Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente

Material Suplementar Ambiente Marinho

Tema: Ecotoxicologia

RT- 55/OUT 26

RA2025 PMBA/FEST-UFES

Vitória,

Outubro de 2026

EQUIPE TÉCNICA

Adalto Bianchini (coordenador)

Camila De Martinez Gaspar Martins

Henrique Fragoso dos Santos

Iole Beatriz Marques Orselli

Juliana Castro Monteiro Pirovani

Mariana da Fontoura Martins

Maysa do Vale Oliveira

Yuri Dornelles Zebral

SUMÁRIO

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL 4

2 METODOLOGIA 4

2.1 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA, SEDIMENTO E BIOTA 5

2.2 ANÁLISES DE LABORATÓRIO 30

2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS 39

2.4 ALTERAÇÕES NA MALHA/FREQUÊNCIA AMOSTRAL E ESCOPO REALIZADOS EM OUTUBRO DE 2024: SUAS CONSEQUÊNCIAS NAS ANÁLISES DA SÉRIE HISTÓRICA DE INDICADORES 40

3 RESULTADOS DOS INDICADORES 41

3.1 ÍNDICE DE BIOACUMULAÇÃO (*IBR BIOACUMULAÇÃO*) 42

3.2 ÍNDICE DE RESPOSTA BIOLÓGICA *(IBR BIOMARCADOR)* 112

3.3 DIVERSIDADE MICROBIANA 139

3.4 ÍNDICE DE TOXICIDADE 157

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO 158

5 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS 164

6 REFERÊNCIAS 165

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

A malha e frequência amostrais do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest-UFES) passaram por modificações ao longo do tempo, visando seu aperfeiçoamento para atendimento aos objetivos do Programa. Estas alterações foram orientadas pela Câmara Técnica da Biodiversidade (CTBio) e aprovadas pelo Comitê Interfederativo (CIF), por meio de: (1) Ofício SEI nº 1/2020-CTBio/DIBIO/ICMBio, de outubro de 2019 (para o período de transição), (2) Proposta Técnica de continuidade do monitoramento, apresentadas e aprovadas em 2022, visando o "Novo Ciclo do PMBA/Fest-UFES" e (3) Ofício SEI Nº 32/2024/CTBio/DIBIO/ICMBio, Nota Técnica nº 1/2024-CTBio/DIBIO/ICMBio e Deliberação CIF nº 803, de 08 de agosto de 2024.

As modificações implementadas encontram-se nos seguintes Materiais Suplementares, os quais contemplam todo o período de execução do PMBA/Fest-UFES: (1) MS – Malha amostral, que apresentam as estações amostrais executadas ao longo do tempo por todos os Anexos/Temas, separados por cada marco temporal histórico mencionado acima ("Ano 1", "Transição", "Novo Ciclo" e "Deliberação 803"); (2) Frequência amostral, o qual contempla o histórico da periodicidade amostral (seguindo os mesmos Anexos/Temas contemplados no item 1) e (3) MS – Mapas históricos das malhas amostrais, que apresenta os mapas das malhas amostrais (incluindo as estações) executadas por todos os Anexos/Temas.

Segue o detalhamento temporal, como forma de esclarecer a execução dentro dos marcos históricos: "Ano 1" (setembro de 2018 e setembro de 2019); "Transição" (outubro de 2019 e julho de 2022); "Novo Ciclo" (agosto de 2022 a setembro de 2024) e "Deliberação 803" (outubro de 2024 a março de 2026). O grupo da Ecotoxicologia é uma exceção a esta historicidade, pois iniciou a amostragem referente ao "Novo Ciclo" em janeiro de 2023 e segue com a "Deliberação 803", na periodicidade já informada.

2 METODOLOGIA

A metodologia apresentada contempla o escopo em vigência no momento de entrega deste relatório, ou seja, as amostragens e análises previstas para o Novo Ciclo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática – PMBA/Fest-UFES submetidas à Fundação Renova através do FORMULÁRIO DE APRESENTAÇÃO DE PLANO DE TRABALHO em agosto de 2022 (e dezembro de 2022 para o Tema Ecotoxicologia) e na Deliberação CIF nº 803, de 08 de agosto de 2024. Após a descrição da metodologia implementada, será apresentado um breve descritivo sobre as modificações metodológicas (parâmetros, análise de parâmetros ou grupo de parâmetros, dentre outros) que ocorreram ao longo da evolução do PMBA/Fest-UFES a fim de determinar os indicadores.

2.1 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA, SEDIMENTO E BIOTA

As coletas de amostras de água de fundo e de superfície seguiram a metodologia padrão empregada desde a Campanha 1 (set/out 2018). Resumidamente, as coletas de água, ao longo da coluna d'água, foram realizadas utilizando-se uma garrafa horizontal do tipo Van Dorn. Em todas as estações amostrais foram coletadas 6 amostras de água (3 amostras de superfície e 3 amostras de fundo) para a análise das concentrações de arsênio (As) e metais totais e 6 amostras (3 amostras de superfície e 3 amostras de fundo) de água filtrada (filtro de 0,45 µm de malha) para a análise das concentrações de metais na fração dissolvida. Imediatamente após a coleta, alíquotas das amostras para a determinação das concentrações totais e dissolvidas de As e metais foram acidificadas com ácido nítrico Suprapur (HNO_3, concentração final de 1%) e mantidas refrigeradas. Adicionalmente, foram coletadas amostras de água superficial, seguindo-se os mesmos procedimentos descritos acima, sem filtragem e acidificação, em quantidades adequadas para realização de ensaios de toxidade. As amostras de água foram mantidas congeladas (<-10ºC) até o momento dos ensaios. No momento da coleta das amostras de água foram realizadas as medidas da temperatura, condutividade elétrica, salinidade, pH e oxigênio dissolvido, utilizando-se uma sonda multiparâmetros (YSI Professional Plus).

As coletas de amostras de sedimento seguiram a metodologia padrão empregada desde a Campanha 1 (set/out 2018). Em todas as estações amostrais utilizadas para a coleta de água foram coletadas também amostras de sedimento superficial com auxílio de draga do tipo Van Veen. Em cada local de amostragem foram coletadas 4 amostras de sedimento. As amostras foram abertas em caixas plásticas, buscando-se gerar um mínimo de perturbação na superfície do sedimento e fotografadas imediatamente após a coleta, a fim de registrar as características visuais do sedimento. Para a análise de As e metais, as amostras foram coletadas com o auxílio de espátula de plástico, raspando-se apenas os primeiros centímetros (0-5 cm) e obtendo-se apenas o sedimento superficial. As amostras de sedimento foram armazenadas em frascos plásticos descontaminados e mantidos congelados até o momento das análises. Adicionalmente, foram coletadas amostras de sedimento superficial, seguindo-se os mesmos procedimentos descritos acima, em quantidades adequadas para realização de ensaios de toxidade. As amostras de sedimento foram mantidas refrigeradas (<10ºC) até o momento dos ensaios.

Com o objetivo de avaliar possíveis efeitos biológicos decorrentes da contaminação da água e sedimento por As e metais e consequente acumulação nos organismos de diferentes níveis tróficos e diferentes habitats, foram realizadas coletas de organismos típicos das regiões monitoradas. No caso dos pontos amostrais localizados na foz do rio Doce e região costeira adjacente, sempre que possível, foram coletados os seguintes organismos: fitoplâncton (coleta com rede de fitoplâncton), zooplâncton (coleta com redes de zooplâncton), macrocrustáceos (coleta com rede de arrasto ou armadilha) e peixes (coleta com redes de arrasto, emalhe ou outra arte de pesca). As espécies de macrocrustáceos incluíram o camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis* ou *F. brasiliensis*) e o camarão sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*). Por sua vez, as espécies de peixes previstas incluíram o roncador *Conodon*

nobilis, a pescadinha *Cynoscion sp*., o peroá *Balistes capriscus* e o linguado sem mancha *Paralichthys* sp. Todavia, diante da impossibilidade de coleta destas espécies de peixes, previstas no TR4, em todos os pontos amostrais e/ou em número amostral mínimo, necessário para as análises de bioacumulação e respostas de biomarcadores, substituiu-se as mesmas por outras espécies que já haviam sido coletadas e analisadas nas 5 expedições de pesquisa e monitoramento ecotoxicológico promovidas pelo ICMBio (jan/2016 - fev/2018) na foz do rio Doce e região costeira adjacente. As espécies de peixes coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1: Espécies de peixes (nome científico e/ou nome popular e número de indivíduos) coletadas no Ambiente Marinho durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), e respectivo hábito alimentar (carnívoro ou onívoro). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 1 (SD01– a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03– a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 30 (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1), Barra Seca 2 (BS2), Conceição da Barra 1 (CB1), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12) e Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13), São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)] e Sul [Vitória 1 (VIX1 – da Campanha 1 à 8), Vitória 2 (VIX2 – da Campanha 1 à 8), Guarapari 1 (GUA1 – da Campanha 1 à 8) e Guarapari 2 (GUA2 – da Campanha 1 à 8)].

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
1	BN1	Linguado	6		12
1	BN1	Palombeta		6	
1	BN2	Michole	2		8
1	BN2	Palombeta		6	
1	CA1	Peroá	3		13
1	CA1	Pescadinha	1		
1	CA1	Maria Luíza		5	
1	CA1	Cabeção / Cabeça dura		4	
1					
1	CA2	Linguado	6		11
1	CA2	Cabeção / Cabeça dura		5	
1	CA3	Linguado	1		1
1	CA4	Michole	1		4
1	CA4	Pargo Rosa	2		
1	CA4	Olho de Vidro	1		
1	DEG2	Roncador	5		15
1	DEG2	Palombeta		4	
1	DEG2	Carapeba		6	
1	FRD1	Maria Luíza		3	12
1	FRD1	Cabeção / Cabeça dura		6	
1	FRD1	Bagre	3		
1	FRD10	Roncador	3		13
1	FRD10	Pescadinha	4		
1	FRD10	Cabeção / Cabeça dura		6	
1	FRD3	Roncador	5		21
1	FRD3	Pescadinha	4		
1	FRD3	Maria Luíza		6	
1	FRD3	Cabeção / Cabeça dura		6	
1	FRD6	Roncador	6		22
1	FRD6	Pescadinha	6		
1	FRD6	Maria Luíza		6	
1	FRD6	Palombeta		4	
1	FRD8	Roncador	3		14
1	FRD8	Linguado	5		
1	FRD8	Michole	6		
1	FRD9	Pescadinha	4		12
1	FRD9	Maria Luíza		4	
1	FRD9	Cabeção / Cabeça dura		4	
1	GUA2	Linguado	2		5
1	GUA2	Maria Luíza		3	
1	ITA1	Pescadinha	2		5
1	ITA1	Cabeção / Cabeça dura		3	
1	VIX1	Roncador	5		22
1	VIX1	Linguado	1		
1	VIX1	Pescadinha	5		
1	VIX1	Maria Luíza		6	
1	VIX1	Cabeção / Cabeça dura		5	
1	VIX2	Linguado	3		3
Total Campanha 1			95	98	193
2	BN2	Peroá	6		13
2	BN2	Linguado	7		
2	CA 1	Corvina	6		24
2	CA 1	Pescadinha	6		
2	CA 1	Palombeta		6	
2	CA 1	Sametara		1	
2	CA 1	Linguado	5		
2	CA 2	Micholi	6		26
2	CA 2	Linguado	11		
2	CA 2	Trilha		6	
2	CA 2	Santo Antônio		3	
2	DEG1	Maria Luiza		6	18
2	DEG1	Roncador	6		

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
2	DEG1	Pescadinha	4		
2	DEG1	Sametara		1	
2	DEG1	Palombeta		1	
2	DEG2	Peroá	3		
2	DEG2	Roncador	6		
2	DEG2	Linguado	7		28
2	DEG2	Trilha		6	
2	DEG2	Palombeta		6	
2	FRD1	Pescadinha	6		
2	FRD1	Roncador	6		
2	FRD1	Cabeça dura		6	23
2	FRD1	Maria Luiza		5	
2	FRD10	Maria Luiza		6	
2	FRD10	Pescadinha	6		18
2	FRD10	Sametara		6	
2	FDR3	Linguado	6		
2	FDR3	Palombeta		1	
2	FDR3	Peroá	1		10
2	FDR3	Micholi	2		
2	FRD6	Corvina	6		
2	FRD6	Trilha		6	
2	FRD6	Palombeta		6	23
2	FRD6	Linguado	5		
2	FRD8	Linguado	8		
2	FRD8	Micholi	6		
2	FRD8	Peroá	5		24
2	FRD8	Trilha		5	
2	FRD9	Pescadinha	4		
2	FRD9	Cabeça dura		6	
2	FRD9	Maria Luiza		2	
2	FRD9	Corvina	4		24
2	FRD9	Roncador	1		
2	FRD9	Trilha		7	
2	GUA 1	Linguado	1		
2	GUA 1	Carapeba		1	
2	GUA 1	Sametara		1	5
2	GUA 1	Cocorota	2		
2	GUA 2	Caratinga		3	
2	GUA 2	Linguado	9		19
2	GUA 2	Maria Luiza		1	
2	GUA 2	Santo Antônio		6	
2	ITA1	Pescadinha	6		
2	ITA1	Cuibira	5		
2	ITA1	Maria Luiza		6	24
2	ITA1	Sardinha		1	
2	ITA1	Roncador	6		
2	VIX 1	Pescadinha	6		
2	VIX 1	Maria Luiza		3	
2	VIX 1	Sametara		2	23
2	VIX 1	Cabeça dura		6	
2	VIX 1	Linguado	3		
2	VIX 1	Sardinha		3	
2	VIX 2	Peroá	6		
2	VIX 2	Cocorota	5		
2	VIX 2	Perubu		2	
2	VIX 2	Sago	2		32
2	VIX 2	Micholi	6		
2	VIX 2	Cutinga	6		
2	VIX 2	Linguado	2		
2	VIX 2	Santo Antônio		3	
Total Campanha 2			204	130	334
3	BN1	Linguado	5		
3	BN1	Palombeta		6	
3	BN1	Peroá	6		29
3	BN1	Roncador	6		
3	BN1	Xaréu	6		
3	CA1	Cabeça dura		6	
3	CA1	Corvina	4		22
3	CA1	Maria Luiza		6	
3	CA1	Pescadinha	6		
3	CA2	Corvina	2		
3	CA2	Linguado	5		
3	CA2	Peroá	1		20
3	CA2	Robalo	6		
3	CA2	Trilha		6	
3	CA3	Olho de vidro	6		
3	CA3	Palombeta		1	19
3	CA3	Pargo	6		
3	CA3	Voador	6		
3	CA4	Micholi	6		19

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
3	CA4	Olho de vidro	3		
3	CA4	Palombeta		2	
3	CA4	Pargo	6		
3	CA4	Peroá	1		
3	CA4	Tira vira	1		
3	DEG 1	Cabeça dura		4	
3	DEG 1	Linguado	1		
3	DEG 1	Maria Luiza		6	
3	DEG 1	Pampinho	6		25
3	DEG 1	Pescadinha	6		
3	DEG 1	Roncador	2		
3	DEG 2	Corvina	6		
3	DEG 2	Linguado	6		
3	DEG 2	Peroá	3		
3	DEG 2	Pescadinha	4		31
3	DEG 2	Roncador	6		
3	DEG 2	Trilha		6	
3	FRD1	Anchoita		5	
3	FRD1	Cabeça dura		6	
3	FRD1	Maria luiza rosa		6	27
3	FRD1	Pescadinha	6		
3	FRD1	Sardinha		4	
3	FRD10	Anchoita		3	
3	FRD10	Cabeça dura		6	
3	FRD10	Corvina	2		
3	FRD10	Linguado	1		30
3	FRD10	Maria Luiza		6	
3	FRD10	Palombeta		6	
3	FRD10	Pescadinha	6		
3	FRD 3	Linguado	3		
3	FRD 3	Peroá	6		
3	FRD3	Corvina	6		26
3	FRD3	Sardinha		6	
3	FRD3	Serrinha		5	
3	FRD6	Corvina	6		
3	FRD6	Linguado	5		
3	FRD6	Roncador	6		29
3	FRD6	Trilha		6	
3	FRD6	Xaréu	6		
3	FRD8	Corvina	6		26
3	FRD8	Linguado	6		
3	FRD8	Peroá	2		
3	FRD8	Trilha		6	
3	FRD8	Voador	6		
3	FRD9	Linguado	5		
3	FRD9	Maria luiza		6	
3	FRD9	Pampinho	6		27
3	FRD9	Pescadinha	6		
3	FRD9	Xaréu	4		
3	ITA 1	Cabeça dura		4	
3	ITA 1	Maria Luiza		3	
3	ITA 1	Pescadinha	6		22
3	ITA 1	Roncador	6		
3	ITA 1	Xaréu	3		
3	ITA 2	Sardinha		6	6
3	VIX1	Pampo	6		
3	VIX1	Pescadinha	6		
3	VIX1	Cabeça dura		6	29
3	VIX1	Linguado	4		
3	VIX1	Maria Luiza		6	
3	VIX1	Roncador	1		
3	VIX2	Linguado	5		
3	VIX2	Pargo rosa	6		
3	VIX2	Pescadinha	6		27
3	VIX2	Santo antônio		4	
3	VIX2	Cocorota	6		
Total Campanha 3			271	143	414
4	BN1	Linguado	6		
4	BN1	Peroá	6		
4	BN1	Roncador	6		25
4	BN1	Sardinha		6	
4	BN1	Trilha		1	
4	BN2	Linguado	2		
4	BN2	Peroá	2		5
4	BN2	Xerête	1		
4	CA1	Corvina	6		
4	CA1	Maria Luiza		5	
4	CA1	Palombeta		6	22
4	CA1	Pampinho	2		
4	CA1	Pescadinha	3		

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
4	CA2	Pargo	2		2
4	CA3	Cabrinha	3		18
4	CA3	Linguado	1		
4	CA3	Micholi	8		
4	CA3	Pargo	6		
4	CA 4	Pargo	6		10
4	CA 4	Xerête	4		
4	DEG 1	Cabeça dura		6	25
4	DEG 1	Corvina	1		
4	DEG 1	Maria Luiza		6	
4	DEG 1	Pescadinha	6		
4	DEG 1	Sardinha		6	
4	DEG 2	Corvina	6		23
4	DEG 2	Peroá	6		
4	DEG 2	Roncador	6		
4	DEG 2	Trilha		5	
4	FDR 1 extra	Maria Luiza		6	21
4	FDR 1 extra	Maria Luiza rosa		3	
4	FDR 1 extra	Pescadinha	6		
4	FDR 1 extra	Sardinha		6	
4	FRD 1	Corvina	2		24
4	FRD 1	Maria Luiza		6	
4	FRD 1	Maria Luiza rosa		4	
4	FRD 1	Pescadinha	6		
4	FRD 1	Sardinha		6	
4	FRD 10	Corvina	6		24
4	FRD 10	Maria Luiza		6	
4	FRD 10	Pescadinha	6		
4	FRD 10	Xaréu	6		
4	FRD 3	Corvina	6		25
4	FRD 3	Linguado	6		
4	FRD 3	Palombeta		5	
4	FRD 3	Peroá	2		
4	FRD 3	Trilha		6	
4	FRD 6	Cabeça dura		6	24
4	FRD 6	Corvina	6		
4	FRD 6	Linguado	6		
4	FRD 6	Pescadinha	6		
4	FRD 8	Corvina	6		25
4	FRD 8	Linguado	3		
4	FRD 8	Micholi	6		
4	FRD 8	Peroá	3		
4	FRD 8	Roncador	1		
4	FRD 8	Trilha		6	
4	FRD 9	Maria Luiza		6	24
4	FRD 9	Pescadinha	6		
4	FRD 9	Roncador	6		
4	FRD 9	Sardinha		6	
4	GUA 1	Corvina	1		4
4	GUA 1	Papa terra		3	
4	GUA 2	Batata	5		7
4	GUA 2	João cachaça		1	
4	GUA 2	Sargo de beiço	1		
4	ITA 1	Linguado	3		28
4	ITA 1	Lutjanus	6		
4	ITA 1	Palombeta		6	
4	ITA 1	Peroá	6		
4	ITA 1	Roncador	3		
4	ITA 1	Sardinha		3	
4	ITA 1	Xaréu	1		
4	ITA 2	Peroá	6		6
4	VIX 1	Linguado	2		9
4	Vix 1	Micholi	1		
4	Vix 1	Voador	6		
4	VIX 2	Palombeta		6	24
4	VIX 2	Peroá	6		
4	VIX 2	Pescadinha	6		
4	VIX 2	Trilha		6	
Total Campanha 4			237	138	375
5	BN1	Peroá	6		15
5	BN1	Roncador	5		
5	BN1	Xerête	4		
5	BN2	Lutjanos	2		6
5	BN2	Pescadinha	1		
5	BN2	Salema	2		
5	BN2	Xerête	1		
5	CA1	Corvina	6		24
5	CA1	Linguado	6		
5	CA1	Palombeta		6	
5	CA1	Sardinha		3	

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
5	CA1	Xerête	3		
5	CA2	Cocoroca	1		
5	CA2	Olho de Vidro	2		4
5	CA2	Salema	1		
5	CA4	Michole	3		9
5	CA4	Pargo Rosa	6		
5	DEG1	Bagre	6		
5	DEG1	Palombeta		6	24
5	DEG1	Peroá	6		
5	DEG1	Sardinha		6	
5	DEG2	Palombeta		6	
5	DEG2	Peroá	6		24
5	DEG2	Roncador	6		
5	DEG2	Trilha		6	
5	FRD1	Bagre	6		
5	FRD1	Maria Luíza		3	
5	FRD1	Papa Terra		6	24
5	FRD1	Pescadinha	4		
5	FRD1	Caréu	5		
5	FRD10	Corvina	6		
5	FRD10	Guaivira	5		
5	FRD10	Linguado	1		
5	FRD10	Lutjanos	1		
5	FRD10	Palombeta		1	24
5	FRD10	Papa Terra		3	
5	FRD10	Pescadinha	6		
5	FRD10	Xaréu	1		
5	FRD3	Linguado	6		
5	FRD3	Michole	6		
5	FRD3	Peroá	3		24
5	FRD3	Trilha		6	
5	FRD3	Voador	3		
5	FRD6	Linguado	5		
5	FRD6	Palombeta		6	
5	FRD6	Roncador	2		24
5	FRD6	Sardinha		5	
5	FRD6	Trilha		6	
5	FRD8	Corvina	6		
5	FRD8	Linguado	6		24
5	FRD8	Michole	6		
5	FRD8	Trilha		6	
5	FRD9	Bagre	3		
5	FRD9	Cabeça dura		1	
5	FRD9	Corvina	2		20
5	FRD9	Maria Luíza		5	
5	FRD9	Pescadinha	6		
5	FRD9	Sardinha		3	
5	GUA1	Cabrinha	1		1
5	GUA2	Chicharro	6		8
5	GUA2	Xerête	2		
5	ITA1	Lutjanos	6		
5	ITA1	Palombeta		1	
5	ITA1	Peroá	1		20
5	ITA1	Pescadinha	6		
5	ITA1	Roncador	6		
5	ITA2	Palombeta		5	
5	ITA2	Peroá	6		15
5	ITA2	Xerête	4		
5	VIX1	Linguado	6		6
5	VIX2	Linguado	6		
5	VIX2	Michole	6		
5	VIX2	Palombeta		2	28
5	VIX2	Peroá	6		
5	VIX2	Voador	6		
5	VIX2	Xerête	2		
Total Campanha 5			232	92	324
6	BN1	Linguado	1		
6	BN1	Peroá	5		15
6	BN1	Roncador	7		
6	BN1	Xerelete	2		
6	CA1	Cabeça dura		6	
6	CA1	Cocoroca	3		
6	CA1	Corvina	2		
6	CA1	Enxada	4		24
6	CA1	Linguado	1		
6	CA1	Maria luiza		1	
6	CA1	Pescadinha	6		
6	CA1	Xaréu	1		
6	CA2	Linguado	2		4
6	CA2	Pargo	2		

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
6	DEG1	Cabeça dura		6	
6	DEG1	Maria luiza		3	
6	DEG1	Maria luiza rosa		3	24
6	DEG1	Pescadinha	6		
6	DEG1	Roncador	6		
6	DEG2	Corvina	6		
6	DEG2	Linguado	6		24
6	DEG2	Roncador	6		
6	DEG2	Trilha		6	
6	FRD1	Bagre	6		
6	FRD1	Cabeça Dura		5	
6	FRD1	Maria luiza		1	19
6	FRD1	Papa terra		2	
6	FRD1	Pescadinha	5		
6	FRD10	Cabeça dura		6	
6	FRD10	Lutijanos	1		
6	FRD10	Maria Luiza		6	25
6	FRD10	Maria Luiza Rosa		3	
6	FRD10	Papa-terra		3	
6	FRD10	Pescadinha	6		
6	FRD3	Corvina	6		
6	FRD3	Linguado	6		
6	FRD3	Maria Luiza		2	25
6	FRD3	Papa-terra		4	
6	FRD3	Peroá	3		
6	FRD3	Pescadinha	4		
6	FRD6	Cabeça dura		6	
6	FRD6	Corvina	6		
6	FRD6	Linguado	5		
6	FRD6	Papa terra		1	25
6	FRD6	Pescadinha	3		
6	FRD6	Sardinha		3	
6	FRD6	Trilha		1	
6	FRD8	Corvina	6		
6	FRD8	Linguado	2		
6	FRD8	Papa-terra		3	24
6	FRD8	Peroá	1		
6	FRD8	Trilha		6	
6	FRD8	Xerelete	6		
6	FRD9	Cabeça dura		1	24
6	FRD9	Corvina	4		
6	FRD9	Maria Luiza		4	
6	FRD9	Maria Luiza rosa		6	
6	FRD9	Pescadinha	6		
6	FRD9	Roncador	3		
6	ITA1	Enxada	4		
6	ITA1	Maria luiza		6	
6	ITA1	Pescadinha	6		24
6	ITA1	Roncador	4		
6	ITA1	Xaréu	4		
6	VIX2	Carapeba		2	
6	VIX2	Cocoroca	6		13
6	VIX2	Lutjanos	3		
6	VIX2	Peroá	2		
Total Campanha 6			174	96	270
7	BN1	Linguado	6		
7	BN1	Palombeta		6	18
7	BN1	Sardinha		6	
7	CA1	Corvina	2		
7	CA1	Linguado	6		18
7	CA1	Micholi	4		
7	CA1	Pescadinha	6		
7	CA3	Linguado	6		6
7	DEG1	Cabeça dura		4	
7	DEG1	Linguado	6		
7	DEG1	Lutijanos	1		24
7	DEG1	Roncador	6		
7	DEG1	Palombeta		5	
7	DEG1	Papa terra		2	
7	DEG2	Carapeba		1	
7	DEG2	Linguado	6		
7	DEG2	Palombeta		2	18
7	DEG2	Papa terra		2	
7	DEG2	Micholi	1		
7	DEG2	Trilha		6	
7	FRD1	Bagre	5		
7	FRD1	Cabeça dura		3	
7	FRD1	Corvina	2		24
7	FRD1	Maria Luiza		3	
7	FRD1	Maria Luiza rosa		6	

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
7	FRD1	Pescadinha	5		
7	FRD10	Cabeça dura		6	
7	FRD10	Corvina	1		
7	FRD10	Maria Luiza		6	22
7	FRD10	Papa-terra		2	
7	FRD10	Pescadinha	6		
7	FRD10	Roncador	1		
7	FRD3	Corvina	1		
7	FRD3	Linguado	6		
7	FRD3	Maria Luiza		3	24
7	FRD3	Pescadinha	4		
7	FRD3	Roncador	6		
7	FRD3	Sardinha		4	
7	FRD6	Bagre	6		
7	FRD6	Maria Luiza		2	
7	FRD6	Maria Luiza rosa		4	23
7	FRD6	Papa terra		2	
7	FRD6	Pescadinha	3		
7	FRD6	Roncador	6		
7	FRD8	Cabeça dura		4	
7	FRD8	Corvina	3		
7	FRD8	Linguado	6		25
7	FRD8	Pescadinha	6		
7	FRD8	Roncador	6		
7	FRD9	Cabeça dura		6	
7	FRD9	Maria Luiza		1	
7	FRD9	Maria Luiza rosa		16	24
7	FRD9	Pescadinha	1		
7	ITA1	Cabeça dura		6	
7	ITA1	Linguado	6		
7	ITA1	Maria Luiza		1	25
7	ITA1	Micholi	6		
7	ITA1	Roncador	6		
7	VIX2	Maria Luiza rosa		7	7
Total Campanha 7			142	116	258
8	BN1	Cabeça Dura		6	
8	BN1	Linguado	5		
8	BN1	Maria Luiza		6	23
8	BN1	Roncador	6		
8	CA1	Cabeça dura		6	24
8	CA1	Corvina	2		
8	CA1	Linguado	4		
8	CA1	Maria Luiza		5	
8	CA1	Pescadinha	1		
8	CA1	Roncador	6		
8	DEG1	Cabeça dura		6	
8	DEG1	Corvina	3		
8	DEG1	Maria Luiza		6	19
8	DEG1	Roncador	4		
8	DEG2	Cabeça Dura		6	
8	DEG2	Corvina	4		
8	DEG2	Roncador	6		22
8	DEG2	Trilha		6	
8	FRD1	Bagre	6		
8	FRD1	Cabeça dura		4	
8	FRD1	Maria Luiza		3	18
8	FRD1	Maria Luiza rosa		2	
8	FRD1	Papa terra		2	
8	FRD1	Xerelete	1		
8	FRD10	Cabeça dura		6	
8	FRD10	Linguado	6		
8	FRD10	Maria Luiza		4	23
8	FRD10	Maria Luiza rosa		4	
8	FRD10	Pescadinha	3		
8	FRD3	Cabeça dura		6	
8	FRD3	Corvina	3		
8	FRD3	Linguado	6		25
8	FRD3	Pescadinha	4		
8	FRD3	Trilha		6	
8	FRD6	Cabeça dura		6	
8	FRD6	Roncador	6		24
8	FRD6	Trilha		6	
8	FRD6	Xerelete	6		
8	FRD8	Linguado	6		
8	FRD8	Micholi	6		24
8	FRD8	Trilha		6	
8	FRD8	Xerelete	6		
8	FRD9	Cabeça dura		6	
8	FRD9	Linguado	6		23
8	FRD9	Maria Luiza rosa		6	

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
8	FRD9	Pescadinha	6		
8	ITA1	Cabeça dura		6	
8	ITA1	Maria Luiza		6	
8	ITA1	Pescadinha	6		23
8	ITA1	Roncador	5		
8	VIX1	Cabeça Dura		6	
8	VIX1	Pescadinha	3		15
8	VIX1	Roncador	6		
8	VIX2	Carapicu		6	
8	VIX2	Linguado	6		18
8	VIX2	Voador	6		
Total Campanha 8			144	138	282
9	BN1	Linguado	6		
9	BN1	Lutijanos	3		18
9	BN1	Micholi	4		
9	BN1	Peroá	5		
9	BS1	Cabeça Dura		6	
9	BS1	Cavala	6		24
9	BS1	Linguado	6		
9	BS1	Maria Luiza		6	
9	BS2	Escrivão		6	
9	BS2	Linguado	3		
9	BS2	Palombeta		6	20
9	BS2	Sardinha		4	
9	BS2	Trilha		1	
9	CA1	Corvina	6		
9	CA1	Linguado	6		22
9	CA1	Palombeta		4	
9	CA1	Trilha		6	
9	CB1	Linguado	6		
9	CB1	Lutijanos	5		23
9	CB1	Micholi	6		
9	CB1	Peroá	6		
9	DEG1	Cabeça Dura		6	
9	DEG1	Maria Luiza		6	24
9	DEG1	Papa-terra		6	
9	DEG1	Roncador	6		
9	DEG2	Linguado	5		
9	DEG2	Micholi	6		23
9	DEG2	Roncador	6		
9	DEG2	Trilha		6	
9	FRD1	Bagre	6		
9	FRD1	Cabeça Dura		6	24
9	FRD1	Linguado	6		
9	FRD1	Maria Luiza		6	
9	FRD10	Cabeça Dura		6	
9	FRD10	Maria Luiza		6	24
9	FRD10	Papa-terra		6	
9	FRD10	Pescadinha	6		
9	FRD3	Linguado	6		12
9	FRD3	Micholi	6		
9	FRD6	Cabeça Dura		3	
9	FRD6	Corvina	3		
9	FRD6	Linguado	6		21
9	FRD6	Palombeta		6	
9	FRD6	Trilha		3	
9	FRD8	Linguado	6		
9	FRD8	Micholi	6		24
9	FRD8	Serranus atrobranchus	6		
9	FRD8	Trilha		6	
9	FRD9	Cabeça Dura		5	
9	FRD9	Linguado	2		
9	FRD9	Maria Luiza		5	21
9	FRD9	Papa-terra		3	
9	FRD9	Pescadinha	5		
9	FRD9	Maria Luiza		1	
9	ITA1	Linguado	6		
9	ITA1	Lutijanos	6		24
9	ITA1	Micholi	6		
9	ITA1	Peroá	6		
Total Campanha 9			179	125	304
10	BN1	Peixe 1 - Roncador	6		
10	BN1	Peixe 18 - Corvina	1		
10	BN1	Peixe 19 - Trilha		2	24
10	BN1	Peixe 3 - Peroá	6		
10	BN1	Peixe 34 - Papa Terra		6	
10	BN1	Peixe 4 - Pescadinha - Cynoscion sp.	3		
10	BN2	Peixe - Guarajuba amarela	19		
10	BN2	Peixe 3 - Peroá	1		22
10	BN2	Peixe 2 - Linguado	1		

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
10	BN2	Peixe - Espada	1		
10	BS1	Peixe 1 - Roncador	6		
10	BS1	Peixe 3 - Peroá	1		
10	BS1	Peixe 4 - Pescadinha - Cynoscion sp.	6		24
10	BS1	Peixe 5 - Maria Luíza		3	
10	BS1	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		4	
10	BS1	Peixe - Larimus	4		
10	BS2	Peixe 1 - Roncador	6		
10	BS2	Peixe 3 - Peroá	6		24
10	BS2	Peixe 12 - Carapicu (carapeba)		6	
10	BS2	Peixe 19 - Trilha		6	
10	CA1	Peixe - Larimus	4		
10	CA1	Peixe - Pescada	1		
10	CA1	Peixe 1 - Roncador	3		
10	CA1	Peixe 2 - Linguado	2		24
10	CA1	Peixe 4 - Pescadinha	3		
10	CA1	Peixe 5 - Maria Luíza		4	
10	CA1	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		6	
10	CA1	Peixe 18 - Corvina	1		
10	CA2	Peixe - Baiacu	3		
10	CA2	Peixe - Peixe lagarto	2		
10	CA2	Peixe 1 - Roncador	1		
10	CA2	Peixe 2 - Linguado	1		
10	CA2	Peixe 3 - Peroá	2		17
10	CA2	Peixe 8 - Pargo Rosa	1		
10	CA2	Peixe 36 - Xerête	3		
10	CA2	Peixe - Espada	1		
10	CA2	Peixe - Biquara	1		
10	CA2	Peixe - Guarajuba amarela	2		
10	CA3	Peixe - Dourado	2		
10	CA3	Peixe - Garacimbora	2		
10	CA3	Peixe - Guarajuba amarela	1		
10	CA3	Peixe 27 - Voador	5		
10	CA3	Peixe 3 - Peroá	3		
10	CA3	Peixe 7 - Michole	5		
10	CA3	Peixe 8 - Pargo Rosa	6		
10	CA4	Peixe - Agulha	1		
10	CA4	Peixe - Biquara	1		
10	CA4	Peixe - Espada	5		24
10	CA4	Peixe - Mariquita		4	
10	CA4	Peixe 17 - Sardinha		6	
10	CA4	Peixe 3 - Peroá	4		
10	CA4	Peixe 8 - Pargo Rosa	3		
10	CA5	Peixe - Guarajuba amarela	1		
10	CA5	Peixe - Peixe lagarto	1		
10	CA5	Peixe - Peixe pena	1		
10	CA5	Peixe - Pirá (Malacanthus plumieri)	1		
10	CA5	Peixe 2 - Linguado	1		24
10	CA5	Peixe 36 - Xerête	1		
10	CA5	Peixe 7 - Michole	1		
10	CA5	Peixe 8 - Pargo Rosa	16		
10	CA5	Peixe 28 - Xaréu	1		
10	CB1	Peixe 1 - Roncador	6		
10	CB1	Peixe 34 - Papa Terra		6	24
10	CB1	Peixe 4 - Pescadinha	6		
10	CB1	Peixe 5 - Maria Luíza		6	
10	CB2	Peixe - Guarajuba amarela	11		
10	CB2	Peixe 1 - Roncador	10		24
10	CB2	Peixe 3 - Peroá	3		
10	DEG1	Peixe 1 - Roncador	6		
10	DEG1	Peixe 3 - Peroá	1		
10	DEG1	Peixe 4 - Pescadinha	6		24
10	DEG1	Peixe 11 - Bagre	5		
10	DEG1	Peixe 33 - Maria Luiza Rosa		6	
10	DEG2	Peixe 1 - Roncador	6		
10	DEG2	Peixe 2 - Linguado	2		
10	DEG2	Peixe 3 - Peroá	7		24
10	DEG2	Peixe 12 - Carapicu (carapeba)		2	
10	DEG2	Peixe 18 - Corvina	6		
10	DEG2	Peixe 27 - Voador	1		
10	FRD1	Peixe 3 - Peroá	2		
10	FRD1	Peixe 4 - Pescadinha	2		
10	FRD1	Peixe 5 - Maria Luíza		1	
10	FRD1	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		5	24
10	FRD1	Peixe 9 - Olho de Vidro	1		
10	FRD1	Peixe 11 - Bagre	6		
10	FRD1	Peixe 33 - Maria Luiza Rosa		6	
10	FRD1	Peixe 34 - Papa Terra		1	
10	FRD10	Peixe - Larimus	4		
10	FRD10	Peixe 4 - Pescadinha	6		25
10	FRD10	Peixe 5 - Maria Luíza	3		

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
10	FRD10	Peixe 11 - Bagre	3		
10	FRD10	Peixe 18 - Corvina	3		
10	FRD10	Peixe 33 - Maria Luiza Rosa		6	
10	FRD3	Peixe 3 - Peroá	1		
10	FRD3	Peixe 4 - Pescadinha	4		
10	FRD3	Peixe 5 - Maria Luíza		1	
10	FRD3	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		6	
10	FRD3	Peixe 11 - Bagre	6		24
10	FRD3	Peixe 18 - Corvina	2		
10	FRD3	Peixe 33 - Maria Luiza Rosa		2	
10	FRD3	Peixe 34 - Papa Terra		2	
10	FRD6	Peixe - Cavala	4		
10	FRD6	Peixe 1 - Roncador	2		
10	FRD6	Peixe 4 - Pescadinha	6		
10	FRD6	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		4	24
10	FRD6	Peixe 18 - Corvina	3		
10	FRD6	Peixe 34 - Papa Terra		5	
10	FRD8	Peixe - Cavala	6		
10	FRD8	Peixe - Larimus	3		
10	FRD8	Peixe 3 - Peroá	2		
10	FRD8	Peixe 4 - Pescadinha	2		24
10	FRD8	Peixe 5 - Maria Luíza		2	
10	FRD8	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		3	
10	FRD8	Peixe 18 - Corvina	6		
10	FRD9	Peixe - Trichiurus	4		
10	FRD9	Peixe 1 - Roncador	3		
10	FRD9	Peixe 4 - Pescadinha	6		
10	FRD9	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		6	24
10	FRD9	Peixe 11 - Bagre	2		
10	FRD9	Peixe 18 - Corvina	2		
10	FRD9	Peixe 33 - Maria Luiza Rosa		1	
10	ITA1	Peixe 1 - Roncador	6		
10	ITA1	Peixe 3 - Peroá	6		
10	ITA1	Peixe 4 - Pescadinha	6		24
10	ITA1	Peixe 13 - Cocoroca (Haemulidae)	6		
10	ITA2	Peixe - Bagre branco	9		
10	ITA2	Peixe - Guarajuba amarela	11		
10	ITA2	Peixe 1 - Roncador	3		24
10	ITA2	Peixe 3 - Peroá	1		
Total Campanha 10			378	118	496

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
11	BN1	Guarajuba amarela	6		
11	BN1	Cangulo - Aluterus monoceros		3	
11	BN1	Peixe galo - Selene vomer	1		
11	BN1	Peixe 32 - Lutjanos	3		24
11	BN1	Peixe 3 - Peroá	6		
11	BN1	Cavala	5		
11	BN2	Ocyurus chrysurus (guaiúba)	1		
11	BN2	Guarajuba amarela	3		
11	BN2	Peixe - Pirá	2		
11	BN2	Rêmora - Echeneis naucrates	2		11
11	BN2	Peixe 3 - Peroá	2		
11	BN2	Biquara	1		
11	BS1	Peixe 3 - Peroá	2		
11	BS1	Peixe 4 - Pescadinha	6		
11	BS1	Peixe 1 - Roncador	1		
11	BS1	Larimus	1		
11	BS1	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		3	
11	BS1	Peixe 18 - Corvina	2		24
11	BS1	Peixe pena	1		
11	BS1	Cavala	1		
11	BS1	Peixe 5 - Maria Luíza		1	
11	BS1	Peixe 11 - Bagre	6		
11	BS2	Peixe 3 - Peroá	9		
11	BS2	- Guarajuba amarela	8		
11	BS2	Peixe 32 - Lutjanos	4		
11	BS2	Peixe 9 - Olho de Vidro	1		24
11	BS2	Peixe - enxada	1		
11	BS2	Peixe 10 - Palombeta		1	
11	CA1	Archosargus probatocephalus (Sargo de dente)	1		
11	CA1	Peixe 27 - Voador	1		
11	CA1	Peixe 17 - Sardinha		1	
11	CA1	Peixe 18 - Corvina	11		24
11	CA1	Peixe 34 - Papa Terra		2	
11	CA1	Peixe 2 - Linguado	4		
11	CA1	Peixe 19 - Trilha		4	
11	CA2	Peixe 2 - Linguado	1		
11	CA2	Guarajuba amarela	3		
11	CA2	Rêmora - Echeneis naucrates	1		24
11	CA2	Peixe 3 - Peroá	9		
11	CA2	Peixe 8 - Pargo Rosa	6		

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
11	CA2	Cephalopholis fulva (piraúna)	3		
11	CA2	Biquara	1		
11	CA3	Peixe 7 - Michole	5		
11	CA3	Peixe 8 - Pargo Rosa	16		
11	CA3	Peixe 27 - Voador	1		24
11	CA3	Guarajuba amarela	1		
11	CA3	- Garacimbora	1		
11	CA4	Peixe 17 - Sardinha		2	
11	CA4	Peixe 8 - Pargo Rosa	20		24
11	CA4	Rhomboplites aurorubens (pirapiranga)	2		
11	CA5	Guarajuba amarela	1		
11	CA5	Peixe - Peixe lagarto	2		
11	CA5	Peixe 8 - Pargo Rosa	16		24
11	CA5	Peixe 27 - Voador	3		
11	CA5	Peixe 28 - Xaréu	2		
11	CB1	Peixe 34 - Papa Terra	1		
11	CB1	Cavala	4		
11	CB1	Cangulo - Aluterus monoceros		5	
11	CB1	Peixe 11 - Bagre	2		24
11	CB1	Peixe 4 - Pescadinha	6		
11	CB1	Pescada	1		
11	CB1	Bicuda - Sphyraena guachancho	2		
11	CB1	Larimus	3		
11	CB2	Ubaraba - Albula vulpes	3		
11	CB2	Rhomboplites aurorubens (pirapiranga)	1		
11	CB2	Peixe 7 - Michole	2		24
11	CB2	Biquara	2		
11	CB2	Guarajuba amarela	14		
11	CB2	Peixe 3 - Peroá	2		
11	DEG1	Peixe pena	1		
11	DEG1	Larimus	5		
11	DEG1	Cavala	1		
11	DEG1	Peixe 11 - Bagre	6		24
11	DEG1	Peixe 28 - Xaréu	1		
11	DEG1	Pescada	3		
11	DEG1	Peixe 1 - Roncador	7		
11	DEG2	Peixe 3 - Peroá	4		
11	DEG2	Peixe 19 - Trilha		6	24
11	DEG2	Peixe 27 - Voador	1		
11	DEG2	Peixe 18 - Corvina	2		

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
11	DEG2	Peixe 1 - Roncador	2		
11	DEG2	Guarajuba amarela	3		
11	DEG2	Bicuda - Sphyraena guachancho	6		
11	FRD1	Peixe 1 - Roncador	5		
11	FRD1	Peixe 4 - Pescadinha	3		
11	FRD1	Peixe 5 - Maria Luíza		1	
11	FRD1	Peixe 34 - Papa Terra		1	24
11	FRD1	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		1	
11	FRD1	Peixe 17 - Sardinha		5	
11	FRD1	Pescada	1		
11	FRD1	Peixe 11 - Bagre	7		
11	FRD10	Peixe 7 - Michole	3		
11	FRD10	Peixe 18 - Corvina	8		
11	FRD10	Peixe 2 - Linguado	5		24
11	FRD10	Peixe 19 - Trilha		6	
11	FRD10	Peixe 27 - Voador	2		
11	FRD3	Peixe 2 - Linguado	7		
11	FRD3	Peixe 19 - Trilha		6	
11	FRD3	Peixe 3 - Peroá	2		24
11	FRD3	Peixe 27 - Voador	3		
11	FRD3	Peixe 18 - Corvina	6		
11	FRD6	Peixe 4 - Pescadinha	6		
11	FRD6	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		6	24
11	FRD6	Peixe 17 - Sardinha		6	
11	FRD6	Peixe 18 - Corvina	6		
11	FRD8	Peixe 7 - Michole	6		
11	FRD8	Peixe 27 - Voador	1		
11	FRD8	Guarajuba amarela	1		
11	FRD8	Peixe 9 - Olho de Vidro	2		24
11	FRD8	Peixe 2 - Linguado	6		
11	FRD8	Peixe 17 - Sardinha		2	
11	FRD8	Peixe 19 - Trilha		6	
11	FRD9	Peixe 4 - Pescadinha	6		
11	FRD9	Larimus	2		
11	FRD9	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		6	24
11	FRD9	Peixe 17 - Sardinha		4	
11	FRD9	Peixe 5 - Maria Luíza		6	
11	ITA1	Peixe 32 - Lutjanos	1		
11	ITA1	Guarajuba amarela	2		24
11	ITA1	Peixe 34 - Papa Terra		4	

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
11	ITA1	Pescada	2		
11	ITA1	Peixe 4 - Pescadinha	5		
11	ITA1	Peixe 1 - Roncador	6		
11	ITA1	Cavala	4		
11	ITA2	Guarajuba amarela	4		
11	ITA2	Rêmora - Echeneis naucrates	5		24
11	ITA2	Biquara	1		
11	ITA2	Peixe 3 - Peroá	14		
Total Campanha 11			403	88	491
12	BN1	Baiacu	2		
12	BN1	Cangulo - Aluterus monoceros		1	
12	BN1	Peixe 11 - Bagre	1		
12	BN1	Peixe 3 - Peroá	11		24
12	BN1	Peixe 36 - Xerête	6		
12	BN1	Rachycentron canadum (Bijupirá)	1		
12	BN1	Rêmora - Echeneis naucrates	1		
12	BN1	Seriola dumerili (charuteiro)	1		
12	BN2	Biquara	1		
12	BN2	Guarajuba amarela	6		
12	BN2	Ocyurus chrysurus (guaiúba)	1		
12	BN2	Peixe 2 - Linguado	8		24
12	BN2	Peixe 7 - Michole	1		
12	BN2	Rhomboplites aurorubens (pirapiranga)	5		
12	BN2	Ubaraba - Albula vulpes	2		
12	BS1	Pescada	6		
12	BS1	Cangulo - Aluterus monoceros		1	
12	BS1	Peixe 18 - Corvina	1		
12	BS1	Peixe 33 - Maria Luiza Rosa		8	24
12	BS1	Peixe 5 - Maria Luíza		5	
12	BS1	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		3	
12	BS2	Biquara	1		
12	BS2	Guarajuba amarela	13		
12	BS2	Peixe pena	1		
12	BS2	Archosargus probatocephalus (Sargo de dente)	1		
12	BS2	Haemulon sp (Sapuruna)	1		23
12	BS2	Ocyurus chrysurus (guaiúba)	1		
12	BS2	Peixe 2 - Linguado	2		
12	BS2	Peixe 3 - Peroá	2		
12	BS2	Pomacanthus paru (Paru frade)		1	
12	CA1	Larimus	3		24

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
12	CA1	Pescada	6		
12	CA1	Peixe 11 - Bagre	1		
12	CA1	Peixe 18 - Corvina	5		
12	CA1	Peixe 5 - Maria Luíza		3	
12	CA1	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		6	
12	CA2	Cephalopholis fulva (piraúna)	1		
12	CA2	Peixe 2 - Linguado	1		
12	CA2	Peixe 27 - Voador	1		24
12	CA2	Peixe 32 - Lutjanos	1		
12	CA2	Peixe 8 - Pargo Rosa	20		
12	CA3	Guarajuba amarela	4		
12	CA3	Mariquita		1	
12	CA3	Peixe pena	4		
12	CA3	Peixe 2 - Linguado	1		24
12	CA3	Peixe 27 - Voador	1		
12	CA3	Peixe 7 - Michole	1		
12	CA3	Peixe 8 - Pargo Rosa	12		
12	CA4	Guarajuba amarela	2		
12	CA4	Peixe 2 - Linguado	2		
12	CA4	Peixe 7 - Michole	9		23
12	CA4	Peixe 8 - Pargo Rosa	9		
12	CA4	Rhomboplites aurorubens (pirapiranga)	1		
12	CA5	Guarajuba amarela	4		
12	CA5	Mariquita		4	
12	CA5	Peixe - Dourado	4		14
12	CA5	Peixe 8 - Pargo Rosa	1		
12	CA5	Scorpaena isthmensis (Mangangá)	1		
12	CB1	Guarajuba amarela	2		
12	CB1	Pescada	1		
12	CB1	Cangulo - Aluterus monoceros		1	
12	CB1	Peixe - enxada	1		
12	CB1	Peixe 1 - Roncador	4		24
12	CB1	Peixe 2 - Linguado	1		
12	CB1	Peixe 3 - Peroá	1		
12	CB1	Peixe 34 - Papa Terra		6	
12	CB1	Peixe 36 - Xerête	6		
12	CB1	Peixe 5 - Maria Luíza		1	
12	CB2	Baiacu	2		
12	CB2	Guarajuba amarela	18		24
12	CB2	Peixe 2 - Linguado	1		
12	CB2	Peixe 7 - Michole	1		

