKE, S.J.; SACK, L.; FRANKLIN, C.E.; FARRELL, A.P.; BEARDALL, J.; WIKELSKI, M.; CHOWN, S.L. What is conservation physiology? Perspectives on an increasingly integrated and essential science†. **Conservation Physiology**, v. 1, n. 1, p. 2013.

COSTA, E.A.; FIGUEIREDO JR., A.G. Echo-character and sedimentary processes on the Amazon continental shelf. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, n. 2, p. 187-200, 1998.

CURTIN, T.B. Physical observations in the plume region of the Amazon River during peak discharge—II. Water masses. **Continental Shelf Research**, v. 6, n. 1, p. 53-71, 1986.

DEPLEDGE, M.H.; AAGAARD, A.; GYÖRKÖS, P. Assessment of trace metal toxicity using molecular, physiological and behavioural biomarkers. **Marine Pollution Bulletin**, v. 31, n. 1, p. 19-27, 1995.

EKAU, W.; KNOPPERS, B. An introduction to the pelagic system of the North-East and East Brazilian shelf. **Archive of Fishery and Marine Research**, v. 47, n. 2/3, p. 113-132, 1999.

FLORIANI, D.C.; FUKUDA, J.C.; PINTO, E.F. Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses: o maior campo de dunas costeiras da América do Sul. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 1, n. p. 62,64, 2004.

FRANCINI-FILHO, R.B.; ASP, N.E.; SIEGLE, E.; HOCEVAR, J.; LOWYCK, K.; D'AVILA, N.; VASCONCELOS, A.A.; BAITELO, R.; REZENDE, C.E.; OMACHI, C.Y.; THOMPSON, C.C.; THOMPSON, F.L. Perspectives on the Great Amazon Reef: Extension, Biodiversity, and Threats. **Frontiers in Marine Science**, v. 5, n. p. 2018.

GRODSKY, S.A.; REVERDIN, G.; CARTON, J.A.; COLES, V.J. Year-to-year salinity changes in the Amazon plume: Contrasting 2011 and 2012 Aquarius/SACD and SMOS satellite data. **Remote Sensing of**

Environment, v. 140, n. p. 14-22, 2014.

HABIG, W.H.; JAKOBY, W.B. Assays for differentiation of glutathione S-Transferases. In: **Methods in Enzymology**. v. 77. Academic Press, 1981. pp. 398-405

HALLETT, C.S.; TRAYLER, K.M.; VALESINI, F.J. The Fish Community Index: A Practical Management Tool for Monitoring and Reporting Estuarine Ecological Condition. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 15, n. 5, p. 726-738, 2019.

KAWAKAMI, S.K.; MELLO, L.; DERGAN, A.L.; EVANGELISTA, C.; AQUINO, R.F.; MENDES, R.A.; CARMO, A.M.C.; AMADO, L.L. Sedimentary PAH and oxidative stress biomarkers responses on *Namalycastis abiuma* (Polychaeta: Nereididae) from an urbanized Amazon estuary. **Regional Studies in Marine Science**, v. 57, n. p. 102757, 2023.

MONSERRAT, J.M.; MARTÍNEZ, P.E.; GERACITANO, L.A.; LUND AMADO, L.; MARTINEZ GASPAR MARTINS, C.; LOPES LEÃES PINHO, G.; SOARES CHAVES, I.; FERREIRA-CRAVO, M.; VENTURA-LIMA, J.; BIANCHINI, A. Pollution biomarkers in estuarine animals: Critical review and new perspectives. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 146, n. 1, p. 221-234, 2007.

MOURA, R.L.; AMADO-FILHO, G.M.; MORAES, F.C.; BRASILEIRO, P.S.; SALOMON, P.S.; MAHIQUES, M.M.; BASTOS, A.C.; ALMEIDA, M.G.; SILVA, J.M.; ARAUJO, B.F.; BRITO, F.P.; RANGEL, T.P.; OLIVEIRA, B.C.V.; BAHIA, R.G.; PARANHOS, R.P.; DIAS, R.J.S.; SIEGLE, E.; FIGUEIREDO, A.G.; PEREIRA, R.C.; LEAL, C.V.; HAJDU, E.; ASP, N.E.; GREGORACCI, G.B.; NEUMANN-LEITÃO, S.; YAGER, P.L.; FRANCINI-FILHO, R.B.; FRÓES, A.; CAMPEÃO, M.; SILVA, B.S.; MOREIRA, A.P.B.; OLIVEIRA, L.; SOARES, A.C.; ARAUJO, L.; OLIVEIRA, N.L.; TEIXEIRA, J.B.; VALLE, R.A.B.; THOMPSON, C.C.; REZENDE, C.E.; THOMPSON, F.L. An extensive reef system at the Amazon River mouth. **Science Advances**, v. 2, n. 4, p. e1501252, 2016.

NAMA, S.; SHANMUGHAN, A.; NAYAK, B.B.; BHUSHAN, S.; RAMTEKE, K. Impacts of marine debris on coral reef ecosystem: A review for conservation and ecological monitoring of the coral reef ecosystem. **Marine Pollution Bulletin**, v. 189, n. p. 114755, 2023.

NUNES, B.; PAIXÃO, L.; NUNES, Z.; AMADO, L.; FERREIRA, M.A.; ROCHA, R. Use of biochemical markers to quantify the toxicological effects of metals on the fish *Sciades herzbergii*: potential use to assess the environmental status of Amazon estuaries. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 24, p. 30789-30799, 2020.

OAKES, K.D.; VAN DER KRAAK, G.J. Utility of the TBARS assay in detecting oxidative stress in white sucker (*Catostomus commersoni*) populations exposed to pulp mill effluent. **Aquatic Toxicology**, v. 63, n. 4, p. 447-463, 2003.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R. et al. **vegan: Community Ecology Package**. R package version 3.5.2 2019.

RICHARDSON, P.L.; HUFFORD, G.E.; LIMEBURNER, R.; BROWN, W.S. North Brazil Current retroflection eddies. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. C3, p. 5081, 1994.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing 2023.

VAN DER OOST, R.; BEYER, J.; VERMEULEN, N.P.E. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 13, n. 2, p. 57-149, 2003.

VEETIL, B.K.; HONG QUAN, N.; HAUSER, L.T.; DOAN VAN, D.; QUANG, N.X. Coastal and marine plastic litter monitoring using remote sensing: A review. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 279, n. p. 108160, 2022.

WANG, D.; SINGHASEMANON, N.; GOH, K.S. A statistical assessment of pesticide pollution in surface waters using environmental monitoring data: Chlorpyrifos in Central Valley, California. **Science of The Total Environment**, v. 571, n. p. 332-341, 2016.

WHITE, C.C.; VIERNES, H.; KREJSA, C.M.; BOTTA, D.; KAVANAGH, T.J. Fluorescence-based microtiter plate assay for glutamate–cysteine ligase activity. **Analytical Biochemistry**, v. 318, n. 2, p. 175-180, 2003.

YANG, Z.; YU, X.; DEDMAN, S.; ROSSO, M.; ZHU, J.; YANG, J.; XIA, Y.; TIAN, Y.; ZHANG, G.; WANG, J. UAV remote sensing applications in marine monitoring: Knowledge visualization and review. **Science of The Total Environment**, v. 838, n. p. 155939, 2022.

ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. v. New Jersey: Prentice Hall, 2010. 960 p.



Documento assinado eletronicamente por **Alex Garcia Cavalleiro de Macedo Klautau**, Coordenador(a), em 19/04/2024, às 15:50, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.icmbio.gov.br/autenticidade> informando o código verificador **18403499** e o código CRC **053F1388**.