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
12	CB2	Ubaraba - Albula vulpes	2		
12	DEG1	Pescada	6		24
12	DEG1	Peixe 1 - Roncador	6		
12	DEG1	Peixe 11 - Bagre	2		
12	DEG1	Peixe 18 - Corvina	4		
12	DEG1	Peixe 33 - Maria Luiza Rosa		4	
12	DEG1	Peixe 5 - Maria Luíza		2	
12	DEG2	Peixe 1 - Roncador	6		24
12	DEG2	Peixe 17 - Sardinha		1	
12	DEG2	Peixe 18 - Corvina	5		
12	DEG2	Peixe 2 - Linguado	1		
12	DEG2	Peixe 3 - Peroá	2		
12	DEG2	Peixe 34 - Papa Terra		4	
12	DEG2	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		3	
12	DEG2	Rachycentron canadum (Bijupirá)	2		
12	FRD1	Pescada	5		24
12	FRD1	Peixe 11 - Bagre	7		
12	FRD1	Peixe 18 - Corvina	1		
12	FRD1	Peixe 33 - Maria Luiza Rosa		2	
12	FRD1	Peixe 5 - Maria Luíza		3	
12	FRD1	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		6	
12	FRD10	Pescada	2		24
12	FRD10	Peixe 11 - Bagre	6		
12	FRD10	Peixe 24 - Robalo	1		
12	FRD10	Peixe 33 - Maria Luiza Rosa		12	
12	FRD10	Peixe 5 - Maria Luíza		2	
12	FRD10	Pomatomus saltatrix (Anchova)	1		
12	FRD3	Guarajuba amarela	6		24
12	FRD3	Pescada	3		
12	FRD3	Peixe 18 - Corvina	6		
12	FRD3	Peixe 3 - Peroá	1		
12	FRD3	Peixe 5 - Maria Luíza		2	
12	FRD3	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		6	
12	FRD6	Biquara	1		24
12	FRD6	Cangulo - Aluterus monoceros		6	
12	FRD6	Mulloidichthys martinicus (Saramunete)		6	
12	FRD6	Peixe 19 - Trilha		1	
12	FRD6	Peixe 3 - Peroá	1		
12	FRD6	Peixe 7 - Michole	3		
12	FRD6	Peixe 8 - Pargo Rosa	6		
12	FRD8	Guarajuba amarela	6		24
12	FRD8	Peixe 1 - Roncador	11		
12	FRD8	Peixe 18 - Corvina	6		
12	FRD8	Peixe 9 - Olho de Vidro	1		
12	FRD9	Pescada	2		
12	FRD9	Peixe 11 - Bagre	6		
12	FRD9	Peixe 18 - Corvina	3		
12	FRD9	Peixe 33 - Maria Luiza Rosa		6	
12	FRD9	Peixe 5 - Maria Luíza		1	
12	FRD9	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		5	
12	FRD9	Scorpaena isthmensis (Mangangá)		1	
12	ITA1	Baiacu	6		24
12	ITA1	Larimus	1		
12	ITA1	Pescada	6		
12	ITA1	Peixe 1 - Roncador	6		
12	ITA1	Peixe 3 - Peroá	2		
12	ITA1	Peixe 36 - Xerête	3		
12	ITA2	Guarajuba amarela	4		24
12	ITA2	Peixe 1 - Roncador	12		
12	ITA2	Peixe 11 - Bagre	3		
12	ITA2	Peixe 2 - Linguado	1		
12	ITA2	Peixe 3 - Peroá	1		
12	ITA2	Rêmora - Echeneis naucrates	3		
Total Campanha 12			378	114	492
13	BN2	Bicuda - Sphyraena guachancho	4		24
13	BN2	Peixe 34 - Papa Terra		2	
13	BN2	Peixe 4 - Pescadinha	12		
13	BN2	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		6	
13					
13	BN3	Biquara	1		24
13	BN3	Guarajuba amarela	12		
13	BN3	Peixe 3 - Peroá	11		
13					
13	BS1	Palombeta		1	24
13	BS1	Peixe 17 - Sardinha		6	
13	BS1	Peixe 24 - Robalo	1		
13	BS1	Peixe 25 - Serrinha		4	
13	BS1	Peixe 34 - Papa Terra		6	
13	BS1	Peixe 4 - Pescadinha	6		
13					

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
13					
13	BS2	Biquara	5		
13	BS2	Guarajuba amarela	4		
13	BS2	- Mariquita		4	
13	BS2	Haemulon sp	2		
13	BS2	Pargo	1		24
13	BS2	Peixe 3 - Peroá	2		
13	BS2	Peixe 32 - Lutjanos	4		
13	BS2	Ubaraba - Albula vulpes	2		
13					
13	CA1	Peixe 2 - Linguado	6		
13	CA1	Peixe 34 - Papa Terra		6	
13	CA1	Peixe 5 - Maria Luíza		2	24
13	CA1	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		10	
13					
13	CA2	Peixe 34 - Papa Terra		6	
13	CA2	Peixe 4 - Pescadinha	7		
13	CA2	Peixe 5 - Maria Luíza		5	24
13	CA2	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		6	
13					
13	CA3	Guarajuba amarela	4		
13	CA3	Peixe 2 - Linguado	2		
13	CA3	Peixe 27 - Voador	1		24
13	CA3	Peixe 7 - Michole	16		
13	CA3	Peixe 8 - Pargo Rosa	1		
13					
13	CA7	Guarajuba amarela	2		
13	CA7	Pargo	1		
13	CA7	Peixe - Peixe lagarto	1		
13	CA7	Peixe 2 - Linguado	1		24
13	CA7	Peixe 7 - Michole	1		
13	CA7	Peixe 8 - Pargo Rosa	18		
13					
13	CA13	Guarajuba amarela	1		
13	CA13	Mariquita		1	
13	CA13	Cephalopholis fulva (piraúna)	3		
13	CA13	Peixe - Peixe lagarto	1		
13	CA13	Peixe 2 - Linguado	7		24
13	CA13	Peixe 27 - Voador	1		
13	CA13	Peixe 36 - Xerête	2		
13	CA13	Peixe 7 - Michole	3		
13	CA13	Peixe 8 - Pargo Rosa	5		

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
13					
13	CA15	Guarajuba amarela	2		
13	CA15	Mariquita		4	
13	CA15	Peixe 2 - Linguado	1		
13	CA15	Peixe 36 - Xerête	1		24
13	CA15	Peixe 7 - Michole	9		
13	CA15	Peixe 8 - Pargo Rosa	6		
13	CA15	Rhomboplites aurorubens (pirapiranga)	1		
13					
13	CB1	Pescada	1		
13	CB1	Bicuda - Sphyraena guachancho	2		
13	CB1	Peixe 10 - Palombeta		1	
13	CB1	Peixe 11 - Bagre	6		
13	CB1	Peixe 17 - Sardinha		3	24
13	CB1	Peixe 2 - Linguado	1		
13	CB1	Peixe 25 - Serrinha		2	
13	CB1	Peixe 3 - Peroá	2		
13	CB1	Peixe 34 - Papa Terra		6	
13					
13	CB3	Guarajuba amarela	6		
13	CB3	Peixe 11 - Bagre	1		24
13	CB3	Peixe 3 - Peroá	17		
13					
13	DEG1	Baiacu	1		
13	DEG1	Guarajuba amarela	2		
13	DEG1	Peixe 11 - Bagre	4		
13	DEG1	Peixe 12 - Carapicu (carapeba)		1	
13	DEG1	Peixe 3 - Peroá	4		
13	DEG1	Peixe 32 - Lutjanos	2		24
13	DEG1	Peixe 34 - Papa Terra		1	
13	DEG1	Peixe 36 - Xerête	4		
13	DEG1	Peixe cofre - Lactophrys sp		1	
13	DEG1	Rachycentron canadum	4		
13					
13	DEG2	Bicuda - Sphyraena guachancho	1		
13	DEG2	Peixe 12 - Carapicu (carapeba)		4	
13	DEG2	Peixe 18 - Corvina	6		
13	DEG2	Peixe 19 - Trilha		6	24
13	DEG2	Peixe 2 - Linguado	2		
13	DEG2	Peixe 34 - Papa Terra		4	
13	DEG2	Peixe galo - Selene vomer	1		

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
13					
13	ITA1	Baiacu	1		
13	ITA1	Guarajuba amarela	3		
13	ITA1	Pescada	1		
13	ITA1	Haemulopsis corvinaeformis	1		
13	ITA1	Peixe 1 - Roncador	4		
13	ITA1	Peixe 11 - Bagre	1		24
13	ITA1	Peixe 12 - Carapicu (carapeba)		4	
13	ITA1	Peixe 25 - Serrinha		2	
13	ITA1	Peixe 34 - Papa Terra		6	
13	ITA1	Rachycentron canadum	1		
13					
13	ITA3	Guarajuba amarela	6		
13	ITA3	Haemulon sp	2		
13	ITA3	Ocyurus chrysurus (guaiúba)	7		
13	ITA3	Peixe 3 - Peroá	4		24
13	ITA3	Peixe 32 - Lutjanos	3		
13	ITA3	Ubaraba - Albula vulpes	2		
13					
13	PA4	Peixe 11 - Bagre	1		
13	PA4	Peixe 17 - Sardinha		1	
13	PA4	Peixe 18 - Corvina	2		
13	PA4	Peixe 19 - Trilha		5	
13	PA4	Peixe 2 - Linguado	1		24
13	PA4	Peixe 4 - Pescadinha	7		
13	PA4	Peixe 5 - Maria Luíza		1	
13	PA4	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		6	
13					
13	SD1	Bicuda - Sphyraena guachancho	1		
13	SD1	Peixe 34 - Papa Terra		8	
13	SD1	Peixe 36 - Xerête	3		
13	SD1	Peixe 4 - Pescadinha		6	24
13	SD1	Peixe 5 - Maria Luíza		3	
13	SD1	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		3	
13					
13	SD2	Pescada	1		
13	SD2	Peixe 17 - Sardinha		6	
13	SD2	Peixe 18 - Corvina	14		24
13	SD2	Peixe 19 - Trilha		1	
13	SD2	Peixe 2 - Linguado	1		
13	SD2	Peixe 36 - Xerête	1		

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
13					
13	SD3	Guarajuba amarela	2		
13	SD3	Pescada	1		
13	SD3	Peixe 19 - Trilha		10	24
13	SD3	Peixe 2 - Linguado	9		
13	SD3	Peixe 27 - Voador	2		
13					
13	SDN13	Peixe 18 - Corvina	5		
13	SDN13	Peixe 19 - Trilha		13	
13	SDN13	Peixe 2 - Linguado	3		
13	SDN13	Peixe 23 - Pampo	1		24
13	SDN13	Peixe 27 - Voador	1		
13	SDN13	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		1	
13					
13	SDN30	Peixe - Peixe lagarto	1		
13	SDN30	Peixe 17 - Sardinha		5	
13	SDN30	Peixe 18 - Corvina	5		
13	SDN30	Peixe 19 - Trilha		6	24
13	SDN30	Peixe 2 - Linguado	6		
13	SDN30	Peixe 27 - Voador	1		
13					
13	SDS13	Peixe 33 - Maria Luiza Rosa		6	
13	SDS13	Peixe 4 - Pescadinha	9		
13	SDS13	Peixe 5 - Maria Luíza		6	24
13	SDS13	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		3	
13					
13	SDS20	Peixe 4 - Pescadinha	12		
13	SDS20	Peixe 5 - Maria Luíza		6	24
13	SDS20	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		6	
13					
13	SDS30	Peixe - Peixe lagarto	1		
13	SDS30	Peixe 18 - Corvina	4		
13	SDS30	Peixe 19 - Trilha		3	
13	SDS30	Peixe 2 - Linguado	6		24
13	SDS30	Peixe 27 - Voador	1		
13	SDS30	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		3	
13	SDS30	Peixe 7 - Michole	6		
13					
13	SM4	Bicuda - Sphyraena guachancho	1		
13	SM4	Peixe 24 - Robalo	1		24
13	SM4	Peixe 34 - Papa Terra		6	

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
13	SM4	Peixe 36 - Xerête	2		
13	SM4	Peixe 38 - Guaivira	1		
13	SM4	Peixe 4 - Pescadinha	6		
13	SM4	Peixe 5 - Maria Luíza		1	
13	SM4	Peixe 6 - Cabeção / Cabeça dura		1	
13	SM4	Pescada	3		
13	SM4	Rachycentron canadum	2		
13					
Total Campanha 13			398	226	624
14	BN2	Cabeça Dura		4	
14	BN2	Maria Luiza		6	
14	BN2	Maria Luiza Rosa	5		24
14	BN2	Papa Terra	2		
14	BN2	Pescada	7		
14	BN3	Guarajuba Amarela	14		
14	BN3	Linguado	1		
14	BN3	Lutjanus	7		24
14	BN3	Peroá	1		
14	BN3	Salema	1		
14	BS1	Cabeça Dura		2	
14	BS1	Maria Luiza		4	
14	BS1	Maria Luiza Rosa	7		24
14	BS1	Pescadinha	5		
14	BS1	Roncador	6		
14	BS2	Biquara	7		
14	BS2	Bodião	1		
14	BS2	Guaiúba	2		
14	BS2	Guarajuba Amarela	4		24
14	BS2	Linguado	1		
14	BS2	Mariquita		1	
14	BS2	Peroá	1		
14	BS2	Piraúna	7		
14	CA1	Bagre	2		
14	CA1	Boca Torta	5		
14	CA1	Cabeça Dura		4	24
14	CA1	Corvina		1	
14	CA1	Maria Luiza		6	
14	CA1	Pescadinha	6		
14	CA2	Boca Torta	3		24
14	CA2	Corvina		3	
14	CA2	Maria Luiza		6	
14	CA2	Maria Luiza Rosa	4		
14	CA2	Papa Terra	2		
14	CA2	Pescadinha	6		
14	CA3	Guarajuba Amarela	12		
14	CA3	Linguado	4		24
14	CA3	Micholi	6		
14	CA3	Voador	2		
14	CA7	Charuteiro	1		
14	CA7	Guarajuba Amarela	2		
14	CA7	Lagarto	2		24
14	CA7	Linguado	2		
14	CA7	Micholi	5		
14	CA7	Pargo Rosa	12		
14	CA13	Bicuda	1		
14	CA13	Guarajuba Amarela	2		
14	CA13	Lagarto	1		
14	CA13	Linguado	3		
14	CA13	Mariquita		1	
14	CA13	Micholi	6		24
14	CA13	Pargo Rosa	4		
14	CA13	Peixe Lagarto	2		
14	CA13	Pirapiranga	1		
14	CA13	Piraúna	1		
14	CA13	Trilha	1		
14	CA13	Voador	1		
14	CA15	Lagarto	1		
14	CA15	Linguado	2		24
14	CA15	Micholi	8		
14	CA15	Pargo Rosa	13		
14	CB1	Bagre	5		
14	CB1	Carapeba		1	
14	CB1	Papa Terra	6		24
14	CB1	Roncador	6		
14	CB1	Serra	6		
14	CB3	Bagre	1		
14	CB3	Baiacú	1		6
14	CB3	Cangulo	1		
14	CB3	Peroá	3		
14	DEG1	Bagre	5		24

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
14	DEG1	Maria Luiza		7	
14	DEG1	Maria Luiza Rosa	6		
14	DEG1	Pescada	6		
14	DEG2	Linguado	6		
14	DEG2	Peroá	4		24
14	DEG2	Serrinha	3		
14	DEG2	Trilha	11		
14	ITA1	Bagre	6		
14	ITA1	Papa Terra	4		
14	ITA1	Pescadinha	6		24
14	ITA1	Roncador	4		
14	ITA1	Serrinha	4		
14	ITA3	Baiacú	1		
14	ITA3	Biquara	1		
14	ITA3	Bodião	1		
14	ITA3	Guaiúba	4		
14	ITA3	Guarajuba Amarela	3		
14	ITA3	Lutjanos	2		24
14	ITA3	Peixe Galo	1		
14	ITA3	Peroá	2		
14	ITA3	Piraúna	1		
14	ITA3	Saramunete		1	
14	ITA3	Ubarana	7		
14	PA4	Cabeça Dura		2	
14	PA4	Maria Luiza		6	
14	PA4	Maria Luiza Rosa	2		24
14	PA4	Papa Terra	6		
14	PA4	Pargo	1		
14	PA4	Pescada	7		
14	SD01	Bagre	19		
14	SD01	Maria Luiza Rosa	4		24
14	SD01	Papa Terra	1		
14	SD02	Agulha	5		
14	SD02	Bagre	2		
14	SD02	Cabeça Dura		3	
14	SD02	Corvina		1	24
14	SD02	Maria Luiza		5	
14	SD02	Maria Luiza Rosa	2		
14	SD02	Pescada	5		
14	SD02	Voador	1		
14	SD03	Cabeça Dura		4	24
14	SD03	Corvina		13	
14	SD03	Maria Luiza		6	
14	SD03	Pescada	1		
14	SDN13	Bagre	3		
14	SDN13	Cabeça Dura		2	
14	SDN13	Corvina		1	
14	SDN13	Maria Luisa Rosa	4		24
14	SDN13	Maria Luiza		1	
14	SDN13	Pescada	10		
14	SDN13	Sardinha		3	
14	SDN30	Boca Torta	2		
14	SDN30	Cabeça Dura		7	
14	SDN30	Corvina		4	24
14	SDN30	Maria Luiza		3	
14	SDN30	Pescada	8		
14	SDS13	Boca Torta	4		
14	SDS13	Corvina		2	
14	SDS13	Maria Luiza		6	24
14	SDS13	Papa Terra	4		
14	SDS13	Pescada	6		
14	SDS13	Serra	2		
14	SDS20	Bagre	1		
14	SDS20	Cabeça Dura		6	
14	SDS20	Corvina		1	
14	SDS20	Maria Luiza		6	24
14	SDS20	Pescada	8		
14	SDS20	Sargo de Dente	1		
14	SDS20	Serra	1		
14	SDS30	Corvina		10	
14	SDS30	Lagarto	1		24
14	SDS30	Linguado	7		
14	SDS30	Trilha	6		
14	ITA2	Boca Torta	1		
14	ITA2	Cabeça Dura		5	
14	ITA2	Cangulo	1		24
14	ITA2	Papa Terra	6		
14	ITA2	Pescadiha	11		
Total Campanha 14			462	144	606
15	BN2	Bagre	1		
15	BN2	Boca torta	1		24
15	BN2	Maria Luiza		7	

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
15	BN2	Papa terra	9		
15	BN2	Pescada	2		
15	BN2	Roncador	4		
15	BN3	Guarajuba amarela	13		
15	BN3	Baiacú	1		24
15	BN3	Peroá	10		
15	BS1	Bagre	6		
15	BS1	Cabeção / Cabeça dura		1	
15	BS1	Maria Luisa Rosa	1		24
15	BS1	Maria Luiza	11		
15	BS1	Pescada	5		
15	BS2	Biquara	1		
15	BS2	Cocorota	8		
15	BS2	Guarajuba amarela	6		24
15	BS2	Lutjanos	7		
15	BS2	Michole	1		
15	BS2	Pargo	1		
15	CA1	Corvina	5		
15	CA1	Linguado	9		
15	CA1	Papa terra	2		24
15	CA1	Sargo de dente	1		
15	CA1	Trilha	6		
15	CA1	Voador	1		
15	CA2	Cabeção / Cabeça dura		6	
15	CA2	Corvina		6	
15	CA2	Maria Luiza	1		24
15	CA2	Papa terra		6	
15	CA2	Pescada	5		
15	CA3	Guarajuba amarela	6		
15	CA3	Linguado	5		24
15	CA3	Michole	11		
15	CA3	Trilha	2		
15	CA7	Charuteiro	1		
15	CA7	Guarajuba amarela	3		
15	CA7	Linguado	4		24
15	CA7	Michole	7		
15	CA7	Pargo Rosa	7		
15	CA7	Peixe lagarto	2		
15	CA13	Biquara	1		
15	CA13	Cocorota	1		24
15	CA13	Guarajuba amarela	1		
15	CA13	Linguado	1		
15	CA13	Michole	3		
15	CA13	Pargo Rosa	13		
15	CA13	Peixe lagarto	1		
15	CA13	Peixe pena	2		
15	CA13	Trilha	1		
15	CA15	Baiacú	2		
15	CA15	Linguado	3		
15	CA15	Michole	13		24
15	CA15	Pargo Rosa	4		
15	CA15	Peixe lagarto	2		
15	CB1	Bicuda	1		
15	CB1	Carapeba		2	
15	CB1	Linguado	3		
15	CB1	Lutjanos	7		
15	CB1	Mangangá	1		24
15	CB1	Michole	1		
15	CB1	Palombeta	1		
15	CB1	Sardinha		4	
15	CB1	Serra	4		
15	CB3	Guarajuba amarela	9		18
15	CB3	Roncador	9		
15	DEG1	Cabeção / Cabeça dura		6	
15	DEG1	Maria Luisa Rosa	10		24
15	DEG1	Pescada	8		
15	DEG2	Corvina		17	
15	DEG2	Papa terra	6		24
15	DEG2	Roncador	1		
15	ITA1	Baiacú	1		
15	ITA1	Baiacu de Espinho	2		
15	ITA1	Carapeba		7	
15	ITA1	Linguado	2		24
15	ITA1	Lutjanos	8		
15	ITA1	Palombeta	2		
15	ITA1	Peroá	2		
15	ITA3	Cocorota	8		
15	ITA3	Guaiúba	8		
15	ITA3	Guarajuba amarela	2		24
15	ITA3	Lutjanos	4		
15	ITA3	Peixe pena	2		
15	PA4	Cabrinha	1		19

Campanha	Ponto amostral	Espécie	Carnívoro	Onívoro	Total Ponto/Campanha
15	PA4	Canguito	2		
15	PA4	Corvina		8	
15	PA4	Linguado	3		
15	PA4	Lutjanos	2		
15	PA4	Michole	1		
15	PA4	Peixe lagarto	1		
15	PA4	Pescada	1		
15	SD01	Bagre	13		
15	SD01	Cabeção / Cabeça dura		2	24
15	SD01	Maria Luisa Rosa	1		
15	SD01	Maria Luiza		8	
15	SD02	Cabeção / Cabeça dura		11	
15	SD02	Corvina		3	24
15	SD02	Papa terra	1		
15	SD02	Pescada	9		
15	SD03	Biquara	1		
15	SD03	Linguado	7		
15	SD03	Lutjanos	1		
15	SD03	Michole	1		24
15	SD03	Rêmora	1		
15	SD03	Trilha	11		
15	SD03	Voador	2		
15	SDN13	Bagre	2		
15	SDN13	Boca torta	1		
15	SDN13	Cabeção / Cabeça dura		2	17
15	SDN13	Maria Luisa Rosa	1		
15	SDN13	Maria Luiza		11	
15	SDN30	Corvina		16	
15	SDN30	Linguado	3		24
15	SDN30	Pescada	4		
15	SDN30	Serra	1		
15	SDS13	Cabeção / Cabeça dura		9	
15	SDS13	Papa terra	10		24
15	SDS13	Pescada	5		
15	SDS20	Boca torta	1		
15	SDS20	Cabeção / Cabeça dura		6	
15	SDS20	Corvina		1	24
15	SDS20	Maria Luiza		4	
15	SDS20	Pescada	11		
15	SDS20	Serra	1		
15	SDS30	Cabrinha	2		24
15	SDS30	Linguado	5		
15	SDS30	Lutjanos	1		
15	SDS30	Michole	7		
15	SDS30	Peixe lagarto	1		
15	SDS30	Peroá	1		
15	SDS30	Trilha	7		
15	SM03	Bijupirá	4		
15	SM03	Carapeba		1	
15	SM03	Linguado	1		
15	SM03	Palombeta	1		24
15	SM03	Papa terra	12		
15	SM03	Peroá	1		
15	SM03	Pescada	1		
15	SM03	Serra	3		
Total Campanha 15			462	144	606

Exemplares de poliquetas e moluscos não foram coletados, devido a dificuldades metodológicas enfrentadas já durante as primeiras campanhas do monitoramento ecotoxicológico no âmbito do PMBA/Fest-UFES. Neste contexto, vale ressaltar que, nas localidades estudadas, os invertebrados bentônicos de fundo inconsolidado são pequenos e requerem, portanto, uma triagem minuciosa do sedimento com o uso de lupa, uma manobra bastante difícil de ser realizada a bordo, especialmente com a embarcação em movimento. Assim, as condições na embarcação, logística relacionada ao volume do sedimento a ser triado, a biomassa mínima necessária de cada grupo (poliqueta, moluscos, etc.) para análise de contaminantes (metais e As) e biomarcadores, além do fato de que essa triagem deve ser conduzida de forma muito rápida e controlada, com troca de água do local e controle de luz e temperatura para evitar alterações nos biomarcadores bioquímicos, foram fatores determinantes e que inviabilizaram a coleta e triagem de invertebrados bentônicos concomitantemente com as demais atividades diárias previstas e nas condições de logística disponíveis. Vale lembrar que, em virtude dos motivos descritos acima, a exclusão destes dois grupos de organismos do escopo do monitoramento realizado no âmbito do PMBA/Fest-UFES já foi solicitada logo ao final do primeiro ano do monitoramento, ou seja, no início do Período de Transição.

Para a região de Abrolhos, especificamente, foram coletados corais da espécie *Mussismilia harttii* e hidrocorais da espécie *Millepora alcicornis*, de forma manual por mergulho.

A coleta de amostras para as análises de metais e As nos organismos da foz do rio Doce e região marinha adjacente, em cada ponto do monitoramento, foi realizada considerando-se: a decisão da Câmara Técnica de Biodiversidade (Nota Técnica nº 3/2017/CTBio/DIBIO/ICMBio) em adotar um número reduzido de exemplares de crustáceos e peixes dulcícolas e estuarinos para as análises das concentrações de metais/As e dos biomarcadores; a necessidade, para fins de análise e modelagem estatística, de balanceamento entre o número de amostras a serem analisadas nos diferentes ambientes (dulcícolas, estuarinos, marinhos, praias e manguezais); a viabilidade de aplicação de modelos estatísticos empregados em ecotoxicologia; bem como, os resultados positivos obtidos com o número amostral utilizado anteriormente nas 5 expedições de pesquisa e monitoramento ecotoxicológico promovidas pelo ICMBio (jan 2016 – fev 2018) na foz do rio Doce e região costeira adjacente. Sendo assim, foram adotados os seguintes números amostrais: fitoplâncton (5 amostras por ponto de coleta, sendo cada amostra constituída por pools de, no mínimo, 3 arrastos diferentes com duração entre 10 e 15 min); zooplâncton (5 amostras por ponto de coleta, sendo cada amostra constituída por pools de, no mínimo, 3 arrastos diferentes com duração entre 10 e 15 min); hidrocorais (6 fragmentos de *M. alcicornis* por ponto de coleta); corais (6 fragmentos de *M. harttii* por ponto de coleta); macrocrustáceos (6 indivíduos por ponto de coleta e por espécie); peixes (6 indivíduos por ponto de coleta e por espécie, quando possível). Para cada amostra obtida para as análises das concentrações de metais e As nos organismos marinhos, conforme descrito acima, foi também coletada uma duplicata para as análises de biomarcadores nestes organismos. Após a biometria, os crustáceos foram adequadamente anestesiados e então dissecados para coleta de amostras de músculo,

brânquias e hepatopâncreas. Por sua vez, os peixes foram adequadamente anestesiados e eutanasiados, e em seguida foram dissecados para coleta de amostras de músculo, brânquias e fígado.

As amostras foram acondicionadas em microtubos ou tubos tipo Falcon, previamente limpos com ácido nítrico Suprapur® e enxaguados em água MilliQ. As amostras coletadas para as análises de metais e As foram imediatamente congeladas em nitrogênio líquido e transportadas até o laboratório, onde foram devidamente armazenadas sob congelamento. A sequência dos procedimentos realizados nas Campanhas ao longo do monitoramento do PMBA/Fest-UFES encontra-se descrita abaixo em detalhe.

Para a coleta de tecidos de camarões, as brânquias foram cuidadosamente dissecadas com o auxílio de microtesoura. O tecido branquial de cada indivíduo foi destinado para a análise das concentrações de metais e As (n = 6) e análise de biomarcadores (n = 6). Os criotubos (2 mL) contendo as brânquias foram imediatamente armazenados em nitrogênio líquido. Após a retirada da carapaça do cefalotórax dos camarões, o hepatopâncreas de cada indivíduo foi dissecado, acondicionado em criotubo (2 mL) e destinado à análise das concentrações de metais e As (n = 6). Uma porção do tecido hepatopancreático de outro indivíduo foi coletada, acondicionada em criotubo (2 mL) e destinada à análise de biomarcadores (n = 6). Todo o material foi imediatamente congelado em nitrogênio líquido. Após a retirada da carapaça dos camarões, o músculo abdominal foi coletado, acondicionado em criotubo (2 mL) e destinado à análise de biomarcadores (n = 6). Para análise das concentrações de metais e As no tecido muscular, as amostras foram coletadas conforme descrito anteriormente.

Após a captura, os peixes foram identificados e mantidos em caixas plásticas com água do próprio local com aeração constante. Para as análises das concentrações de metais e As, bem como dos biomarcadores, os espécimes foram retirados das caixas plásticas, anestesiados (hidrocloridrato de benzocaína a 250 mg/L), medidos (mm), pesados (g), eutanasiados com dose letal de hidrocloridrato de benzocaína (500 mg/L) e então dissecados para coleta de amostras dos tecidos/órgãos alvo, conforme descrito a seguir.

As brânquias foram cuidadosamente dissecadas da cavidade opercular, com auxílio de pinça e tesoura, evitando-se ao máximo tocar os filamentos branquiais. Os arcos branquiais foram separados em placas de Petri contendo solução fisiológica para peixes. O segundo arco branquial direito foi lavado delicadamente com pincel macio e solução fisiológica para a retirada do excesso de sangue e muco. Após isso, foi fixado em solução de Bouin (6-8 h) para posterior análise morfológica. Após o período de fixação, a solução fixadora foi substituída por álcool 70%, o qual foi trocado diariamente, até a completa remoção do fixador. Os arcos branquiais restantes foram acondicionados em criotubos e imediatamente congelados em nitrogênio

líquido.

Após a dissecção das brânquias, a cavidade abdominal dos peixes foi exposta, utilizando-se uma tesoura. A seguir, o fígado dos peixes foi dissecado com o auxílio de pinças curvas, tentando-se remover os lobos hepáticos da forma mais íntegra possível. O órgão foi dividido para as análises das concentrações de metais e As, bem como de biomarcadores. Para as análises histológicas, o órgão foi fixado em solução de Bouin (6-8 h) e posteriormente conservado em álcool 70%. Para a avaliação dos biomarcadores bioquímicos, as amostras foram acondicionadas em criotubos e imediatamente congeladas em nitrogênio líquido. Por fim, uma amostra de músculo da região dorsal (musculatura hipoaxial) foi dissecada removendo-se as escamas e a pele. As porções de músculo foram acondicionadas em criotubos e estes congelados em nitrogênio líquido. A coleta de amostras de músculo para análise das concentrações de metais e As seguiram as recomendações descritas anteriormente. Após a dissecção dos animais em campo, a carcaça foi descartada no local de coleta (campo).

Todas as amostras biológicas destinadas às análises de metais e As foram acondicionadas em frascos plásticos previamente limpos com ácido nítrico Suprapur® e enxaguados em água MilliQ. Estas amostras foram imediatamente congeladas em nitrogênio líquido e seguiram para o transporte até o laboratório, onde foram mantidas congeladas em freezer comum (-20ºC) até o momento das análises. Nestas amostras, foram analisados os seguintes elementos: Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). Da mesma forma, as amostras dos organismos coletados para as análises de biomarcadores foram acondicionadas em tubos criogênicos e congeladas (nitrogênio líquido) em campo. As amostras congeladas foram transportadas para o laboratório, onde foram mantidas congeladas em ultrafreezer (-80ºC). Foram realizadas as análises dos biomarcadores em tecidos específicos dos organismos, considerando-se a natureza de cada biomarcador, conforme detalhado mais adiante.

A partir da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), que corresponde ao início do Novo Ciclo do PMBA/Fest-UFES, ocorreram algumas modificações na destinação das amostras de tecidos biológicos para as análises de biomarcadores e no conjunto de biomarcadores analisados por grupo de organismo, seguindo a Proposta Técnica de continuidade do monitoramento, apresentadas e aprovadas em 2022 (Novo Ciclo). Estas modificações estão descritas na sessão abaixo “Análises de Laboratório”.

Para o monitoramento da comunidade microbiana total, foram coletadas, em triplicata, amostras de água (de superíficie e de fundo), sedimento e fragmentos de corais, em cada ponto de coleta, seguindo-se as respectivas metodologias descritas acima. As coletas para a avaliação microbiológica foram realizadas nos 25 pontos de amostragem na foz do rio Doce e região costeira adjacente. Por sua vez, as amostras de corais foram coletadas nos 4 pontos de monitoramento na região de Abrolhos, incluindo um recife-controle [Abrolhos Controle 1 (ABRC1)], fora de possíveis rotas de dispersão dos sedimentos. As amostras de água foram transferidas para garrafas plásticas de 1 L identificadas de acordo com o ponto de coleta, réplica e profundidade. As amostras coletadas foram acondicionadas em ambiente fresco ou refrigerado até o momento da filtragem. Após a filtragem da amostra através de duas membranas (1.2 µm e 0.22 µm), os filtros foram recolhidos e acondicionados em tubos de 5 mL, os

quais foram estocados em caixas especificas e congelados (-20°C). Por sua vez, as amostras de sedimento foram acondicionadas em tubos tipo Falcon de 15 mL, os quais foram estocados em sacos plásticos e mantidos congelados (-20°C) até o momento da análise. Quanto às amostras de corais, estas foram coletadas manualmente através de mergulho autônomo. As amostras coletadas foram armazenadas em tubos de 5 mL ou tubos tipo Falcon de 50 L, dependendo da logística dos mergulhadores e do tamanho dos fragmentos de corais coletados. Uma vez no barco, o excesso de água nos tubos foi retirado e os tubos foram identificados e mantidos congelados (-20°C) até o momento da análise.

Portanto, conforme descrito acima, os protocolos de coleta das amostras ambientais e biológicas foram aqueles já descritos anteriormente no âmbito do PMBA/Fest-UFES (RRDM, RSE 2022). No entanto, a partir da Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) foram adotadas as recomendações contidas no *"Parecer técnico dos métodos adotados para quantificação de metais e arsênio em tecidos e vísceras da biota aquática - Avaliação da adequação e eficiência metodológica das análises de metais e arsênio no âmbito do PMBA*" emitido pela Fundação Renova em agosto de 2022. Neste caso, foram adotadas as seguintes alterações na coleta das amostras de água, sedimento e biota destinadas as análises de arsênio e metais:

(1) os frascos destinados às coletas, mesmo que ainda não tenham sido utilizados, foram banhados em ácido nítrico 5%, por 24 horas, completados por lavagem em água deionizada em abundância, para se evitar qualquer fonte de contaminação.

(2) As coletas de água, ao longo da coluna d'água, foram realizadas utilizando-se uma garrafa horizontal do tipo *Van Dorn*. Em todas as estações amostrais foram coletadas 6 amostras de água (3 amostras de superfície e 3 amostras de fundo) para a análise das concentrações de metais e As totais e 6 amostras (3 amostras de superfície e 3 amostras de fundo) de água filtrada (filtro de 0,45 µm de malha) para a análise das concentrações de metais e As na fração dissolvida. O volume de amostra de água coletado por réplica, que era de 100 mL, passou a ser de 250 mL. Sendo assim, foi adicionado em cada réplica acidificada um volume de 3,5 mL de ácido nítrico Suprapur 65%. As amostras de água acidificadas foram mantidas refrigeradas e as alíquotas com a especificação de congelamento, foram mantidas congeladas.

(3) As coletas de amostras de sedimento destinadas às análises químicas seguiram a metodologia padrão empregada desde a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco). Em todas as estações amostrais utilizadas para a coleta de água foram coletadas também amostras de sedimento superficial com auxílio de draga do tipo *Van Veen.* Em cada local de amostragem foram coletadas 4 amostras de sedimento. As amostras foram abertas em caixas plásticas, buscando-se gerar um mínimo de perturbação na superfície do sedimento e fotografadas imediatamente após a coleta, a fim de registrar as características visuais do sedimento. Para a análise de metais e As, as amostras foram coletadas com o auxílio de espátula de plástico, raspando-se apenas os primeiros centímetros (0 - 5 cm) e obtendo-se apenas o sedimento superficial. A partir da Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), a massa de sedimento coletada por réplica que era de 50 g, passou a ser de, no mínimo, 200 g. Potes com capacidade total de 250 g

foram preenchidos, deixando-se apenas o espaço de expansão do congelamento, para garantir a massa necessária de amostra para as determinações. As amostras de sedimentos foram mantidas congeladas.

(4) A quantidade da massa de tecido muscular coletada por organismo foi aumentada, incrementando assim a representatividade da amostra e possibilitando, minimamente, a análise em duplicatas, para verificação de variações e precisão nos resultados e a robustez nas análises. Foi garantida massa úmida de 0,25 g em cada amostra de músculo de pescado. Organismos pequenos, como por exemplo camarões de água doce, foram amostrados em pools. As amostras de músculo de pescado destinadas à quantificação de elementos-traço foram acondicionadas em sacos zip e mantidas congeladas, com a identificação em papel vegetal, facilitando assim a secagem e posterior armazenamento dessas amostras.

2.2 ANÁLISES DE LABORATÓRIO

Avaliação da microbiota em água, sedimento e corais

A análise da microbiota total em amostras de água, sedimento e fragmentos de corais foi realizada através da extração do DNA total, utilizando-se um kit comercial de reagentes (*PowerSoil DNA isolation kit*, Qiagen), seguindo orientações do fabricante. Posteriormente, foi realizado o sequenciamento de DNA, utilizando-se sequenciadores de nova geração (Illumina MiSeq). As leituras foram geradas e processadas utilizando-se o software Qiime2 v2023.5. Após a obtenção das sequencias curadas, análises de ordenação, abundância relativa e diversidade foram geradas com a utilização do software R. A análise das sequências obtidas permitiu a avaliação do core microbiano e os microrganismos presentes nas diferentes amostras, pontos amostrais e períodos amostrais, correlacionando-se estatisticamente os resultados de diversidade microbiana obtidos com as demais análises realizadas no programa de monitoramento. Essa avaliação é importante não apenas para indicar possíveis alterações ambientais temporais e/ou pontuais, bem como para apontar bioindicadores microbianos tolerantes à presença de metais e As nas diferentes áreas amostradas, que podem ser rastreados em áreas adjacentes.

Análises das concentrações de metais e arsênio nas amostras ambientais e biológicas

Para a extração dos metais e As totais e dissolvidos nas amostras de água foi utilizado o método EPA 3015A (U.S. EPA, 2007). As amostras de sedimento superficial coletadas foram liofilizadas, maceradas e homogeneizadas utilizando gral e pistilo de ágata. O processo de extração foi realizado de acordo com o método EPA 3051A (U.S. EPA, 2007) para determinação da fração disponível. As amostras de material biológico foram previamente secas em estufa (45-60°C) até peso constante e o teor de umidade foi obtido. A digestão foi realizada em um sistema de digestão por micro-ondas modelo Multiwave 3000 (Anton-Paar), equipado com um rotor para oito recipientes de quartzo do tipo 80 mL (operando na pressão de 80 bar), utilizando-se ácido nítrico ultrapuro (Suprapur, Merck). Todas as amostras foram diluídas a um fator de 10 vezes utilizando-se água ultrapura (18 MΩ cm), visando adequar as concentrações dos metais e As àquelas das soluções dos padrões certificados, utilizadas para calibrar os equipamentos. As análises das concentrações de Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni,

Pb e Zn nas amostras ambientais (água e sedimento) e biológicas coletadas nas Campanhas 1 a 7, bem como nas amostras biológicas (exceto músculo de pescado: camarões e peixes) coletadas nas Campanhas de 8 a 11, foram realizadas de acordo com metodologia EPA 6020A (U.S. EPA, 1998), utilizando-se espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS, Analytik Jena) em laboratórios especializados do PMBA/Fest-UFES. O controle de qualidade foi realizado através de brancos analíticos e ensaios de recuperação com materiais de referência certificados. Por sua vez, as amostras de água, sedimento e músculo de pescado (camarões e peixes) coletadas nas Campanhas 8 a 11 foram analisadas em laboratórios acreditados, por determinação da Fundação Renova. Na Campanha 13, as amostras deixaram de ser analisadas em laboratórios acreditados e voltaram a ser analisadas nos laboratórios especializados do PMBA/Fest-UFES, seguindo a metodologia descrita anteriormente.

Os valores das concentrações de metais e As nas amostras biológicas foram incorporados nos modelos matemáticos do Índice de Resposta de Bioacumulação (IBR Bioacumulação), o qual foi proposto por Beliaeff & Burgeot (2002) e otimizado por Devin et al. (2014). O valor do IBR Bioacumulação corresponde à soma da área definida pelo número de elementos dispostos em um diagrama de radar, seguindo uma etapa anterior de padronização das respostas dos elementos. Assim, o índice é calculado somando-se as áreas do gráfico estrela triangular (um método gráfico multivariado simples) para cada par de elementos vizinhos em um determinado conjunto de dados. Como o resultado do processo de cálculo depende fortemente da organização sequencial dos elementos, foi utilizado um procedimento que cria todas as permutações circulares possíveis relacionadas às concentrações de metais e As.

Análises de biomarcadores

Biomarcadores são alterações biológicas que expressam a exposição e os efeitos tóxicos dos poluentes presentes no ambiente e podem ser mensuradas em nível molecular, celular ou fisiológico (Walker et al., 1996). Portanto, os biomarcadores selecionados para um programa de monitoramento ambiental devem detectar a exposição do organismo aos contaminantes, através de qualquer alteração biológica mensurável (biomarcadores de exposição) e/ou a magnitude de resposta do organismo aos contaminantes (biomarcadores de efeito). Assim, os biomarcadores foram analisados de forma seletiva nas amostras de plâncton, invertebrados e peixes coletados no presente programa de monitoramento, considerando-se os potenciais efeitos biológicos dos metais (desequilíbrio iônico e osmótico, inibição enzimática, oxidação de biomoléculas e danos morfológicos) nos respectivos tecidos e organismos coletados. Os biomarcadores analisados ao longo do monitoramento do PMBA/Fest-UFES encontram-se listados no Quadro 1. Para fins de praticidade e rapidez na realização das análises, bem como de precisão e reprodutibilidade dos resultados, sempre que possível, foram utilizados kits comerciais de reagentes específicos que utilizam metodologia semelhante àquelas descritas abaixo, para a determinação dos respectivos biomarcadores.

Quadro 1:Lista dos biomarcadores analisados em amostras de organismos coletados pelo Tema Ecotoxicologia na foz do rio Doce e região marinha adjacente realizados no Ano 1 (Campanha 1, set/out 2018 - período chuvoso e Campanha 2, jan/fev 2019 - período chuvoso), Ano 2 até Ano 4 (Campanha 3, set/out 2019 - período chuvoso e Campanha 4, jan/fev 2020 - período chuvoso, Campanha 5, jan/fev 2021 - período chuvoso, Campanha 6, jul/ago 2021 - período seco, Campanha 7, mar 2022 - período chuvoso e Campanha 8, set/out 2022 - período seco) e Anos 5, 6, 7 e 8 (Campanha 9, jan/fev 2023 - período chuvoso, Campanha 10, jun/jul 2023 - período seco, Campanha 11, jan 2024 – período chuvoso, Campanha 12, jul 2024 – período seco, Campanha 13, jan/fev 2025 – período chuvoso, Campanha 14 , jul 2025 – período seco, e Campanha 15, jan/fev 2026 – período chuvoso). "-" indica que a análise não faz mais parte do Plano de Trabalho.

BIOMARCADOR (classificação: efeito/exposição)			
AMOSTRA	**ANO 1**	**ANO 2 ATÉ ANO 4**	**ANOS 5, 6, 7 e 8**
Fitoplâncton	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO- efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO- efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO- efeito)
Zooplâncton	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Composição iônica corporal (Ca, K, Mg e Na - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Composição iônica corporal (Ca, K, Mg e Na - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito)
Hemolinfa de camarões	❖ Danos ao DNA (MN e Sítios AP - efeito)	❖ Danos ao DNA (Sítios AP - efeito)	-
Brânquias de camarões	❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito)	❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MTO - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito)
Hepatopâncreas de camarões	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito)
Músculo de camarões	❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito)	❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito)	❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito) ❖ Danos ao DNA (Sítios AP - efeito)
Sangue de peixes	❖ Danos ao DNA (MN e Sítios AP - efeito) ❖ Composição iônica plasmática (Ca, K, Mg e Na - efeito) ❖ Desreguladores endócrinos (Vtg e Zrp - efeito)	❖ Danos ao DNA (MN e Sítios AP - efeito) ❖ Desreguladores endócrinos (Vtg e Zrp - efeito)	-
Brânquias de peixes	❖ Atividade de enzimas antioxidantes (SOD e CAT - efeito)	❖ Atividade de enzimas antioxidantes (SOD e CAT - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição)

BIOMARCADOR (classificação: efeito/exposição)			
AMOSTRA	**ANO 1**	**ANO 2 ATÉ ANO 4**	**ANOS 5, 6, 7 e 8**
	❖ Atividade de enzimas do metabolismo energético (MDH e LDH - efeito) ❖ Danos morfológicos (IL - efeito)	❖ Atividade de enzimas do metabolismo energético (MDH e LDH - efeito) ❖ Danos morfológicos (IL - efeito)	❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito) ❖ Atividade de enzimas antioxidantes (SOD e CAT - efeito) ❖ Atividade de enzimas do metabolismo energético (LDH - efeito) ❖ Danos morfológicos (IL - efeito) ❖ Danos ao DNA (Sítios AP - efeito)
Fígado de peixes	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Atividade de enzimas antioxidantes (SOD e CAT - efeito) ❖ Atividade de enzimas do metabolismo energético (MDH e LDH - efeito) ❖ Danos morfológicos (IL - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Atividade de enzimas antioxidantes (SOD e CAT - efeito) ❖ Atividade de enzimas do metabolismo energético (MDH e LDH - efeito) ❖ Danos morfológicos (IL - efeito)	❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição) ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) ❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito) ❖ Atividade de enzimas antioxidantes (SOD e CAT - efeito) ❖ Atividade de enzimas do metabolismo energético (LDH - efeito) ❖ Danos morfológicos (IL - efeito)
Músculo de peixes	❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito)	❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito)	-
Corais e hidrocorais	❖ Peroxidação lipídica (efeito) ❖ Atividade de enzimas envolvidas na calcificação: (Ca-ATP, Mg-ATP e AC - efeito)	❖ Peroxidação lipídica (efeito) ❖ Atividade de enzimas envolvidas na calcificação: (Ca-ATP, Mg-ATP e AC - efeito)	❖ Peroxidação lipídica (efeito) ❖ Atividade de enzimas envolvidas na calcificação: (Ca-ATP, Mg-ATP e AC - efeito) ❖ Danos ao DNA (Sítios AP – efeito)

AC = anidrase carbônica; Ca-ATP = Ca^{2+} -ATPase; CAT = atividade da enzima catalase; IL = índices médios de lesões histopatológicas; LDH = atividade da enzima lactato desidrogenase; LPO = lipoperoxidação; Mg-ATP = Mg^{2+} -ATPase; MN = teste de micronúcleo; MT = concentração de metalotioneína; PCO = proteínas carboniladas; sítios AP = níveis de Sítios AP (apurínicos/apirimídicos); SOD = atividade de superóxido dismutase; Vtg = vitelogenina; e Zrp = proteínas da zona radiata.

A determinação da concentração de metalotioneínas (MT) foi realizada usando-se um kit comercial de reagentes (*Fish Metallothionein ELISA Kit*, MyBiosource), cujo princípio de análise utiliza um método espectrofotométrico em microplaca. Os procedimentos analíticos para determinação da concentração

das MT seguiram aqueles descritos pelo fabricante do kit. Os resultados foram expressos em µg MT/mg proteína.

O preparo de amostras de fragmentos de coral para análise dos parâmetros de calcificação foi realizado macerando-se as amostras em nitrogênio líquido. Para cada análise, as amostras foram homogeneizadas em tampão específico (1:1; peso/volume) com o auxílio de um sonicador. As amostras foram homogeneizadas e centrifugadas (10.000 g, 20 min, 4°C) e o sobrenadante coletado para as análises das atividades das enzimas Ca^{2+}-ATPase, Mg^{2+}-ATPase e anidrase carbônica. A quantificação de proteínas totais nas amostras homogeneizadas foi realizada utilizando-se o método de Bradford (1976).

A determinação da atividade da anidrase carbônica (AC) foi realizada medindo-se a redução de pH associada à catálise da hidratação do CO_2, com a correspondente liberação de H^+ (Henry, 1991). O tampão utilizado para homogeneização das amostras foi constituído de Tris-Base (10 mM, pH 8,5), sacarose (75 mM), inibidor de proteases (fluoreto de fenilmetanosulfonil – PMSF 1 mM) e ditritiotreitol (DTT 1 mM). Para isso, 15 µL do homogeneizado foram adicionados a 3 mL de uma solução de reação composta por Tris-Base (10 mM, pH 8,5), sacarose (75 mM), manitol (225 mM) e fosfato (10 mM). Em seguida, foram adicionados 280 µL de substrato (água destilada saturada com CO_2) e o decréscimo de pH registrado a cada 5 s, durante 30 s, com o auxílio de um pHmetro de bancada. Paralelamente, foram realizadas determinações do "branco de reação", onde 15 µL do tampão de homogeneização foram adicionados à solução de reação e ao substrato. Utilizou-se o modelo de regressão linear (variável dependente: pH; variável independente: tempo) para determinar a declividade das retas de reação e os resultados foram normalizados considerando-se a quantidade de proteínas nas amostras e expressos em Unidades de anidrase carbônica/mg proteína.

A determinação das atividades da Ca^{2+}-ATPase e da Mg^{2+}-ATPase foi realizada utilizando-se o método descrito por Vajreswari et al. (1983), com modificações. O homogeneizado da amostra foi preparado utilizando-se tampão composto por Tris-HCl (100 mM, pH 7,6), sacarose (500 mM), DTT (1 mM) e PMSF (1 mM). O homogeneizado foi centrifugado (20 min, 10.000 g, 4°C) e 20 µL do sobrenadante foi utilizado para as análises. O meio de reação utilizado na análise da atividade da Ca^{2+}-ATPase foi composto por NaCl (189 mM), $MgCl_2$ (5 mM), $CaCl_2$ (5 mM) e Tris-HCl (20 mM, pH 7,6). A incubação ocorreu a 30°C por 30 min. Por sua vez, o meio de reação utilizado na análise da atividade da Mg^{2+}-ATPase foi composto por NaCl (189 mM), $MgCl_2$ (5 mM), EGTA (0.2 mM) e Tris-HCl (20 mM, pH 7,6). A incubação da reação foi realizada a 30°C por 30 min. No início da incubação, ATP (3 mM) e ouabaína (1mM) foram adicionados aos meios de reação. A concentração de fosfato inorgânico (Pi) liberada pela atividade das enzimas no meio de reação foi determinada por colorimetria (630 nm). Os resultados foram normalizados considerando a quantidade de proteínas nas amostras e expressos em mM Pi/mg proteína/minuto.

A atividade da lactato desidrogenase (LDH) foi analisada em homogeneizados das amostras de brânquias e fígado dos peixes coletados durante o monitoramento. Os homogeneizados foram realizados por maceração mecânica em mistura de tampão fosfato de potássio (pH 7,46) e inibidor de

protease. Após centrifugação, o sobrenadante obtido foi utilizado para a análise da atividade da LDH. A avaliação da atividade de LDH foi realizada utilizando-se o kit comercial Desidrogenase Lática LDH UV® (Bioclin). Os procedimentos para a análise enzimática da LDH foram aqueles descritos pelo fabricante Bioclin, e conforme a metodologia descrita por Childress & Somero (1979) e adaptada por Ribeiro et al. (2015). A taxa de oxidação de NADH na reação catalisada pela enzima foi determinada por espectrofotometria UV (340 nm). A dosagem de proteínas totais dos homogeneizados foi realizada através do método de Bradford (1976). A atividade enzimática foi expressa em Unidades Enzimáticas/mg de proteína.

As atividades da catalase (CAT) e da superóxido dismutase (SOD) foram determinadas nos homogeneizados de tecidos preparados conforme descrito no parágrafo acima. A atividade da CAT foi determinada através da análise do decréscimo da concentração de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), conforme descrito por Aebi (1984). Por sua vez, a atividade da SOD foi medida através da taxa de inibição da auto-oxidação do pirogalol, de acordo com o protocolo de Marklund & Marklund (1974). A dosagem de proteínas totais dos homogeneizados foi realizada através do método de Bradford (1976). As atividades enzimáticas foram expressas em Unidades Enzimáticas/mg de proteína.

A lipoperoxidação (LPO) foi determinada no material biológico utilizando-se um método espectrofotométrico em microplaca, seguindo as recomendações do fabricante do kit comercial *TBARS Assay Kit* (Chayman Chemical). O método utilizado quantifica os danos em lipídios por meio da reação do malondialdeído (MDA), produto da peroxidação lipídica, com o ácido tiobarbitúrico. Esta reação ocorre em condições de acidez e alta temperatura (95ºC), gerando um cromógeno fluorescente. A fluorescência gerada foi medida utilizando-se um espectrofluorímetro (excitação: 520 nm; emissão: 580 nm). Os dados foram calculados com base em uma curva construída com soluções padrão de MDA, sendo os resultados normalizados em relação ao conteúdo de proteínas nas amostras, o qual foi determinado utilizando-se o método de Bradford (1976). Assim, os resultados foram expressos em nmol MDA/mg proteína.

Os danos oxidativos em proteínas (PCO) foram determinados utilizando-se um kit comercial de reagentes (*Protein Carbonyl Fluorometric Assay*, Chayman Chemical, ou outro kit similar). Durante o ensaio, as proteínas carboniladas (PCO) (oxidadas) foram inicialmente derivatizadas com um fluoróforo específico que se liga ao grupo carbonila da proteína na proporção de 1:1. Após isso, as proteínas foram precipitadas com ácido tricloroacético (TCA) e o fluoróforo livre removido por meio da lavagem do precipitado proteico com acetona. Após a solubilização do precipitado proteico em hidrocloreto de guanidina, a absorbância do produto proteína-fluoróforo foi determinada fluorimetricamente (emissão: 485; excitação: 538 nm) e o conteúdo de proteínas carboniladas calculado. Os resultados foram expressos em nmol PC/mg proteína.

Para a análise de danos ao DNA, foi utilizada a quantificação de sítios AP no material genético. Para isto, o DNA genômico foi previamente isolado utilizando-se um kit de reagentes para isolamento de DNA (*Wizard® Genomic DNA Purification Kit*, Promega Corporation, ou outro kit similar). A análise de sítios AP propriamente dita foi realizada utilizando-se uma sonda capaz de reagir com o grupo aldeído

destes sítios, a qual foi detectada por colorimetria (450 nm) em uma leitora de microplacas. Para tal, foi utilizado um kit de reagentes de detecção de dano ao DNA, seguindo-se as instruções do fabricante (*DNA Damage Detection Kit*; ou outro kit similar). Os resultados foram expressos em sítios AP/10^5 pares de bases (bp).

Efeitos histopatológicos foram avaliados nas amostras de brânquias e fígado dos peixes. Fragmentos de fígado e brânquias foram imersos em solução de Bouin por 6-8 h, desidratados em concentrações crescentes de álcool, diafanizados em xilol e incluídos em paraplast. O material foi seccionado em micrótomo rotativo. As secções obtidas foram coradas com hematoxilina/eosina e tricômio de Mallory. Algumas lâminas foram submetidas à técnica de coloração PAS. Para tal, foram banhadas em ácido periódico 1% por 10 min, lavadas em água destilada e mergulhadas em Reativo de Schiff, por 20 min. Em seguida, foi realizada uma nova lavagem em água corrente por 10 min, seguida de coloração com hematoxilina de Harris por 3 min, lavagens em água destilada, desidratação e montagem. As alterações nos fígados e brânquias foram determinadas de acordo com o método proposto por Bernet et al. (1999). Esse método baseia-se na relevância patológica e na extensão das lesões observadas nos órgãos analisados. As alterações foram classificadas em cinco padrões de reação, onde cada lesão possui um grau de importância. O Índice do Órgão (Iorg) representa o grau de dano apresentado pelo órgão e foi calculado pela fórmula: Iorg = Σrp Σalt (a x w), onde: rp = padrão de reação, alt = alteração, a = extensão da lesão e w = grau de importância. Já o Índice de Reação (Irp) avalia a gravidade das alterações identificadas e foi obtido pelo somatório do produto da multiplicação do tamanho da lesão pela relevância patológica (Irp = Σalt (a x w), onde rp = padrão de reação, alt = alteração, a = extensão da lesão e w = grau de importância).

Os dados dos biomarcadores foram incorporados nos modelos matemáticos do Índice de Resposta de Biomarcador (IBR Biomarcador), o qual foi proposto por Beliaeff & Burgeot (2002) e otimizado por Devin et al. (2014). O valor do IBR Biomarcador corresponde à soma da área definida pelo número de elementos dispostos em um diagrama de radar, seguindo uma etapa anterior de padronização das respostas dos elementos. Assim, o índice é calculado somando-se as áreas do gráfico estrela triangular (um método gráfico multivariado simples) para cada par de elementos vizinhos em um determinado conjunto de dados. Como o resultado do processo de cálculo depende fortemente da organização sequencial dos elementos, foi utilizado um procedimento que cria todas as permutações circulares possíveis relacionadas às respostas dos biomarcadores.

Ensaios ecotoxicológicos

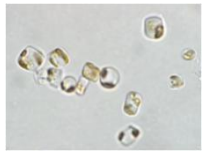
Ensaios ecotoxicológicos foram realizados para classificar amostras de água e sedimento coletadas na região marinha adjacente ao rio Doce, quanto às suas toxicidades. Os pontos de amostragem estão apresentados no Quadro 2. Cabe ressaltar que, a partir do Período de Transição, um ponto de coleta em Degredo (DEG1) foi incluído no monitoramento. As amostras de água e sedimento total foram coletadas, armazenadas e preparadas segundo a norma da ABNT NBR 15469, visando a realização dos testes de toxicidade descritos na Tabela 2. O elutriato de sedimento também foi preparado seguindo a norma supramencionada. Cabe destacar que a partir da Campanha 7 (mar 2022 – período

chuvoso), os testes com amostras de água e elutriato utilizando o ouriço-do-mar *Echinometra lucunter* (crônico - ABNT NBR 15350), bem como os ensaios com amostras de sedimento total utilizando o copépode *Nitokra* sp (Lotufo & Abessa, 2002) foram realizados por laboratório acreditado por determinação da Fundação Renova. Os demais ensaios foram realizados por laboratórioes especializados do PMBA/Fest-UFES, são eles: teste com as microalgas da espécie *Thalassiosira pseudonana* (ABNT NBR 16181), teste com o peixe *Poecilia vivipara* (OECD 203), teste agudo com água e elutriato utilizando o ouriço-do-mar *Echinometra lucunter* (agudo - Lotufo & Abessa, 2002). Na Campanha 13, os ensaios de toxicidade deixaram de ser realizados em laboratórios acreditados e voltaram a ser analisadas nos laboratórios especializados do PMBA/Fest-UFES, seguindo a metodologia descrita anteriormente. Para o cálculo do índice de toxicidade, levou-se em consideração a severidade da resposta observada (Quadro 3) e a sensibilidade do organismo testado (Quadro 4). As respostas subletais foram classificadas como menos severas e a letalidade como mais severa; enquanto os organismos mais sensíveis foram valorizados, recebendo maior número na escala de sensibilidade. A valorização das espécies mais sensíveis é importante para que o impacto não seja subestimado. Os valores de toxicidade foram usados para classificar as amostras desde não-tóxicas até altamente tóxicas (Tabela 3). Vale lembrar que, para cada ponto amostral, esta classificação foi feita separadamente para água e sedimento, e levou em consideração a média dos valores de toxicidade resultantes dos diferentes ensaios realizados com as matrizes ambientais.

Quadro 2: Pontos amostrais na foz do rio Doce e região marinha adjacente onde foram coletadas amostras de água e sedimento usados para os testes de toxicidade realizados no Ano 1 (Campanha 1 – set/out 2018 e Campanha 2 – jan/fev 2019), Ano 2 (Campanha 3 – set/out 2019 e Campanha 4 – jan/fev 2020), Ano 3 (Campanha 5 – jan/fev 2021 e Campanha 6 – jul/ago), Ano 4 (Campanha 7 – mar/ 2022 e Campanha 8 – set/out 2022) e Anos 5 e 6 (Campanha 9 – jan/fev 2023, Campanha 10 -jun/jul 2023 - período seco, Campanha 11, jan 2024 – período chuvoso e Campanha 12 – período seco), Anos 7 e 8 (Campanha 13 - jan/fev 2025 – período chuvoso, Campanha 14 – jul 2025 – período seco e Campanha 15 – jan/fev 2026 - período chuvoso). O ponto CA2 não foi amostrado na Campanha 3 (set/out 2019). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção Ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2)]; **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1); e Foz do rio Doce 6 (FRD6)]; e **Norte** [Degredo 1 (DEG1)].

AMBIENTE	ANO 1	ANOS 2, 3, 4, 5 e 6	ANOS 7 e 8
Marinho	FRD1	FRD1	SD01
	FRD6	FRD6	SDN30
	CA1	CA1	CA1
	CA2	CA2	CA2
		DEG1	DEG1

Tabela 2: Resumo dos ensaios de toxicidade realizados com amostras coletadas na malha amostral marinha do Tema Ecotoxicologia do PMBA/Fest-UFES.

Informação	Microalga	Crustáceo	Ouriço-do-mar	Peixe
Espécie	 *Thalassiosira pseudonana*[1]	 *Nitokra sp* (copépode)[2]	 *Echinometra lucunter*[3]	 *Poecilia vivipara*[4]
Procedência do organismo	Banco de Microrganismos Aidar & Kutner – BMAK 172 – IO/USP	Cultivo da Empresa Aplysia	Ambiente Natural – Coqueiral/ES (Ensaio agudo) Ambiente Natural – Jacaraípe/ES (Ensaio crônico)	Biotério Aquático do ICB/FURG
Matriz	Água Superficial/Elutriato de Sedimento	Sedimento Bruto	Água Superficial/Elutriato de Sedimento	Água Superficial/Elutriato de Sedimento
Tipo do teste	Crônico	Crônico	Agudo/Crônico	Agudo
Método	ABNT NBR 16181	Lotufo & Abessa (2002)	Lotufo & Abessa (2002)/ ABNT NBR 15350	OECD 203
Duração	72 h	10 dias	2 h/48 h	96 h
Indicador de toxicidade	Inibição da multiplicação das algáceas	Prole/Número de fêmeas	Óvulos fecundados (fertilização) e Larvas desenvolvidas	Mortalidade

Legenda: [1] https://ncma.bigelow.org/ccmp1014#.XW5t-yMrK1t; [2] http://v3.boldsystems.org/index.php/Taxbrowser_Taxonpage?taxid=683171; [3] Acervo do projeto;[4] http://museunacional.ufrj.br/hortobotanico/Peixes/Poeciliavivipara.html

Quadro 3: O valor de severidade foi atribuído de acordo com severidade da resposta observada nos ensaios de toxicidade. O parâmetro mais tóxico é classificado com maior valor.

Resposta Observada	Valor atribuído
Letal	2
Subletal (desenvolvimento, crescimento, fecundação e reprodução)	1

Quadro 4: O valor de sensibilidade foi atribuído aos organismos de acordo com os modelos biológicos usados nos ensaios de toxidade. Os valores são diretamente relacionados à sensibilidade dos organismos, sendo, portanto, o maior valor atribuído aos organismos mais sensíveis, e o menor valor aos menos sensíveis (mais tolerantes).

Organismo-teste	Valor atribuído
Plâncton (microalgas, microcrustáceos, ovos e larvas de ouriços e larvas de peixes)	3
Peixe juvenil	2
Peixe adulto	1

Tabela 3: Classificação da amostra com relação ao valor de toxicidade. “NE” refere-se a valor não estimável; e “NA” refere-se a valor não disponível, pela ausência de coleta.

Valor de Toxicidade	Classificação da amostra
>100	Altamente tóxica
51 – 100	Tóxica
26 – 50	Moderadamente tóxica
2 – 25	Levemente tóxica
≤1 ou NE	Não tóxica
NA	Ausência de dados

Fonte: Adaptado de BULICH (1982).

2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS

As principais modificações metodológicas envolveram a otimização no volume das amostras de água, sedimento e biota destinadas as determinações de metais e As, a partir da Campanha 8 (set/out 2022), aumentando assim a representatividade da amostra e possibilitando, minimamente, a análise em duplicatas, para verificação de variações e precisão nos resultados. Estas modificações encontram-se descritas na seção anterior. A partir da Campanha 6 (jul/ago 2021), as análises das concentrações de

Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn nas amostras ambientais (água e sedimento) e biológicas passaram a ser realizadas de acordo com metodologia EPA 6020A (U.S. EPA, 1998), utilizando-se espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS, Analytik Jena). Além disso, a partir da Campanha 8 (set/out 2022), as análises de metais e As nas amostras de água, sedimento e músculo de pescado (camarões e peixes) passaram a ser realizadas por laboratórios acreditados, por determinação da Fundação Renova. Na Campanha 13, as amostras deixaram de ser analisadas em laboratórios acreditados e voltaram a ser analisadas nos laboratórios especializados do PMBA/Fest-UFES, seguindo a metodologia descrita anteriormente.

Tendo em vista que o conjunto de biomarcadores analisado na biota marinha sofreu modificações importantes a partir do Novo Ciclo do PMBA/Fest-UFES (conforme descrito no Quadro 1), fizeram-se necessárias adequações na composição dos parâmetros do IBR Biomarcador para camarões e peixes. Sendo assim, para o cálculo dos valores deste índice apresentados no RA2024, RSE2025, bem como neste RA2025, foram mantidos apenas os biomarcadores comuns a todas as Campanhas (Campanhas 1 a 15), visando uma comparação temporal adequada da evolução da resposta biológica nos organismos marinhos.

Também houve modificações metodológicas nos ensaios de toxicidade. Como mencionado anteriormente, a partir do Período de Transição, o ponto em Degredo (DEG1) foi incluído no monitoramento. Cabe destacar também que, a partir da Campanha 7 (março 2022), parte dos ensaios foram realizaos por laboratório acreditado, sendo os seguintes ensaios toxicológicos: testes com água e elutriato, utilizando o ouriço-do-mar *Echinometra lucunter* (crônico - ABNT NBR 15350) e teste com sedimento total utilizando o copépode *Nitokra* sp (Lotufo & Abessa, 2002). Na Campanha 13, os ensaios de toxicidade deixaram de ser realizados em laboratórios acreditados e voltaram a ser analisadas nos laboratórios especializados do PMBA/Fest-UFES, seguindo a metodologia descrita anteriormente. Tais testes de toxicidade, realizados por laboratórios especializados do PMBA/Fest-UFES e, anteriormente, por laboratório acreditado, seguem os mesmos padrões de calibração e qualidade, devidamente informados e checados por pesquisadores do PMBA/Fest-UFES. Os tratamentos estatísticos, devidamente explicitados nas referências citadas na Tabela 2, são aplicados pelos pesquisadores do PMBA/Fest-UFES, de forma a padronizar a expressão dos resultados e permitir comparações seguras no âmbito de todo período monitorado.

2.4 ALTERAÇÕES NA MALHA/FREQUÊNCIA AMOSTRAL E ESCOPO REALIZADOS EM OUTUBRO DE 2024: SUAS CONSEQUÊNCIAS NAS ANÁLISES DA SÉRIE HISTÓRICA DE INDICADORES

As estações de coleta em Abrolhos (ABRC1, ABR01, ABR02 e ABR04) foram removidas quando houve a alteração da malha em 2024 e, assim, não temos mais coletas de corais e hidrocorais na Campanha 13. Dessa forma, não temos mais atualizações para os indicadores IBR Bioacumulação, IBR Biomarcador nesses organismos e Diversidade Microbiológica, que seguem apresentados até a Campanha 12.

Quanto ao setor Costa das Algas, as estações CA4 e CA5 deixaram de ser amostradas, enquanto as estações CA7, CA13 e CA15 passaram a ser incluídas na malha amostral a partir da Campanha 13. A estação amostral no Piraquê-açu (PA04) também passou a fazer parte da malha amostral.

As estações FRD1, FRD3, FRD6, FRD8, FRD9 e FRD10 do Setor Foz deixaram de ser amostradas na Campanha 13. Neste mesmo Setor, as estações SD01, SD02 e SD03 foram incluídas nesta Campanha. Além disso, SD13 e SDN30 também passaram a ser amostradas a partir da Campanha 13. Ainda no Setor Foz, as estações SDS13 e SDS30 foram incluídas na malha amostral.

No Setor Norte, a estação BN1, CB2 e ITA2 foram removidas da malha amostral a partir da Campanha 13. Em contrapartida, novas estações, a constar –BN3, CB3, ITA3 e SM04 - passaram a ser amostradas.

As demais alterações de malha amostral não causaram nenhum impacto significativo nas avaliações temporais e espaciais realizadas no âmbito do Tema Ecotoxicologia. Cabe destacar que todos os parâmetros anteriormente avaliados tiveram continuidade e todos os indicadores relativos à Ecotoxicologia continuam sendo calculados, analisados, integrados e discutidos.

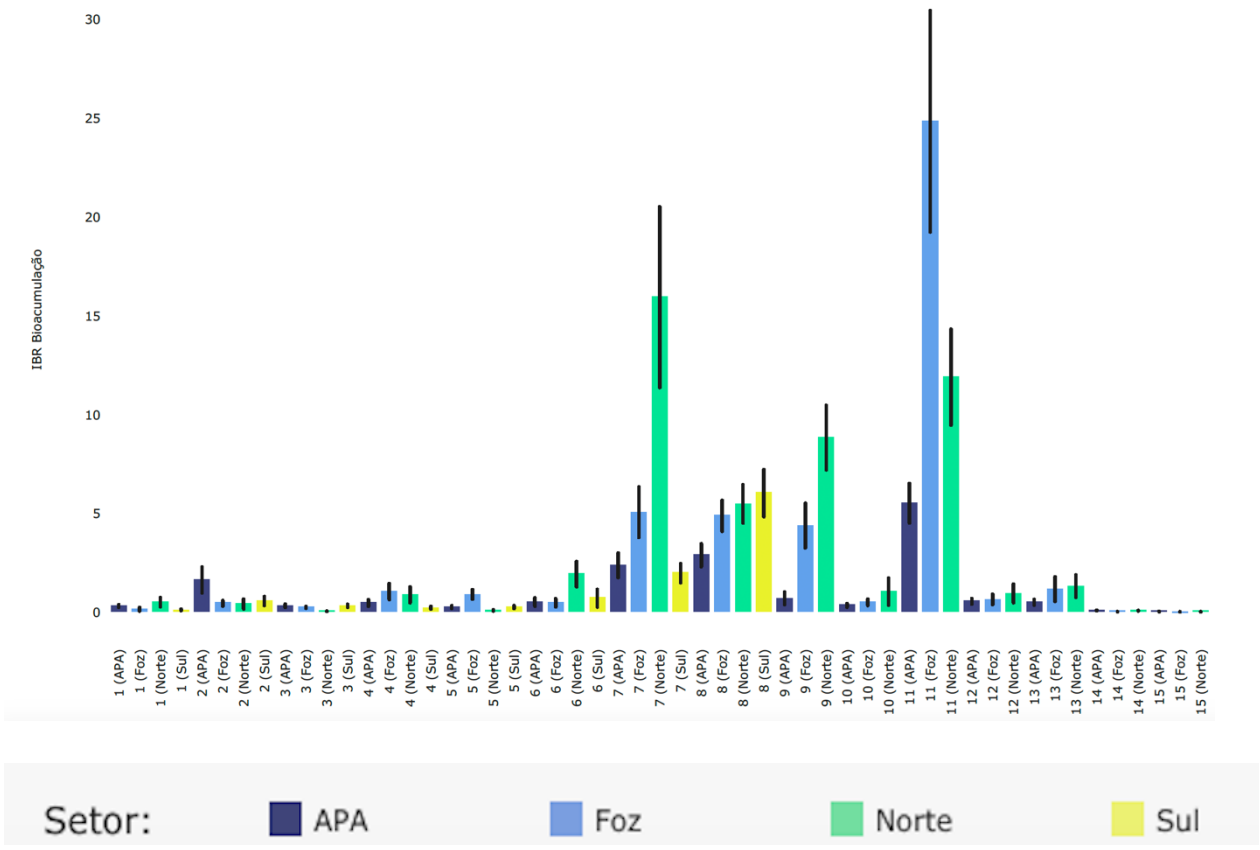
3 RESULTADOS DOS INDICADORES

Nesta seção serão apresentados os resultados dos indicadores de qualidade ambiental e da biodiversidade aquática do Tema, os quais foram desenvolvidos pelo PMBA/Fest-UFES e obtidos ao longo de todo monitoramento na área ambiental I. Vale ressaltar que os indicadores aqui apresentados têm como propósito clarificar e sintetizar a historicidade dos resultados, interpretação e conclusões do monitoramento, promovendo o acompanhamento espaço-temporal da qualidade ambiental e biodiversidade, além de configurarem importantes ferramentas de suporte aos gestores ambientais. A partir destes indicadores, pode-se identificar os impactos com relação direta ou indireta ao rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (MG).

Os indicadores do PMBA/Fest-UFES vêm se consolidando ao longo do monitoramento e, seguindo a proposta estabelecida desde o Relatório Anual de 2022 (RA2022), a apresentação dos resultados será exclusivamente a partir da apresentação dos indicadores, acompanhados de legenda estendida com a explicação de sua variação espaço-temporal de forma mais direta e objetiva como se segue:

3.1 ÍNDICE DE BIOACUMULAÇÃO (*IBR Bioacumulação*)

Figura 1: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de fitoplâncton coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – perío so seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 1 (SD01– a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02– a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03– a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13– a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30– a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13– a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul (SDS30– a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



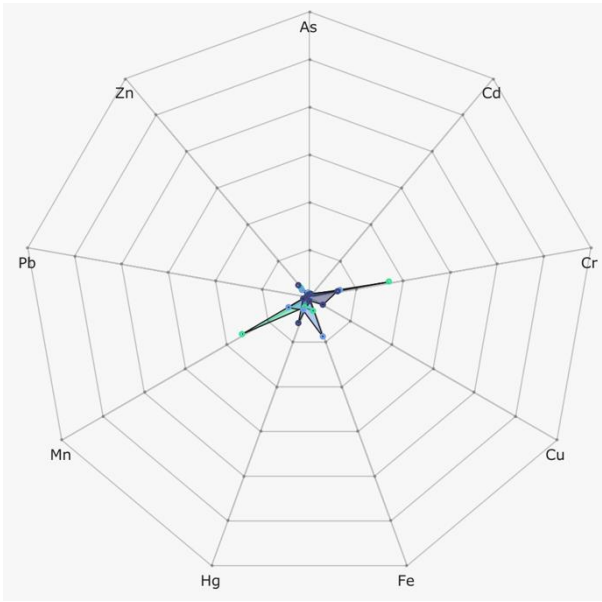
O gráfico de barras dos valores do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) em fitoplâncton, gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, está representado na Figura 1. Este gráfico permite realizar comparações das tendências espaço-temporais de bioacumulação dos metais e As no fitoplâncton do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. O IBR Bioacumulação integra diferentes respostas biológicas e origina um indicativo/valor sintético e holístico do estado de "saúde" dos organismos analisados.

Os valores médios do IBR Bioacumulação se mantiveram relativamente baixos e constantes, em todos os Setores avaliados, da Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) até a Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco). A partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), observou-se um aumento abrupto no valor do índice, sobretudo no Setor Norte, o qual permaneceu na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), com aumento inclusive no IBR Bioacumulação do Setor Sul. Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), apenas os Setores Foz e Norte mantiveram valores elevados do índice, ao passo que um menor valor do IBR Bioacumulação foi observado no Setor APA. Na Campanha 10 (jun/jul 2023), uma redução significativa no valor do IBR Bioacumulação foi observada para todos os Setores. Em contrapartida, a Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) apresentou os maiores picos de valores médios do IBR Bioacumulação registrados durante todo o período amostral para os Setores APA e Foz e o segundo maior valor para o Setor Norte. Na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), houve uma redução no valor do índice em todos os Setores, a qual se manteve na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso). Na Campanha 14 (jul 2025 – período seco), os valores médios do IBR Bioacumulação mantiveram-se próximos a zero, padrão este que se manteve na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), constituindo os menores valores do índice observados ao longo do monitoramento.

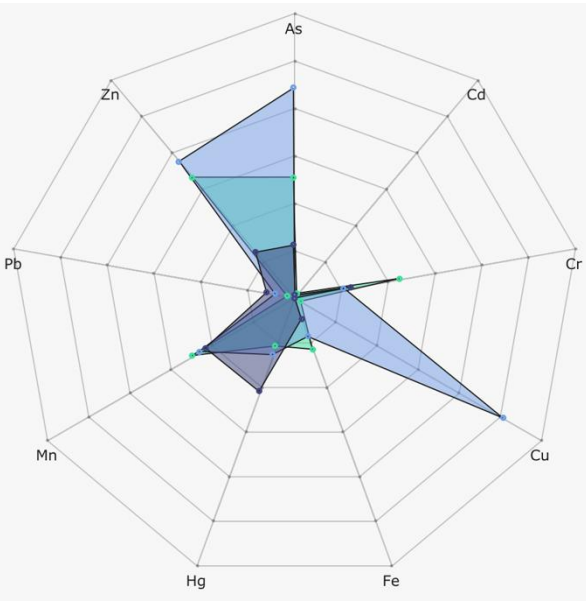
Considerando-se os resultados descritos acima, é importante ressaltar que, como produtor primário, o fitoplâncton representa uma fonte de contaminação de metais e As para outros organismos da cadeia trófica (Chevrollier et al 2022), indicando assim uma preocupação quanto aos períodos em que foi observado um maior nível de contaminação por metais e As neste grupo de organismos (Campanhas 7, 8, 9 e 11). As Campanhas com maiores valores de IBR Bioacumulação corresponderam aos períodos chuvosos - exceto a Campanha 8 – possivelmente frenter a uma maior biodisponibilidade de metais e As frente a variações hídricas.

Figura 2: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de fitoplâncton do Oceano coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção ambiental - APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); Foz [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3– até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6– até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8– até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9– até a Campanha 12) e Foz do rio Doce 10 (FRD10– até a Campanha 12), Saída Doce 1 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN 30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS 13 – a partir da Campanha 13), e Saída Doce Sul 30 (SDS 30– a partir da Campanha 13)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)].

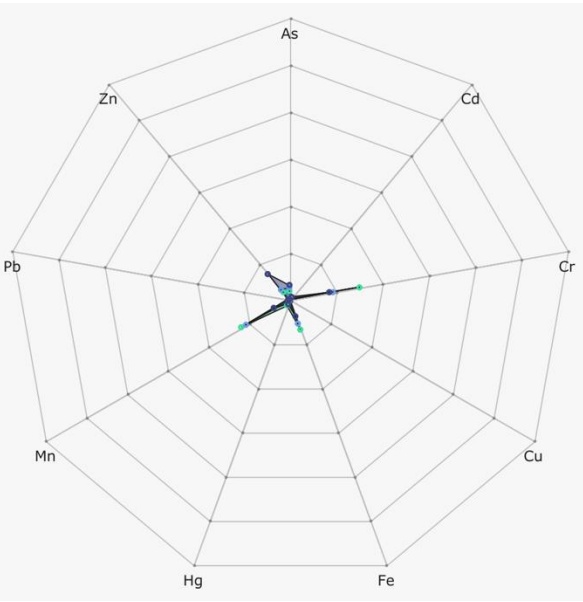
Campanha 10 – jun/jul 2023



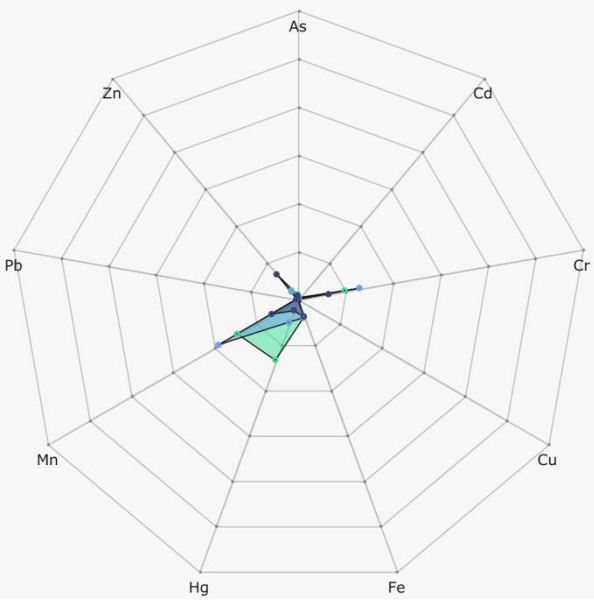
Campanha 11 – jan 2024



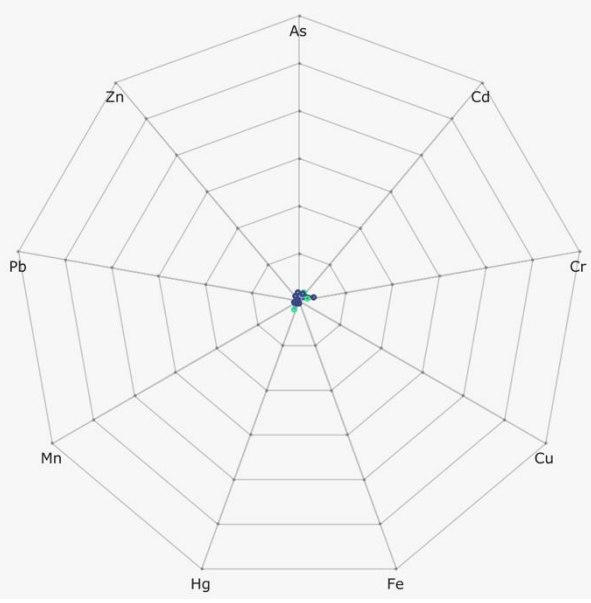
Campanha 12 – jul 2024



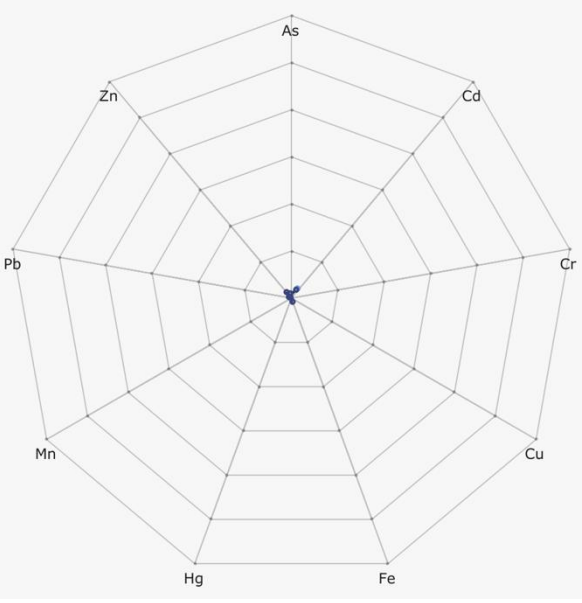
Campanha 13 – jan/fev 2025



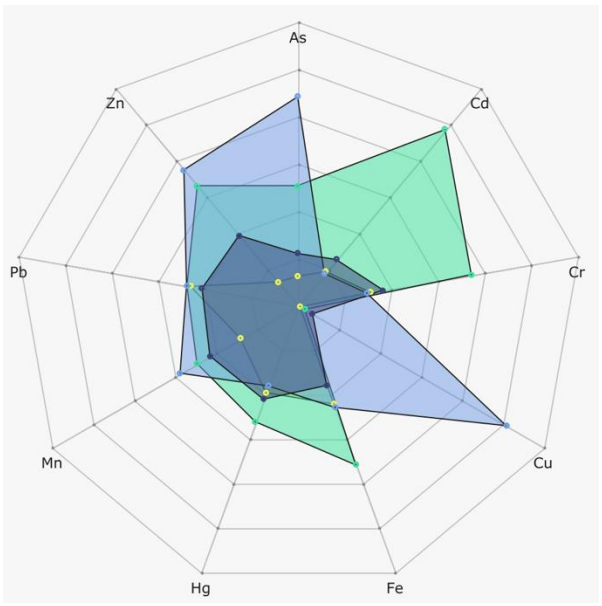
Campanha 14 – jul 2025

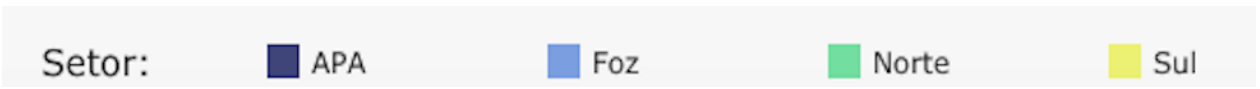


Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas





Os gráficos de radar apresentados na Figura 2 foram obtidos a partir do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) em fitoplâncton de cada Setor avaliado e de cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e do As no fitoplâncton do Ambiente Marinho, bem como a contribuição destes para a composição do valor do referido índice. A Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) foram as que apresentaram os maiores valores de IBR Bioacumulação e a maior diversidade de metais compondo o valor desse índice.

Entre a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) e a Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), períodos em que foram observados valores médios reduzidos do IBR Bioacumulação, os principais elementos que contribuíram para a composição do valor do índice foram o Zn, Cr e, em menor intensidade, o Cd, Fe, Hg e Mn. Na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), a composição do valor do IBR Bioacumulação foi caracterizada principalmente pela contribuição do Hg, seguido do Zn, Cr e Fe, com um padrão consistente entre os Setores.

Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), houve a contribuição de todos os elementos analisados na composição do valor do IBR Bioacumulação. No entanto, a contribuição dos elementos para o IBR Bioacumulação variou entre os Setores. O Setor Norte apresentou o maior valor do IBR Bioacumulação, com a contribuição principalmente dos metais Cd, Cr e Hg, enquanto o valor do índice no Setor Foz teve maior contribuição do Mn. Nos Setores APA e Sul foram observados valores médios de IBR Bioacumulação maiores em relação àqueles observados nas Campanhas anteriores, porém menos representativos em comparação com os Setores supracitados. Os metais Hg e Cr foram os maiores contribuintes para a composição do valor do IBR Bioacumulação no Setor APA, enquanto o Hg foi o metal que mais contribuiu para a composição do valor do índice no Setor Sul.

Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) foi observado um padrão semelhante de contribuição dos elementos para o IBR Bioacumulação, com Pb e Fe sendo os principais metais compondo o valor do índice nesta Campanha, em todos os Setores. No Setor Norte, foi observada uma diminuição no valor do índice, enquanto o Setor Sul apresentou um maior valor do IBR Bioacumulação, com contribuição principal do Pb e Fe, e, em menor importância, do Mn e Cr. No Setor Foz, foi observado um médio do índice semelhante àquele observado na Campanha anterior. Porém, a composição do índice diferiu, com principal contribuição dos metais supracitados.

O Fe foi o principal metal na composição do valor do IBR Bioacumulação de fitoplâncton em todos os Setores amostrados na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), elemento este de grande importância no MLD. Novamente, foi observado um incremento do valor do IBR Bioacumulação no Setor Norte, associado aos elementos Fe, Pb e Cr, sendo este o Setor que apresentou o maior valor do índice nesta Campanha. O valor do IBR Bioacumulação no Setor Foz foi composto principalmente pelo Fe, Pb, Cr e Mn, enquanto no Setor APA a composição do valor do índice contou com a contribuição apenas do Fe e Mn. As contribuições destes metais na composição do valor do índice

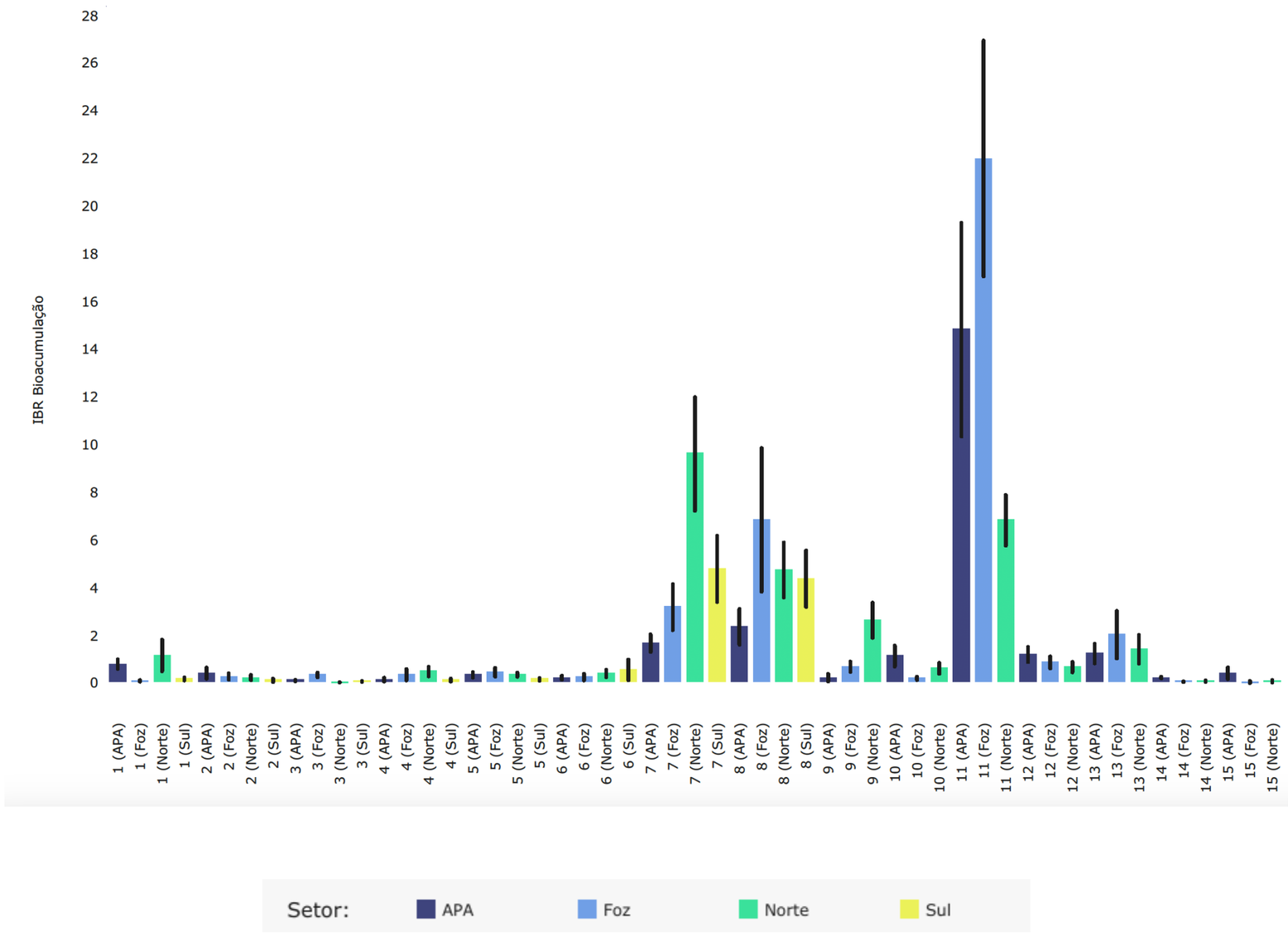
sofreram uma redução em relação à Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 8 (set/out 2022 – período seco).

O valor do IBR Bioacumulação sofreu uma drástica redução na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), especialmente nos Setores Norte e Foz. Em contrapartida, os valores médios do IBR Bioacumulação na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) foram os maiores registrados para fitoplâncton do Setores Foz e APA. A composição do valor do índice no Setor Foz teve forte contribuição dos contaminantes Cu, As e Zn. O Setor APA, apesar de apresentar alto valor de IBR Bioacumulação nesta Campanha, este foi relativamente mais baixo do que os valores observados nos demais Setores, com influência principalmente dos metais Hg e Mn. No Setor Norte, onde foi observado o segundo maior pico de valor do IBR Bioacumulação nesta Campanha, a composição deste valor foi principalmente influenciado pelos elementos Zn, As, Cr, e Mn. Na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), todos os elementos contribuíram, em maior ou menor intensidade, na composição dos valores do índice.

Na Campanha 12 (jul 2024 – período seco) e na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), foi observada uma diminuição expressiva no valor do IBR Bioacumulacão, em todos os Setores. Na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), os elementos que mais contribuíram para a composição do valor do índice foram o Mn, Cr, Fe e Zn. Na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), o Zn, Cr, Mn e Hg foram os contaminantes que mais contribuíram na composição do valor do IBR Biacumulação, em todos os Setores. Na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), os valores médios do IBR Bioacumulação mantiveram-se ainda mais reduzidos em todos os Setores, representando os menores valores registrados ao longo de todo o monitoramento.

A análise conjunta de todas as Campanhas demonstrou a contribuição de todos os elementos analisados na composição do valor do IBR Bioacumulação, porém com diferentes contribuições dos contaminantes de acordo com os Setores avaliados. No Setor Foz, os elementos que mais ocorreram ao longo do monitoramento do fitoplâncton foram o As, Zn e Cu. No Setor Norte, foram o Cd, Cr, e Fe. No Setor APA foram o Cr, Zn, Hg, Mn e Pb. No Setor Sul, os contaminantes que mais contribuíram para a composição do valor do índice foram o Pb e Hg. Desta forma, foi observado que os Setores apresentaram padrões diferenciados de contaminação por metais e As, possivelmente em função da biodisponibilidade e características intrínsecas destes elementos. É importante notar que o fitoplâncton é um produtor primário e que, portanto, tem importante papel na cadeia trófica. Logo, a acumulação de contaminantes nestes organismos influencia os processos de transferência trófica ao longo das comunidades marinhas (Chevrollier et al., 2022).

Figura 3: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de zooplâncton coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12) e Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 1 (SD01– a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02– a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03– a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13– a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30– a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13– a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul (SDS30– a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



O gráfico de barras dos valores do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) em zooplâncton, gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, está representado na Figura 3. Este gráfico permite realizar comparações das tendências espaço-temporais de bioacumulação dos metais e As no zooplâncton do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. O IBR Bioacumulação integra diferentes respostas biológicas e origina um indicativo/valor sintético e holístico do estado de "saúde" dos organismos analisados.

Similarmente ao padrão encontrado para fitoplâncton, os valores do IBR Bioacumulação de zooplâncton foram relativamente baixos da Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) até a Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), apresentando expressivo incremento na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso). Além disso, é possível observar uma tendência de aumento discreto na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), seguido de uma nova redução dos valores médios do índice na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan-fev 2026 – período chuvoso).

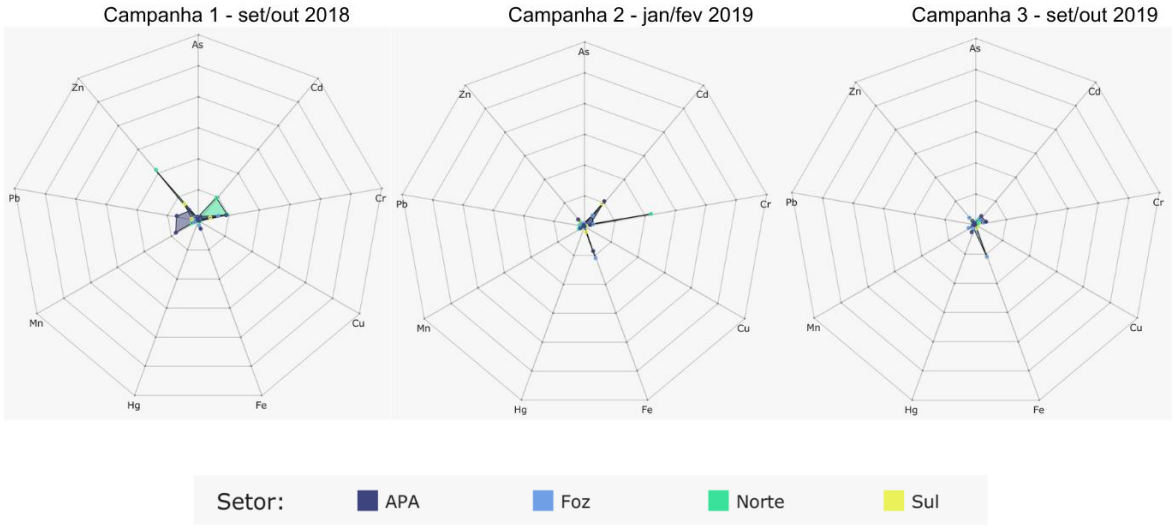
Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o maior valor de IBR Bioacumulação foi registrado para o Setor Norte, seguido pelo Setor Sul, Foz e APA. Contrariamente, na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), o Setor Foz apresentou o maior valor do índice, seguido pelos Setores Norte, Sul e APA.

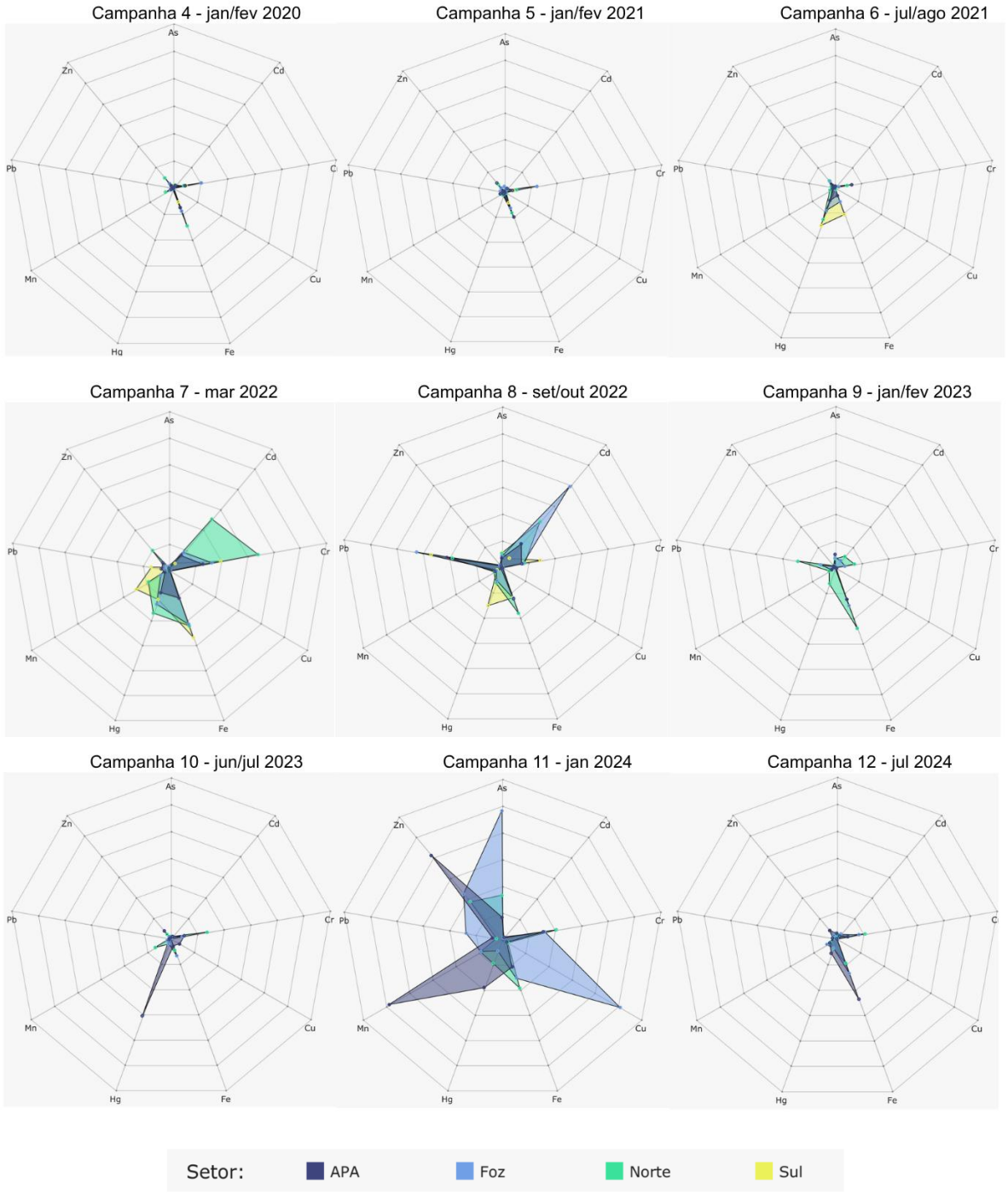
Os valores de IBR Bioacumulação sofreram uma drástica redução na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), sobretudo nos Setores APA e Foz, e nos Setores Norte e Foz, respectivamente. No entanto, esta redução não se manteve, pois houve um aumento expressivo no valor do índice na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso).

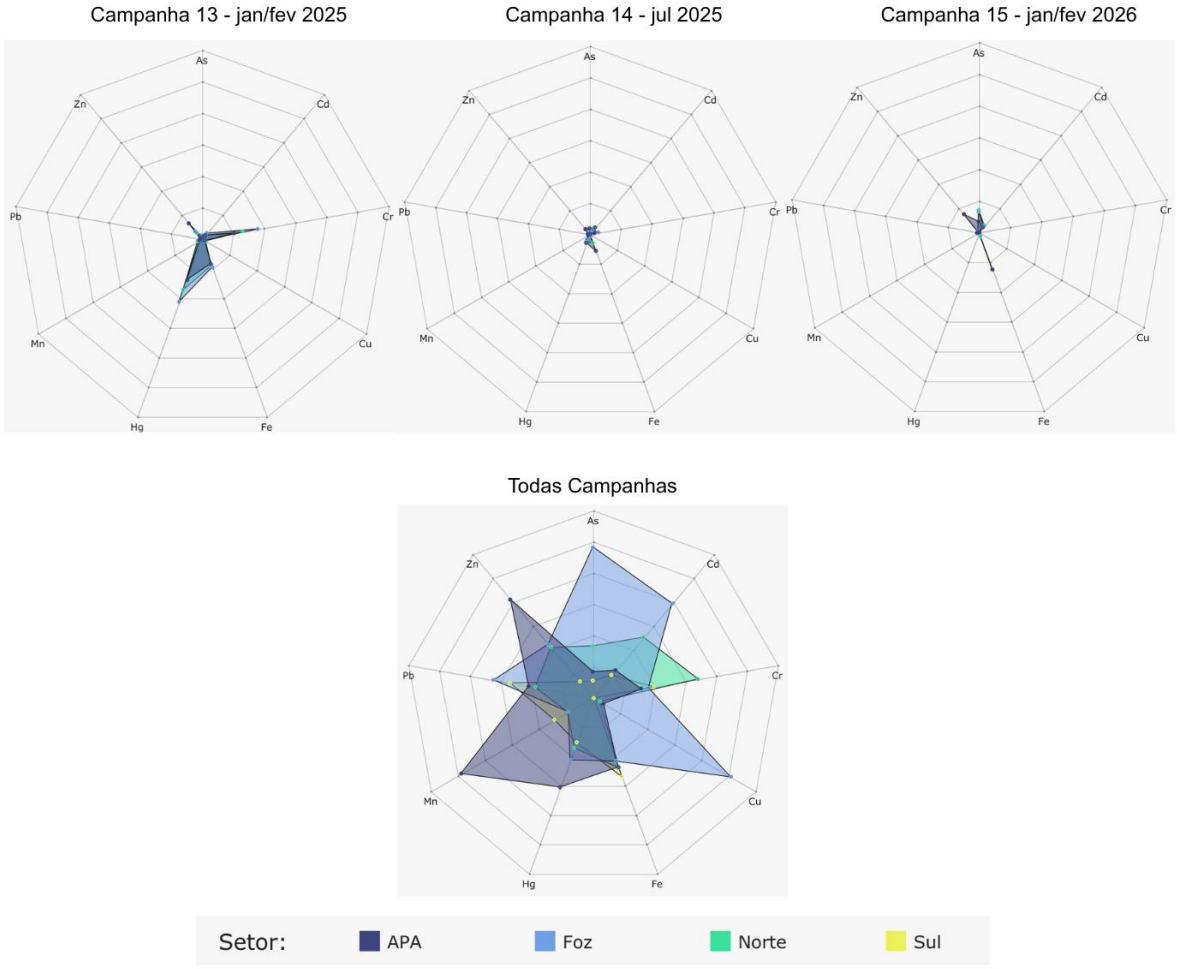
Na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), os maiores picos no valor do IBR Bioacumulação no zooplâncton foram registrados nos Setores Foz e APA. O Setor Norte apresentou o segundo maior valor do índice nesta Campanha. Em contrapartida, na Campanha 12 (jul 2024 – período seco) foi observado uma redução nos valores do IBR Bioacumulação, em todos os Setores. Na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), foi observado um discreto aumento nos valores do índice nos três Setores avaliados, o qual foi seguido por uma redução na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso).

Considerando-se os resultados descritos acima, é importante ressaltar que organismos do zooplâncton são consuidaores primários e, portanto, alimentam-se de fitoplâncton. Isto justifica a similaridade nos padrões temporais encontrados para os valores do IBR Bioacumulação entre estes grupos. Ainda, o zooplâncton representa uma fonte de contaminação de metais e As para outros organismos da cadeia trófica, indicando assim uma preocupação quanto aos períodos em que foram observados maiores níveis de contaminação ambiental por metais e As neste grupo de organismos (Campanhas 7, 8 e 11).

Figura 4: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de zooplâncton do Oceano coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3– até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6– até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8– até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9– até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10– até a Campanha 12), Saída Doce 1 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN 30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS 13 – a partir da Campanha 13), e Saída Doce Sul 30 (SDS 30– a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)] e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)].




Campanha 4 - jan/fev 2020
Campanha 5 - jan/fev 2021
Campanha 6 - jul/ago 2021
Campanha 7 - mar 2022
Campanha 8 - set/out 2022
Campanha 9 - jan/fev 2023
Campanha 10 - jun/jul 2023
Campanha 11 - jan 2024
Campanha 12 - jul 2024
As
Cd
Cr
Cu
Fe
Hg
Mn
Pb
Zn
Setor:
APA
Foz
Norte
Sul



Os gráficos de radar apresentados na Figura 4 foram obtidos a partir do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) em zooplâncton de cada Setor avaliado e de cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e do As no zooplâncton do Ambiente Marinho, bem como a contribuição destes para a composição do referido índice. Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) foram observados os maiores valores de IBR Bioacumulação e a maior diversidade de metais compondo o valor desse índice.

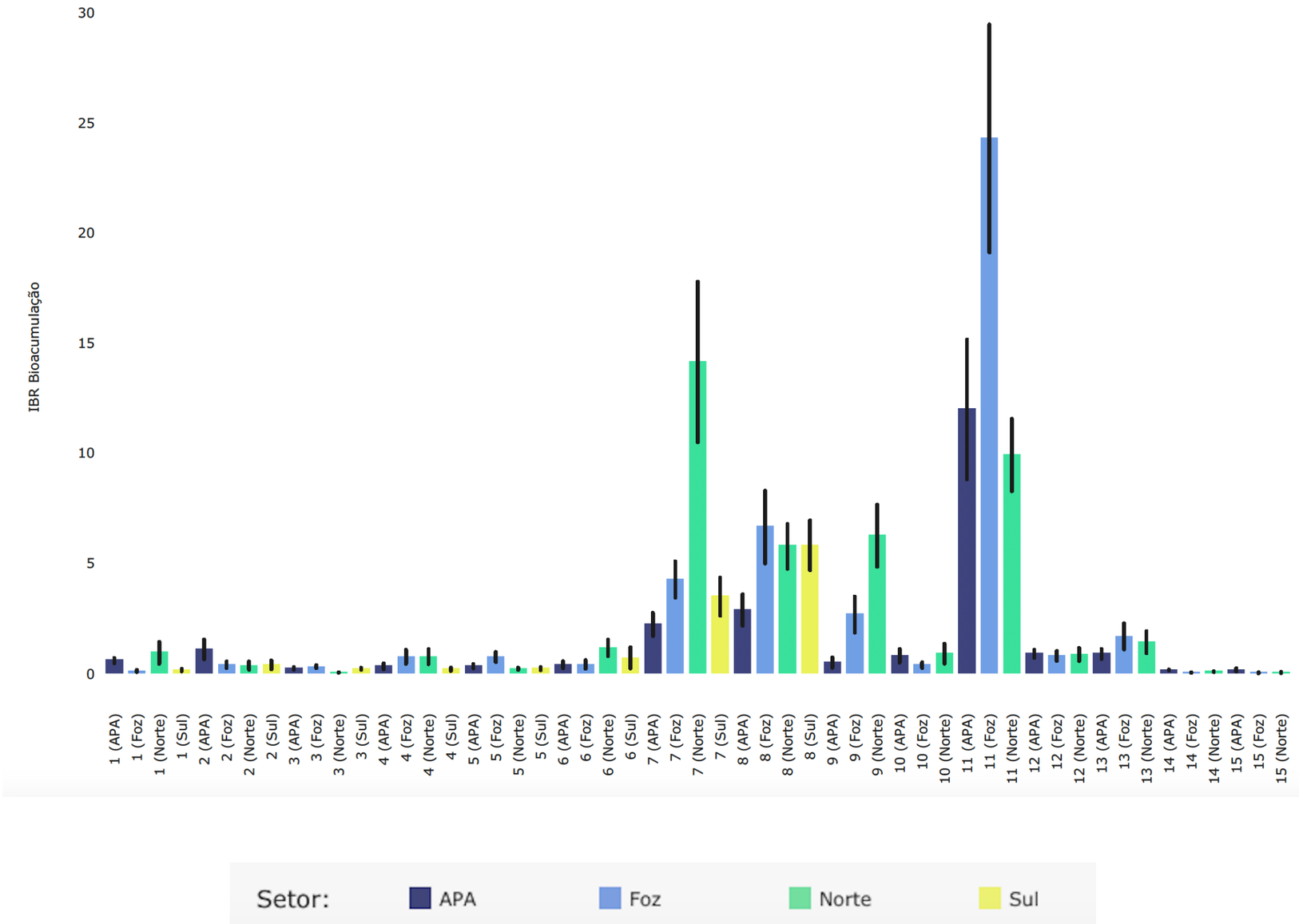
Similarmente ao observado para fitoplâncton, na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) o Setor Norte apresentou o maior valor de IBR Bioacumulação, o qual foi influenciado principalmente pelos elementos Cd, Cr, Fe e Hg. O Setor Sul apresentou o segundo maior valor do índice, com destaque para a contribuição dos metais Cr, Fe e Mn. Nos Setores Foz e APA foram observados menores valores do índice e uma contribuição semelhante dos elementos na composição do valor do IBR Bioacumulação, com destaque para o Cd, Cr, Fe e Hg. Os valores do IBR Bioacumulação nestes Setores aumentaram na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Nesta Campanha, o maior valor do índice foi registrado no Setor Foz, com destaque para os metais Cd e Pb. Em segundo lugar, o Setor Norte teve o valor do índice influenciado principalmente pelo Cd, Fe e Pb, que também tiveram

destaque na composição do valor do IBR Bioacumulação no Setor APA. No Setor Sul, a composição do valor do IBR Bioacumulação foi influenciada principalmente pelo Pb, Hg e Cr.

Em todos os Setores avaliados, o valor do IBR Bioacumulação diminuiu na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e na Campanha 10 (jun/jul – 2023 – período seco). No entanto, um aumento expressivo nos valores desse índice foi observado durante a Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), em todos os Setores avaliados, com destaque para a contribuição do Mn e Zn no Setor APA; do As e Cu no Setor Foz; e do As, Zn, Cr e Fe no Setor Norte. Durante a Campanha 12 (jul 2024 – período seco), os valores do índice reduziram, apesar de ter sido observada uma tendência de aumento na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso). Na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), foi observada uma discreta redução no valor do IBR Bioacumulação, em consonância com o padrão reportado anteriormente para o fitoplâncton.

Considerando todas as Campanhas em conjunto, os elementos com maior destaque durante todo o período do monitoramento foram o Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn e As. Por sua vez, Pb e Fe tiveram uma importante contribuição na composição do valor do IBR Bioacumulação em todos os Setores avaliados. No Setor Foz, os elementos que mais contribuíram para a composição do valor do IBR Bioacumulação foram o As, Cd e Cu. Em contrapartida, Mn e Zn foram os metais com maior influência na composição do valor do índice no Setor APA. Por sua vez, o valor do IBR Bioacumulação no Setor Sul foi caracterizado principalmente pelos níveis de Cr, Fe e Pb, enquanto no Setor Norte houve uma maior influência do Cr, Fe e Pb.

Figura 5: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12) e Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 1 (SD01– a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02– a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03– a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13– a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30– a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13– a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul (SDS30– a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



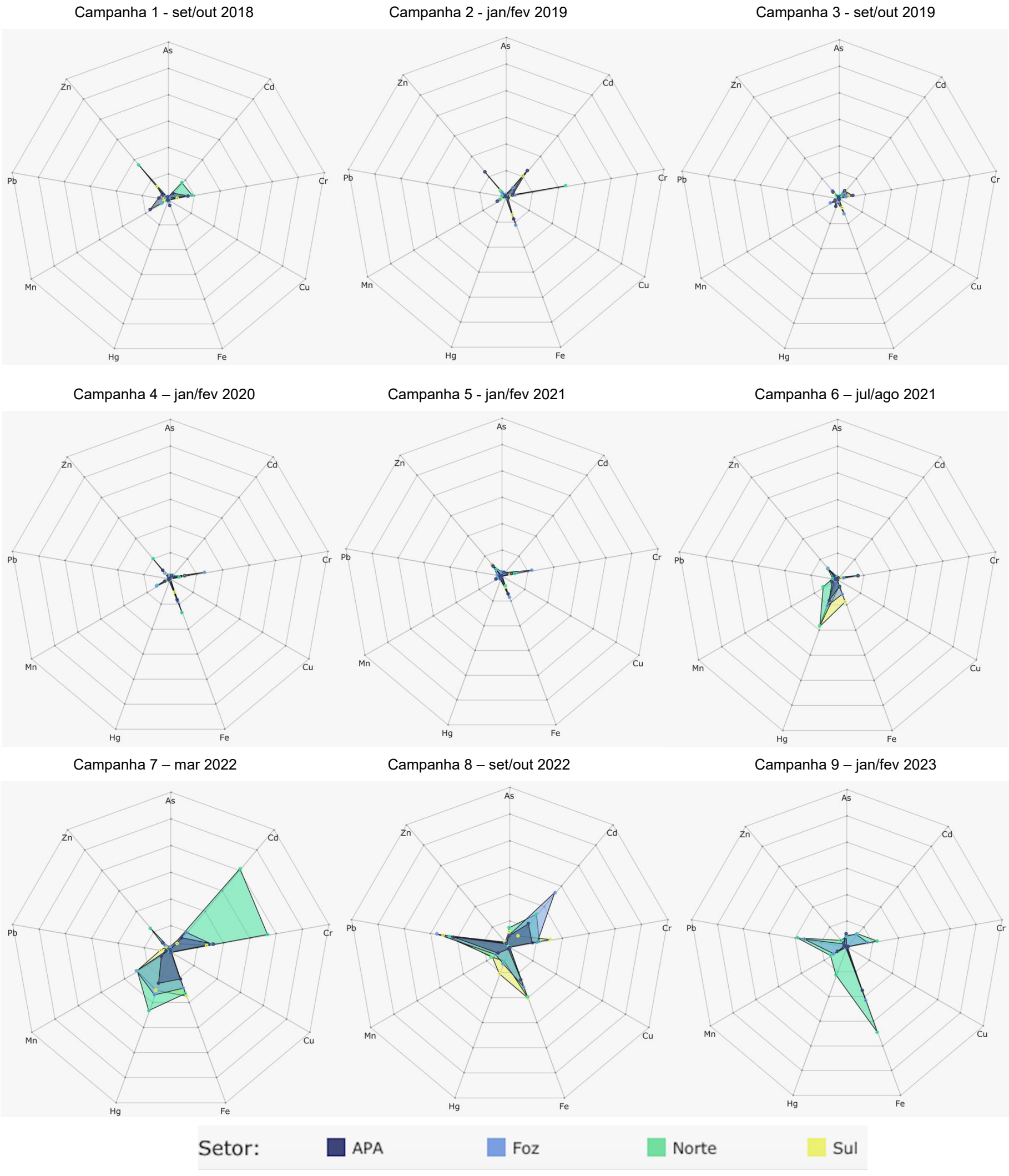
O gráfico de barras dos valores do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) em plâncton, gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, está representado na Figura 5. Este gráfico permite realizar comparações das tendências espaço-temporais de bioacumulação dos metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. O IBR Bioacumulação integra diferentes respostas biológicas e origina um indicativo/valor sintético e holístico do estado de "saúde" dos organismos analisados.

Em geral, o IBR Bioacumulação se manteve, em todos os Setores, com valores menores e de maneira mais estável da Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) até a Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco). Contudo, na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) houve um aumento significativo no valor deste índice em todos os Setores analisados, especialmente no Setor Norte. Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), foi observado um aumento do valor do IBR Bioacumulação nos Setores APA, Sul e Foz, enquanto no Setor Norte foi verificada uma redução no valor do índice. Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), apesar do valor do IBR Bioacumulação no Setor Norte na Campanha 9 se mostrar ainda elevado, foi observada uma tendência de diminuição no valor do índice. Em contrapartida, na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) houve um novo aumento no valor do índice para todos os Setores avaliados, atingindo os maiores valores de IBR Bioacumulação até então registrados ao longo do monitoramento, exceto para o setor Norte. Na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), os valores do IBR Bioacumulação para todos os Setores avaliados voltaram a reduzir e a atingir os valores observados no período seco do ano anterior (Campanha 10 – jun/jul 2023). Apesar do discreto aumento nos valores de IBR Bioacumulação calculado para os Setores Foz e Norte, na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), os valores médios do índice sofreram uma redução na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), caracterizando-se como os menores registrados até então.

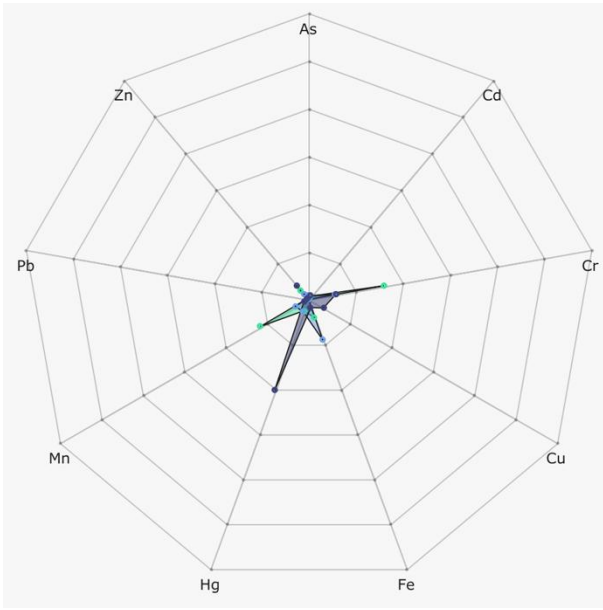
Considerando-se os resultados descritos acima, é importante ressaltar que, como base da cadeia alimentar, o plâncton representa uma fonte de contaminação de metais e As para outros organismos da cadeia trófica, indicando assim uma preocupação quanto aos períodos onde foi observado um maior nível de contaminação ambiental por metais e As neste grupo de organismos (Campanhas 7, 8, 9 – para o Setor Norte, e 11). Os organismos fitoplanctônicos absorvem os contaminantes dissolvidos na água e o transferem para o zooplâncton, os quais são os consumidores primários. Desta forma, o zooplâncton irá, por sua vez, fazer a integração entre os produtores primários e os níveis superiores da cadeia trófica. Ressalta-se que o zooplâncton faz parte da dieta de diversas espécies aquáticas, como por exemplo, larvas de espécies de peixes de importância econômica (Chevrollier et al., 2022; Lomartire et al., 2021). Ainda, a exposição crônica e a bioacumulação por metais pode diminuir a reprodução do zooplâncton marinho, bem como a biodiversidade da comunidade zooplanctônica (Hussain et al., 2020; Ju et al., 2019). Considerando-se que tanto o fitoplâncton como o zooplâncton absorvem os contaminantes, incluindo os metais e As, diretamente a partir da água e que o zooplâncton também pode se contaminar de forma indireta, via dieta, através do consumo de organismos fitoplanctônicos, as variações temporais observadas nos valores de IBR Bioacumulação descritos acima estão refletindo, portanto, as variações temporais nas concentrações dos elementos (metais e As) analisados

na água dos ambientes monitorados. Por sua vez, sabe-se que as concentrações dos metais e As, bem como a disponibilidade destes elementos no meio aquático, dependem de diversos fatores, especialmente do incremento da carga de contaminantes liberada no ambiente a partir de fontes de origem antrópica, incluindo rejeitos de mineração, bem como das condições físicas, químicas e hidrológicas do ambiente vigentes no momento da coleta do material biológico.

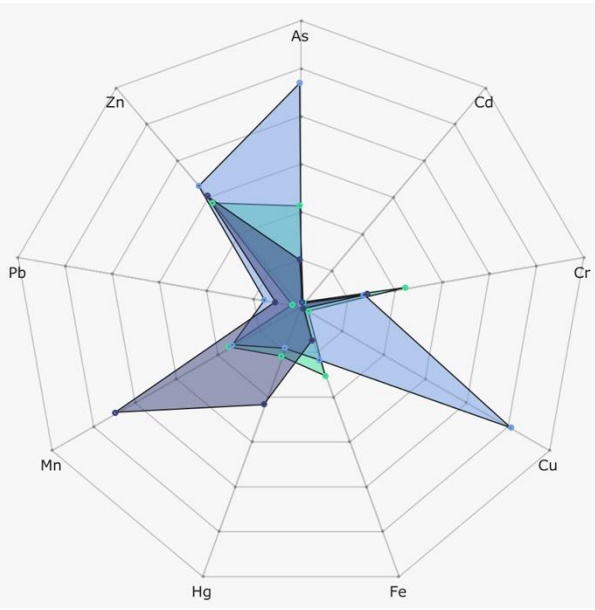
Figura 6: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de plâncton do Oceano (fitoplâncton e zooplâncton) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção ambiental - APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); Foz [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6– até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12) e Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 1 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN 30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS 13 – a partir da Campanha 13), e Saída Doce Sul 30 (SDS 30– a partir da Campanha 13)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)].



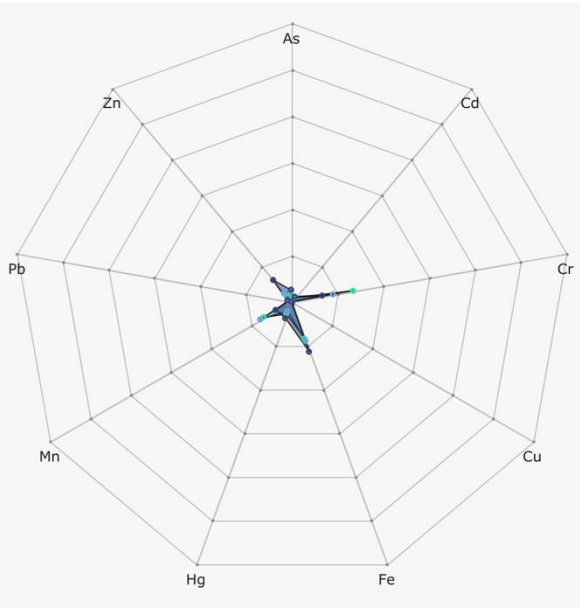
Campanha 10 – jun/jul 2023



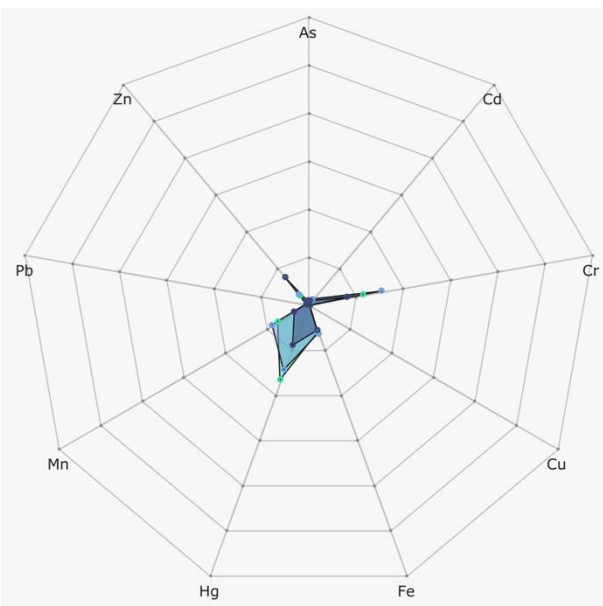
Campanha 11 – jan 2024



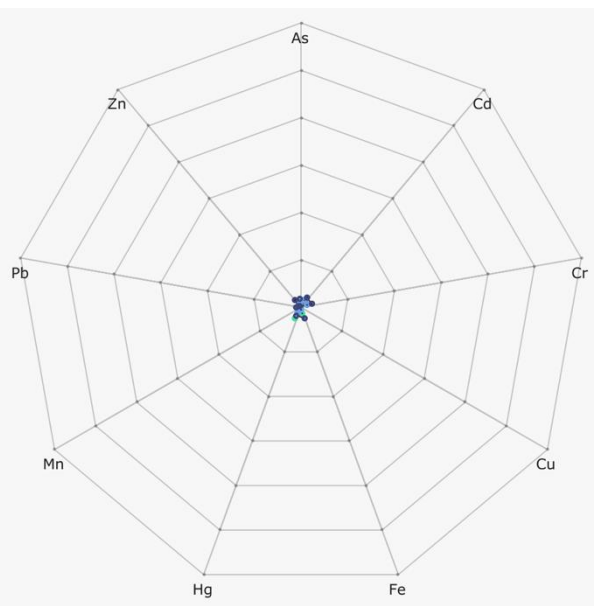
Campanha 12 – jul 2024



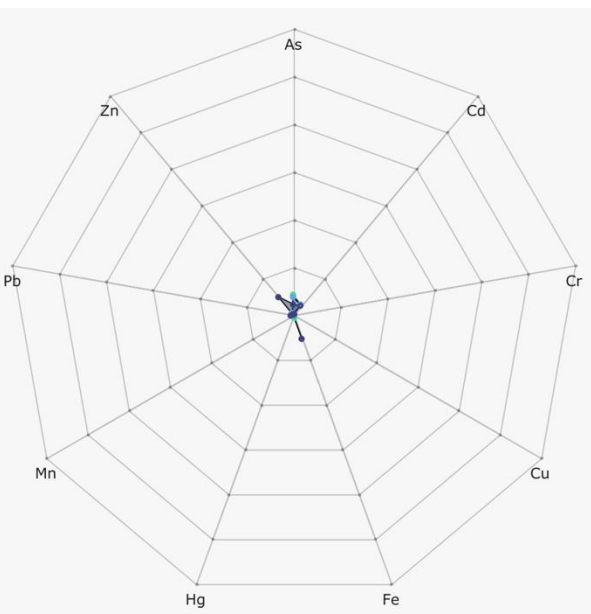
Campanha 13 – jan/fev 2025



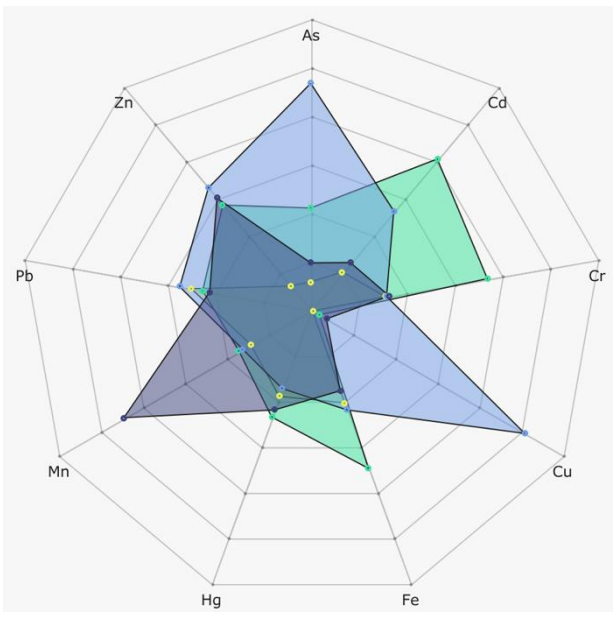
Campanha 14 – jul 2025

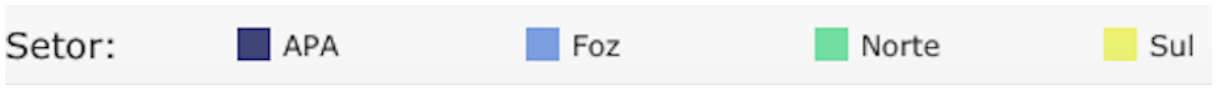


Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas





Os gráficos de radar apresentados na Figura 6 foram obtidos a partir do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) em plâncton de cada Setor avaliado e de cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e do As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho, bem como a contribuição destes para a composição do referido índice. De maneira geral, a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) foram as que apresentaram os maiores valores de IBR Bioacumulação e a maior diversidade de metais compondo esse índice.

Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o Setor Norte se destacou com os maiores valores do IBR Bioacumulação, no qual os metais Cd, Cr, Fe, Hg, Mn e Zn participaram da composição do valor do índice, com destaque para Cd e Cr. Similarmente, no Setor Foz, o valor do IBR Bioacumulação foi composto com a contribuição do Cd, Cr, Fe, Hg, Mn e Zn. No entanto, as maiores contribuições para a composição do valor do índice foram do Cd, Cr, Fe, Hg e Mn. Em relação ao Setor APA, os metais Cd, Cr, Fe, Hg, Mn e Zn foram relevantes na composição do valor do índice, porém as maiores contribuições foram do Cr, Fe e Hg. Os metais Mn, Hg, Fe, Cr, Pb e Cd compuseram o valor do IBR Bioacumulação no Setor Sul, com destaque para contribuições mais importantes do Fe, Hg, Mn e Cr. Desta forma, os metais que compuseram os valores do IBR Bioacumulação nos diferentes Setores, na Campanha 7, foram de certa forma os mesmos, porém variaram quanto à contribuição de cada elemento.

Em relação à Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), a diversidade de elementos compondo os valores do IBR Bioacumulação mostrou-se similar entre os quatro Setores avaliados, sendo que os elementos As, Cd, Cr, Fe, Hg Mn e Pb foram comuns a todos estes Setores, com destaque para Fe e Pb. Por exemplo, no Setores Norte, APA e Sul, os metais Pb, Fe e Cd foram os principais contaminantes que contribuíram para a composição do valor do índice. Já no Setor Sul, além do Fe e Pb, os metais Cr e Hg tiveram importância.

Na Campanha 9 (jan/fev – 2023 – período chuvoso), o valor do IBR Bioacumulação foi maior no Setor Norte, sendo que os elementos que se destacaram na composição do valor do índice foram o Fe o Pb, com contribuições importantes também do Cr e Hg e, em menor grau, do Cd, Mn e As. Similarmente, Fe e Pb foram os metais de maior importância para a composição do valor do IBR Bioacumulação do plâncton coletado no Setor Foz, o qual também teve contribuição dos demais elementos, sobretudo Cr, Mn, Cd e As. No Setor APA, o Fe foi o contaminante com maior contribuição para a composição do valor do índice, seguido por uma contribuição discreta do As e Mn. Sendo assim, foi observada uma prevalência dos elementos Pb e Fe na composição do valor do IBR Bioacumulação, similar ao reportado nas Campanhas anteriores. Em contrapartida, na Campanha 10, os valores médios do índice diminuíram e a composição deste variou entre Setores, com maior contribuição do Fe e Cr nos Setores APA e Foz, e do Cr e Mn no Setor Norte.

Os elementos As, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn e Zn contribuíram na composição do valor do IBR Bioacumulação nos três Setores amostrados na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso). No Setor Foz, foi observado o maior valor do IBR Bioacumulação registrado em todo o período do monitoramento, cuja

composição teve contribuição principalmente do Cu, As, Zn e Mn. No Setor APA, o destaque foi para o Mn. Porém, os elementos Zn, As, Cr, Cu, Fe e Hg contribuíram de forma significativa na composição do valor do IBR Bioacumulação. Já no Setor Norte, a maior contribuição para a composição do índice foi do Zn. Porém, os elementos As, Hg, Mn, Fe e Cr também contribuíram para esta composição.

Na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), os valores do IBR Bioacumulação diminuíram expressivamente em relação ao período chuvoso anterior (Campanha 11) e suas composições tiveram as contribuições principalmente do Cr, Fe, Mn e Zn. Estes elementos, juntamente com o Hg, contribuíram também de forma significativa na composição do valor do IBR Bioacumulação dos três Setores amostrados na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso). A Campanha 12 e, de certa forma, a Campanha 13 marcaram o início de uma redução nos valores médios do IBR Bioacumulação, que se intensificou durante a Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e a Campnha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso).

Quando todas as Campanhas são analisadas em conjunto, a contribuição dos elementos para a composição do valor do IBR Bioacumulação do plâncton marinho variou de acordo com as Campanhas e, em menor grau, do Setor avaliado. Em geral, os elementos que mais contribuíram para a composição do valor do IBR Bioacumulação ao longo do monitoramento foram o Cd, Cr, Cu, Fe, Mn e Zn, além do As. O Mn se destacou no Setor APA, enquanto o Cu e As se destacaram no Setor Foz. Por sua vez, Cd, Cr, Fe e Zn se destacaram no Setor Norte. Diferentemente, a composição do valor do IBR Bioacumulação no Setor Sul teve considerável contribuição do Pb, Fe, Hg e Cr. Em diversas Campanhas foram observados valores relevantes de IBR Bioacumulação com elementos considerados altamente tóxicos, como As, Cd, Hg e Pb. Além disso, é interessante notar que os altos valores observados para esses elementos altamente tóxicos começaram a ser observados a partir da Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), sendo que na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) houve um aumento geral e expressivo no valor do IBR Bioacumulação para todos os Setores avaliados, com destaque para o As. Cabe destacar que os valores observados foram os maiores até então já registrados no âmbito do PMBA/Fest-UFES, exceto para o setor Norte, o qual teve o maior valor médio de IBR Bioacumulação registrado na Campanha 7 (mar 2022 – período seco). Neste contexto, cabe ainda ressaltar que diversos destes elementos tóxicos estão presentes no Material Ligado ao Desastre (MLD) (de Oliveira Gomes et al., 2017) ou podem ser mobilizados a partir da lixiviação deste material (Segura et al., 2016). Por fim, vale lembrar que os metais Cr, Fe, Mn e Zn são micronutrientes, ou seja, em pequenas quantidades são essenciais ao funcionamento dos organismos vivos. Entretanto, em concentrações excessivas, estes metais podem também causar efeitos tóxicos à biota e ao ser humano (Lokeshappa et al., 2012). Finalmente, a contaminação observada nos organismos planctônicos indica potencial para transferência trófica, uma vez que estes organismos constituem a base das teias alimentares.

Tabela 4: Concentração média de metais (mg.Kg^{-1}) em amostras de zooplâncton coletadas nos diferentes setores do ambiente marinho durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campnaha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) comparadas com a concentração média de metais em amostras de zooplâncton coletadas na foz do rio Doce antes da chegada do Material Ligado ao Desastre (MLD) (Bianchini, 2019). Concentrações dos metais abaixo dos dados pretéritos estão destacadas em verde enquanto concentrações acima dos valores pretéritos estão destacadas em vermelho. A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: **Abrolhos** [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7– a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13– a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15– a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13)]; **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01– a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02– a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03– a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13– a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30– a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13– a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul (SDS30– a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3– a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)]. Fonte: Bianchini, A. (2019). Monitoramento dos efeitos ecotoxicológicos da pluma de sedimentos oriunda da foz do rio Doce sobre o ambiente marinho. Relatório Técnico-Científico - FURG/ICMBio, Rio Grande, RS.

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à chegada do MLD	Expedição ICMBio (nov/2015)	Foz do rio Doce	Zooplâncton	0,121	0,001	0,150	0,069	15,550	6,684	0,005
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 1 (set/out 2018)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,029	0,300	0,141	0,284	24,060	0,846	0,035
		Barra Nova (BN)		0,271	3,181	1,761	6,326	16,732	10,371	0,168
		Costa das Algas (CA)		0,278	0,183	0,921	2,325	68,656	17,179	2,365
		Degredo (DEG)		0,224	0,100	0,163	1,256	7,925	1,311	0,041
		Foz do rio Doce (FRD)		0,041	0,066	0,665	2,094	44,070	2,837	0,081
		Guarapari (GUA)		0,061	0,080	0,415	0,550	3,051	2,241	0,616
		Itaúnas (ITA)		0,139	0,317	0,810	1,296	5,127	2,334	0,172

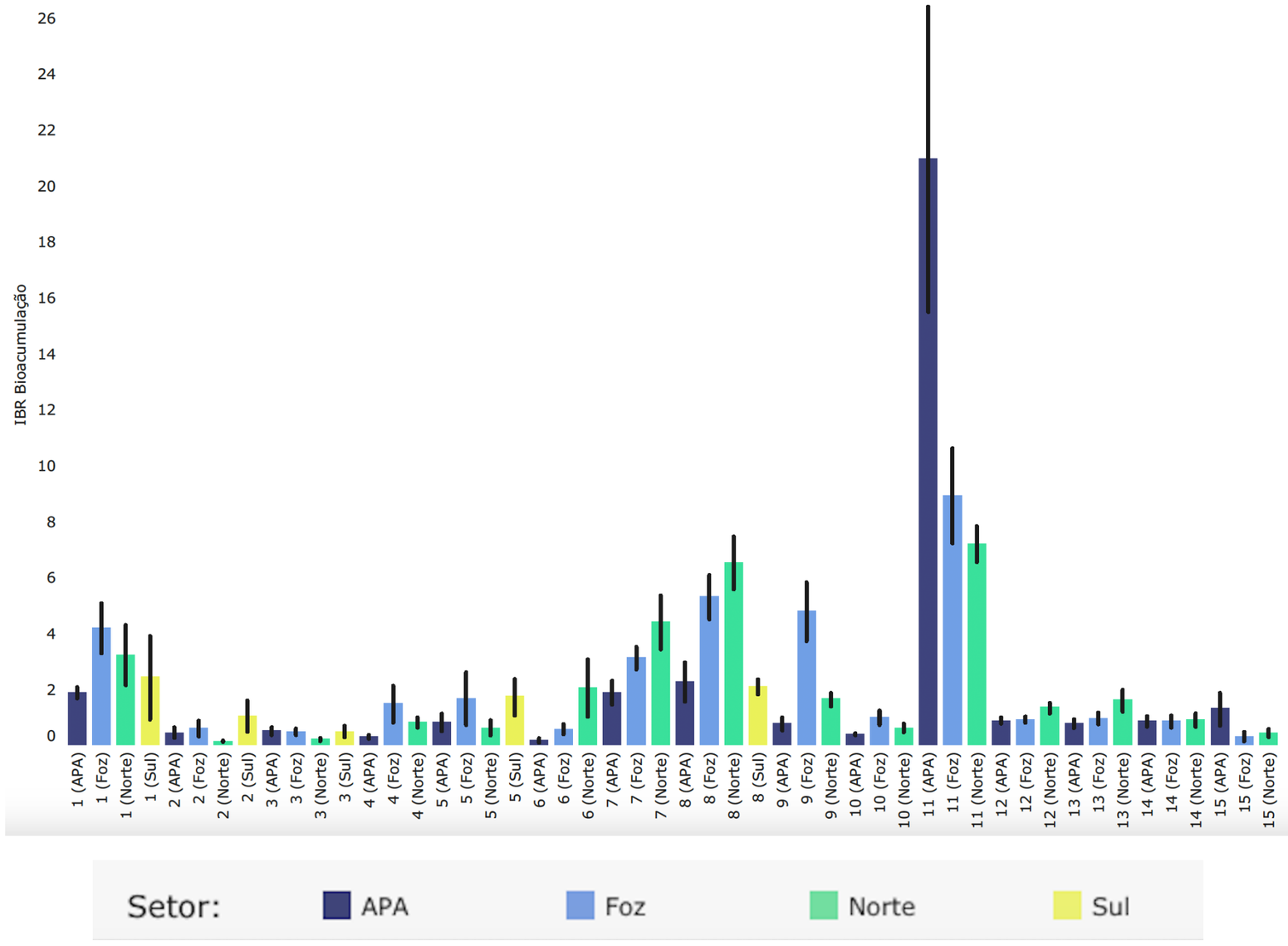
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à chegada do MLD	Expedição ICMBio (nov/2015)	Foz do rio Doce	Zooplâncton	0,121	0,001	0,150	0,069	15,550	6,684	0,005
		Vitória (VIX)		0,095	0,121	0,493	0,874	94,526	4,156	0,741
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,028	0,026	0,138	0,283	20,366	1,968	0,171
		Barra Nova (BN)		0,201	0,014	4,749	0,155	46,362	9,556	0,806
		Costa das Algas (CA)		0,086	1,340	0,209	1,661	176,630	2,848	0,005
		Degredo (DEG)		0,142	0,014	1,678	1,452	11,819	1,658	0,444
		Foz do rio Doce (FRD)		0,245	0,548	0,316	0,637	220,278	2,934	0,026
		Guarapari (GUA)		0,009	1,092	0,051	0,216	56,573	1,249	0,012
		Itaúnas (ITA)		0,024	0,078	0,088	0,144	8,651	1,106	0,016
		Vitória (VIX)		0,005	1,285	0,100	0,579	49,525	0,938	0,005
	Campanha 3 (set/out 2019)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,167	0,176	0,115	0,054	26,612	0,837	0,095
		Barra Nova (BN)		0,090	0,118	0,085	0,068	20,426	1,173	0,026
		Costa das Algas (CA)		0,098	0,409	0,374	0,051	13,086	1,462	0,008
		Degredo (DEG)		0,246	0,359	0,197	0,050	12,103	3,013	0,022
		Foz do rio Doce (FRD)		0,122	0,323	0,296	0,173	220,738	5,090	0,013
		Guarapari (GUA)		0,036	0,455	0,066	0,214	39,189	0,580	0,016
		Itaúnas (ITA)		0,083	0,039	0,034	0,051	6,574	0,490	0,018
		Vitória (VIX)		0,155	0,402	0,185	0,069	37,827	1,244	0,012
	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,535	0,106	0,447	2,650	3,203	4,167	0,231
		Barra Nova (BN)		0,043	0,117	0,184	0,235	288,067	10,765	0,089
		Costa das Algas (CA)		0,017	0,137	0,429	0,404	153,356	1,762	0,103
		Degredo (DEG)		0,075	0,134	0,095	2,164	243,702	4,501	0,018
		Foz do rio Doce (FRD)		0,180	0,058	1,179	1,216	182,275	2,911	0,097
		Guarapari (GUA)		0,504	0,080	0,830	1,087	90,627	1,034	0,158
		Itaúnas (ITA)		0,013	0,293	0,864	1,008	326,764	4,460	0,245
		Vitória (VIX)		0,042	0,013	0,093	0,378	137,760	1,729	0,063
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,044	0,069	0,077	0,721	69,851	4,019	0,075
		Barra Nova (BN)		0,018	0,224	0,043	0,552	185,540	3,425	0,302
		Costa das Algas (CA)		0,051	0,231	0,316	1,174	204,394	3,838	0,210
		Degredo (DEG)		0,296	0,260	0,989	8,064	293,725	6,705	0,255
		Foz do rio Doce (FRD)		0,586	0,119	1,231	2,164	134,536	1,673	0,527
		Guarapari (GUA)		0,054	0,060	0,047	0,168	140,564	1,907	0,071
		Itaúnas (ITA)		0,024	0,066	0,352	0,289	36,588	1,345	0,017

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à chegada do MLD	Expedição ICMBio (nov/2015)	Foz do rio Doce	Zooplâncton	0,121	0,001	0,150	0,069	15,550	6,684	0,005
		Vitória (VIX)		0,014	0,198	0,671	0,237	42,346	3,304	0,047
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 6 (jul/ago 2021)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,613	0,052	0,144	0,569	86,866	0,913	0,247
		Barra Nova (BN)		0,092	0,047	0,290	0,331	17,388	0,315	0,326
		Costa das Algas (CA)		0,090	0,077	0,634	0,458	69,929	2,194	0,193
		Degredo (DEG)		0,293	0,013	0,794	0,706	2,226	12,602	0,724
		Foz do rio Doce (FRD)		0,040	0,006	0,161	0,375	119,676	0,926	0,159
		Guarapari (GUA)		0,161	0,025	0,011	0,061	182,007	0,053	0,022
		Itaúnas (ITA)		0,131	0,114	0,299	0,331	51,971	0,327	0,324
		Vitória (VIX)		0,117	0,047	0,308	0,364	248,565	0,339	0,338
	Campanha 7 (mar 2022)	Barra Nova (BN)	Zooplâncton	0,653	4,728	3,595	1,855	476,295	34,313	0,050
		Costa das Algas (CA)		0,201	0,919	1,281	1,705	221,412	3,838	0,965
		Degredo (DEG)		0,186	2,623	2,380	4,123	277,956	14,872	0,621
		Foz do rio Doce (FRD)		0,482	1,115	1,609	2,144	422,015	7,550	0,553
		Guarapari (GUA)		0,216	0,158	2,347	0,829	258,444	38,694	1,991
		Itaúnas (ITA)		0,108	2,233	4,095	1,899	545,633	7,524	0,032
		Vitória (VIX)		0,193	0,734	1,545	2,470	784,076	21,698	2,639
	Campanha 8 (set/out 2022)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	8,021	0,425	0,444	2,874	239,173	4,220	4,073
		Barra Nova (BN)		2,574	4,125	0,520	1,194	211,628	3,181	4,217
		Costa das Algas (CA)		0,933	1,484	1,019	1,326	274,843	5,741	11,616
		Degredo (DEG)		1,485	1,249	1,558	0,969	869,820	19,069	10,549
		Foz do rio Doce (FRD)		1,199	3,227	1,038	1,826	371,680	7,565	13,874
		Guarapari (GUA)		1,102	0,338	0,862	0,562	412,538	7,887	5,359
		Itaúnas (ITA)		1,276	1,360	0,642	0,770	160,472	2,849	6,310
		Vitória (VIX)		2,047	0,833	2,706	0,989	452,366	8,497	19,007
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	1,155	0,507	0,788	1,851	678,338	7,786	6,314
		Barra Nova (BN)		0,928	0,878	0,728	0,955	578,033	3,724	6,558
		Barra Seca (BS)		0,005	0,004	0,004	0,050	1108,824	0,050	0,005
		Conceição da Barra (CB)		0,968	1,020	0,908	1,257	325,385	3,697	10,130
		Costa das Algas (CA)		1,406	0,011	0,021	3,418	439,259	5,301	0,097
		Degredo (DEG)		1,867	1,299	2,434	2,002	1048,254	23,020	19,289
		Foz do rio Doce (FRD)		1,309	0,777	0,947	1,057	534,122	8,766	8,645

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à chegada do MLD	Expedição ICMBio (nov/2015)	Foz do rio Doce	Zooplâncton	0,121	0,001	0,150	0,069	15,550	6,684	0,005
		Itaúnas (ITA)		1,350	0,569	1,316	0,656	618,849	10,254	10,224
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 10 (jun/jul 2023)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,332	0,074	1,429	0,625	69,936	6,418	0,045
		Barra Nova (BN)		0,393	0,214	1,775	1,879	152,563	13,829	0,062
		Barra Seca (BS)		0,264	0,060	0,872	0,483	80,596	14,932	0,089
		Conceição da Barra (CB)		0,113	0,228	2,632	0,960	119,597	26,486	0,105
		Costa das Algas (CA)		0,110	0,143	0,513	14,810	66,027	1,223	0,112
		Degredo (DEG)		0,171	0,027	0,028	0,817	12,765	0,314	0,049
		Foz do rio Doce (FRD)		0,178	0,126	0,428	0,921	141,099	2,969	0,078
		Itaúnas (ITA)		0,165	0,121	1,489	0,724	125,673	14,535	0,098
	Campanha 11 (jan 2024)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,863	0,076	1,636	3,766	320,729	7,030	1,020
		Barra Nova (BN)		5,726	0,111	3,774	6,712	279,874	10,127	0,760
		Barra Seca (BS)		4,766	0,055	3,917	14,259	734,902	40,071	0,177
		Conceição da Barra (CB)		2,340	0,143	0,828	17,269	395,766	5,770	0,857
		Costa das Algas (CA)		2,424	0,152	1,548	8,005	219,169	103,218	1,263
		Degredo (DEG)		7,152	0,160	1,194	8,058	443,364	10,788	0,684
		Foz do rio Doce (FRD)		14,022	0,087	1,597	191,314	303,071	19,356	4,736
		Itaúnas (ITA)		4,068	0,162	0,346	2,746	33,261	32,311	1,114
	Campanha 12 (jul 2024)	Abrolhos (ABR)	Zooplâncton	0,388	0,160	1,391	0,774	502,097	14,144	0,519
		Barra Nova (BN)		0,541	0,216	0,473	0,671	165,724	4,783	0,619
		Barra Seca (BS)		0,346	0,118	2,463	0,511	193,507	6,349	0,351
		Conceição da Barra (CB)		0,216	0,285	1,099	0,785	241,990	6,044	0,542
		Costa das Algas (CA)		0,574	0,188	0,411	0,501	459,779	6,340	0,511
		Degredo (DEG)		0,501	0,178	0,774	0,948	223,452	7,850	0,371
		Foz do rio Doce (FRD)		0,586	0,284	0,822	0,769	269,135	9,134	0,211
		Itaúnas (ITA)		0,112	0,195	0,392	0,373	125,927	3,555	0,148
	Campanha 13 (jan/fev 2025)	Barra Nova (BN)	Zooplâncton	0,231	0,196	1,530	5,594	140,138	9,664	0,187
		Barra Seca (BS)		0,157	0,164	0,903	5,040	155,281	2,183	0,197
		Conceição da Barra (CB)		0,161	0,175	0,932	4,779	161,427	1,764	0,196
		Costa das Algas (CA)		0,213	0,244	1,250	4,837	207,769	1,932	0,213
		Degredo (DEG)		0,188	0,222	1,115	5,049	169,157	2,024	0,209
		Itaúnas (ITA)		0,303	0,317	1,817	6,012	234,933	2,488	0,184
		(PA04)		0,241	0,312	1,528	4,421	215,012	1,691	0,208
		Foz do rio Doce (FRD)		0,287	0,300	1,772	4,044	191,498	1,984	0,173
		São Matheus (SM)		0,143	0,201	0,925	4,057	179,425	0,833	0,241

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos à chegada do MLD	Expedição ICMBio (nov/2015)	Foz do rio Doce	Zooplâncton	0,121	0,001	0,150	0,069	15,550	6,684	0,005
	Campanha 14 (jul 2025)	Barra Nova (BN)	Zooplâncton	0,374	0,343	0,127	0,055	102,665	1,108	0,143
		Barra Seca (BS)		0,316	0,368	0,067	0,109	60,190	1,033	0,097
		Costa das Algas (CA)		0,559	0,360	0,176	1,160	118,274	1,040	0,207
		Conceição da Barra (CB)		0,175	0,353	0,047	0,150	72,455	0,849	0,105
		Degredo (DEG)		0,300	0,344	0,046	0,142	53,511	0,938	0,131
		Itaúnas (ITA)		0,169	0,246	0,059	0,096	53,544	0,646	0,061
		(PA04)		0,146	0,224	0,083	0,060	125,480	1,197	0,111
		Foz do rio Doce (FRD)		0,210	0,231	0,287	0,091	27,944	0,463	0,072
		São Matheus (SM)		0,085	0,325	0,037	0,176	35,320	0,730	0,070
	Campanha 15 (jan/fev 2026)	Barra Nova (BN)	Zooplâncton	2,122	0,334	<0,004	25,592	32,993	<0,05	<0,005
		Barra Seca (BS)		1,028	0,253	0,442	1,187	291,627	2,813	1,570
		Costa das Algas (CA)		1,830	0,301	<0,004	<0,05	23,343	0,220	<0,005
		Conceição da Barra (CB)		1,076	0,411	<0,004	<0,05	74,320	0,225	<0,005
		Degredo (DEG)		4,947	0,531	<0,004	<0,05	101,551	0,676	<0,005
		Itaúnas (ITA)		0,805	0,347	<0,004	<0,05	<0,1	<0,05	<0,005
		(PA04)		1,888	0,298	<0,004	0,240	22,617	0,280	0,126
		Foz do rio Doce (FRD)		0,901	0,070	<0,004	<0,05	1,118	<0,05	<0,005
		São Matheus (SM)		2,122	0,334	<0,004	25,592	32,993	<0,05	<0,005

Figura 7: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de camarões coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12) e Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13), e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3– até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6– até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8– até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9– até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10– até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SD13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SD30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SD13 – a partir da Campanha 13) e Saída Doce Sul 30 (SD30 – a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



O gráfico de barras dos valores do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) em camarões, gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, permite identificar tendências espaço-temporais da bioacumulação dos metais e As nos camarões do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. A partir da comparação temporal feita através da avaliação do IBR Bioacumulação apresentada na Figura 7, observa-se um padrão crescente nos valores deste índice a partir da Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), com aumento discreto no IBR Bioacumulação do Setor Foz, o qual se manteve na Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso). Nesta Campanha também foi possível observar um aumento discreto do valor médio do índice para o Setor Sul. Apesar disso, houve redução discreta dos valores do índice, exceto para o Setor Norte, na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco).

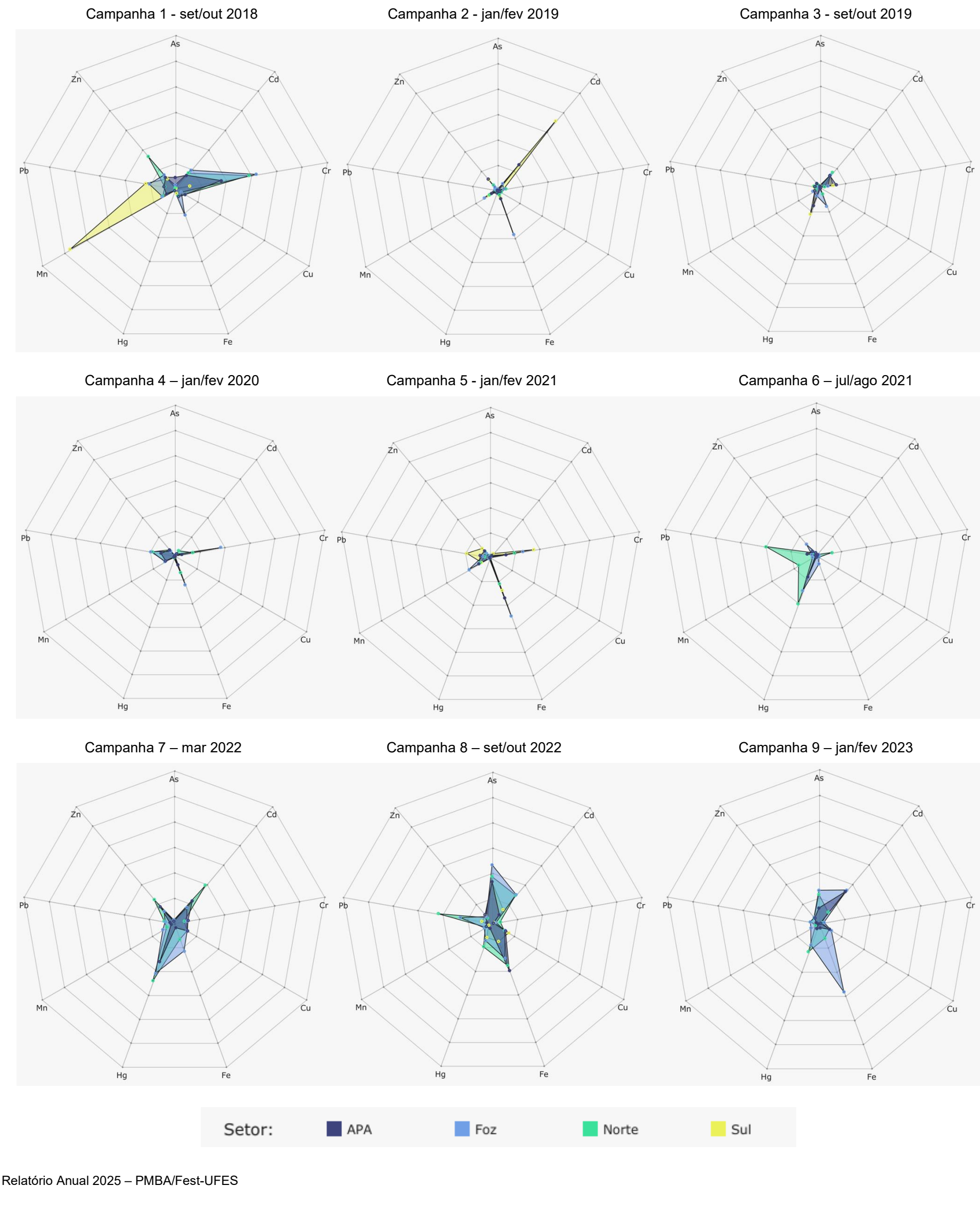
Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), foi observado um aumento consistente no valor do IBR Bioacumulação em todos os Setores avaliados, com destaque para o Setor Norte. Este Setor se manteve com valores elevados do índice na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), juntamente com o aumento observado no Setor Foz.

Os valores de IBR Bioacumulação em camarões marinhos diminuíram na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), exceto para o Setor Foz. Na Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), todos os Setores tiveram valores do índice similares àqueles observados nas Campanhas iniciais do monitoramento (Campanha 2: jan/fev 2019 – período chuvoso e Campanha 3: set/out 2019 – período seco). Porém, assim como desmonstrado para os demais organismos relatados anteriormente, na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) foi observado um novo aumento geral e expressivo do valor do IBR Bioacumulação para todos os Setores avaliados, atingindo os maiores valores até então registrados para este índice no âmbito do PMBA/Fest-UFES. É importante ressaltar que esta Campanha ocorreu no período chuvoso, sendo possível, portanto, que neste período os metais e o As tenham se tornado mais biodisponiveis, promovendo uma maior assimilação e, consequentemente, uma maior bioacumulação destes elementos nos camarões.

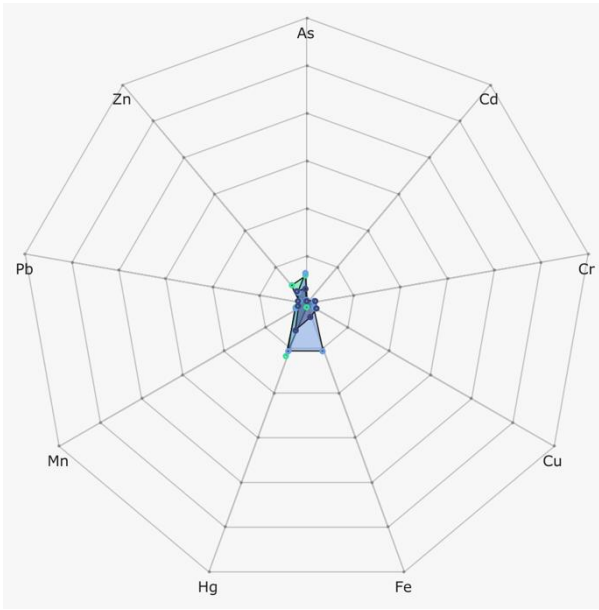
A Campanha 12 (jul 2024 – período seco) foi caracterizada por uma expressiva redução nos valores médios do IBR Bioacumulação em todos os Setores avaliados, os quais foram similares àqueles observados no período seco do ano anterior (Campanha 10 – jun/jul 2023). Esta redução nos valores do índice se manteve na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e seguiu decrescendo na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso).

Cabe destacar que, de certa forma, o padrão de variação do IBR Bioacumulação de camarões marinhos demonstrou ser similar àquele descrito para o plâncton marinho, evidenciando assim o potencial de transferência trófica dos metais e As entre os produtores primários e os consumidores primários e secundários, conforme salientado anteriormente.

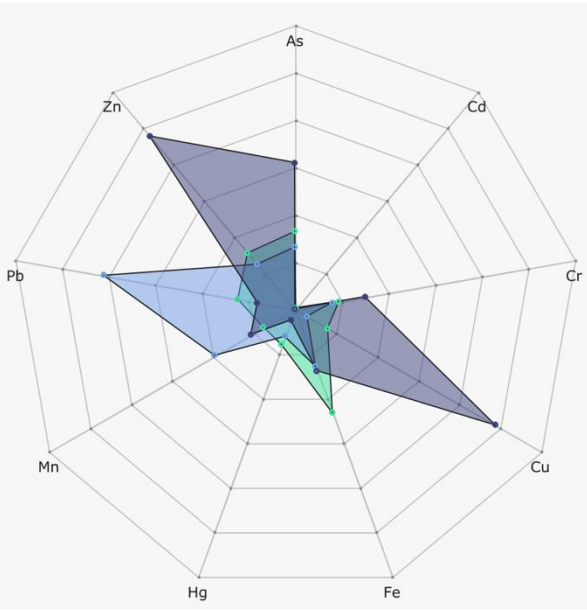
Figura 8: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de camarões coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 - até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN 13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS 13 – a partir da Campanha 13) e Saída Doce Sul 30 (SDS 30 – a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição Da Barra 3 (CB3 – a a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)].



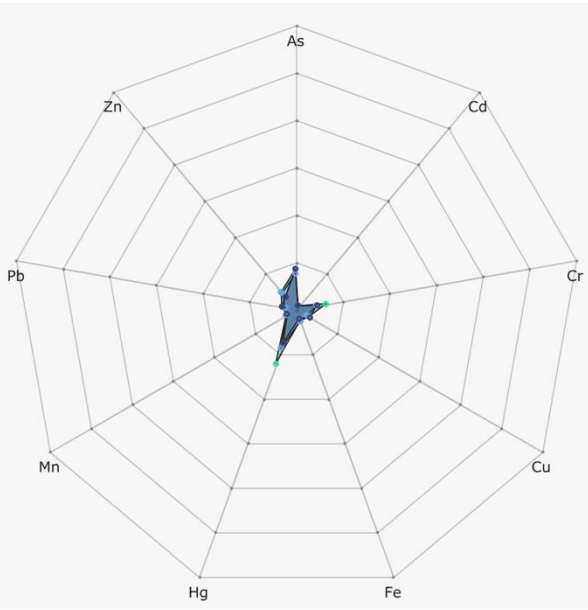
Campanha 10 – jun/jul 2023



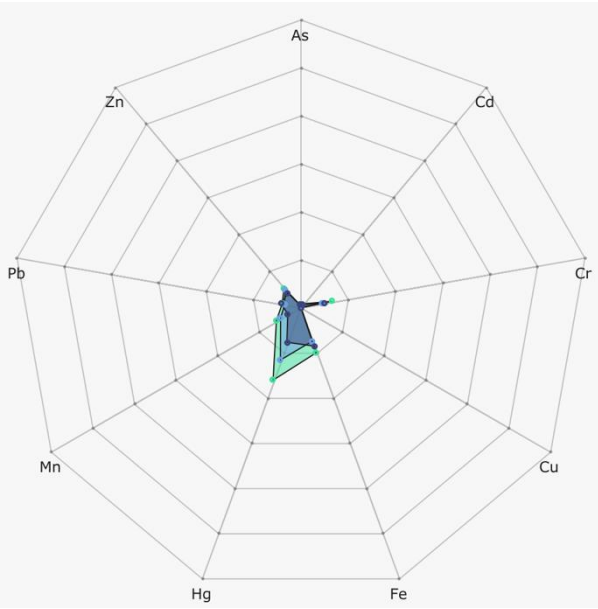
Campanha 11 – jan 2024



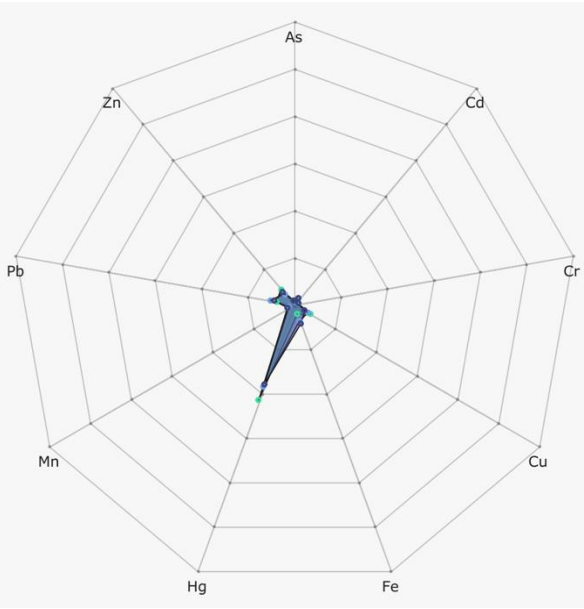
Campanha 12 – jul 2024



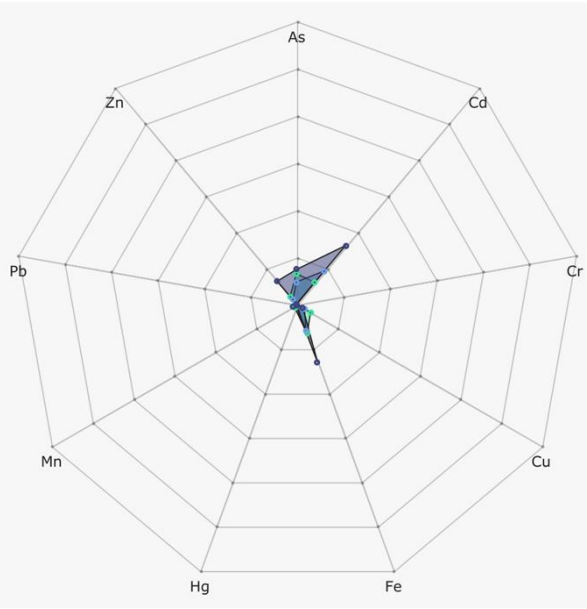
Campanha 13– jan/fev 2025



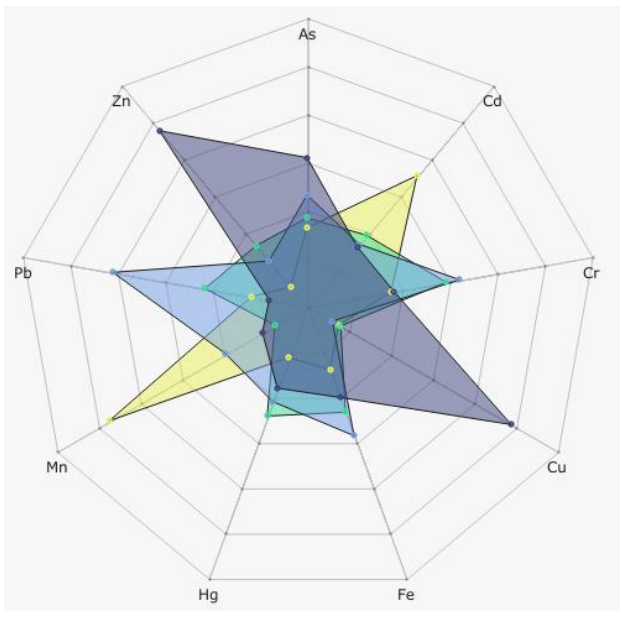
Campanha 14 – jul 2025



Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas



Os gráficos de radar apresentados na Figura 8 foram obtidos a partir do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) em camarões de cada Setor avaliado e de cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e do As nos camarões do Ambiente Marinho e a contribuição destes para a composição do índice. Neste caso, as Campanhas que apresentaram os maiores valores do IBR Bioacumulação e a maior diversidade de elementos contribuindo para a composição do valor deste índice foram a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), com destaque para o Cr em todos os Setores avaliados, e também do Mn no Setor Sul, Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso).

Com relação à Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), os padrões de contribuição dos elementos na composição do valor do IBR Bioacumulação foram similares em todos os Setores avaliados, com picos de contribuição sendo observados para Hg, Cd e Zn. Nos Setores Norte e Foz, também houve contribuição do Fe na composição do valor do índice. Uma similaridade na composição do IBR Bioacumulação entre os Setores também foi observada na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), com destaque para os elementos As, Cd, Cu, Fe, Hg e Pb. Metais como o Cr, Mn e Zn tiveram menor contribuição, independentemente do Setor avaliado.

Em contrapartida, na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) foi observada uma maior variação espacial quanto aos elementos que contribuíram na composição do valor do IBR Bioacumulação. O Setor Foz apresentou os maiores valores do índice, com contribuição principalmente dos elementos Fe, Cu, Cd, As e Hg. O Setor Norte teve o valor do IBR Boiacumulação sendo composto por todos os elementos, com destaque para o Hg, As, Cd e Fe. Por fim, o As e Cd foram os elementos com maior importância na composição do valor do IBR Bioacumulação no Setor APA.

A Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) voltou a apresentar similaridade nos padrões de contribuição dos elementos analisados para a composição do valor do IBR Bioacumulação em todos os Setores avaliados, com destaque para o As e Hg. No entanto, no Setor Foz, o qual apresentou o maior valor do IBR Bioacumulacão, a composição do índice teve também a contribuicão do Fe.

Na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), foi observado um aumento geral e expressivo nos valores do IBR Bioacumulação em todos os Setores avaliados, especialmente no Setor APA. Neste Setor, foram observadas importantes contribuições do Zn, Cu e As, e em menor grau do Cr, Fe, Hg, Mn e Pb. No setor Foz, as maiores contribuições para a composição do valor do IBR Bioacumulação foram do Pb, Mn, As e Zn, seguidos por Fe e Cr. Já no setor Norte, a contribuição de destaque na composição do valor do índice foi do Fe, seguida de contribuições similares do As, Zn, e, em menor grau, do Pb, Cr, Cu, Hg e Mn.

A partir da Campanha 12 (jul 2024 – período seco), foi observada uma expressiva redução nos valores de IBR Bioacumulação em todos os Setores avaliados. Neste caso, os metais que se destacaram na composição do índice foram o Hg, As e Cr. Os valores do índice mantiveram-se reduzidos na Campanha 13 (jan/fev – período chuvoso), com contribuição principal de Hg, Fe, Cr e Mn, sobretudo

no Setor Norte. Na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), houve redução do valor do IBR Bioacumulação dos camarões marinhos, principalmente nos Setores Foz e Norte. Os metais Hg, Zn e Pb foram os contaminantes que se destacaram na composição do valor do índice na Campanha 14, enquanto o Fe e Cd foram os principais elementos que contribuíram na composição do valor do IBR Bioacumulação na Campanha 15.

Quando todas as Campanhas foram analisadas em conjunto, foi observada uma variação espacial na composição do valor do IBR Bioacumulação. Por exemplo, no Setor APA, os contaminantes que mais se destacaram na composição do valor do índice, em ordem decrescente de importância, foram o Cu, Zn e As. No Setor Foz, os destaques foram para os elementos Pb, Cr, Fe e As. No Setor Norte, os metais que mais se destacaram na composição do valor do IBR Bioacumulação foram o Cr, Hg, Fe, Pb e As. Por sua vez, o Mn e Cd foram os metais que mais contribuíram para a composição do valor do índice para os camarões coletados no Setor Sul.

No contexto descrito acima, vale ressaltar que os elementos As Cd, Hg e Pb são considerados altamente tóxicos. Estes elementos ocorreram com elevada frequência ao longo do monitoramento, apresentando altos valores de concentração em algumas Campanhas. Desta forma, os resultados apresentados aqui devem ser observados com atenção, sobretudo considerando que, em alguns casos, como o do As, a toxicidade é exercida mesmo em baixas concentrações, podendo causar impactos significativos à biota aquática. Os metais Cr, Cu, Fe, Mn e Zn são considerados micronutrientes, os quais, em pequenas quantidades, são considerados essenciais para o bom funcionamento dos organismos vivos. Entretanto, em concentrações excessivas, estes elementos podem também causar efeitos tóxicos à biota aquática e ao ser humano (Lokeshappa et al., 2012). Cabe destacar que alguns desses metais apresentaram uma significativa contribuição na composição do valor do IBR Bioacumulação ao longo do período de monitoramento.

Tabela 5: Concentração média de metais (mg Kg^{-1}) no músculo de camarões coletados nos diferentes setores do ambiente marinho durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) comparadas com a concentração média de metais no músculo de camarões coletados na região costeira capixaba entre dez 2015 a fev 2016 (Relatório Técnico - RT EcoConservation 065/16). Concentrações dos metais abaixo dos dados pretéritos estão destacadas em verde enquanto concentrações acima dos valores pretéritos estão destacadas em vermelho. ”NA” significa que não há informação sobre a concentração do metal. A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13)]; **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01– a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3– a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3– a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)]]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)]. Fonte: EcoConservation. Relatório Técnico - RT ECV 065/16. Monitoramento de bioacumulação (ictiofauna, carcinofauna e malacofauna) por metais, na região marinha adjacente à foz do rio Doce e sob possível influência do Material Ligado ao Desastre (MLD).

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	*Xiphopenaeus kroyeri* (camarão-sete-barbas)	4,630	0,007	0,029	2,680	15,510	0,590	0,019
		Barra do Riacho (Aracruz)		7,710	0,005	0,059	3,810	31,940	0,650	0,059
		Regência (águas costeiras)		8,860	0,006	0,060	4,450	36,370	0,740	0,020
		Barra Seca (São Mateus)		8,900	0,004	0,065	4,630	28,750	0,790	0,018
		Barra Nova (São Mateus)		8,690	0,004	0,055	3,880	28,080	0,970	0,019
		Média		7,758	0,005	0,054	3,890	28,130	0,748	0,027
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 1 (set/out 2018)	Barra Nova (BN)	Camarões	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		1,169	0,053	1,854	6,044	6,710	0,571	0,028
		Degredo (DEG)		0,136	0,610	0,104	2,667	4,276	0,754	0,128
		Foz do rio Doce (FRD)		0,373	0,071	1,450	4,250	7,275	0,743	0,015
		Guarapari (GUA)		0,147	0,097	0,085	1,774	6,041	0,449	0,040
		Itaúnas (ITA)		0,006	0,969	0,482	1,101	3,461	2,064	0,014

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	*Xiphopenaeus kroyeri* (camarão-sete-barbas)	4,630	0,007	0,029	2,680	15,510	0,590	0,019
		Barra do Riacho (Aracruz)		7,710	0,005	0,059	3,810	31,940	0,650	0,059
		Regência (águas costeiras)		8,860	0,006	0,060	4,450	36,370	0,740	0,020
		Barra Seca (São Mateus)		8,900	0,004	0,065	4,630	28,750	0,790	0,018
		Barra Nova (São Mateus)		8,690	0,004	0,055	3,880	28,080	0,970	0,019
		Média		7,758	0,005	0,054	3,890	28,130	0,748	0,027
		Vitória (VIX)		0,390	0,046	2,648	1,704	7,188	5,461	0,312
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Barra Nova (BN)	Camarões	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,026	0,786	0,053	8,008	4,459	0,746	0,005
		Degredo (DEG)		0,054	0,034	0,526	5,926	2,932	0,866	0,011
		Foz do rio Doce (FRD)		0,182	0,189	0,104	0,829	75,777	0,964	0,022
		Guarapari (GUA)		0,005	1,787	0,046	1,346	9,985	1,313	0,005
		Itaúnas (ITA)		0,016	0,030	0,125	2,198	16,281	0,910	0,006
		Vitória (VIX)		0,006	1,232	0,146	0,684	5,882	0,743	0,005
	Campanha 3 (set/out 2019)	Barra Nova (BN)	Camarões	0,125	0,015	0,086	0,064	6,072	0,051	0,017
		Costa das Algas (CA)		0,198	0,190	0,275	0,106	1,199	0,715	0,041
		Degredo (DEG)		0,080	0,288	0,167	0,050	12,698	0,719	0,022
		Foz do rio Doce (FRD)		0,177	0,234	0,323	0,076	52,819	1,112	0,014
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,194	0,122	0,052	0,138	1,139	0,936	0,171
		Vitória (VIX)		0,072	0,086	0,029	0,051	0,618	0,584	0,018
	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Barra Nova (BN)	Camarões	0,015	0,460	0,067	2,298	14,749	1,191	0,325
		Costa das Algas (CA)		0,014	0,149	0,232	0,175	5,461	0,696	0,038
		Degredo (DEG)		0,174	0,211	0,596	0,741	52,970	1,943	0,130
		Foz do rio Doce (FRD)		0,330	0,109	0,742	1,193	23,985	0,900	0,078
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,011	0,062	0,689	0,215	27,410	0,638	0,024

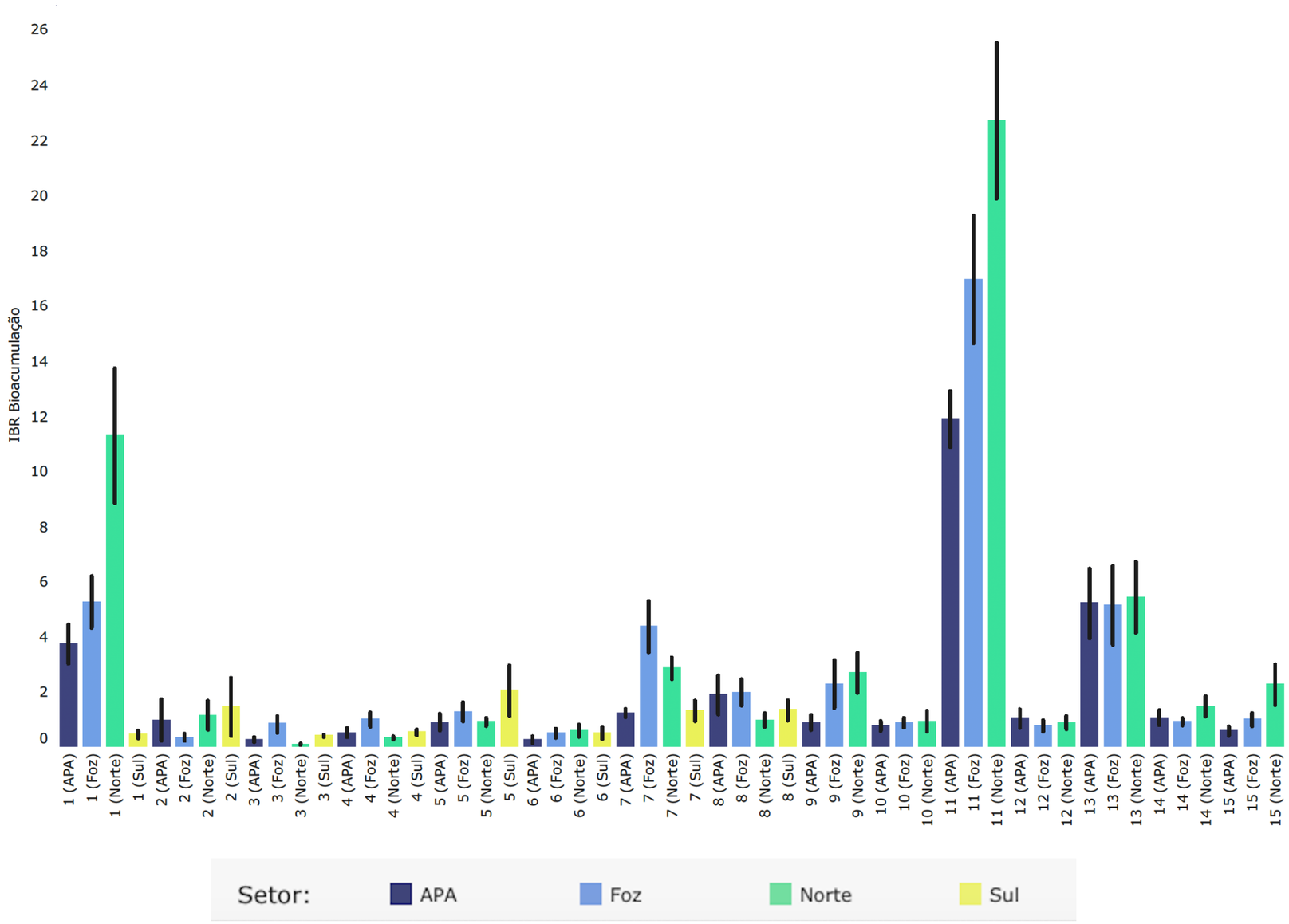
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	*Xiphopenaeus kroyeri* (camarão-sete-barbas)	4,630	0,007	0,029	2,680	15,510	0,590	0,019
		Barra do Riacho (Aracruz)		7,710	0,005	0,059	3,810	31,940	0,650	0,059
		Regência (águas costeiras)		8,860	0,006	0,060	4,450	36,370	0,740	0,020
		Barra Seca (São Mateus)		8,900	0,004	0,065	4,630	28,750	0,790	0,018
		Barra Nova (São Mateus)		8,690	0,004	0,055	3,880	28,080	0,970	0,019
		Média		7,758	0,005	0,054	3,890	28,130	0,748	0,027
		Vitória (VIX)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Barra Nova (BN)	Camarões	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,009	0,063	0,459	0,175	8,399	0,668	0,069
		Degredo (DEG)		1,265	0,123	1,895	4,398	186,177	4,962	0,103
		Foz do rio Doce (FRD)		0,117	0,058	0,920	1,137	168,728	5,299	0,048
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,031	0,111	0,073	0,576	48,156	3,850	0,020
		Vitória (VIX)		0,007	0,140	0,677	0,504	90,585	1,428	0,122
	Campanha 6 (jul/ago 2021)	Barra Nova (BN)	Camarões	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,923	0,010	0,101	1,513	2,854	0,134	0,053
		Degredo (DEG)		0,200	0,179	0,843	20,816	2,990	1,089	0,845
		Foz do rio Doce (FRD)		0,959	0,160	0,179	26,356	31,845	1,285	0,055
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,051	0,056	0,734	1,861	4,380	0,821	0,474
		Vitória (VIX)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Campanha 7 (mar 2022)	Barra Nova (BN)	Camarões	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,410	0,737	0,182	5,822	5,251	0,168	0,049
		Degredo (DEG)		0,693	6,782	0,306	159,847	28,622	1,209	0,083
		Foz do rio Doce (FRD)		1,097	1,620	0,814	111,278	122,076	3,758	0,136
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	*Xiphopenaeus kroyeri* (camarão-sete-barbas)	4,630	0,007	0,029	2,680	15,510	0,590	0,019
		Barra do Riacho (Aracruz)		7,710	0,005	0,059	3,810	31,940	0,650	0,059
		Regência (águas costeiras)		8,860	0,006	0,060	4,450	36,370	0,740	0,020
		Barra Seca (São Mateus)		8,900	0,004	0,065	4,630	28,750	0,790	0,018
		Barra Nova (São Mateus)		8,690	0,004	0,055	3,880	28,080	0,970	0,019
		Média		7,758	0,005	0,054	3,890	28,130	0,748	0,027
		Itaúnas (ITA)		0,448	0,069	0,173	4,152	7,222	0,238	0,036
		Vitória (VIX)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 8 (set/out 2022)	Barra Nova (BN)	Camarões	8,165	0,024	0,154	1,820	0,279	0,124	0,024
		Costa das Algas (CA)		5,303	0,020	0,176	1,247	1,253	0,143	0,022
		Degredo (DEG)		12,481	3,336	0,147	61,889	126,093	0,869	0,100
		Foz do rio Doce (FRD)		19,182	3,011	0,240	101,403	144,957	2,564	0,418
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		8,317	0,025	0,168	1,265	0,141	0,104	0,025
		Vitória (VIX)		10,010	1,886	0,146	96,758	86,096	0,970	0,121
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Barra Nova (BN)	Camarões	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Barra Seca (BS)		7,349	0,024	0,195	1,662	6,309	0,106	0,024
		Conceição da Barra (CB)		9,980	0,024	0,391	2,240	6,607	0,132	0,024
		Costa das Algas (CA)		4,852	0,029	0,227	1,898	5,010	0,113	0,036
		Degredo (DEG)		6,646	2,259	0,134	82,984	36,300	0,616	0,086
		Foz do rio Doce (FRD)		10,695	3,378	0,263	91,320	293,215	2,435	0,108
		Itaúnas (ITA)		8,150	0,024	0,125	0,963	4,427	0,057	0,024
	Campanha 10 (jun/jul 2023)	Barra Nova (BN)	Camarões	16,850	0,048	0,417	2,720	13,250	0,162	0,033
		Barra Seca (BS)		14,852	0,024	0,183	2,619	3,210	0,165	0,024
		Conceição da Barra (CB)		9,875	0,024	0,254	2,612	12,392	0,136	0,052
		Costa das Algas (CA)		6,211	0,024	0,155	2,001	2,733	0,209	0,049
		Degredo (DEG)		10,129	0,024	0,168	2,156	5,648	0,235	0,026

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	*Xiphopenaeus kroyeri* (camarão-sete-barbas)	4,630	0,007	0,029	2,680	15,510	0,590	0,019
		Barra do Riacho (Aracruz)		7,710	0,005	0,059	3,810	31,940	0,650	0,059
		Regência (águas costeiras)		8,860	0,006	0,060	4,450	36,370	0,740	0,020
		Barra Seca (São Mateus)		8,900	0,004	0,065	4,630	28,750	0,790	0,018
		Barra Nova (São Mateus)		8,690	0,004	0,055	3,880	28,080	0,970	0,019
		Média		7,758	0,005	0,054	3,890	28,130	0,748	0,027
		Foz do rio Doce (FRD)		13,962	0,027	0,267	2,980	10,902	0,177	0,027
		Itaúnas (ITA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 11 (jan 2024)	Barra Nova (BN)	Camarões	18,630	0,080	0,230	5,113	5,087	0,211	0,038
		Barra Seca (BS)		15,695	0,060	0,277	6,702	5,101	0,534	0,040
		Conceição da Barra (CB)		22,717	0,061	0,658	5,268	17,468	0,580	0,058
		Costa das Algas (CA)		18,133	0,042	1,737	5,467	8,577	0,391	0,056
		Degredo (DEG)		8,115	0,124	5,147	5,426	13,947	0,652	0,070
		Foz do rio Doce (FRD)		12,469	0,070	1,865	4,491	13,004	0,422	0,046
		Itaúnas (ITA)		17,800	0,042	0,368	5,717	6,785	0,216	<0,024
	Campanha 12 (jul 2024)	Barra Nova (BN)	Camarões	10,372	0,172	3,278	7,142	10,257	0,732	0,058
		Barra Seca (BS)		24,613	0,116	1,505	4,114	9,280	0,611	0,030
		Conceição da Barra (CB)		16,041	0,084	1,601	4,914	12,477	0,431	0,092
		Costa das Algas (CA)		15,377	0,111	3,503	4,265	8,477	0,661	0,061
		Degredo (DEG)		15,351	0,087	2,737	4,726	9,600	0,746	0,051
		Foz do rio Doce (FRD)		14,623	0,115	1,548	4,375	9,942	0,522	0,060
		Itaúnas (ITA)		15,600	0,095	1,993	4,248	6,485	0,350	0,050
		Barra Nova (BN)		0,277	0,026	0,358	1,013	106,676	1,430	0,031
		Barra Seca (BS)		0,381	0,073	0,419	4,921	104,169	1,026	0,061
	Campanha 13 (jan/fev 2025)	Conceição da Barra (CB)	Camarões	0,342	0,068	0,269	5,309	25,854	0,652	0,058
		Costa das Algas (CA)		0,342	0,036	0,334	5,729	50,104	1,450	0,035
		Degredo (DEG)		0,255	0,057	0,283	5,228	26,121	0,555	0,068
		Itaúnas (ITA)		0,457	0,031	0,241	5,050	61,640	0,799	0,037
		(PA04)		0,224	0,034	0,451	4,462	15,295	0,539	0,041

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Organismo	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	*Xiphopenaeus kroyeri* (camarão-sete-barbas)	4,630	0,007	0,029	2,680	15,510	0,590	0,019
		Barra do Riacho (Aracruz)		7,710	0,005	0,059	3,810	31,940	0,650	0,059
		Regência (águas costeiras)		8,860	0,006	0,060	4,450	36,370	0,740	0,020
		Barra Seca (São Mateus)		8,900	0,004	0,065	4,630	28,750	0,790	0,018
		Barra Nova (São Mateus)		8,690	0,004	0,055	3,880	28,080	0,970	0,019
		Média		7,758	0,005	0,054	3,890	28,130	0,748	0,027
		Foz do rio Doce (FRD)		0,219	0,056	0,264	4,289	24,399	1,977	0,057
		São Matheus (SM)		0,382	0,053	0,901	6,797	120,637	2,518	0,064
	Campanha 14 (jul 2025)	Barra Nova (BN)	Camarões	0,536	0,361	0,148	6,814	12,387	0,193	0,227
		Barra Seca (BS)		0,543	0,210	0,093	4,334	7,130	0,228	0,103
		Costa das Algas (CA)		0,712	0,276	0,140	5,388	32,656	0,238	0,165
		Conceição da Barra (CB)		0,682	0,292	0,114	4,867	5,292	0,097	0,133
		Degredo (DEG)		0,580	0,232	0,092	5,422	17,585	0,208	0,133
		Itaúnas (ITA)		0,485	0,197	0,058	3,630	1,765	0,077	0,103
		(PA04)		0,818	0,363	0,159	5,592	20,712	0,118	0,216
		Foz do rio Doce (FRD)		0,595	0,313	0,112	6,543	53,128	0,451	0,206
		São Matheus (SM)		0,566	0,321	0,205	7,627	55,400	0,227	0,248
	Campanha 15 (jan/fev 2026)	Barra Nova (BN)	Camarões	0,508	0,371	<0,004	0,405	105,936	1,692	<0,005
		Barra Seca (BS)		0,626	0,363	<0,004	0,399	37,139	<0,05	<0,005
		Costa das Algas (CA)		0,482	0,399	<0,004	0,109	80,346	0,125	<0,005
		Conceição da Barra (CB)		0,618	0,323	0,084	0,701	357,592	0,837	<0,005
		Degredo (DEG)		0,446	0,348	<0,004	1,033	80,037	0,285	<0,005
		Itaúnas (ITA)		0,522	0,273	<0,004	1,495	41,681	0,110	<0,005
		(PA04)		0,861	0,295	<0,004	<0,05	140,813	0,651	<0,005
		Foz do rio Doce (FRD)		0,570	0,295	0,008	2,627	208,487	2,169	<0,005
		São Matheus (SM)		0,665	0,245	<0,004	3,262	1,536	<0,05	<0,005

Figura 9: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, fígado e músculo) de peixes (onívoros e carnívoros) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA 13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Camapnha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS 13 – a partir da Campanha 13) e Saída Doce Sul 30 (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1) e Itaúnas 2 (ITA2)]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



O gráfico de barras dos valores do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) em tecidos (brânquias, fígado e músculo) de peixes (onívoros e carnívoros), gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, está apresentado na Figura 9. Este gráfico permite realizar comparações das tendências espaço-temporais de bioacumulação dos metais e As nos peixes (onívoros e carnívoros) do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento.

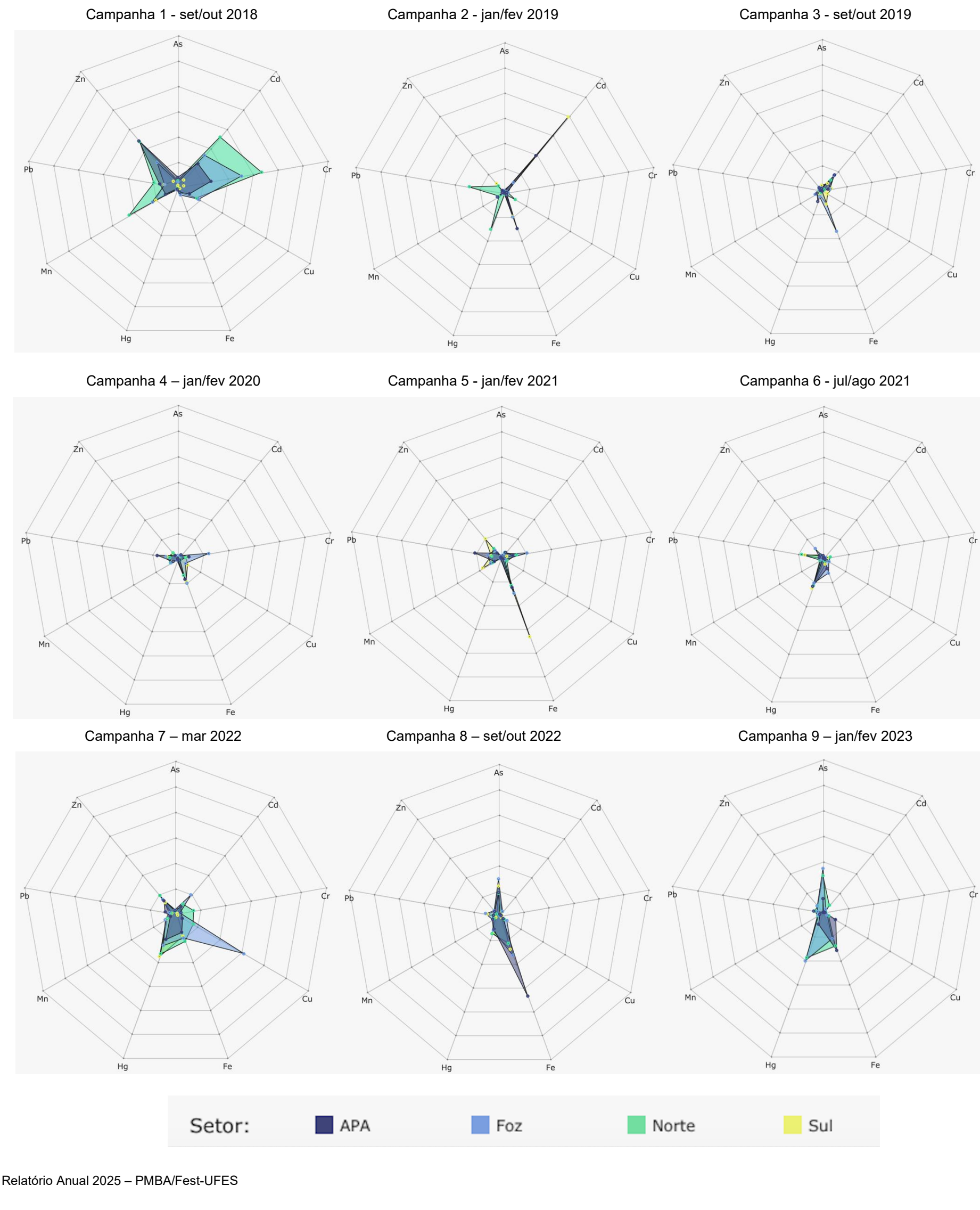
De maneira geral, os valores mais altos do IBR Bioacumulação haviam sido observados na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), com exceção do Setor Sul. Porém, na Campanha 11 (jan 2024 - período chuvoso) foram observados valores de IBR Bioacumulação superiores a todos aqueles registrados anteriormente. Assim, da Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso) até a Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), o índice apresenta uma redução no seu valor e tende a se manter mais baixo, apesar de discretas oscilações, em todos os Setores avaliados. Na Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), observa-se um discreto aumento no valor do IBR Bioacumulação no Setor Sul, com nova redução no período seco do mesmo ano, correspondente à Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco).

No entanto, a partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), foi observado novamente um discreto aumento no valor do IBR Bioacumulação em todos os Setores avaliados, com maior valor médio do índice sendo obserfvado no Setor Foz, seguido pelo Setor Norte. Os valores de IBR Bioacumulação mantiveram-se com poucas oscilações até a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco). Nesta Campanha, houve uma redução no valor do IBR Bioacumulação em todos os Setores.

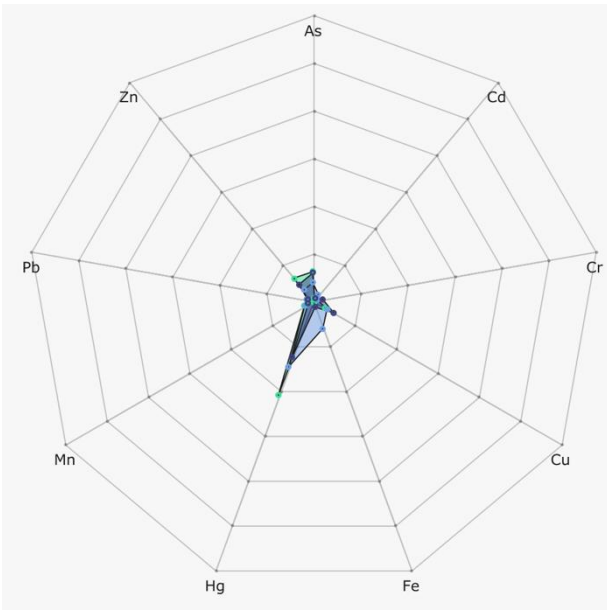
Um aumento expressivo nos valores de IBR Bioacumulação do Setor Norte, seguido pelos Setores Foz e APA foi observado na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), atingindo os máximos valores até então já registrados. Como observado para o plâncton e os camarões marinhos, os valores de IBR Bioacumulação para os peixes marinhos (onívoros e carnívoros) reduziram na Campanha 12 (jul 2024 – período seco) em todos os Setores avaliados, sendo semelhantes àqueles observados no período seco do ano anterior (Campanha 10: jun/jul 2023 – período seco).

Na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), foi observado um considerável aumento no valor do índice em todos os Setores avaliados, correspondendo aos terceiros maiores valores reportados ao longo da série temporal. No período seco subsequente (Campanha 14: jul 2025), foi observada uma diminuição dos valores médios do IBR Bioacumulação, o qual se manteve na Campanha 15 (jan/fev 2026 - período chuvoso). Cabe destacar também a ocorrência de maiores valores médios do IBR Bioacumulação para os peixes marinhos coletados nos Setores Norte e Foz do que para aqueles coletados no Setor APA nos períodos chuvosos correspondentes à Campanha 7 (mar 2022), Campanha 9 (jan/fev 2023) e Campanha 11 (jan 2024). Além disso, os aumentos no IBR Bioaucmulação foram observados, principalmente, em períodos chuvosos, sugerindo a influência do ciclo hidrológico na biodisponibilidade de elementos no ambiente marinho.

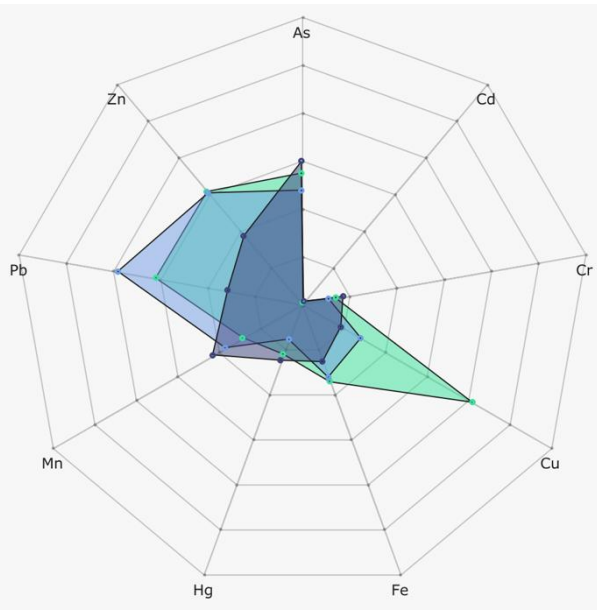
Figura 10: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, fígado e músculo) de peixes (onívoros e carnívoros) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CN13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13 – a partir da Campanha 13) e Saída Doce Sul 30 (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2) ,Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)].



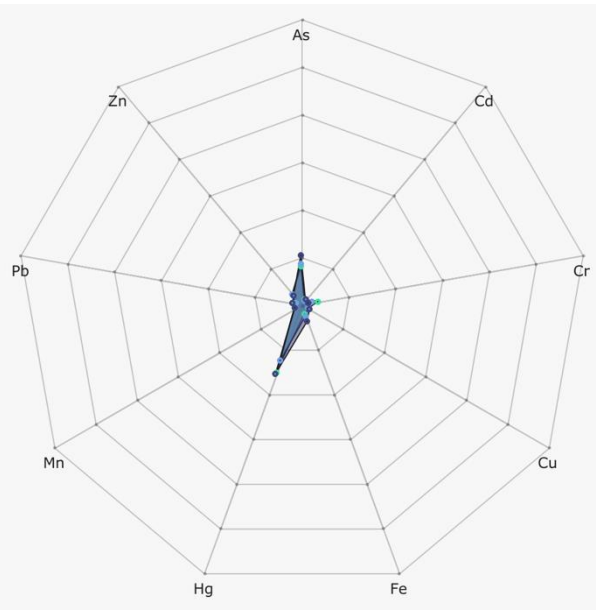
Campanha 10 – jun/jul 2023



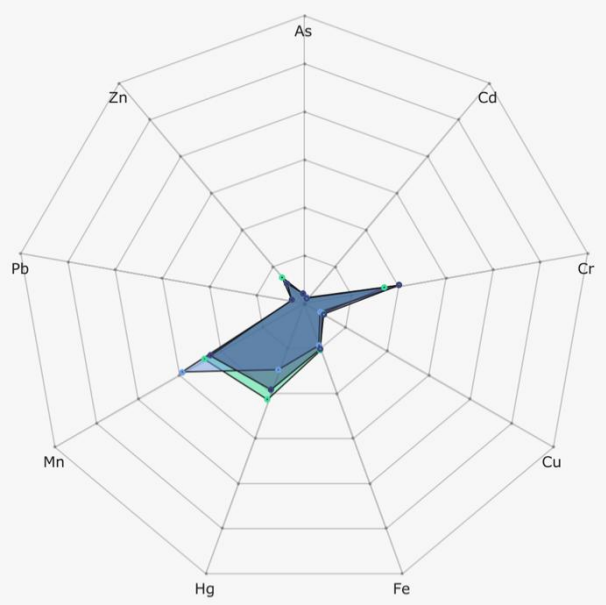
Campanha 11 – jan 2024



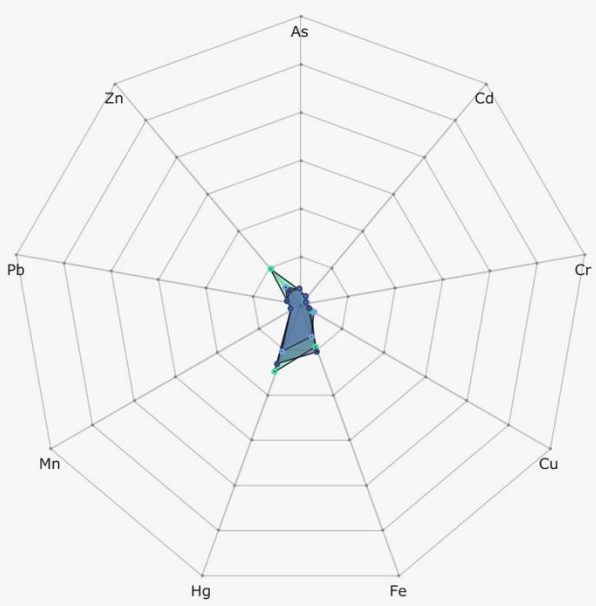
Campanha 12 – jul 2024



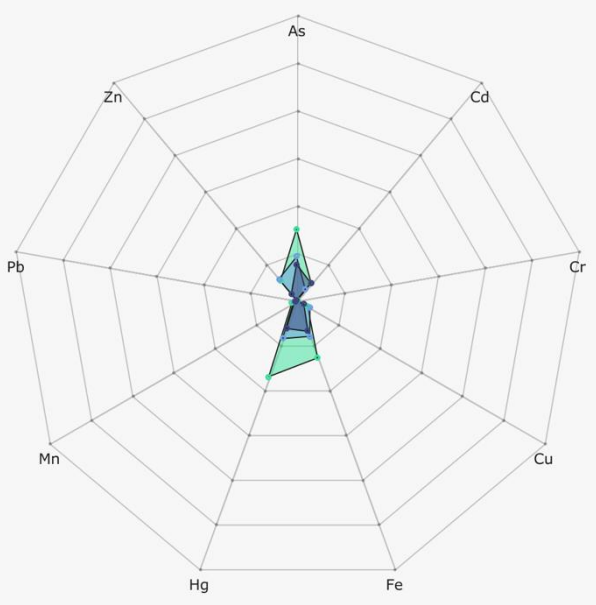
Campanha 13 – jan/fev 2025



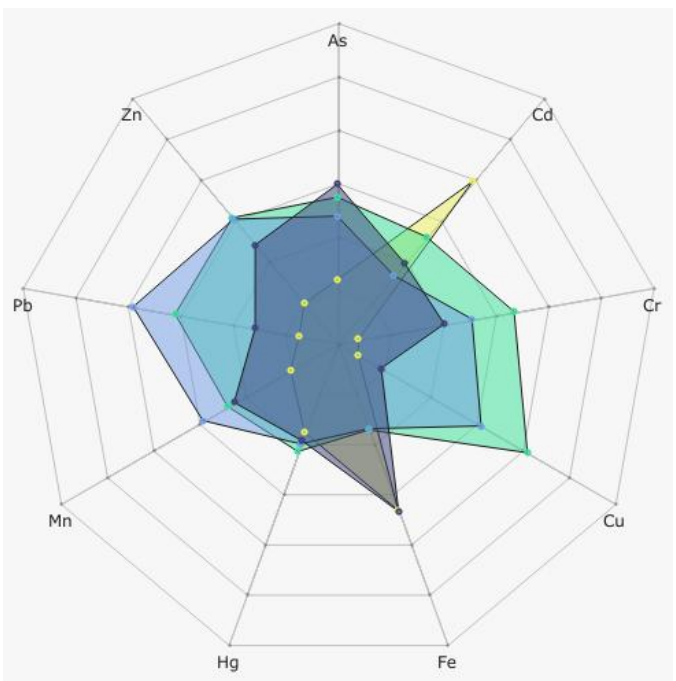
Campanha 14 – jul 2025

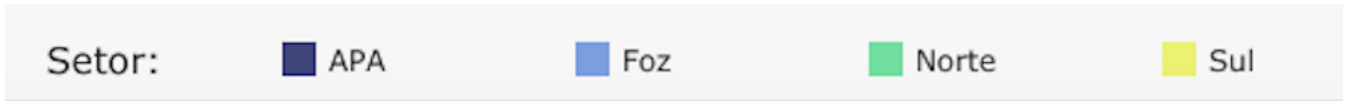


Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas





Os gráficos de radar apresentados na Figura 10 foram obtidos a partir do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) em peixes para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação dos metais e As nos peixes (onívoros e carnívoros) do Ambiente Marinho, bem como a contribuição destes para a composição do índice. As Campanhas que mais se destacaram em relação aos maiores valores do IBR Bioacumulação foram a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e a Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso). Já em relação à maior diversidade de elementos que compuseram o valor deste índice, destacaram-se a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso).

Na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), a composição do valor do IBR Bioacumulação foi semelhante entre Setores, onde se destacaram as contribuições do Cr, Cd, Mn e Zn. Já na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), a composição do valor do índice variou entre os Setores, com destaque para as contribuições do Cu, Mn e Pb no Setor Norte, e do Cd, Fe e Mn nos Setores Foz, APA e Sul.

Quanto à Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o Setor Foz foi aquele que apresentou o maior valor do IBR Bioacumulação, sendo que os metais mais relevantes para a composição deste índice foram o Hg, Cd, Cu, Fe, Zn e Mn, com destaque para o Cu. Os elementos que mais contribuíram para a composição do valor do IBR Bioacumulação no Setor Norte foram o Hg, Fe, Zn, Cu, Mn, Cd e Cr. Com relação ao Setor APA, os metais que apresentaram, em ordem decrescente, as maiores contribuições na composição do índice foram o Hg, Fe, Zn e Pb. No Setor Sul, a composição do valor do índice teve contribuição majoritária do Fe, Hg, Mn e Zn, com destaque para o Hg.

Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), todos os elementos analisados apresentaram contribuição similar na composição do valor do IBR Bioacumulação dos peixes marinhos, com destaque para o As e Fe, sendo que o Fe se destacou no Setor APA. Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), a composição do valor do IBR Bioacumulação nos Setores Foz e Norte foi bastante semelhante, tendo sido relacionada principalmente às contribuições do As, Hg e Fe. Já no setor APA, a composição do índice foi fortemente influenciada pelo Fe, com menores contribuições do As, Cu, Hg e Pb. Na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), também foi observada uma certa similaridade no padrão de composição do valor do índice, com contribuições principalmente do Hg, Zn e As, em todos os Setores avaliados.

Na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), o maior valor de IBR Bioacumulação foi observado no Setor Norte, tendo este sido composto por todos os elementos analisados, com contribuição reduzida do Cd e com destaque para as maiores contribuições do Cu, Zn, Pb e As. No Setor Foz, a composição do valor do índice foi caracterizada pelas concentrações elevadas de Pb, Zn e As e, em menor grau, de Mn, Cu e Fe. Por sua vez, no Setor APA as maiores contribuições para a composição do valor do IBR Bioacumulação foram do As e Mn.

Na Campanha 12 (jul 2024 – período seco) e na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), foram observadas contribuições similares dos contaminantes na composição do valor do IBR Bioacumulação nos Setores avaliados, com destaque para o Hg e As na Campanha 12, e para o Mn, Hg e Cr, e, em menor grau, para o Fe e Zn na Campanha 13. Na Campanha 14, os metais que mais contribuíram para a composição do valor do IBR Bioaucmulação de peixes marinhos foram o Hg, Fe e Zn, principalmente no Setor Norte. Na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), os elementos que mais contribuíram na composição do valor do IBR Bioacumulação foram o Hg, As e Fe.

De uma forma geral, os elementos mais frequentes na composição do IBR Bioacumulação durante todo o monitoramento foram o Pb, Fe, Zn, Hg e Mn. No Setor APA, os elementos As, Cr, Fe, Mn e Zn se destacaram na composição do valor do índice. No Setor Foz, os metais Cu, Cr, Fe e Pb foram os destaques na composição do valor do IBR Bioacumulação. No Setor Norte, as maiores contribuições para a composição do valor do índice foram as dos metais Cu, Cr, Hg, Pb e Zn. Em contrapartida, o valor do IBR Bioacumulação no Setor Sul foi composto por uma menor diversidade de elementos, com contribuições principalmente do Cd e Fe, e, em menor grau, do Hg, Mn e Pb. Cabe lembrar que Pb e Hg são metais altamente tóxicos e que, em algumas Campanhas, foram observados picos de valores nas concentrações de As e Cd, os quais também são elementos tóxicos para a biota aquática. Assim, concentrações excessivas desses elementos nos tecidos dos peixes devem ser consideradas como uma alerta em relação a contaminação da biota aquática. Por sua vez, o Cr, Cu, Fe, Mn e Zn são considerados micronutrientes, sendo essenciais para a manutenção dos organismos vivos. Porém, vale lembrar que, concentrações excessivas destes metais também requerem atenção, pois podem causar toxicidade à biota aquática, incluindo os peixes.

É também importante ressaltar que os peixes analisados no PMBA/Fest-UFES ocupam níveis intermediários (onívoros) e elevados (carnívoros) nas cadeias tróficas. Portanto, a similaridade nos padrões de aumento e diminuição do IBR Bioacumulação dos peixes em relação à outros organismos, sobretudo os camarões, indica transferência trófica dos elementos associados ao MLD.

Tabela 6: Concentração média de metais (mg.Kg-1) no músculo de peixes (onívoros e carnívoros) coletados nos diferentes setores do ambiente marinho durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso),Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2024 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), comparadas com a concentração média de metais no músculo de peixes (onívoros e carnívoros) coletados na região costeira capixaba entre dez 2015 a fev 2016 (Relatório Técnico - RT EcoConservation 065/16). ”NA” significa que não há informação sobre a concentração do metal. A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Concentrações dos metais abaixo dos dados pretéritos estão destacadas em verde enquanto concentrações acima dos valores pretéritos estão destacadas em vermelho. Classificação por Setores e por Estações de coleta: **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7– a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13– a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15– a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 1 (SD01– a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02– a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03– a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13– a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30– a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13– a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul (SDS30– a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3– a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3– a partir da Campanha 13), São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13); e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)]. Fonte: EcoConservation. Relatório Técnico - RT ECV 065/16. Monitoramento de bioacumulação (ictiofauna, carcinofauna e malacofauna) por metais, na região marinha adjacente à foz do rio Doce e sob possível influência do Material Ligado ao Desastre (MLD).

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	Peixes carnívoros/onívoros	1,990	0,008	0,019	0,230	9,580	0,480	0,015
		Barra do Riacho		2,330	0,004	0,031	0,130	1,950	0,160	0,016
		Regência (águas costeiras)		2,490	0,003	0,023	0,140	2,470	0,200	0,019
		Regência (interior da foz)		1,220	0,003	0,021	0,140	3,030	0,120	0,015
		Barra Seca (São Mateus)		4,450	0,003	0,014	0,110	1,600	0,140	0,011
		Barra Nova (São Mateus)		6,640	0,003	0,016	0,090	1,290	0,070	0,018
		Média		3,187	0,004	0,021	0,140	3,320	0,195	0,016
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 1 (set/out 2018)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	0,013	0,887	0,533	0,292	3,605	1,251	0,016
		Costa das Algas (CA)		1,003	0,191	1,992	0,390	5,016	2,395	0,176
		Degredo (DEG)		0,435	0,926	0,444	0,155	8,386	1,630	0,026
		Foz do rio Doce (FRD)		0,343	0,336	1,710	0,701	4,492	1,211	0,036
		Guarapari (GUA)		0,098	0,035	0,010	0,050	7,320	0,545	0,029
		Itaúnas (ITA)		0,057	1,818	2,830	0,312	6,520	1,756	0,110
		Vitória (VIX)		0,187	1,510	0,202	0,516	5,845	4,737	0,207

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	Peixes carnívoros/onívoros	1,990	0,008	0,019	0,230	9,580	0,480	0,015
		Barra do Riacho		2,330	0,004	0,031	0,130	1,950	0,160	0,016
		Regência (águas costeiras)		2,490	0,003	0,023	0,140	2,470	0,200	0,019
		Regência (interior da foz)		1,220	0,003	0,021	0,140	3,030	0,120	0,015
		Barra Seca (São Mateus)		4,450	0,003	0,014	0,110	1,600	0,140	0,011
		Barra Nova (São Mateus)		6,640	0,003	0,016	0,090	1,290	0,070	0,018
		Média		3,187	0,004	0,021	0,140	3,320	0,195	0,016
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	0,014	0,047	0,118	0,130	2,439	1,003	0,008
		Costa das Algas (CA)		0,049	0,856	0,095	0,106	12,602	1,017	0,020
		Degredo (DEG)		0,019	0,039	0,189	0,083	3,332	0,881	0,013
		Foz do rio Doce (FRD)		0,056	0,181	0,107	0,108	13,028	0,792	0,013
		Guarapari (GUA)		0,015	2,468	0,034	0,082	28,155	1,197	0,005
		Itaúnas (ITA)		0,007	0,035	0,065	0,075	5,470	0,676	0,006
		Vitória (VIX)		0,006	1,107	0,130	1,422	6,924	0,721	0,005
	Campanha 3 (set/out 2019)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	0,102	0,060	0,048	0,057	14,882	0,587	0,025
		Costa das Algas (CA)		0,112	0,220	0,352	0,053	0,385	0,734	0,038
		Degredo (DEG)		0,167	0,282	0,224	0,055	15,224	0,815	0,028
		Foz do rio Doce (FRD)		0,219	0,257	0,347	0,106	121,432	1,019	0,034
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,082	0,127	0,047	0,102	4,834	0,545	0,055
		Vitória (VIX)		0,187	0,225	0,232	0,060	0,440	0,936	0,014
	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	0,080	0,145	0,458	2,116	13,623	2,090	0,439
		Costa das Algas (CA)		0,094	0,186	0,304	0,885	29,162	0,823	0,222
		Degredo (DEG)		0,060	0,131	0,354	1,103	6,973	0,910	0,102
		Foz do rio Doce (FRD)		0,142	0,143	1,327	2,311	43,780	1,131	0,103
		Guarapari (GUA)		0,931	0,108	1,838	1,126	11,459	0,781	0,010
		Itaúnas (ITA)		0,014	0,222	0,352	0,481	12,898	0,828	0,171
		Vitória (VIX)		0,205	0,113	0,691	0,427	41,649	1,063	0,534
	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	0,014	0,187	0,652	0,994	65,330	1,534	0,313
		Costa das Algas (CA)		0,072	0,209	0,699	0,368	106,591	3,034	0,210
		Degredo (DEG)		0,237	0,146	0,627	1,375	69,932	1,535	0,079
		Foz do rio Doce (FRD)		0,142	0,161	1,501	1,230	69,229	1,732	0,149
		Guarapari (GUA)		0,050	0,128	0,093	0,103	901,572	3,522	0,098
		Itaúnas (ITA)		0,040	0,183	0,803	1,551	95,836	2,376	0,107
		Vitória (VIX)		0,079	0,208	0,515	0,855	162,931	4,777	0,194

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	Peixes carnívoros/onívoros	1,990	0,008	0,019	0,230	9,580	0,480	0,015
		Barra do Riacho		2,330	0,004	0,031	0,130	1,950	0,160	0,016
		Regência (águas costeiras)		2,490	0,003	0,023	0,140	2,470	0,200	0,019
		Regência (interior da foz)		1,220	0,003	0,021	0,140	3,030	0,120	0,015
		Barra Seca (São Mateus)		4,450	0,003	0,014	0,110	1,600	0,140	0,011
		Barra Nova (São Mateus)		6,640	0,003	0,016	0,090	1,290	0,070	0,018
		Média		3,187	0,004	0,021	0,140	3,320	0,195	0,016
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 6 (jul/ago 2021)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	0,050	0,058	0,609	0,638	2,478	0,590	0,596
		Costa das Algas (CA)		0,321	0,082	0,070	0,484	73,665	0,549	0,100
		Degredo (DEG)		0,173	0,040	0,268	3,710	32,540	2,266	0,124
		Foz do rio Doce (FRD)		0,148	0,026	0,251	2,723	66,500	1,335	0,067
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,049	0,066	0,976	1,001	12,142	0,986	0,584
		Vitória (VIX)		0,154	0,026	0,232	0,206	2,842	0,349	0,185
	Campanha 7 (mar 2022)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	0,093	0,064	0,296	0,223	57,010	0,461	0,029
		Costa das Algas (CA)		0,341	0,465	0,563	1,322	93,559	1,797	0,268
		Degredo (DEG)		0,147	0,216	0,899	1,600	125,164	2,199	0,030
		Foz do rio Doce (FRD)		0,450	0,979	0,463	22,832	131,604	5,797	0,099
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,134	0,032	0,261	0,159	18,628	0,314	0,032
		Vitória (VIX)		0,059	0,053	0,135	0,658	41,545	0,583	0,038
	Campanha 8 (set/out 2022)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	1,157	0,025	0,104	0,083	3,949	0,129	0,025
		Costa das Algas (CA)		1,792	0,023	0,211	0,103	7,894	0,789	0,030
		Degredo (DEG)		2,239	0,606	0,238	2,032	70,447	1,228	0,095
		Foz do rio Doce (FRD)		4,479	0,223	0,119	3,237	227,401	2,724	0,152
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		2,224	0,025	0,145	0,101	0,272	0,190	0,025
		Vitória (VIX)		3,327	0,285	0,179	0,967	231,929	1,057	0,310
	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	3,344	0,025	0,183	0,061	5,485	0,099	0,035
		Barra Seca (BS)		6,302	0,155	0,128	1,627	90,486	2,632	0,090
		Conceição da Barra (CB)		3,367	0,025	0,333	0,152	6,723	0,161	0,024
		Costa das Algas (CA)		1,986	0,025	0,183	0,046	5,263	0,078	0,040
		Degredo (DEG)		2,463	0,292	0,226	1,464	107,259	1,427	0,042
		Foz do rio Doce (FRD)		2,910	0,157	0,125	1,621	110,484	1,519	0,073
		Itaúnas (ITA)		1,665	0,025	0,107	0,058	4,420	0,095	0,029

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	Peixes carnívoros/onívoros	1,990	0,008	0,019	0,230	9,580	0,480	0,015
		Barra do Riacho		2,330	0,004	0,031	0,130	1,950	0,160	0,016
		Regência (águas costeiras)		2,490	0,003	0,023	0,140	2,470	0,200	0,019
		Regência (interior da foz)		1,220	0,003	0,021	0,140	3,030	0,120	0,015
		Barra Seca (São Mateus)		4,450	0,003	0,014	0,110	1,600	0,140	0,011
		Barra Nova (São Mateus)		6,640	0,003	0,016	0,090	1,290	0,070	0,018
		Média		3,187	0,004	0,021	0,140	3,320	0,195	0,016
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 10 (jun/jul 2023)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	3,785	0,025	0,241	0,163	8,409	0,102	0,027
		Barra Seca (BS)		2,802	0,025	0,148	0,034	3,904	0,087	0,025
		Conceição da Barra (CB)		1,153	0,024	0,169	0,097	3,191	0,103	0,027
		Costa das Algas (CA)		3,630	0,079	0,206	0,126	5,702	0,103	0,035
		Degredo (DEG)		3,767	0,025	0,169	0,059	7,649	0,102	0,031
		Foz do rio Doce (FRD)		2,595	0,028	0,169	0,235	5,534	0,114	0,169
		Itaúnas (ITA)		8,637	0,060	0,139	0,053	4,454	0,083	0,052
	Campanha 11 (jan 2024)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	3,516	0,056	0,707	0,138	4,791	0,202	0,051
		Barra Seca (BS)		2,756	0,048	0,059	0,195	1,478	0,156	0,043
		Conceição da Barra (CB)		2,031	0,100	5,019	0,248	13,324	0,572	0,059
		Costa das Algas (CA)		9,891	0,079	3,737	0,291	9,925	0,574	0,069
		Degredo (DEG)		3,830	0,098	3,496	0,151	9,308	0,452	0,054
		Foz do rio Doce (FRD)		3,882	0,059	1,075	0,162	3,178	0,258	0,052
		Itaúnas (ITA)		2,316	0,033	0,388	0,141	2,723	0,162	0,037
	Campanha 12 (jul 2024)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	4,927	0,146	2,127	0,162	6,055	0,548	0,074
		Barra Seca (BS)		2,372	0,059	1,371	0,280	5,053	0,288	0,048
		Conceição da Barra (CB)		6,176	0,087	0,757	0,165	3,249	0,268	0,047
		Costa das Algas (CA)		3,044	0,113	1,974	0,264	7,462	0,345	0,075
		Degredo (DEG)		4,687	0,142	3,127	0,132	6,738	0,745	0,058
		Foz do rio Doce (FRD)		5,537	0,134	1,478	0,162	5,175	0,423	0,051
		Itaúnas (ITA)		6,452	0,104	1,547	0,174	5,965	0,284	0,049
	Campanha 13 (jan/fev 2025)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	0,369	0,034	1,237	1,992	116,209	12,018	0,088
		Barra Seca (BS)		0,595	0,035	1,596	2,803	129,380	9,843	0,131
		Conceição da Barra (CB)		0,406	0,032	3,673	4,776	71,537	2,037	0,104
		Costa das Algas (CA)		0,408	0,030	2,128	4,632	111,410	12,676	0,089
		Degredo (DEG)		0,547	0,032	1,734	5,123	107,957	11,146	0,095
		Itaúnas (ITA)		0,350	0,032	2,409	2,719	142,427	10,928	0,086
		(PA04)		0,362	0,037	3,404	0,833	158,381	8,088	0,108
		Foz do rio Doce (FRD)		0,397	0,035	1,606	0,922	81,834	8,829	0,104
		São Matheus (SM)		0,290	0,034	1,674	0,868	76,999	6,402	0,124

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	Peixes carnívoros/onívoros	1,990	0,008	0,019	0,230	9,580	0,480	0,015
		Barra do Riacho		2,330	0,004	0,031	0,130	1,950	0,160	0,016
		Regência (águas costeiras)		2,490	0,003	0,023	0,140	2,470	0,200	0,019
		Regência (interior da foz)		1,220	0,003	0,021	0,140	3,030	0,120	0,015
		Barra Seca (São Mateus)		4,450	0,003	0,014	0,110	1,600	0,140	0,011
		Barra Nova (São Mateus)		6,640	0,003	0,016	0,090	1,290	0,070	0,018
		Média		3,187	0,004	0,021	0,140	3,320	0,195	0,016
	Campanha 14 (jul 2025)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	0,402	0,025	0,093	0,194	2,710	0,071	0,070
		Barra Seca (BS)		0,537	0,033	0,191	0,080	3,488	0,136	0,125
		Costa das Algas (CA)		0,504	0,033	0,255	0,098	5,483	0,171	0,155
		Conceição da Barra (CB)		0,570	0,033	0,310	0,091	117,114	0,449	0,147
		Degredo (DEG)		0,599	0,040	0,807	0,392	10,843	0,370	0,229
		Itaúnas (ITA)		0,419	0,039	0,673	0,289	86,949	0,417	0,185
		(PA04)		0,258	0,036	0,658	0,282	184,818	0,595	0,215
		Foz do rio Doce (FRD)		0,507	0,030	0,555	0,306	66,234	2,680	0,135
		São Matheus (SM)		0,600	0,017	0,190	0,189	84,762	0,505	0,123
	Campanha 15 (jan/fev 2025)	Barra Nova (BN)	Peixes carnívoros	0,594	0,013	<0,004	1,399	13,168	<0,05	0,019
		Barra Seca (BS)		0,489	0,031	<0,004	<0,05	31,316	<0,05	<0,005
		Costa das Algas (CA)		0,561	0,029	0,714	<0,05	254,755	1,003	<0,005
		Conceição da Barra (CB)		0,515	0,029	0,150	0,161	24,965	<0,05	<0,005
		Degredo (DEG)		0,492	0,025	<0,004	<0,05	60,688	<0,05	<0,005
		Itaúnas (ITA)		0,408	0,026	0,461	<0,05	7,342	0,356	<0,005
		(PA04)		0,591	0,027	<0,004	<0,05	<0,1	<0,05	<0,005
		Foz do rio Doce (FRD)		0,563	0,030	<0,004	<0,05	146,079	1,463	<0,005
		São Matheus (SM)		0,720	0,026	1,452	<0,05	158,305	0,820	<0,005
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 1 (set/out 2018)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	0,024	1,050	0,154	0,967	7,808	2,216	0,026
		Costa das Algas (CA)		0,743	0,072	2,944	0,667	3,104	0,701	0,020
		Degredo (DEG)		1,997	1,075	0,516	0,184	4,831	6,168	0,023
		Foz do rio Doce (FRD)		1,169	0,185	2,799	1,153	5,571	2,987	0,069
		Guarapari (GUA)		0,207	0,053	0,118	0,094	0,434	0,721	0,058
		Itaúnas (ITA)		0,033	0,923	0,763	0,074	2,675	1,235	0,046
		Vitória (VIX)		0,143	0,062	0,509	0,343	9,922	23,766	0,241
	Campanha 2 (jan/fev 2019)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,051	0,650	0,170	0,202	30,982	0,933	0,007
		Degredo (DEG)		0,098	0,045	0,457	0,122	2,824	0,979	0,015

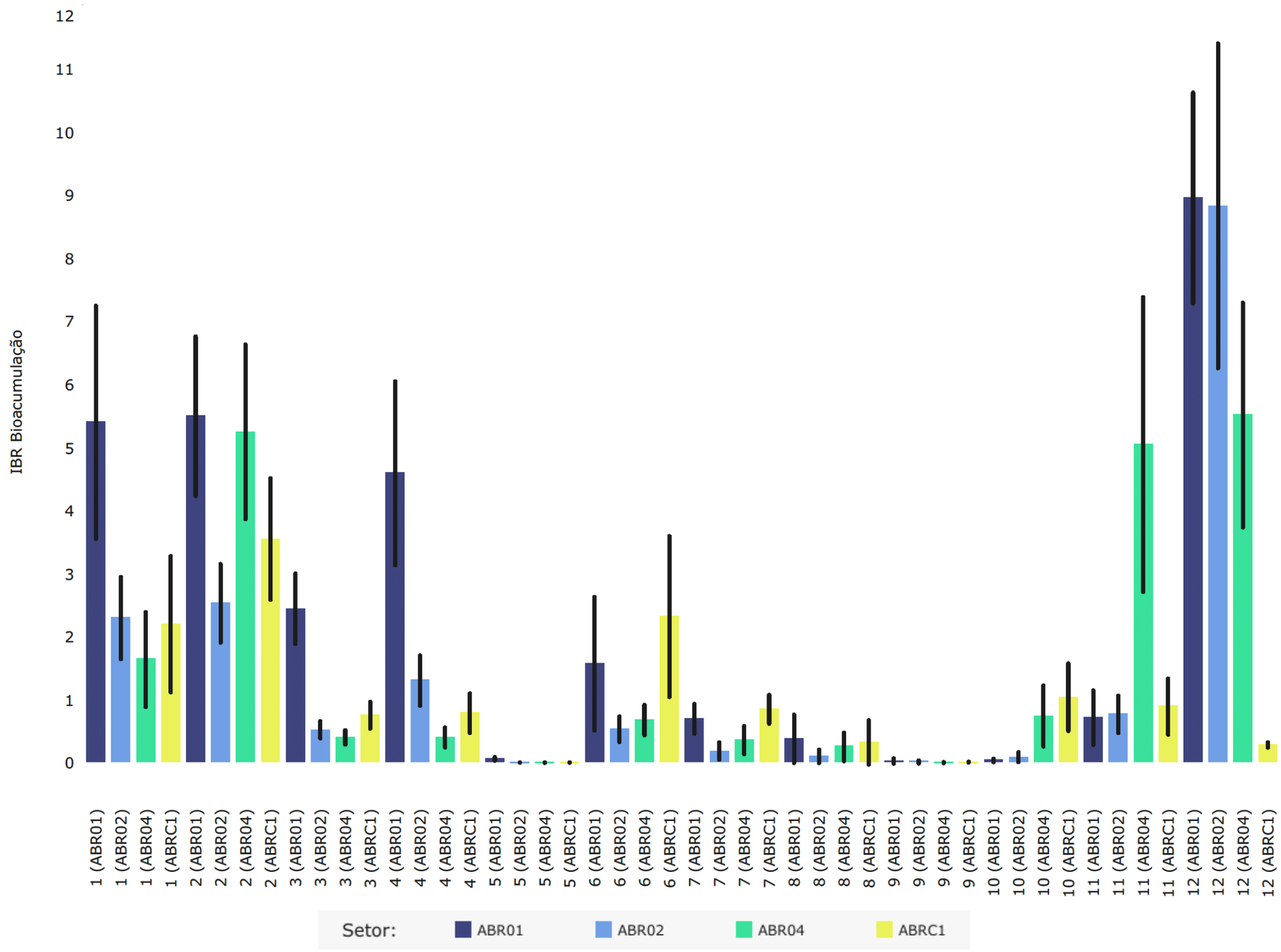
Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	Peixes carnívoros/onívoros	1,990	0,008	0,019	0,230	9,580	0,480	0,015
		Barra do Riacho		2,330	0,004	0,031	0,130	1,950	0,160	0,016
		Regência (águas costeiras)		2,490	0,003	0,023	0,140	2,470	0,200	0,019
		Regência (interior da foz)		1,220	0,003	0,021	0,140	3,030	0,120	0,015
		Barra Seca (São Mateus)		4,450	0,003	0,014	0,110	1,600	0,140	0,011
		Barra Nova (São Mateus)		6,640	0,003	0,016	0,090	1,290	0,070	0,018
		Média		3,187	0,004	0,021	0,140	3,320	0,195	0,016
		Foz do rio Doce (FRD)		0,043	0,103	0,066	0,120	20,988	1,446	0,120
		Guarapari (GUA)		0,005	1,571	0,005	0,069	67,072	0,732	0,005
		Itaúnas (ITA)		0,010	0,033	0,133	0,079	18,983	0,642	0,008
		Vitória (VIX)		0,060	1,994	0,259	0,211	9,104	1,118	0,005
	Campanha 3 (set/out 2019)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	0,119	0,072	0,054	0,050	12,659	0,713	0,028
		Costa das Algas (CA)		0,162	0,232	0,429	0,185	0,519	0,881	0,020
		Degredo (DEG)		0,258	0,282	0,249	0,059	9,711	0,841	0,027
		Foz do rio Doce (FRD)		0,083	0,229	0,301	0,131	69,646	1,005	0,013
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,070	0,039	0,021	0,073	0,830	0,526	0,018
		Vitória (VIX)		0,294	0,351	0,329	0,061	3,632	0,988	0,024
	Campanha 4 (jan/fev 2020)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	0,090	0,056	0,057	0,084	26,120	1,035	0,051
		Costa das Algas (CA)		0,014	0,154	0,850	0,251	15,203	0,762	0,230
		Degredo (DEG)		0,056	0,205	0,779	1,192	13,527	1,040	0,020
		Foz do rio Doce (FRD)		0,272	0,111	1,280	2,531	42,256	1,145	0,082
		Guarapari (GUA)		1,062	0,101	1,477	0,978	43,570	1,134	0,076
		Itaúnas (ITA)		0,014	0,219	1,067	0,809	10,810	0,819	0,388
		Vitória (VIX)		0,061	0,149	0,576	1,616	26,060	1,112	0,053
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 5 (jan/fev 2021)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,043	0,330	4,006	3,615	151,349	3,723	2,016
		Degredo (DEG)		0,655	0,279	4,272	9,907	272,281	5,616	0,148
		Foz do rio Doce (FRD)		0,100	0,128	0,586	1,206	69,013	2,129	0,076
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,067	0,321	1,088	0,579	28,784	1,727	0,129
		Vitória (VIX)		0,006	0,102	0,649	1,453	47,440	2,919	0,026
	Campanha 6 (jul/ago/fev 2021)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,134	0,014	0,171	0,092	3,773	0,204	0,095
		Degredo (DEG)		0,187	0,057	0,344	1,606	57,176	1,690	0,149

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	Peixes carnívoros/onívoros	1,990	0,008	0,019	0,230	9,580	0,480	0,015
		Barra do Riacho		2,330	0,004	0,031	0,130	1,950	0,160	0,016
		Regência (águas costeiras)		2,490	0,003	0,023	0,140	2,470	0,200	0,019
		Regência (interior da foz)		1,220	0,003	0,021	0,140	3,030	0,120	0,015
		Barra Seca (São Mateus)		4,450	0,003	0,014	0,110	1,600	0,140	0,011
		Barra Nova (São Mateus)		6,640	0,003	0,016	0,090	1,290	0,070	0,018
		Média		3,187	0,004	0,021	0,140	3,320	0,195	0,016
		Foz do rio Doce (FRD)		0,219	0,029	0,257	2,459	86,343	1,722	0,085
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,057	0,076	0,765	0,777	9,118	0,758	0,738
		Vitória (VIX)		0,385	0,026	0,265	0,389	1,775	0,290	0,257
	Campanha 7 (mar 2022)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	0,063	0,030	0,195	0,372	38,013	0,389	0,024
		Costa das Algas (CA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Degredo (DEG)		0,155	0,710	0,690	3,274	156,232	2,261	0,104
		Foz do rio Doce (FRD)		0,534	1,288	0,364	43,589	99,774	4,394	0,179
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		0,068	0,020	0,289	0,208	6,715	0,209	0,030
		Vitória (VIX)		0,042	0,020	0,135	0,146	4,045	0,095	0,040
	Campanha 8 (set/out 2022)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	0,726	0,024	0,098	0,038	3,590	0,225	0,024
		Costa das Algas (CA)		1,583	0,026	0,226	0,063	7,026	0,320	0,024
		Degredo (DEG)		2,016	0,230	0,104	1,716	66,169	2,247	0,215
		Foz do rio Doce (FRD)		3,611	0,426	0,121	3,194	121,192	2,997	0,318
		Guarapari (GUA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Itaúnas (ITA)		2,797	0,024	0,164	0,081	0,112	0,203	0,024
		Vitória (VIX)		3,227	0,187	0,156	0,923	95,941	1,534	0,175
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 9 (jan/fev 2023)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Barra Seca (BS)		0,994	1,175	0,130	1,213	197,079	1,359	0,099
		Conceição da Barra (CB)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		Costa das Algas (CA)		0,762	0,024	0,194	0,271	6,041	0,107	0,053
		Degredo (DEG)		2,252	0,807	0,377	1,752	240,865	2,599	0,181
		Foz do rio Doce (FRD)		5,500	0,270	0,235	2,088	115,884	3,201	0,175
		Itaúnas (ITA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Campanha 10 (jun/jul 2023)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	2,096	0,024	0,366	0,367	16,213	0,175	0,024
		Barra Seca (BS)		2,237	0,090	0,156	0,074	3,679	0,093	0,088
		Conceição da Barra (CB)		0,912	0,025	0,117	0,027	1,495	0,049	0,024

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	Peixes carnívoros/onívoros	1,990	0,008	0,019	0,230	9,580	0,480	0,015
		Barra do Riacho		2,330	0,004	0,031	0,130	1,950	0,160	0,016
		Regência (águas costeiras)		2,490	0,003	0,023	0,140	2,470	0,200	0,019
		Regência (interior da foz)		1,220	0,003	0,021	0,140	3,030	0,120	0,015
		Barra Seca (São Mateus)		4,450	0,003	0,014	0,110	1,600	0,140	0,011
		Barra Nova (São Mateus)		6,640	0,003	0,016	0,090	1,290	0,070	0,018
		Média		3,187	0,004	0,021	0,140	3,320	0,195	0,016
		Costa das Algas (CA)		2,764	0,025	0,323	0,320	10,495	0,262	0,024
		Degredo (DEG)		2,803	0,027	0,164	0,087	4,466	0,078	0,036
		Foz do rio Doce (FRD)		2,461	0,046	0,161	0,067	5,522	0,096	0,044
		Itaúnas (ITA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	Campanha 11 (jan 2024)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	2.520	0.052	0.709	<0,012	2.250	0.135	<0,024
		Barra Seca (BS)		1.678	0.048	0.035	0.226	1.797	0.256	<0,024
		Conceição da Barra (CB)		2.983	0.096	0.757	<0,012	2.585	0.162	0.038
		Costa das Algas (CA)		2.721	0.070	4.080	0.608	13.367	0.715	0.063
		Degredo (DEG)		1.107	0.103	3.455	<0,012	8.090	0.628	0.073
		Foz do rio Doce (FRD)		2.421	0.074	1.632	0.323	5.425	0.447	0.043
		Itaúnas (ITA)		1.015	0.074	1.059	0.079	3.332	0.393	0.033
	Campanha 12 (jul 2024)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	8,020	0,252	3,560	0,098	9,170	0,720	<0,024
		Barra Seca (BS)		5,858	0,136	3,199	0,103	7,621	0,652	0,064
		Conceição da Barra (CB)		2,905	0,056	1,850	0,120	3,859	0,198	0,049
		Costa das Algas (CA)		2,156	0,051	2,990	0,151	3,288	0,152	<0,024
		Degredo (DEG)		4,596	0,089	3,188	0,130	5,372	0,651	0,028
		Foz do rio Doce (FRD)		5,361	0,096	1,016	0,100	3,492	0,429	0,037
		Itaúnas (ITA)		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Dados PMBA/Fest-UFES - Ecotoxicologia	Campanha 13 (jan/fev 2025)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	0,727	0,034	1,688	2,316	142,482	18,201	0,102
		Barra Seca (BS)		0,593	0,035	1,213	2,232	151,691	13,141	0,092
		Conceição da Barra (CB)		0,459	0,032	2,294	3,067	101,024	4,177	0,113
		Costa das Algas (CA)		0,434	0,034	2,090	4,371	119,996	2,166	0,094
		Degredo (DEG)		0,393	0,034	1,749	6,331	140,982	8,559	0,101
		Itaúnas (ITA)		0,374	0,035	1,139	4,375	147,416	3,643	0,092
		(PA04)		0,389	0,038	2,228	0,849	171,714	5,495	0,118
		Foz do rio Doce (FRD)		0,456	0,035	2,145	1,197	108,317	12,271	0,109
		São Matheus (SM)		0,618	0,035	5,366	1,280	59,693	26,667	0,118

Fonte de Dados	Período de coleta	Localidades	Espécies	As (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Cu (mg Kg^{-1})	Fe (mg Kg^{-1})	Mn (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})
Dados pretéritos (Relatório Técnico - RT ECV 065/16)	dez/2015 a fev/2016	Santa Cruz (Aracruz)	Peixes carnívoros/onívoros	1,990	0,008	0,019	0,230	9,580	0,480	0,015
		Barra do Riacho		2,330	0,004	0,031	0,130	1,950	0,160	0,016
		Regência (águas costeiras)		2,490	0,003	0,023	0,140	2,470	0,200	0,019
		Regência (interior da foz)		1,220	0,003	0,021	0,140	3,030	0,120	0,015
		Barra Seca (São Mateus)		4,450	0,003	0,014	0,110	1,600	0,140	0,011
		Barra Nova (São Mateus)		6,640	0,003	0,016	0,090	1,290	0,070	0,018
		Média		3,187	0,004	0,021	0,140	3,320	0,195	0,016
	Campanha 14 (jul 2025)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	0,499	0,029	0,131	0,110	2,009	0,145	0,087
		Barra Seca (BS)		0,504	0,029	0,363	0,080	3,504	22,397	0,095
		Costa das Algas (CA)		0,537	0,034	0,227	0,094	3,499	0,159	0,154
		Conceição da Barra (CB)		0,258	0,029	0,225	0,097	362,246	1,300	0,181
		Degredo (DEG)		0,587	0,037	0,713	0,269	20,185	0,338	0,192
		Itaúnas (ITA)		0,297	0,036	0,604	0,247	27,240	0,376	0,199
		(PA04)		0,552	0,035	0,556	0,235	149,498	0,446	0,189
		Foz do rio Doce (FRD)		0,524	0,029	0,475	0,235	35,709	2,172	0,133
		São Matheus (SM)		0,537	0,018	0,189	0,257	446,999	1,146	0,137
	Campanha 15 (jan/fev 2026)	Barra Nova (BN)	Peixes onívoros	0,678	0,020	0,949	0,530	4133,846	18,432	<0,005
		Barra Seca (BS)		0,433	0,032	<0,004	0,143	8,672	0,171	<0,005
		Costa das Algas (CA)		0,721	0,031	<0,004	<0,05	<0,1	<0,05	<0,005
		Conceição da Barra (CB)		0,413	0,032	<0,004	<0,05	1,621	<0,05	<0,005
		Degredo (DEG)		0,480	0,023	<0,004	<0,05	1,607	<0,05	<0,005
		Itaúnas (ITA)		0,508	0,023	<0,004	<0,05	<0,1	<0,05	<0,005
		Piraquê-Açu (PA04)		0,792	0,025	<0,004	<0,05	7,161	<0,05	<0,005
		Foz do rio Doce (FRD)		0,585	0,027	0,308	0,065	31,931	0,137	<0,005
		São Matheus (SM)		0,999	0,020	<0,004	<0,05	<0,1	<0,05	<0,005

Figura 11: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setor e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



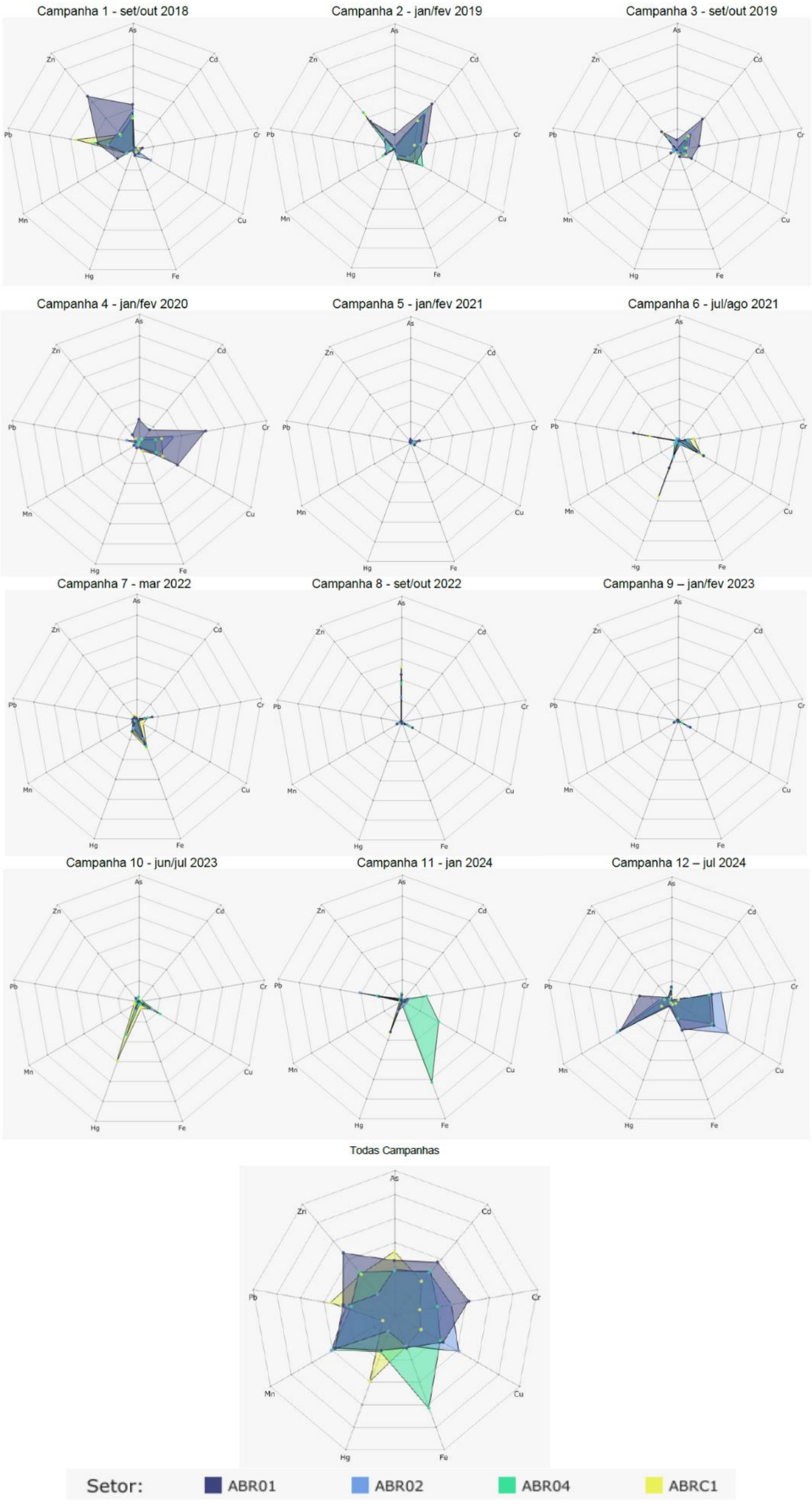
O gráfico de barras dos valores do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação), gerado para cada estação de coleta avaliada e cada Campanha realizada, permite identificar tendências espaço-temporais da bioacumulação dos metais e As no coral *Mussimilia harttii* e no hidrocoral *Millepora alcicornis* coletados no Setor Abrolhos do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. De maneira geral, a Figura 11 demonstra que os maiores valores do IBR Bioacumulação foram observados entre a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) e a Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso). Neste caso, os valores mais proeminentes do índice foram observados na estação de coleta ABR01, em todas as Campanhas realizadas. A estação de coleta ABR04 também se destacou, apresentando um alto valor do IBR Bioacumulação na Campanha 2. Além disso, um aumento expressivo no valor do índice foi observado em todos os Setores avaliados, exceto ABRC1, na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e, sobretudo, na Campanha 12 (jul 2024 – período seco).

Na Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), foi observada uma importante redução nos valores do IBR Bioacumulação, os quais se aproximaram de zero em todos as estações de coleta analisadas, indicando assim baixos níveis de bioacumulação de metais e As. Entretanto, na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco) foi observado um aumento no valor do IBR Bioacumulação, que perdurou, com discretas oscilações, até a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Este padrão indicou um novo aumento na contaminação dos corais e hidrocorais por metais e As, com destaque para os maiores valores do índice não só na estação de coleta ABR01, mas também na estação de coleta ABRC1.

Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), os valores do IBR Bioacumulação apresentaram novamente uma redução em todas as estações amostrais, com seus valores tendendo à zero. Por sua vez, na Campanha 10 (jan/jul 2023 – período seco), os valores do IBR Bioacumulação aumentaram novamente nas estações amostrais ABRC1 e ABR04. Esse padrão de aumento foi mantido na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), além de ter sido observado um expressivo aumento no valor do IBR Bioacumulação na estação amostral ABR04. Na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), o valor do índice na estação amostral ABR04 se manteve elevado, tendo sido também observado um expressivo aumento nos valores do IBR Bioacumulação nos corais e hidrocorais coletados nas estações amostrais ABR01 e ABR02, os quais atingiram níveis semelhantes àquele observado na estação amostral ABR04.

Com base nos resultados descritos acima, denota-se a ocorrência de uma tendência de alternância nos valores do IBR Bioacumulação, indicando flutuações temporais importantes no nível de contaminação dos corais e hidrocorais por metais e As. A observação de períodos de reincidência da bioacumulação de metais e As nos corais e hidrocorais da região dos Abrolhos, ao longo do período de monitoramento, indica que esses organismos estão sendo expostos a esses contaminantes de forma crônica, tornando-os assim vulneráveis aos efeitos tóxicos desses contaminantes aquáticos. Os impactos por metais e As em organismos coralíneos podem incluir o branqueamento, redução nas taxas de crescimento e calcificação, bem como diminuição da diversidade e abundância (van Dam et al., 2011).

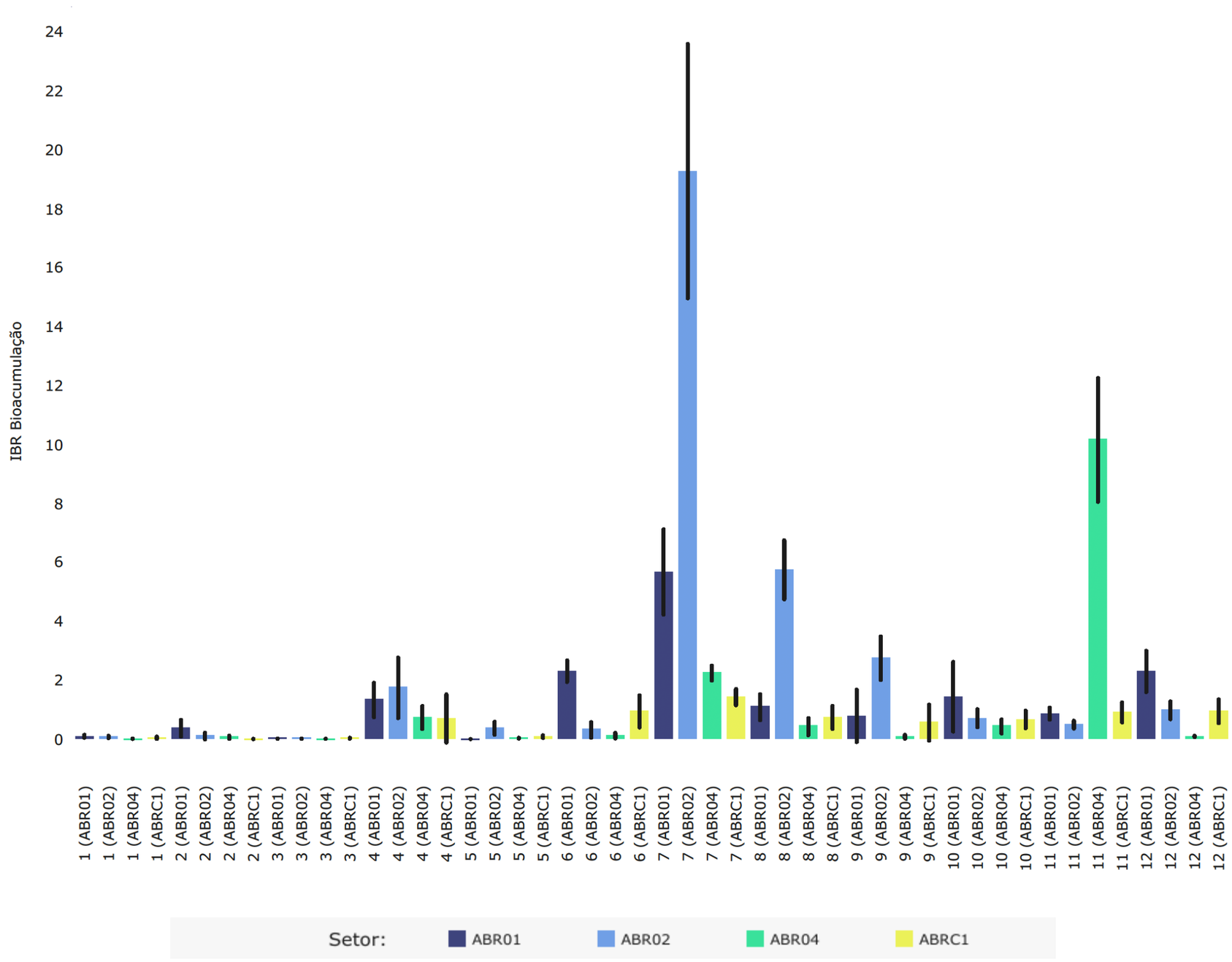
Figura 12: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por Setor e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



Os gráficos de radar apresentados na Figura 12 foram obtidos a partir do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) de cada estação amostral avaliada e de cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e do As no coral *Mussimilia harttii* e no hidrocoral *Millepora alcicornis* coletados no Setor Abrolhos do Ambiente Marinho, bem como a contribuição de cada um destes contaminantes para a composição do IBR Bioacumulação. A Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco) foram aquelas que apresentaram os maiores valores do IBR Bioacumulação, bem como também a maior diversidade de elementos contaminantes compondo o valor deste índice.

Foi possível notar que todos os elementos analisados apresentaram valores altos de contribuição para a composição do IBR Bioacumulação, sendo que a participação de cada um destes elementos foi dependente da Campanha de amostragem. Quando todas as campanhas realizadas são analisadas em conjunto, os metais que mais se destacaram na composição do valor do IBR Bioacumulação na estação amostral ABR01 foram o Zn, Cr e Mn. Na estação amostral ABR02, os destaques foram do Mn e Cu. Na estação amostral ABR04, os metais que mais contribuíram na composição do índice foram o Fe e Mn, dois constituintes principais do MLD. Na estação amostral ABRC1, os metais que mais contribuíram para a composição do valor do IBR Bioacumulação nos corais e hidrocorais foram o Hg, Pb e As. Neste contexto, vale lembrar que o As, Hg e Pb são contaminantes altamente tóxicos para a biota aquática, e que os demais metais analisados podem também ser tóxicos em concentrações excessivas. Por exemplo, apesar de ser um micronutriente essencial, o Cu pode causar efeitos negativos na reprodução de organismos coralíneos e, consequentemente, danos ecológicos aos ambientes recifais (van Dam et al., 2011).

Figura 13: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de fitoplâncton de Abrolhos coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setor e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



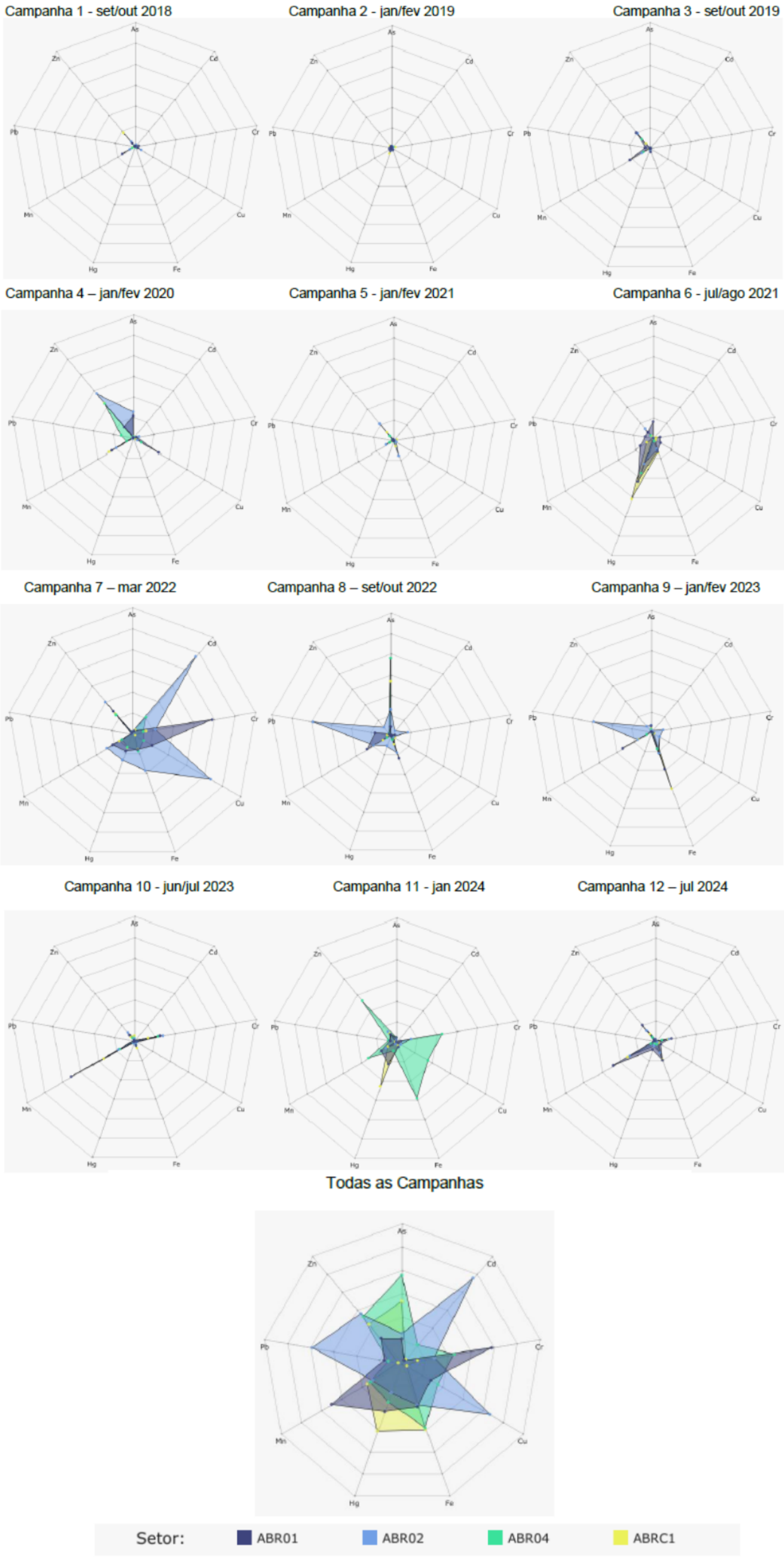
O gráfico de barras dos valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) em fitoplâncton, gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, está representado na Figura 13. Este gráfico permite realizar comparações das tendências espaço-temporais de bioacumulação dos metais e As no fitoplâncton da Região de Abrolhos, no Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. O IBR Bioacumulação integra diferentes respostas biológicas e origina um indicativo/valor sintético e holístico do estado de "saúde" dos organismos analisados.

Os valores do IBR Bioacumulação do fitoplâncton foram baixos nas primeiras Campanhas, com um aumento significativo na Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso). O maior valor do índice foi observado na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso). De maneira geral, o Setor ABR02 apresentou os maiores valores do IBR Bioacumulação ao longo do monitoramento, exceto na Campanha 11, onde o maior valor do índice foi registrado no Setor ABR04.

Na Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), destacaram-se os Setores ABR01 e ABR02, que apresentaram os maiores valores do IBR Bioacumulação. Na Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso) e na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), foi observada uma diminuição dos valores do índice. No entanto, estes voltaram a demonstrar um incremento expressivo na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), em todos os Setores avaliados.

Até a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), foi observado um declínio gradual no valor do IBR Bioacumulação, em todos os Setores avaliados. No entanto, a Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) se destacou por apresentar um aumento abrupto no valor do IBR Bioacumulação no Setor ABR04. Na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), os valores do índice, em todos os Setores avaliados, retornaram à niveis relativamente mais baixos, comparáveis àqueles observados nas Campanhas anteriores.

Figura 14: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de fitoplâncton de Abrolhos coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por Setor e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



Na Figura 14, que apresenta os gráficos de radar derivados do IBR Bioacumulação do fitoplâncton coletado em Abrolhos, observa-se que na Campanha 4 (jan/fev 2023 – período chuvoso) ocorreu o primeiro pico no valor do IBR Bioacumulação para o fitoplâncton de Abrolhos. Esta Campanha foi seguida pela Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), que se destacaram por apresentarem os maiores valores do índice e uma diversidade de elementos bioacumulados no fitoplâncton de Abrolhos.

Na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), houve contribuição expressiva do Hg na composição do valor do IBR Bioacumulação, em todos os Setores avaliados. Já na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), todos os elementos analisados contribuiram, de certa forma, na composição do valor do IBR Bioacumulação. O maior valor do índice foi observado no Setor ABR02, onde se destacaram os metais Cd e Cu. O Setor ABR01 também apresentou um aumento expressivo no valor do IBR Bioacumulação, tendo este sido influenciado pelo Cr. Os Setores ABRC1 e ABR04 apresentaram valores do índice comparativamente mais altos que aqueles observados nas Campanhas anteriores, com destaque para o Zn em ambos os Setores, e também para o Cd no Setor ABR04.

A Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) foi caracterizada por um declínio nos valores do IBR Bioacumulação, mas que ainda se mantiveram mais elevados do que aqueles observados em Campanhas anteriores. O Setor mais impactado foi o ABR02, com as concentrações de Pb contribuindo fortemente na composição do valor do IBR Bioacumulação. Na Campanha 9 (mar 2022 - período chuvoso) e na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), os valores do índice reduziram ainda mais na Campanha 10, exceto no Setor ABR01, onde foi observado um incremento no valor do IBR Bioacumulação em relação àquele registrado na Campanha anterior. Este aumento no valor do índice foi influenciado principalmente pelo Mn.

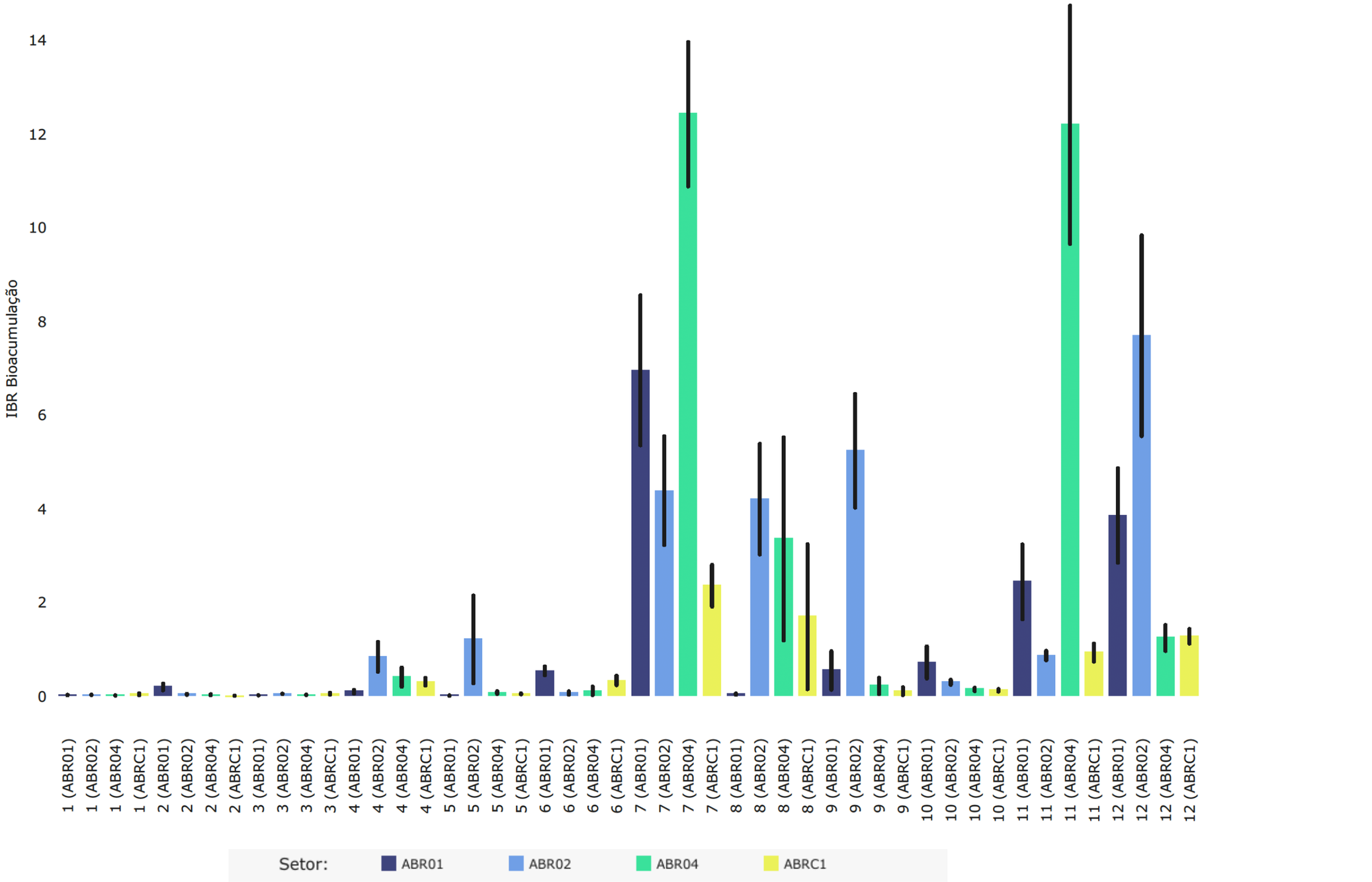
Na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), o pico no valor do IBR Bioacumulação observado no Setor ABR04 foi influenciado pelos metais essenciais Zn, Fe, Cr e Mn. Apesar do aumento expressivo no valor do IBR Bioacumulação neste Setor na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), este reduziu drasticamente na Campanha 12 (jul 2024 – período seco).

Quando todas as Campanhas realizadas foram analisadas em conjunto, foi observado que a composição do valor do IBR Bioacumulação na estação amostral ABR01 contou com importantes contribuições do Cr e Mn. Na estação amostral ABR02, as maiores contribuições foram do Cd, Pb, Zn e Cu. Por sua vez, As e Fe foram os elementos que mais contribuíram para a composição do valor do IBR Bioacumulação na estação amostral ABR04. Por fim, na estação amostral ABRC1, os elementos que mais contribuíram para a composição do valor do índice foram o Hg, As, Zn e Fe.

Cabe destacar que elementos tóxicos, como o As, Cd, Hg e Pb, contribuiram expressivamente na composição dos valores do IBR Bioacumulação em determinadas Campanhas e quando todas as Campanhas foram avaliadas conjuntamente. Outros elementos, como o Fe e Zn, apesar de essenciais à vida aquática, também são tóxicos quando presentes em concentrações suprafisiológicas. Portanto,

a presença de metais e As no ambiente aquático pode causar efeitos na estrutura da comunidade planctônica e nas cadeias tróficas, uma vez que o fitoplâncton atua como produtor primário.

Figura 15: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de zooplâncton de Abrolhos coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setor e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



O gráfico de barras dos valores do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) em zooplâncton apresentado na Figura 15, gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, permite identificar tendências espaço-temporais na bioacumulação dos metais e As no zooplâncton do Setor Abrolhos do Ambiente Marinho, ao longo de todo o período do monitoramento.

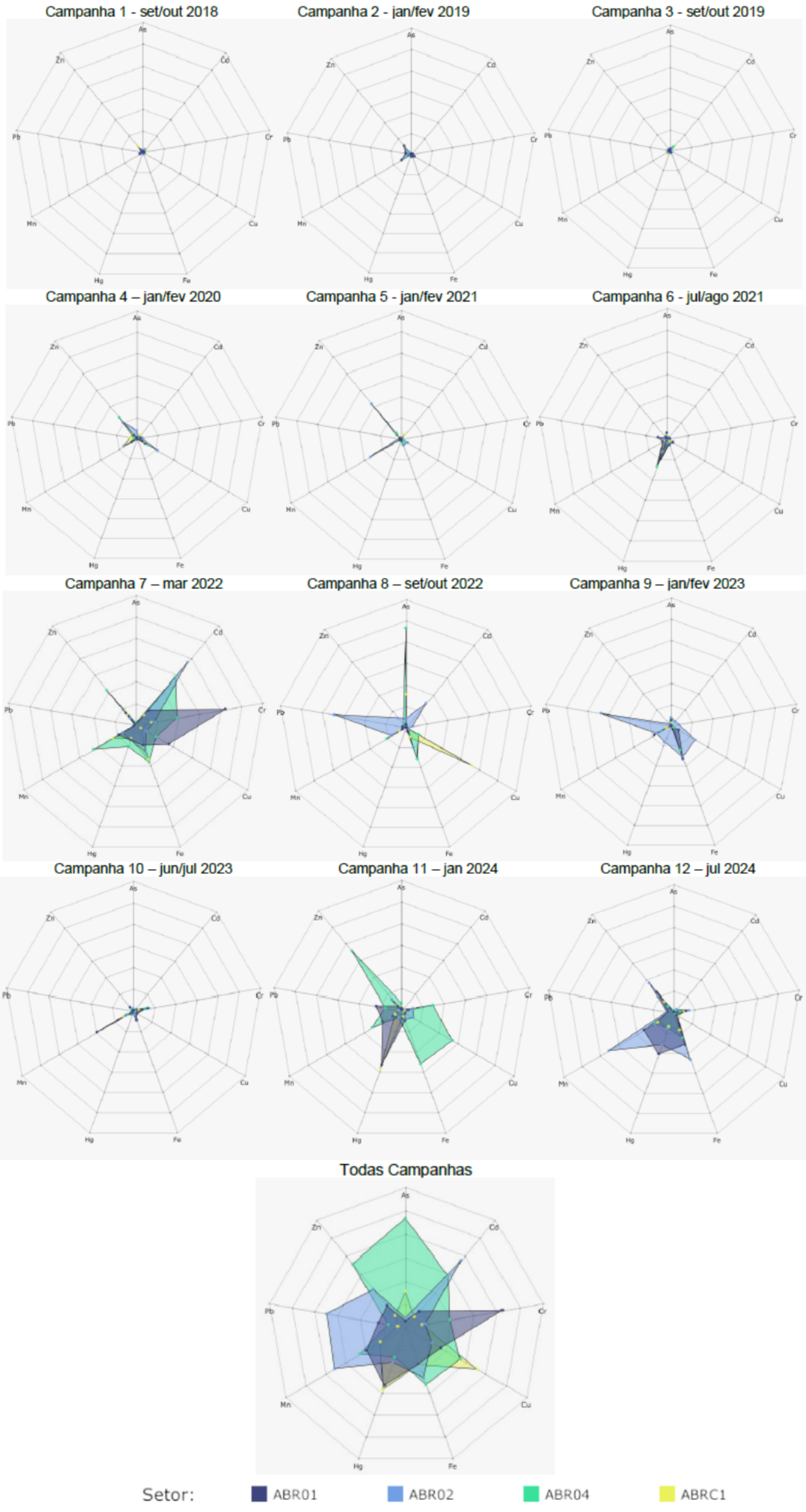
De maneira similar ao observado para o fitoplâncton, os valores de IBR Bioacumulação apresentaram seus picos a partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), apesar de um discreto aumento ter sido observado na Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso). Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) também foram observados picos nos valores do índice em Setores específicos. Na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) foi observada uma redução nos valores do IBR Bioacumulação, com picos de valores do índice sendo registrados novamente na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) na Campanha 12 (jul 2024 – período seco).

Na Campanha 7 (mar 2020 – período chuvoso), houve um aumento expressivo no valor do IBR Bioacumulação, em todos os Setores avaliados, sobretudo nos Setores ABR04 e ABR01. No entanto, o valor do índice no Setor ABR01 reduziu drasticamente na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Porém, apesar de mais baixos, os valores do IBR Bioacumulação nos demais Setores mantiveram-se superiores àqueles registrados nas Campanhas anteriores à Campanha 7 (mar 2020 – período chuvoso) e Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), o Setor ABR02 se destacou, permanecendo com um valor do IBR Bioacumulação semelhante àquele registrado na Campanha 7 (mar 2020 – período chuvoso). Ainda com relação ao Setor ABR02, foi observado um discreto aumento no valor do IBR Bioacumulação na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e, principalmente, na Campanha 12 (jul 2024 – período seco).

O Setor ABR04 apresentou seu segundo maior valor de índice de Bioacumulação na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), enquanto os demais Setores mantiveram-se com índices mais baixos. Estes, por sua vez, subiram consideravelmente na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), sobretudo em se tratando dos Setores ABR01 e ABR02.

Por fim, foi observado para o zooplâncton um padrão relativamente semelhante àquele descrito para o fitoplâncton, com picos de valores do IBR Bioacumulação na Campanha 7 (mar 2020 – período chuvoso) e Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso). No entanto, a Campanha 12 (jul 2024 – período seco) também foi importante no caso do zooplâncton, apresentando valores elevados de IBR Bioacumulação, em todos os Setores avaliados.

Figura 16: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de zooplâncton de Abrolhos coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por Setor e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



A Figura 16 apresenta os gráficos de radar derivados do IBR Bioacumulação do zooplâncton coletado em Abrolhos. Neste caso, foi observado que a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco) foram aquelas que mais se destacaram por apresentarem os maiores valores do índice e uma diversidade de elementos bioacumulados no zooplâncton de Abrolhos.

Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) foi observado o maior valor do IBR Bioacumulação no Setor ABR04. O valor do índice foi composto principalmente pelas concentrações do Cd, Zn, Mg e Fe. No Setor ABR01, foi observado o segundo maior valor do índice, o qual foi composto principalmente pela contribuição do Cr. Nos Setores ABR04 e ABRC1, foram observados valores comparativamente mais baixos do índice, com destaque para as contribuições do Cd e Fe, e do Mn e Fe, respectivamente.

Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), foi observada uma drástica redução no valor do IBR Bioacumulação nos Setores ABR01 e ABR04, enquanto que no Setor ABR02 o valor do índice se manteve similar àquele observado na Campanha anterior. Na Campanha 8, a composição do valor do índice no Setor ABR02 contou principalmente com as contribuições do Pb e Cd, enquanto o As e Fe foram os principais contribuintes na composição do valor do IBR Bioacumulação no Setor ABR04. No Setor ABRC1, o Cu foi o contaminante que mais contribuiu na composição do valor do índice.

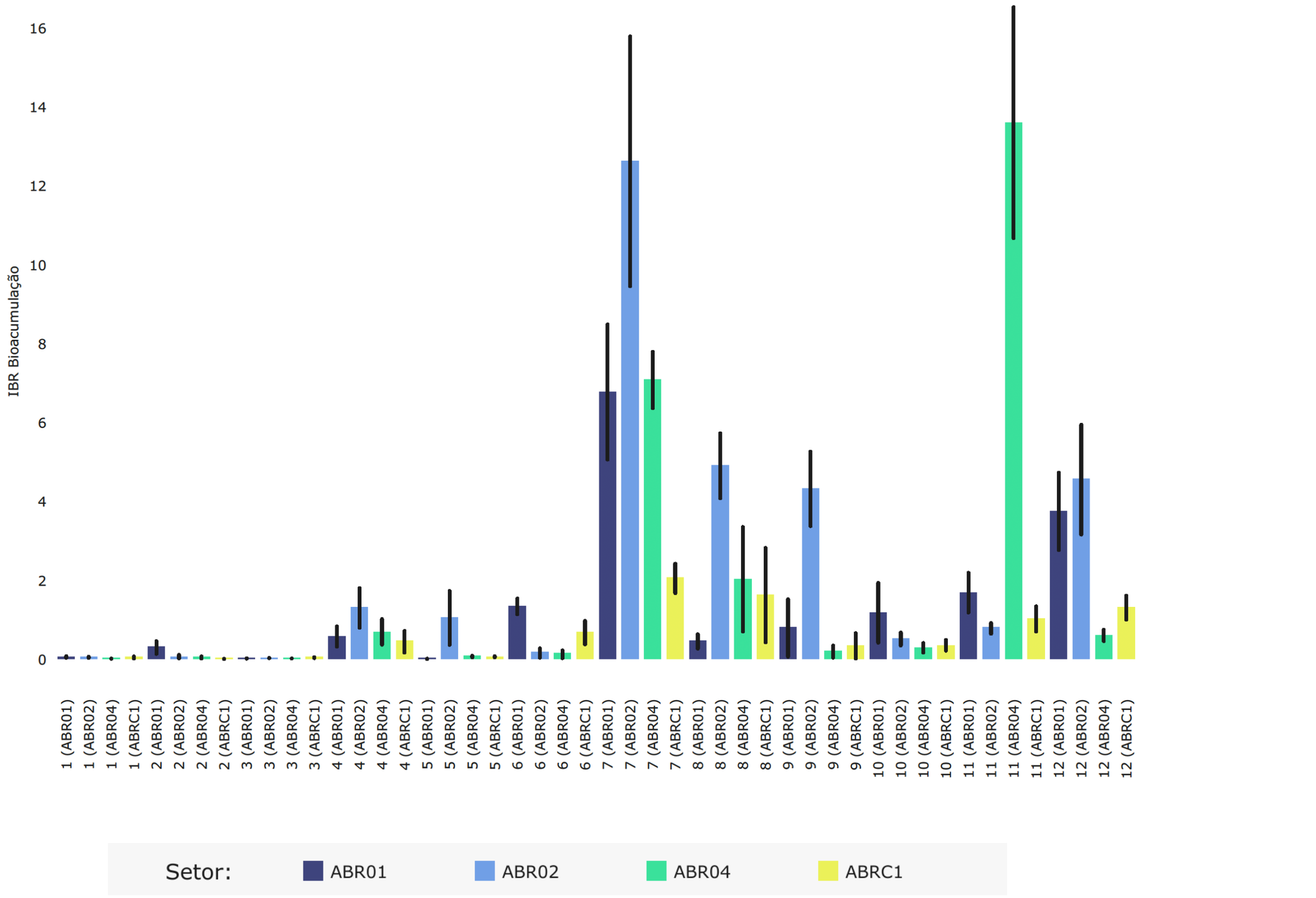
A Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) foi caracterizada por um elevado valor do IBR Bioacumulação no Setor ABR02. Neste Setor, novamente o Pb se destacou na composição do valor do índice, a qual contou também com a contribuição do Fe. Na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), ocorreu uma drástca redução nos valores do índice, em todos os Setores avaliados, exceto no ABR01, o qual teve o valor do índice sendo influenciado pelo Mn e, em menor grau, pelo Cr.

Na Campanha 11, foi observado o segundo maior valor do IBR Bioacumulação no Setor ABR04, que não havia apresentado, de maneira geral, altos valores do índice em outras Campanhas, quando comparado aos outros Setores. O valor do índice neste Setor foi composto principalmente pelo Zn, Fe e Cu, sendo que no Setor ABR01 a principal contribuição foi do Hg. Na Campanha 12, ainda foram observados valores elevados do IBR Bioacumulação, exceto no Setor ABR04. Por exemplo, o Setor ABR02 foi caracterizado por um pico de valor do IBR Bioacumulação nesta Campanha, onde se destacaram o Mn e Fe. Além destes, o Hg também contribuiu de forma significativa na composição do valor do índice no Setor ABR02.

Quando todas as Campanhas foram analisadas conjuntamente, as contribuições dos elementos na composição dos valores do IBR Bioacumulação foram distintas em cada Setor avaliado. No Setor ABR01, o valor do índice foi principalmente influenciado pelo Cr e Hg, enquanto o Cd, Pb e Mn se destacaram na composição do valor do IBR Bioacumulação no Setor ABR02. No Setor ABR04, o As foi o principal elemento na composição do valor do índice. No Setor ABRC1, o destaque foi para o Cu e Hg. A importante contribuição do As, Cd, Hg e Pb na composição dos valores do IBR Bioacumulação no zooplâncton da região de Abrolhos ressalta a bioacumulação de metais não essenciais nestes

organismos. Estes elementos, sobretudo o Hg, tem capacidade de sofrer biomagnificação nas cadeias alimentares e, portanto, impactar níveis tróficos superiores, como os consumidores secundários.

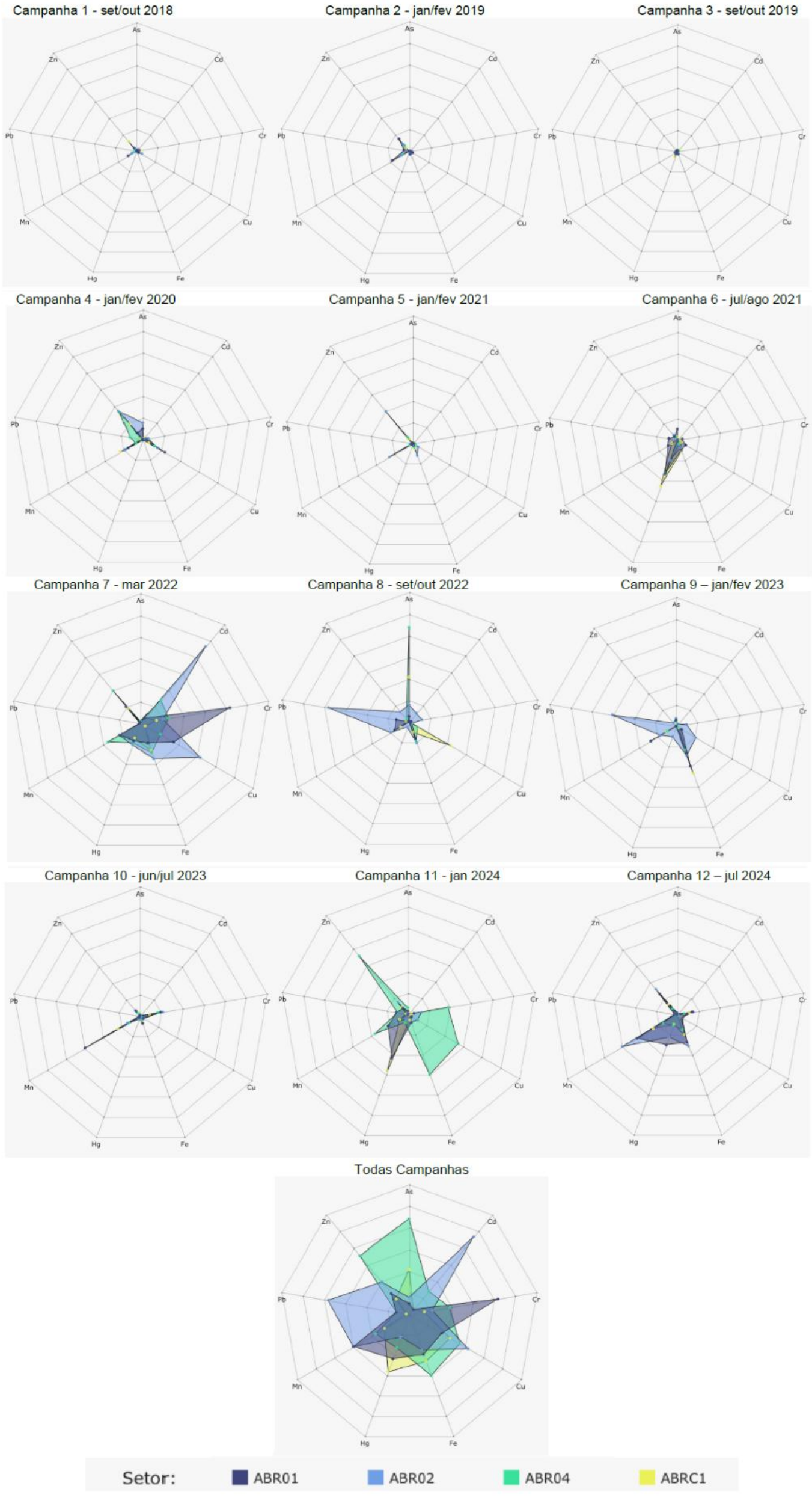
Figura 17: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de plâncton de Abrolhos (fitoplâncton e zooplâncton) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setor e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



O gráfico de barras dos valores do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação), gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, permite identificar tendências espaço-temporais na bioacumulação dos metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Setor Abrolhos do Ambiente Marinho, ao longo de todo o período do monitoramento.

De maneira geral, a Figura 17 demonstra que a bioacumulação de metais e As nos organismos do plâncton do Setor Abrolhos, ao longo de todo o período monitorado, tem seus valores aumentados a partir da Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso). O maior valor do índice foi observado na Campanha 7 (mar 2020 – período chuvoso) nas estações amostrais ABR01, ABR02 e ABRC1. Na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), o destaque foi para a estação amostral ABR04, na qual foi observado o maior valor de IBR Bioacumulação registrado ao longo de todo o período de monitoramento. Após a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), os valores do IBR Bioacumulação diminuíram até a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), tendo sido observado um novo e expressivo aumento no valor deste índice na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), especialmente na estação amostral ABR04. Na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), foi observado um aumento importante no valor do IBR Bioacumulação nas estações amostrais ABR01 e ABR02, bem como uma redução expressiva no valor deste índice para a estação amostral ABR04. Por fim, cabe destacar que, de forma geral, o padrão observado no valor do IBR Bioacumulação no plâncton coletado em Abrolhos é semelhante àquele observado para o plâncton coletado nas demais áreas de atuação do PMBA/Fest-UFES no Ambiente Marinho.

Figura 18: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de plâncton de Abrolhos (fitoplâncton e zooplâncton) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por Setor e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



A Figura 18 apresenta os gráficos de radar derivados do IBR Bioacumulação do plâncton coletado em Abrolhos. Neste caso, observa-se que a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco) foram aquelas que mais se destacaram por apresentarem os maiores valores do índice e uma diversidade de elementos bioacumulados no plâncton de Abrolhos.

A Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) foi aquela que apresentou os maiores valores de IBR Bioacumulação para a maioria das estações de coleta neste Setor (ABR01, ABR02 e ABRC1). Nesta Campanha, foi observado um maior destaque para o valor do IBR Bioacumulação na estação amostral ABR02, onde os metais Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn e Zn foram os contaminantes que mais contribuíram na composição do valor do índice, com destaque para o Cd e Cu. Por sua vez, os metais Cr, Mn, Cu, Fe, Hg e Zn foram os contaminantes mais relevantes na composição do valor do IBR Bioacumulação na estação amostral ABR01. Já na estação amostral ABRC1, o valor do IBR Bioacumulação foi composto principalmente pelos metais Mn, Hg, Fe, Cr e Zn.

Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), os elementos As, Cu, Fe, Mn e Zn foram os contaminantes que mais contribuíram na composição do valor do IBR Bioacumulação na estação amostral ABR04. Na estação amostral ABRC1, os elementos que apresentaram as maiores contribuições na composição do valor do índice foram o As e Cu. Porém, o Fe, Mn e Pb também contribuíram para tal. Por fim, a composição do valor do IBR Bioacumulação na estação amostral ABR01 esteve associada aos elementos As, Cr, Fe, Mn e Pb.

Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), a estação amostral que apresentou o maior valor do IBR Bioacumulação foi a ABR02, tendo este valor sido composto pela contribuição dos elementos As, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn, com destaque para a ocorrência de um pico de concentração de Pb. Nas estações amostrais ABR01, ABRC1 e ABR04, o Fe foi o elemento mais relevante na composição dos valores do IBR Bioacumulação, com menores contribuições do As, Cu e Mn.

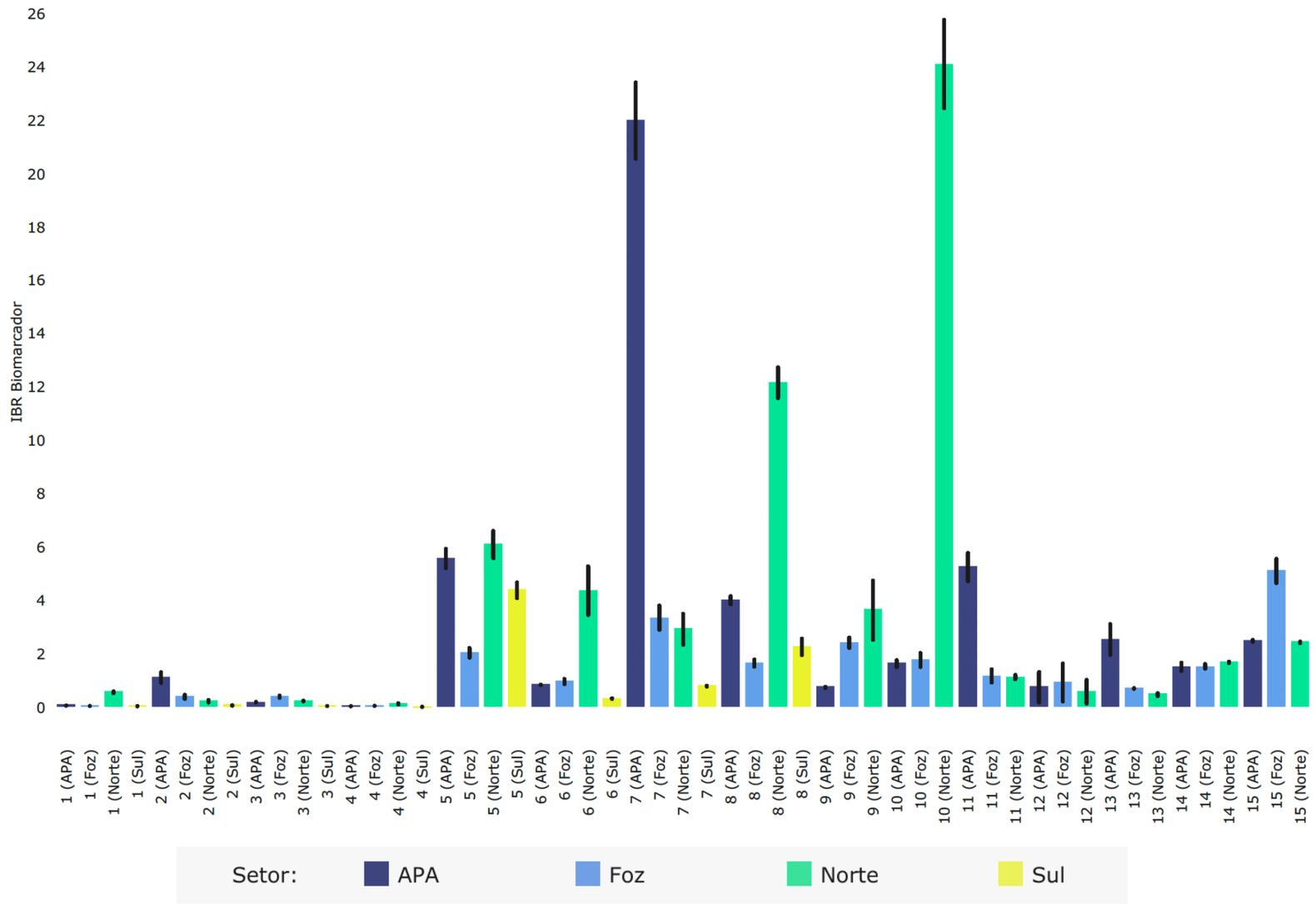
Na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), o maior valor do IBR Bioacumulação foi observado na estação de coleta ABR04, sendo este majoritariamente composto pelas contribuições dos metais Zn, Mn, Hg, Fe, Cu e Cr. Na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), os maiores valores do IBR Bioacumulação foram observados nas estações amostrais ABR01 e ABR02. Neste caso, os elementos que mais contribuíram para a composição dos valores do índice foram o Mn, Hg e Fe.

Quando todas as Campanhas realizadas foram analisadas conjuntamente, foi observado que a composição do valor do IBR Bioacumulação na estação amostral ABR01 contou com as importantes contribuições do Cr e Mn. Na estação amostral ABR02, as maiores contribuições foram do Cd, Pb, Mn e Cu. Na estação amostral ABR04, os elementos As, Zn, Fe, Mn e Cu foram aqueles que mais contribuíram para a composição do valor do IBR Bioacumulação. Na estação amostral ABRC1, os elementos que mais contribuíram para a composição do valor do índice foram o Hg, As, Cu e Fe.

Ressalta-se que a bioacumulação dos metais Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn e Zn contribuiu na composição do IBR Bioacumulação em todas as estações amostrais avaliadas no Setor Abrolhos. De uma forma geral, os metais essenciais Cu e Mn foram os elementos com maior frequência de contribuição na composição do valor do IBR Bioacumulação ao longo de todo o monitoramento realizado em Abrolhos. Todavia, cabe ressaltar que, em algumas Campanhas, a composição do valor do IBR Bioacumulação contou também com relevantes contribuições de metais altamente tóxicos, como o Cd, Hg, Pb e As. Da mesma forma, também foram identificadas Campanhas onde foram observados valores consideráveis do IBR Bioacumulação onde as contribuições do Zn, Mn, Cu e Cr foram relevantes. Vale lembrar que, apesar de serem essenciais à vida aquática, estes metais podem ser tóxicos à biota quando presentes em concentrações excessivas. Além disso, cabe destacar que a presença de metais e As no ambiente aquático pode causar efeitos na estrutura da comunidade planctônica, em que táxons mais resistentes se tornam os dominantes, reduzindo assim a biodiversidade. Deve-se considerar ainda que os metais e o As não estão ocorrendo de forma isolada no ambiente aquático, mas sim em misturas. Vale lembrar que a interação da mistura destes contaminantes pode desencadear efeitos aditivos e/ou sinérgicos, causando assim um incremento no impacto sobre a biota aquática, mesmo em concentrações consideravelmente baixas (Albarico et al., 2022; Arreguin-Rebolledo et al., 2024; Cedergreen, 2014; Isibor et al., 2020; Rauf et al., 2019).

3.2 ÍNDICE DE RESPOSTA BIOLÓGICA *(IBR Biomarcador)*

Figura 19: Valores médios do Índice da Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção Ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 –a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 - a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SD30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13 – a partir da Campanha 13) e Saída Doce Sul 30 (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 - a partir da Campanha 13)]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



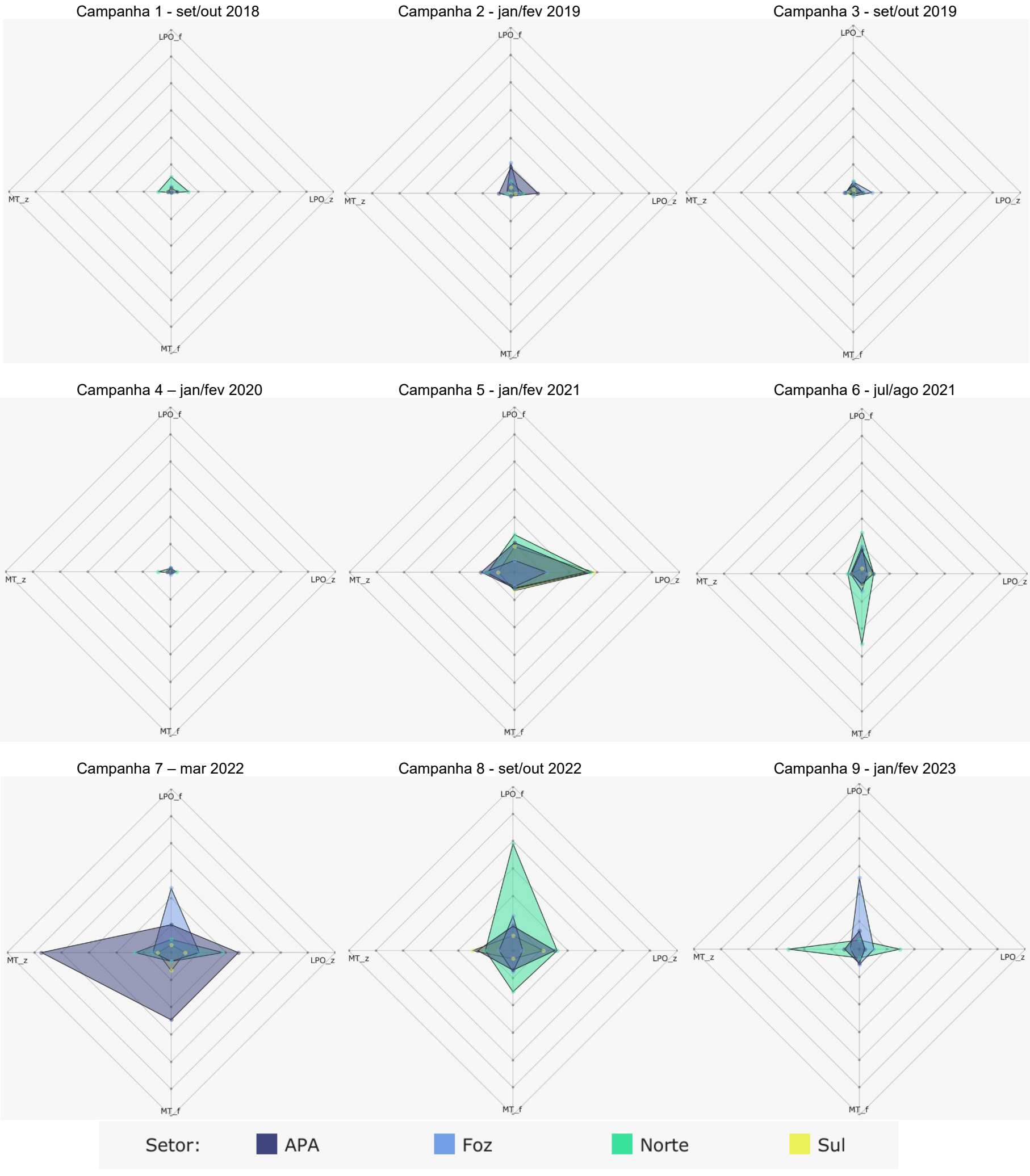
O gráfico de barras dos valores do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador), gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, permite identificar tendências espaço-temporais das respostas dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. As respostas dos biomarcadores avaliados indicam impactos fisiológicos oriundos de estressores ambientais, como é o caso dos contaminantes. Sendo assim, aumentos nos valores do IBR Biomarcador indicam um maior nível de estresse nos organismos.

Em relação à comparação temporal feita a partir da avaliação do IBR Biomarcador para o plâncton do Ambiente Marinho, pode ser observado na Figura 19 que as respostas dos biomarcadores no índice começam a ser relevantes a partir da Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso). Pode se observar ainda uma tendência sazonal, em que nos períodos chuvosos (Campanha 5 - jan/fev 2021; Campanha 7 - mar 2022; Campanha 9 - jan/fev 2023, Campanha 11 – jan 2024, Campanha 13 – jan/fev 2025 e Campanha 15 – jan/fev 2026), os valores do IBR Biomarcador no Setor APA encontram-se elevados. Já nos períodos secos (Campanha 6 - jul/ago; Campanha 8 - set/out 2022; e Campanha 10 - jun/jul 2023), os valores do IBR Biomarcador tendem a aumentar no Setor Norte.

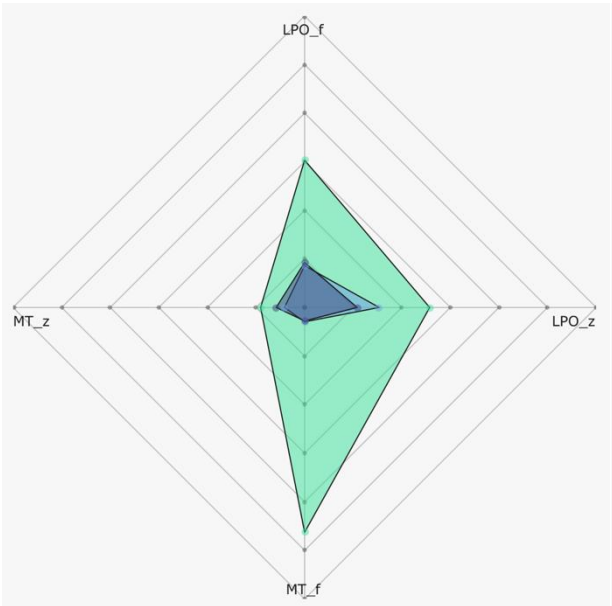
Os maiores índices foram observados ora para o Setor APA ou Setor Norte, com variações sazonais influenciando as respostas biológicas. Além disso, observa-se um incremento no IBR Biomarcador do Setor Foz na última Campanha (Campanha 15: jan/fev 2026 - período chuvoso), correspondendo ao maior valor médio do índice ao longo do período amostrado. Desta forma, é possível inferir que os organismos planctônicos neste Setor sofreram algum estresse agudo nesta Campanha, apesar dos baixos valores do índice de Bioacumulação reportados na Figura 5.

Os efeitos fisiológicos negativos parecem ter influência da bioacumulação dos metais e As, já que tanto o IBR Bioacumulação como o IBR Biomarcador tem seus valores mais expressivos no mesmo período do monitoramento, ou seja, aproximadamente entre as Campanhas 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso) a Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) (Figura 5). Entretanto, possivelmente há também influência de outros estressores ambientais, bem como a interação entre esses estressores e os contaminantes aqui analisados. Por exemplo, um estudo já demonstrou que o aumento nas respostas dos biomarcadores lipoperoxidação (LPO) e concentração de metalotioneínas (MT) no zooplâncton está relacionado com misturas de metais com contaminantes orgânicos, como por exemplo os agrotóxicos (Zebral et al., 2021). Além disso, essas interações podem desencadear efeitos aditivos, antagônicos (menos severos) ou sinérgicos (mais severos) (Cedergreen, 2014; Rocha et al., 2023). Assim, a presença dos metais e As no Ambiente Marinho, mesmo em concentrações ambientalmente relevantes, traz uma grande preocupação, devido à complexidade dos sistemas e os efeitos sinérgicos com outros contaminantes presentes no ambiente aquático.

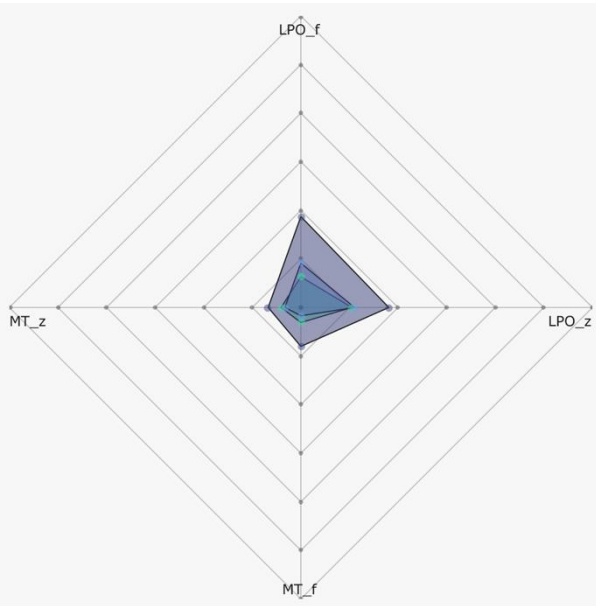
Figura 20: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de plâncton [fitoplâncton (_f) e zooplâncton (_z)] coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores considerados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MT). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção Ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12) e Costa das Algas 5 (CA5– até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12) e Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13 – a partir da Campanha 13) e Saída Doce Sul 30 (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1– até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Sarra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 –da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)].



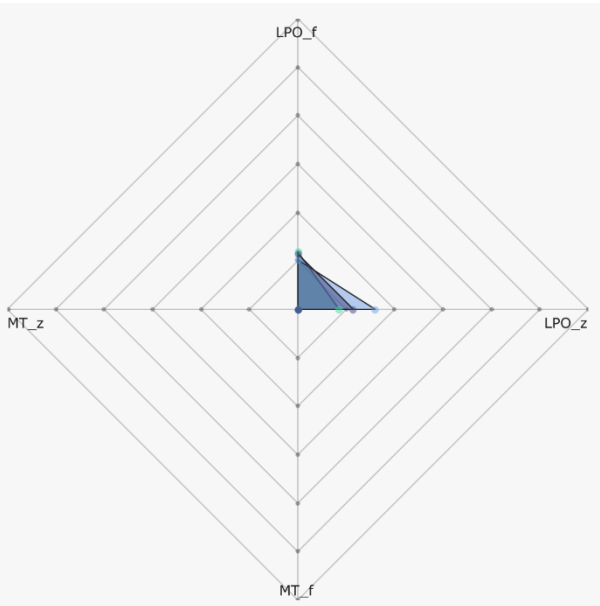
Campanha 10 – jun/jul 2023



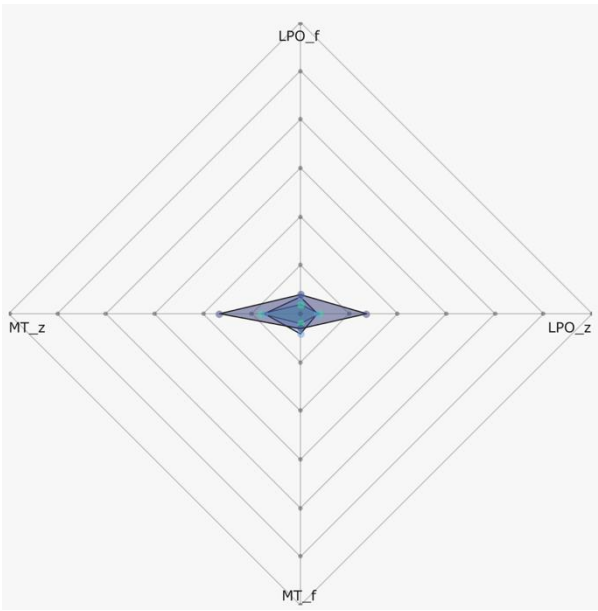
Campanha 11 - jan 2024



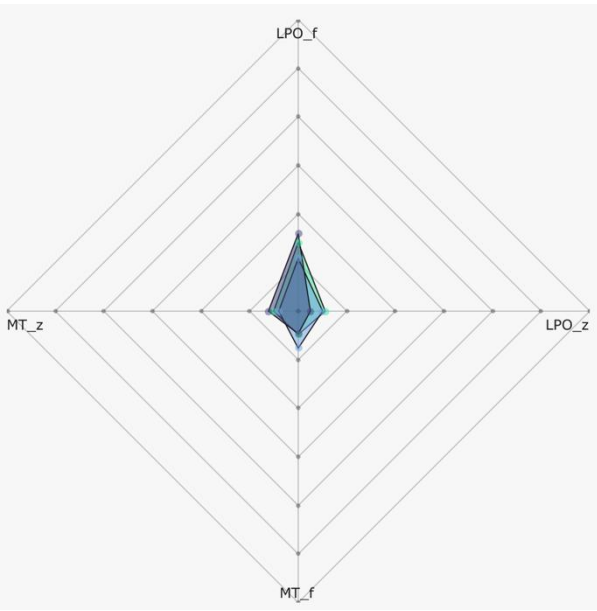
Campanha 12 – jul 2024



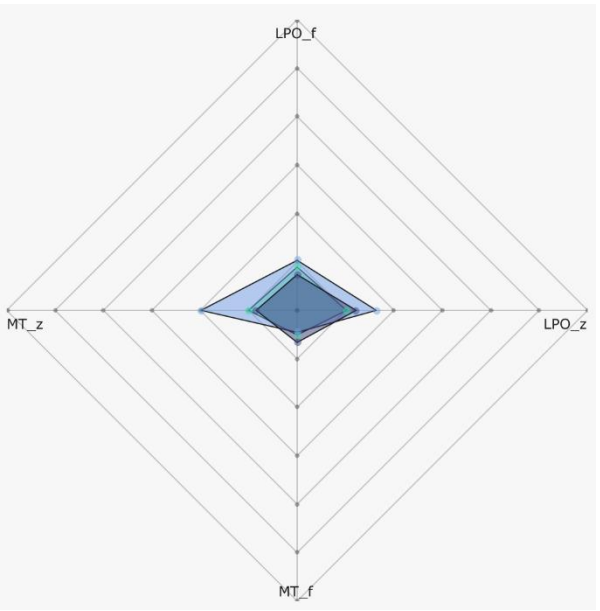
Campanha 13 – jan/fev 2025



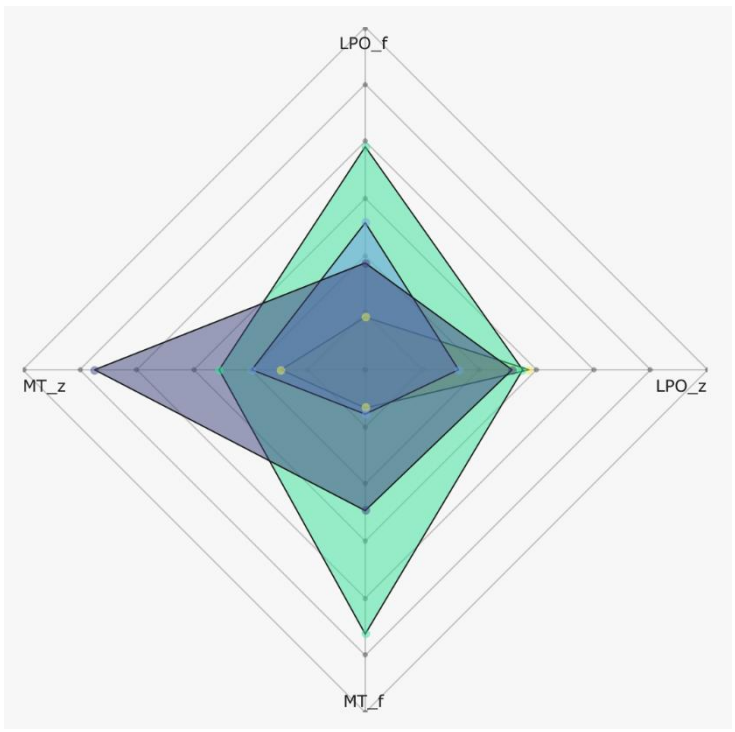
Campanha 14 - jul 2025



Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas



Os gráficos de radar apresentados na Figura 20 foram obtidos a partir do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) de cada Setor avaliado e de cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) do Ambiente Marinho, bem como a contribuição de cada um destes para a composição do índice.

Durante o período de monitoramento, observou-se que as respostas dos biomarcadores à contaminação por metais e As começaram a aparecer a partir da Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), com destaque para a contribuição do biomarcador LPO tanto em fitoplâncton, quando em zooplâncton, sobretudo nos Setores APA, Sul e Norte. Cabe destacar que as Campanhas 7 (mar 2022 – período chuvoso), 8 (set/out 2022 – período seco) e 10 (jun/jul 2023 – período seco) foram aquelas que apresentaram os maiores valores do IBR Biomarcador, bem como a contribuição de todos os biomarcadores analisados na composição do índice.

Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o Setor APA foi o que apresentou, ao longo do monitoramento, o segundo maior valor do IBR Biomarcador, o qual teve uma contribuição relevante de todos os biomarcadores analisados. Porém, vale destacar que os biomarcadores MT no zooplâncton e MT no fitoplâncton apresentaram picos em seus valores no Setor APA. Por outro lado, os biomarcadores mais relevantes para a formação do índice no Setor Foz foram a LPO no fitoplâncton (LPO_f) e no zooplâncton (LPO_z). No Setor Norte, o estresse fisiológico se concentrou no zooplâncton, pois os biomarcadores mais importantes para a composição do IBR Biomarcador foram a MT e LPO. Em relação ao Setor Sul, a contribuição mais importante para a composição do IBR Biomarcador foi a do biomarcador MT no fitoplâncton (MT_f).

Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), foi observado que todos os biomarcadores contribuíram para a composição do IBR Biomarcador, porém de maneira distinta nos Setores avaliados. Vale destacar que a maior a contribuição para a composição deste índice foi a do biomarcador LPO no fitoplâncton, principalmente no Setor Norte e Foz. Nos Setores APA e Sul, LPO em zooplâncton (LPO_z) e MT em fitoplâncton (MT_f) tiveram maior contribuição, respectivamente.

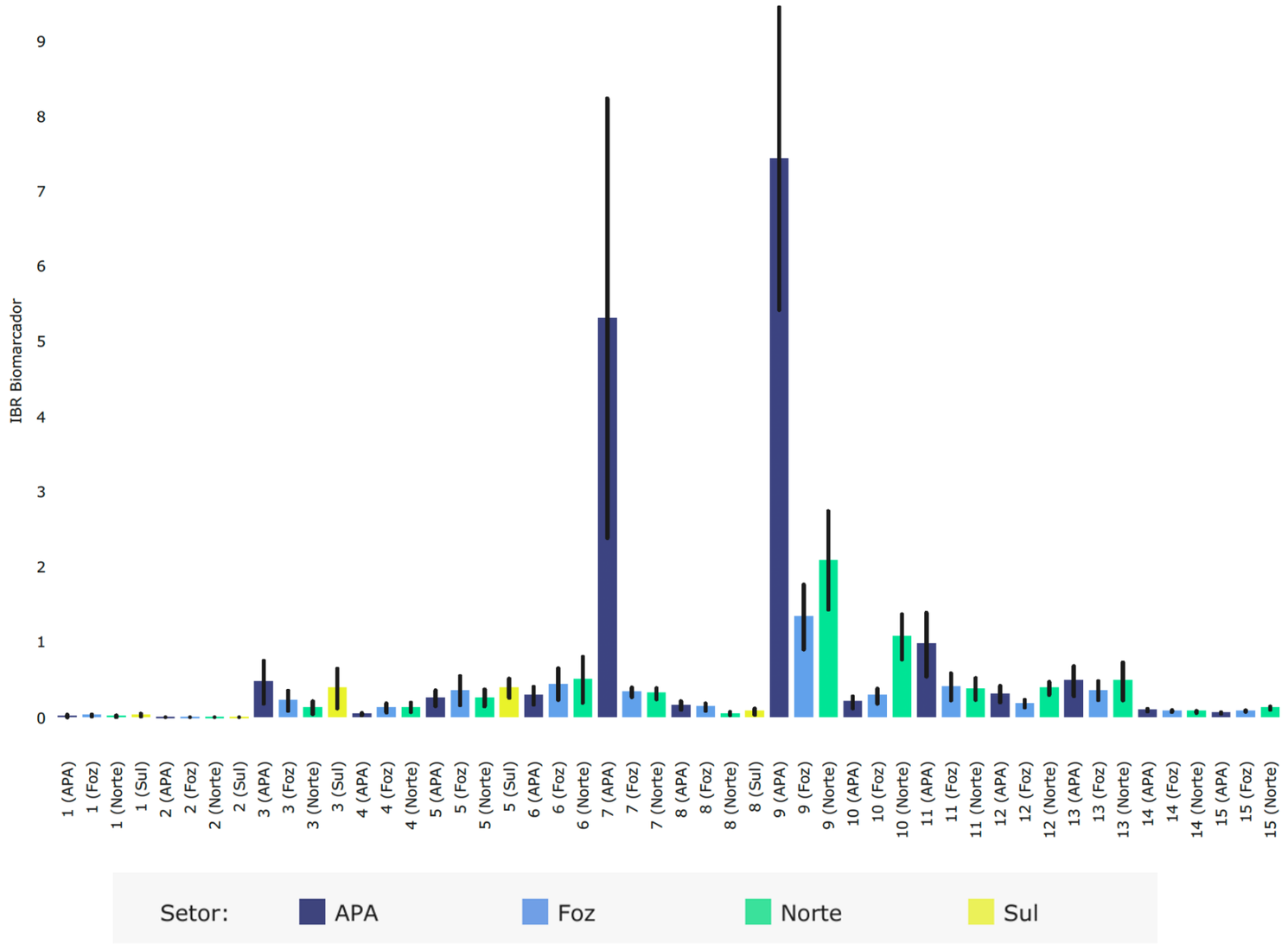
Na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), o maior valor do IBR Biomarcador foi observado no Setor Norte. Apesar de todos os biomarcadores terem participado da composição do valor deste índice, as maiores contribuições foram da LPO no fitoplâncton (LPO_f) e no zooplâncton (LPO_z), bem como da MT no fitoplâncton (MT_f), a qual apresentou o valor mais alto dentre todos os biomarcadores analisados. Por sua vez, os valores do IBR Biomarcador dos Setores APA e Foz se associaram aos quatro biomarcadores analisados, porém com picos no valor da LPO no zooplâncton (LPO_z). A maior contribuição de LPO para o IBR Biomarcador se manteve também na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco), para todos os Setores.

Um aumento particular no IBR Biomarcador foi observado no Setor Foz durante a Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), representando o maior valor deste indicador ao longo do período amostral neste Setor. Nesta Campanha, o IBR Biomarcador teve principalmente contribuição dos biomarcadores associados ao zooplâncton, neste caso MT_z e LPO_z.

Considerando todas as Campanhas, observa-se uma distinção espacial na resposta fisiológica analisada no plâncton marinho. Por exemplo, o Setor APA foi associado principalmente aos biomarcadores avaliados em zooplâncton, como MT_Z e LPO_z, apesar da contribuição dos outros biomarcadores. Em contrapartida, no Setor Foz destaca-se a contribuição do LPO em fitoplâncton (LPO_f) e zooplâncton (LPO_Z), bem como MT em zooplâncton, ao passo que MT_f teve pouca contribuição para o IBR Biomarcador. O Setor Norte teve contribuição principalmente dos biomarcadores associados ao fitoplâncton, enquanto o Setor Sul foi carcaterizado pelo elevados níveis de LPO em zooplâncton (LPO_z).

De uma forma geral, os biomarcadores que contribuíram para a composição do IBR Biomarcador, ao longo de todo o monitoramento, indicaram estresse oxidativo no fitoplâncton (LPO_f) e zooplâncton (LPO_z), bem como o impacto da bioacumulação de metais e As nas células destes organismos (MT_z e MT_f). Cabe ressaltar que aumentos no biomarcador LPO indicam danos nas membranas plasmáticas dos organismos avaliados, o que pode ocasionar prejuízos celulares severos. Por outro lado, o aumento de MT indica a ativação de respostas celulares de proteção frente à elevação na carga celular de metais e metaloides. Sem dúvida, o aumento dos valores de MT, com picos em vários Setores do Ambiente Marinho, reflete a contaminação desse ambiente por metais e As.

Figura 21: Valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) de camarões coletadas durante Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção Ambiental - APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 - a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 - a partir da Campanha 13); Foz [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SD30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13 – a partir da Campanha 13) e Saída Doce Sul 30 (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 - a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 –da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13), São Matheus 04 (SM04 - a partir da Campanha 13)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.

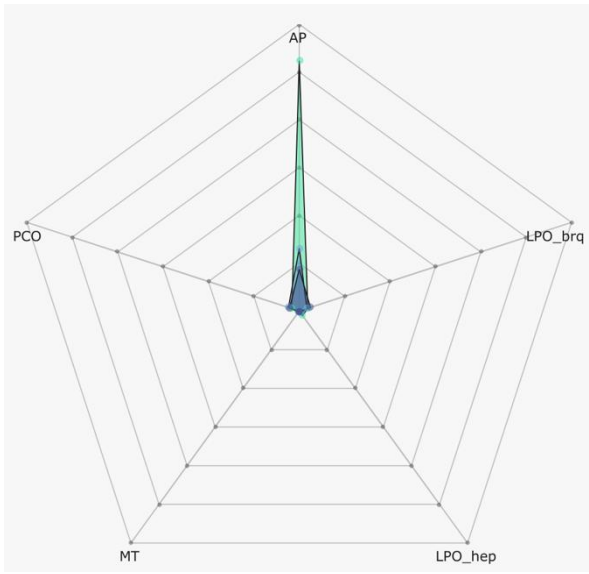


O gráfico de barras dos valores do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador), gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, permite identificar tendências espaço-temporais das respostas dos biomarcadores nos camarões do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal geral feita e apresentada na Figura 21, observa-se que os valores do IBR Biomarcador em camarões marinhos começaram a aumentar sutilmente a partir da Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), mantendo-se relativamente estáveis até a Campnaha 6 (jul/ago 2021 – período seco). Na Campanha 7 (mar/2022 – período chuvoso), houve um aumento expressivo no valor deste índice para o Setor APA, o qual voltou a diminuir na Campanha 8 (set/2022 – período seco). Porém, todos os Setores voltaram a apresentar um aumento expressivo nos valores do IBR Biomarcador na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), com destaque novamente para o Setor APA. Nas Campanhas subsequentes os valores deste índice voltaram a diminuir, por mais que não tenham voltado à níveis vistos no início do monitoramento, indicando uma variação temporal importante no estresse fisiológico ao qual os camarões marinhos estão sujeitos. Sobretudo na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), observou-se uma estabilização dos valores de IBR Biomarcador.

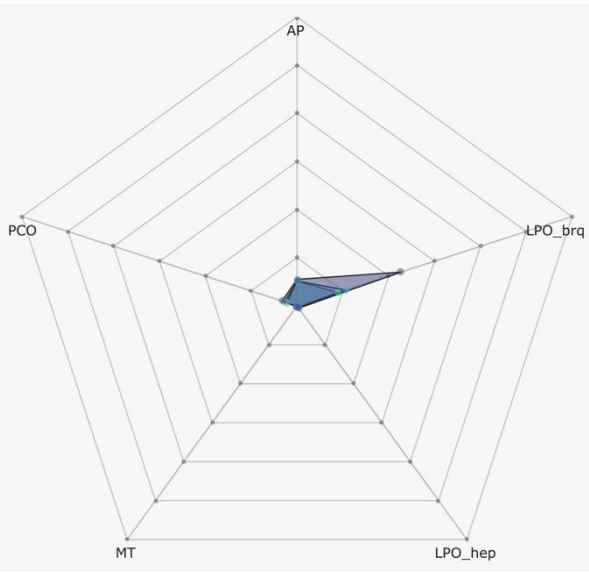
Quando os valores do IBR Biomarcador de camarões marinhos foram comparados com os respectivos valores do IBR Bioacumulação, foi possível observar que os aumentos nos valores do IBR Biomarcador foram menores do que aqueles observados nos valores do IBR Bioacumulação de camarões marinhos, apresentados na Figura 7. Além disso, o aumento dos valores de IBR Biomarcador apenas a partir da Campanha 7 (mar/2022 – período chuvoso), em contrariedade com os picos de IBR Bioacumulação anteriores nas Campanhas 1 (set/out 2018 – período seco) e 6 (jul/ago 2021 – período seco) indica uma resposta tardia à bioacumulação. Uma possível interpretação para este achado é o fato de que a mistura e interação entre os contaminantes, incluindo metais e As, podem gerar efeitos antagônicos, resultando em uma menor resposta dos biomarcadores, mesmo que tenha ocorrido um incremento na bioacumulação dos contaminantes nos tecidos dos camarões (Vellinger et al., 2012). Por outro lado, pode também indicar um possível aumento da tolerância dos organismos à exposição crônica e à bioacumulação dos contaminantes presentes no Ambiente Marinho (Pestana et al., 2016). Isto é particularmente plausível tendo em vista os reduzidos valores do IBR Biomarcador nas últimas Campanhas (Campanha 14: jul 2025 – período seco e Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso).

Figura 22: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de tecidos de camarões coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores considerados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas no hepatopâncreas (MT); proteínas carboniladas no músculo (PCO); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) (AP) da Campanha 1 à 8 na hemolinfa e, à partir da Campanha 9 no músculo. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção Ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 - a partir da Campanha 13), Costa das Algas 15 (CA15 - a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 - a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13 – a partir da Campanha 13) e Saída Doce Sul 30 (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 –da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 - a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 - a partir da Campanha 13)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)].

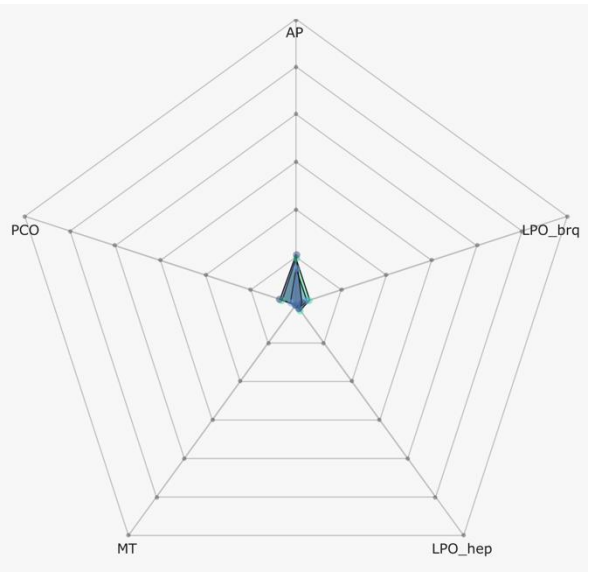
Campanha 10 – jun/jul 2023



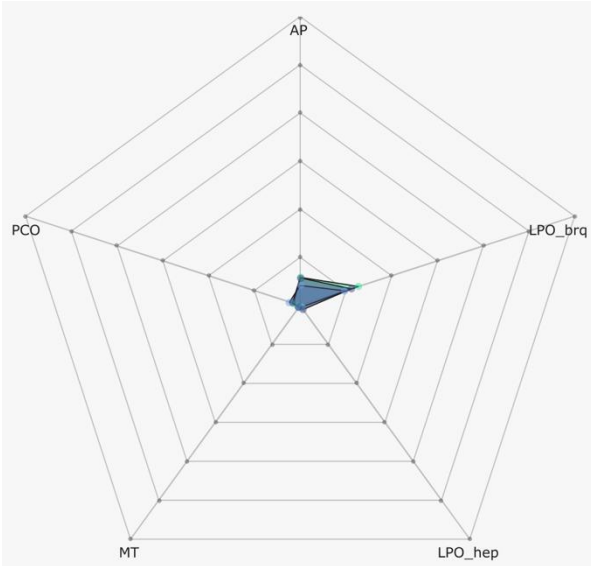
Campanha 11 - jan 2024



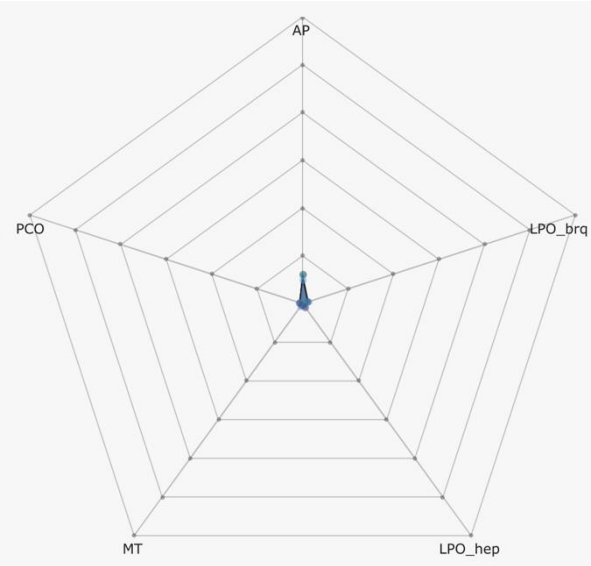
Campanha 12 – jul 2024



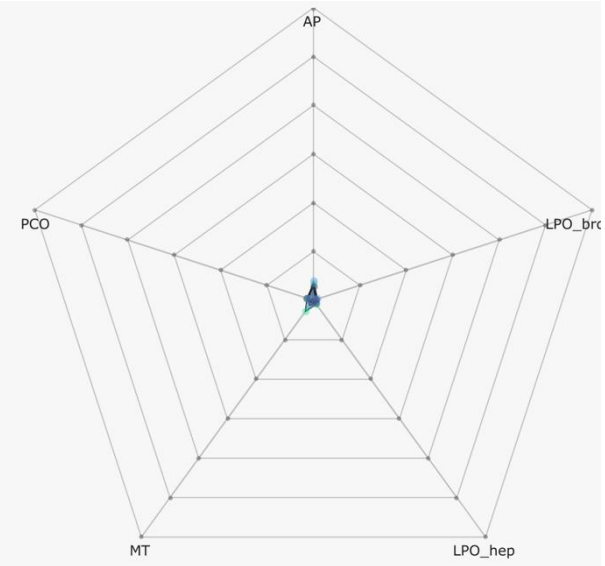
Campanha 13 – jan/fev 2025



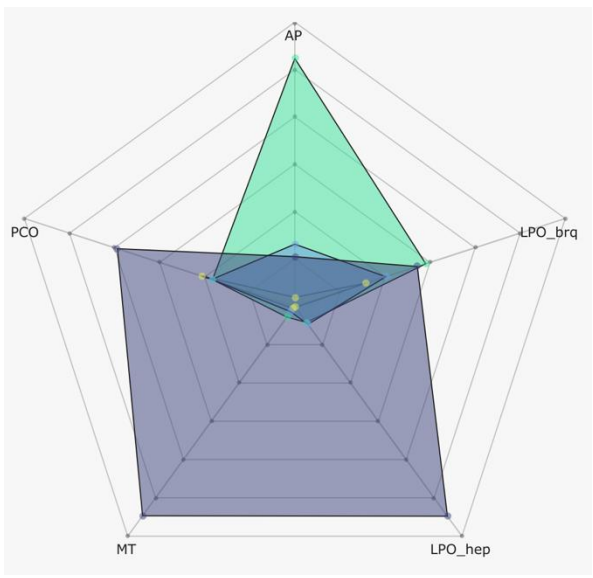
Campanha 14 - jul 2025

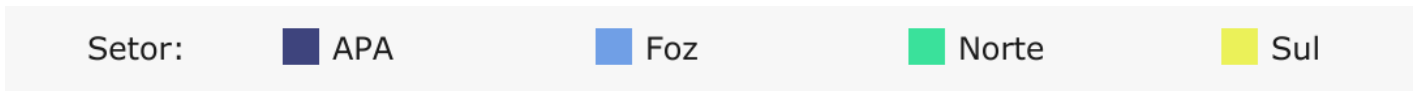


Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas





Os gráficos de radar apresentados na Figura 22 foram obtidos a partir do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) de cada Setor avaliado e de cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores nos camarões do Ambiente Marinho e a contribuição destes para a composição do índice. De uma forma geral, as Campanhas que apresentaram os maiores valores de IBR Biomarcador, bem como a maior diversidade de biomarcadores que contribuíram para este índice foram as Campanhas 7 (mar 2022 – período chuvoso) e 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso).

Entre as Campanhas 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso) e 6 (jul/ago 2021 – período seco), apesar dos baixos valores do IBR Biomarcador, o PCO foi o biomarcador que mais se destacou. Já na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o Setor APA foi o que apresentou o maior valor do IBR Biomarcador, composto por todos os biomarcadores avaliados, sendo que os biomarcadores que mais contribuíram para a composição deste índice foram o MT, e LPO nas brânquias (LPO_brq). Com relação aos Setores Foz e Norte, a LPO nas brânquias (LPO_brq) foi o biomarcador mais importante na composição dos valores do IBR Biomarcador nestes Setores.

Cabe destacar que a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) se sobressaiu em relação às demais Campanhas, devido aos maiores valores do IBR Biomarcador observados em todos os Setores avaliados. O Setor APA foi aquele que apresentou o maior valor do índice, o qual foi composto, principalmente, pelos biomarcadores AP, LPO (brânquias – LPO_brq e hepatopâncreas – LPO_hep) e MT, com destaque para um pico no valor da LPO no hepatopâncreas (LPO_hep). Com relação aos Setores Norte e Foz, foi observada uma maior contribuição do LPO nas brânquias (LPO_brq) e menor contribuição dos demais biomarcadores analisados.

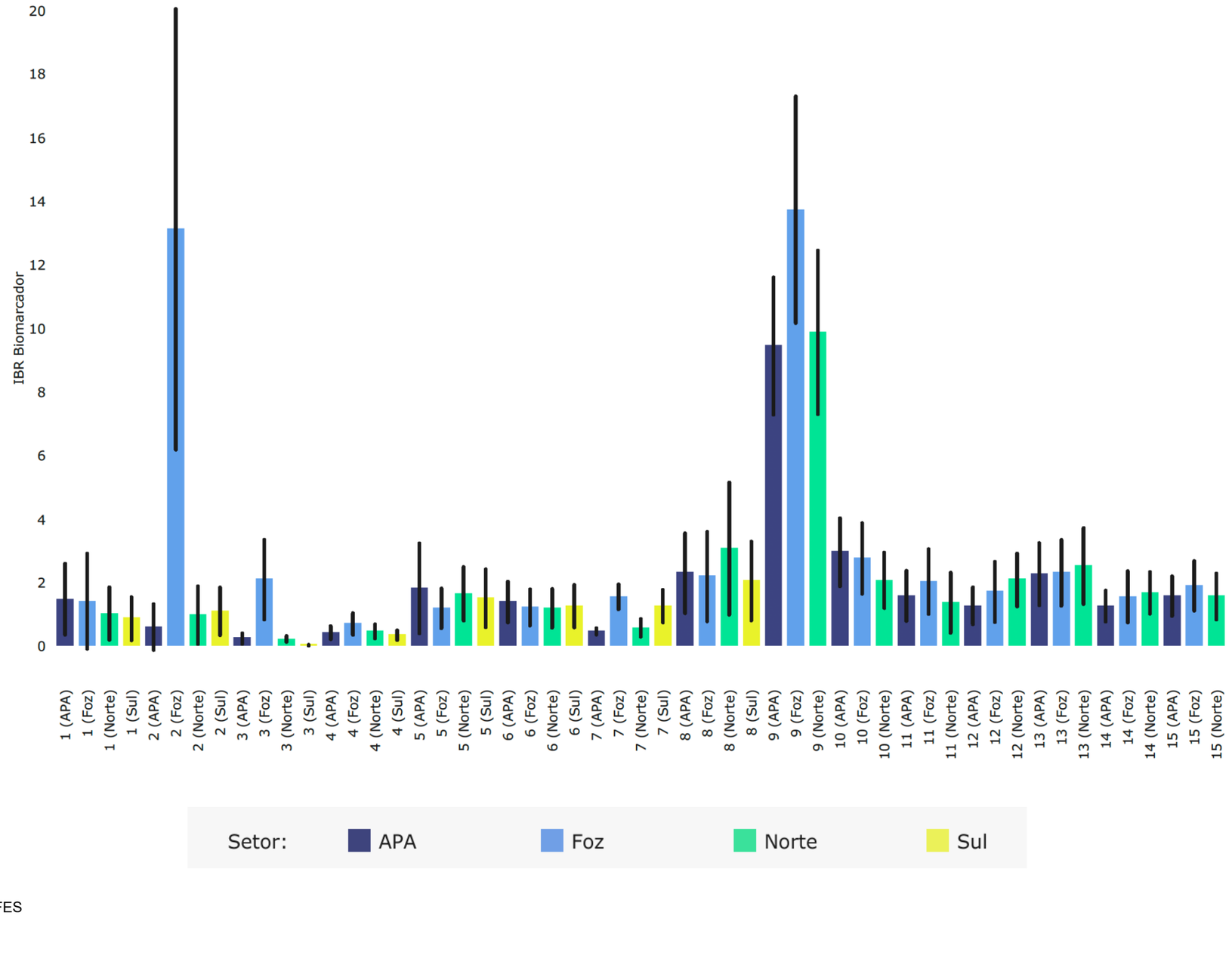
A partir da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) até a Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), observou-se um padrão de maior influência de determinados biomarcadores, de acordo com a estação. Os índices calculados para as Campanhas 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), 11 (jan 2024 – período chuvoso) e 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), referentes ao período chuvoso, tiveram importância expressiva o biomarcador LPO. Já na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), Campanha 12 (jul 2024 – período seco) e, em menor escala, Campanha 14 (jul 2025 – peródo seco), correspondentes ao período de seca, o AP foi o biomarcador que mais contribuiu para os IBR Biomarcador. Isto demonstra a influência da estação amostral nos tipo de danos em macromoléculas.

Analisandoas Campanhas em conjunto, os maiores valores médios do índice foram encontrados para o Setor APA, com destaque para os biomarcadores LPO em hepatopâncreas (LPO_hep), MT e PCO, com menor contribuição de AP e LPO_brq. O Setor Norte, em contrapartida, foi caracterizado pela resposta principalmente do AP. Os danos oxidativos em lipídeos na brânquia (LPO_brq), e proteínas (PCO) foram associados ao Setor Sul. Finalmente, o IBR Biomarcador do Setor Foz teve contribuição similar do AP, PCO e LPO_brq, com menor contribuição de MT e LPO_hep.

Vale ressaltar que os biomarcadores LPO e PCO foram mais expressivos ao longo de todo o monitoramento realizado. Isto alerta para o fato de que os camarões coletados no Ambiente Marinho estavam sob estresse oxidativo, ocasionando danos em macromoléculas, neste caso lipídios e

proteínas. Além disso, vale ressaltar que, na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), ocorreram valores elevados de contribuição dos biomarcadores MT e sítio AP, respectivamente. Isto pode estar sinalizando uma acumulação excessiva de contaminantes, bem como danos ao DNA nas células dos organismos analisados. Esses impactos podem afetar o desempenho da espécie no ambiente, influenciar a sobrevivência da população a longo prazo e afetar a saúde de organismos que os consomem, incluindo o homem (Ezemonye et al., 2019; Frías-Espericueta et al., 2022; MacFarlane et al., 2006).

Figura 23: Valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de tecidos (brânquias, fígado, músculo e sangue) de peixes (carnívoros e onívoros) coletadas durante Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção Ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 - a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Soce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13 – a partir da Campanha 13) e Saída Doce Sul 30 (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 - a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 - a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 - a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 - a partir da Campanha 13)]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.

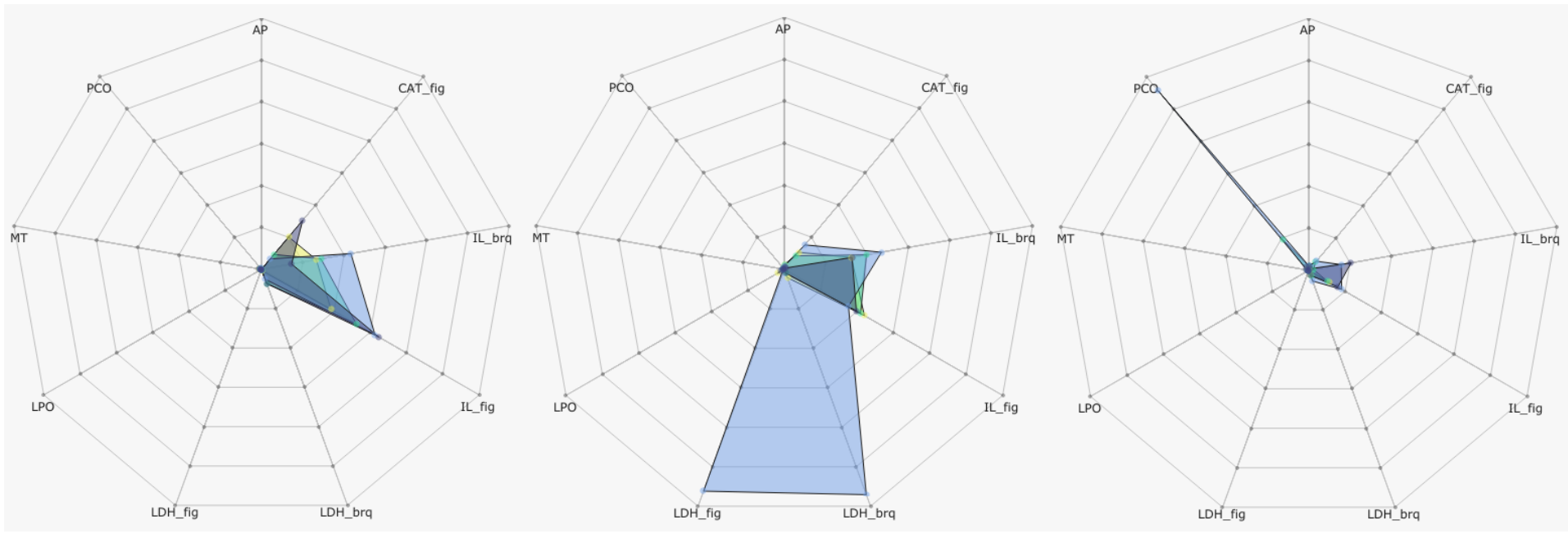


O gráfico de barras dos valores do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador), gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, permite identificar tendências espaço-temporais das respostas de biomarcadores nos peixes (onívoros e carnívoros) do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. Com relação à comparação temporal global feita e apresentada na Figura 23, pode ser observado que o IBR Biomarcador nos peixes marinhos tende a aumentar gradualmente ao longo das Campanhas, com umentos expressivos pontuais, como na Campanha 2 (jan/fev – 2019 – período chuvoso) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Entretanto, os valores do IBR Biomarcador voltam a ficar menores e relativamente estáveis entre a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) e 12 (jul 2024 – período seco). Um sutil aumento é observado na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), equiparando-se aos valores do índice da Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco). As Campanhas mais recentes (Campanha 14: jul 2025 – período seco, e Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso) mantiveram valores do indice reduzidos e estáveis.

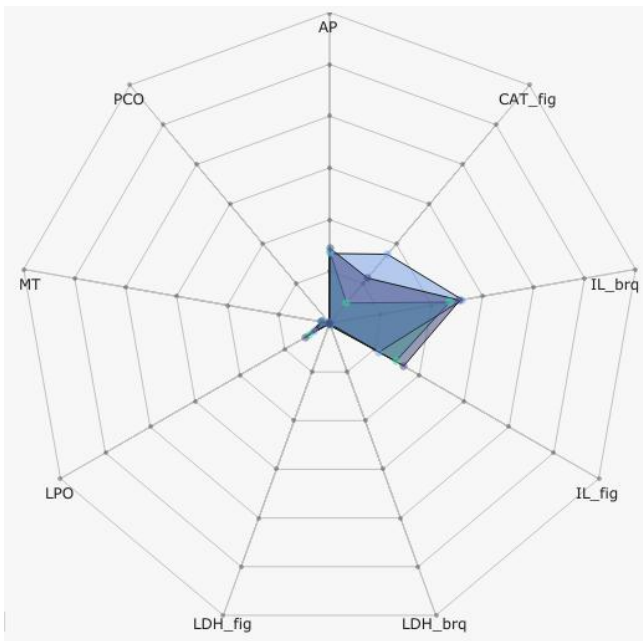
Cabe destacar que na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) houve um aumento no índice de resposta. Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), observaram-se os maiores valores de IBR Biomarcador para todos os Setores. Estas Campanhas, juntamente com a Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) distinguem-se das demais por apresentarem os maiores valores do IBR Biomarcador, em todos os Setores analisados. Porém, vale ressaltar que o maior valor deste índice ao longo de todo o período do monitoramento foi observado no Setor Foz na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso). Já na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), o maior pico também foi referente ao índice do Setor Foz, seguido pelo Setor Norte e APA.

A partir da análise do gráfico apresentado na Figura 9 (IBR Bioacumulação em peixes), pode ser observado que ocorreu uma bioacumulação de metais e As nos peixes marinhos ao longo do período de monitoramento. É importante salientar que os picos de IBR Bioacumulação, sobretudo no que se refere à Campanha 1 (set/ut 2018 – período seco) e 7 (mar 2022 – período chuvoso) ocorreram anteriormente aos picos encontrados na Figura 23, com maiores IBR Biomarcador na Campanha 2 (janfev 2019 – período chuvoso) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), indicando respostas tardias à contaminação. Outrossim, este gráfico apresenta um padrão similar de variações nos valores ao longo do tempo quando comparado com o gráfico do IBR Bioamarcador (Figura 23), indicando que as respostas observadas nos biomarcadores podem estar associadas ao estresse causado nos peixes pela bioacumulação de metais e As, em decorrência da biodisponibilidade destes contaminantes no ambiente marinho.

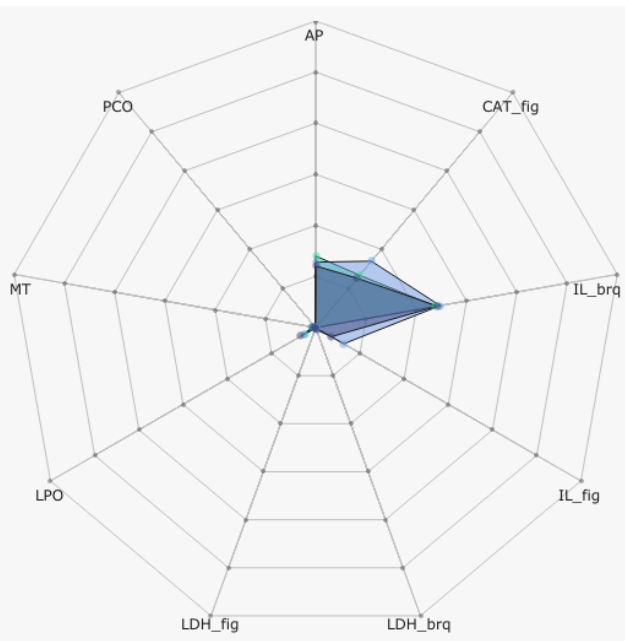
Figura 24: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de tecidos de peixes (carnívoros e onívoros) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores considerados foram: lipoperoxidação no fígado (LPO); concentração de metalotioneína no fígado (MT); níveis de proteínas carboniladas da Campanha 1 à 8 no músculo e, a partir da Campanha 9, no fígado (PCO); níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) da Campanha 1 à 8 no sangue e, a partir da Campanha 9, nas brânquias (AP); índices médios de lesões histopatológicas nas brânquias (IL_brq) e no fígado (IL_fig); atividade da enzima catalase no fígado (CAT_fig); e atividade da enzima lactato desidrogenase nas brânquias (LDH_brq) e no fígado (LDH_fig). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Área de Proteção Ambiental - **APA** [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 - a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 - a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 - a partir da Campanha 13); **Foz** [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 30 (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; **Norte** [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12) e Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13)]; e **Sul** [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)].



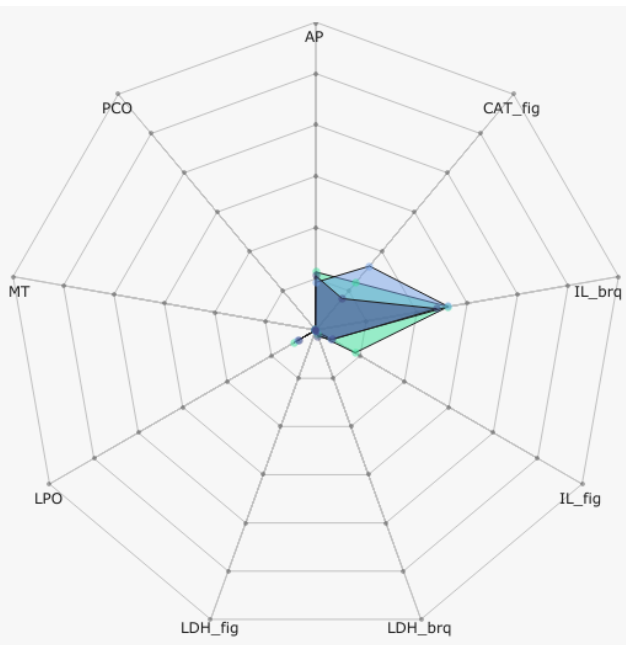
Campanha 10 – jun/jul 2023



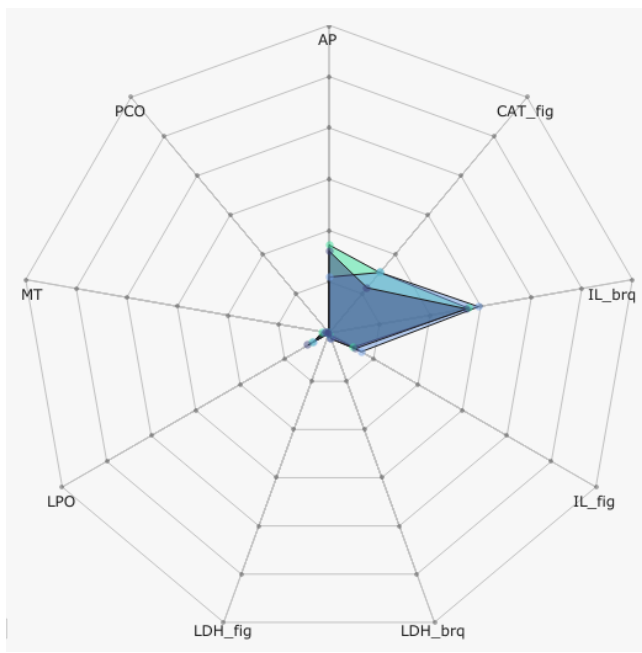
Campanha 11 - jan 2024



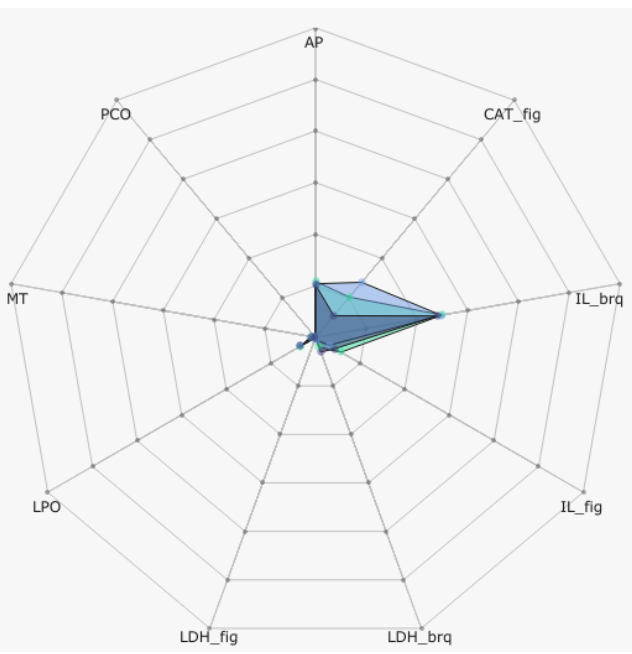
Campanha 12 - jul 2024



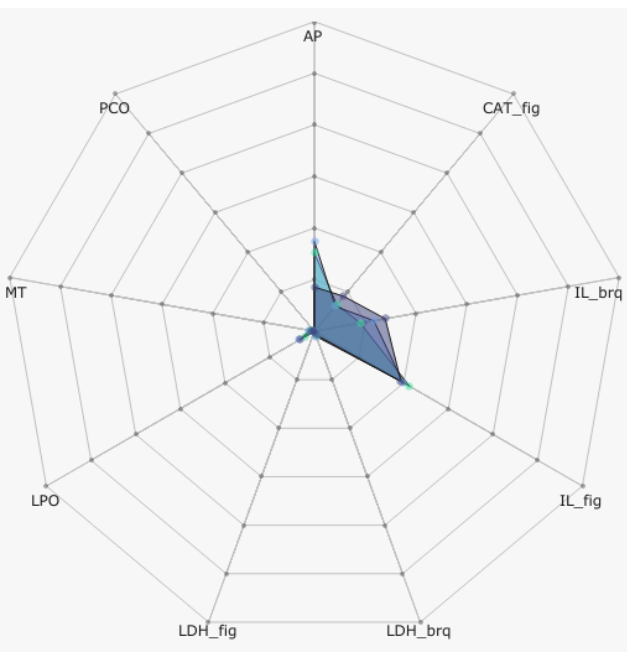
Campanha 13 – jan/fev 2025



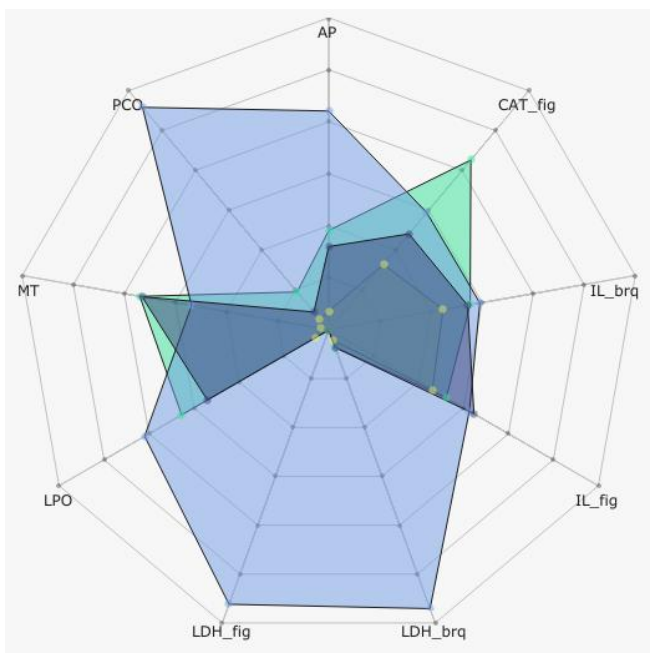
Campanha 14 - jul 2025



Campanha 15 – jan/fev 2026



Todas Campanhas



Setor: APA Foz Norte Sul

Os gráficos de radar apresentados na Figura 24 foram obtidos a partir do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) de cada Setor avaliado e de cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores nos peixes (onívoros e carnívoros) do Ambiente Marinho, bem como a contribuição destes para a composição do índice. Os maiores valores do IBR Biomarcador foram observados na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco). Apesar disso, a Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) apresentaram a maior diversidade de biomarcadores associados ao índice.

Na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), o Setor Foz apresentou o maior valor de IBR Biomarcador, sendo este índice formado por todos os biomarcadores, exceto PCO. Apesar da alta diversidade de biomarcadores compondo o índice, cabe destacar que dois picos de valores se destacaram e correspondem ao biomarcador LDH no fígado (LDH_fig) e LDH nas brânquias (LDH_brq). Em menor escala, o biomarcador IL nestes dois tecidos, juntamente com CAT em fígado (CAT_fig) também tiveram contribuição considerável para o cálculo do IBR Biomarcador em peixes marinhos do Setor Foz. Os valores do IBR Biomarcador nos Setores Sul e Norte tiveram as contribuições principalmente dos biomarcadores IL nas brânquias (IL_brq)_ e no fígado (IL_fig), e também CAT no fígado (CAT_fig). Já para o Setor APA, o IBR Biomarcador esteve relacionado, principalmente, com os biomarcadores IL nas brânquias (IL_brq) e IL no fígado (IL_fig).

Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), os Setores Foz e Sul apresentaram os maiores valores do IBR Biomarcador. No Setor Foz e Sul, os biomarcadores com maior contribuição para o índice foram IL tanto em fígado (IL_fig) quanto em brânquia (IL_brq), e CAT no fígado (CAT_fig). Estes mesmos biomarcadores, juntamente com MT, foram os principais componentes do IBR Biomarcador no Setor APA. Finalmente, o Setor Norte foi caracterizado , sobretudo, por IL nos dois tecidos (IL_brq e IL_fig), e LPO.

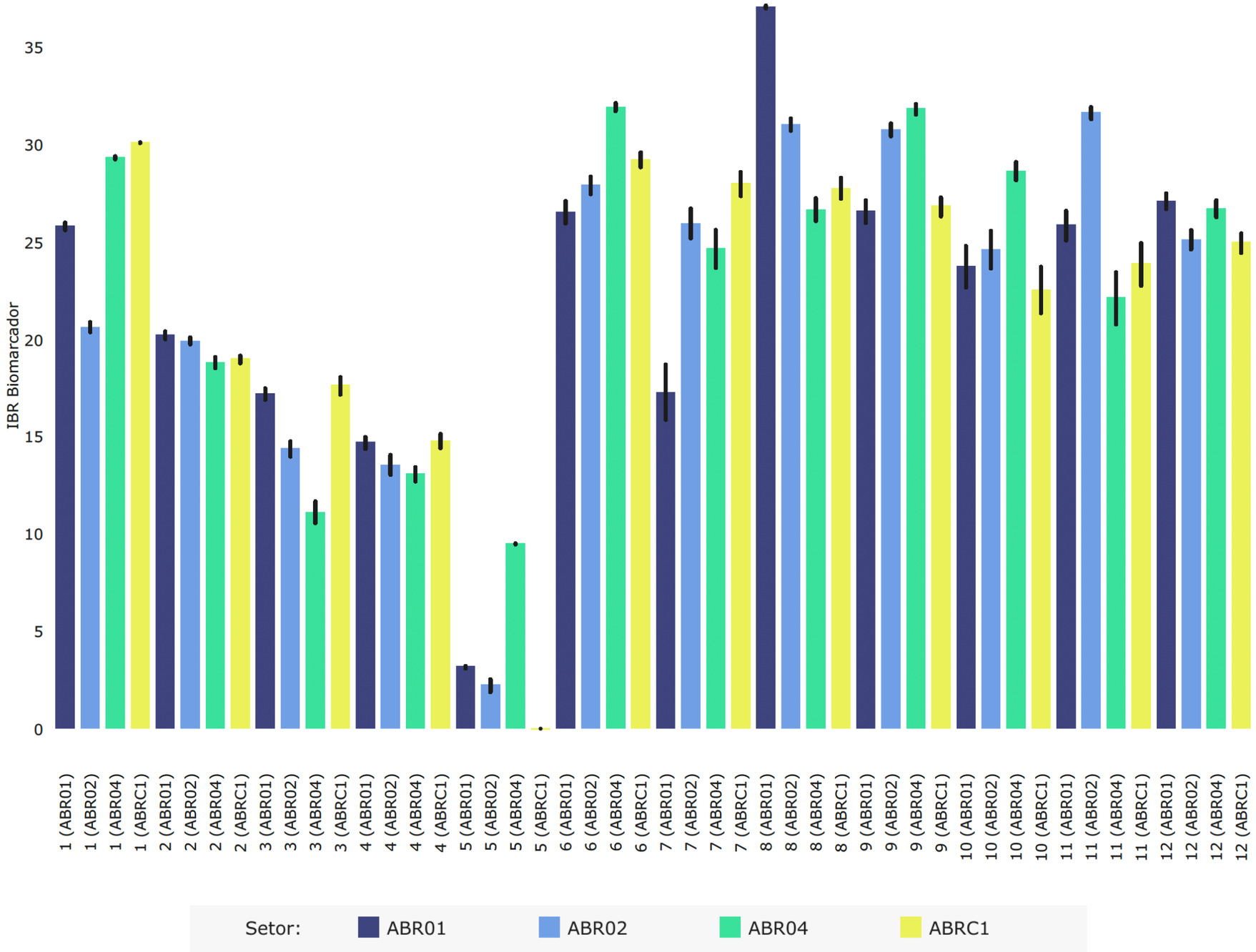
Similarmente à Campanha anterior, a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) teve CAT_fig, e IL em brânquias (IL_brq) e fígado (IL_fig) como principais biomarcadores compondo o IBR Biomarcador dos Setores, com variações especialmente no grau de contribuição de cada biomarcador por Setor. Por exemplo, no Setor Norte e no Setor Foz, o biomarcador de maior influência foi CAT_fig enquanto, para o Setor Foz, IL_brq foi o principal biomarcador. O índice do Setor APA exibiu uma contribuição mais homogênea destes biomarcadores. Em todos os Setores, uma discreta contribuição do biomarcador MT foi observada.

Diferentemente das Campanhas supracitadas, na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), observou-se um a contribuição principalmente de sítio LPO e MT em todos os Setores, bem como IL em brânquias (IL_brq) e fígado (IL_fig), e CAT_fig. Sítio AP apresentou uma contribuição substancial para o IBR Biomarcador dos Setores amostrados, especialmente no Setor Foz, o qual demonstra um pico para este biomarcador em relação aos demais Setores. LDH em brânquias apresentou uma contribuição discreta para a composição dos índices.

Da Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), até a Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), os valores médios de IBR Biomarcador mantiveram-se relativamente estáveis. Além disso, a contribuição de biomarcadores compondo o índice foi, de certa forma, homogênea entre os Setores, exibindo pouca variação espacial. Destacam-se o sítios AP, CAT em fígado (CAT_fig), e IL em brânquias (IL_brq) e em fígado (IL_fig).

De um modo geral, os biomarcadores que apresentaram maior frequência de contribuição na composição do IBR Biomarcador, na maior parte das Campanhas realizadas, foram CAT no fígado, IL nas brânquias, IL no fígado e sítios AP. Cabe lembrar que as respostas destes biomarcadores indicam a ocorrência de estresse oxidativo (CAT), danos histológicos (IL) e danos ao DNA (sítios AP) no material biológico analisado. Além disso, cabe destacar a ocorrência de picos de valores relevantes de LDH nas brânquias e no fígado na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso) e de PCO na Campanha 3 (set/out 2019 – período seco). Estas respostas indicam uma demanda anaeróbica da célula e danos oxidativos nas proteínas devido ao estresse ambiental ao qual os organismos encontram-se expostos. Comparando-se esses resultados com aqueles de bioacumulação dos contaminantes nos peixes marinhos (Figura 9), há evidências de uma influência da contaminação do ambiente marinho na bioacumulação de metais e As e, consequentemente, nas respostas dos biomarcadores observadas ao longo do monitoramento realizado (Figura 23 e Figura 24).

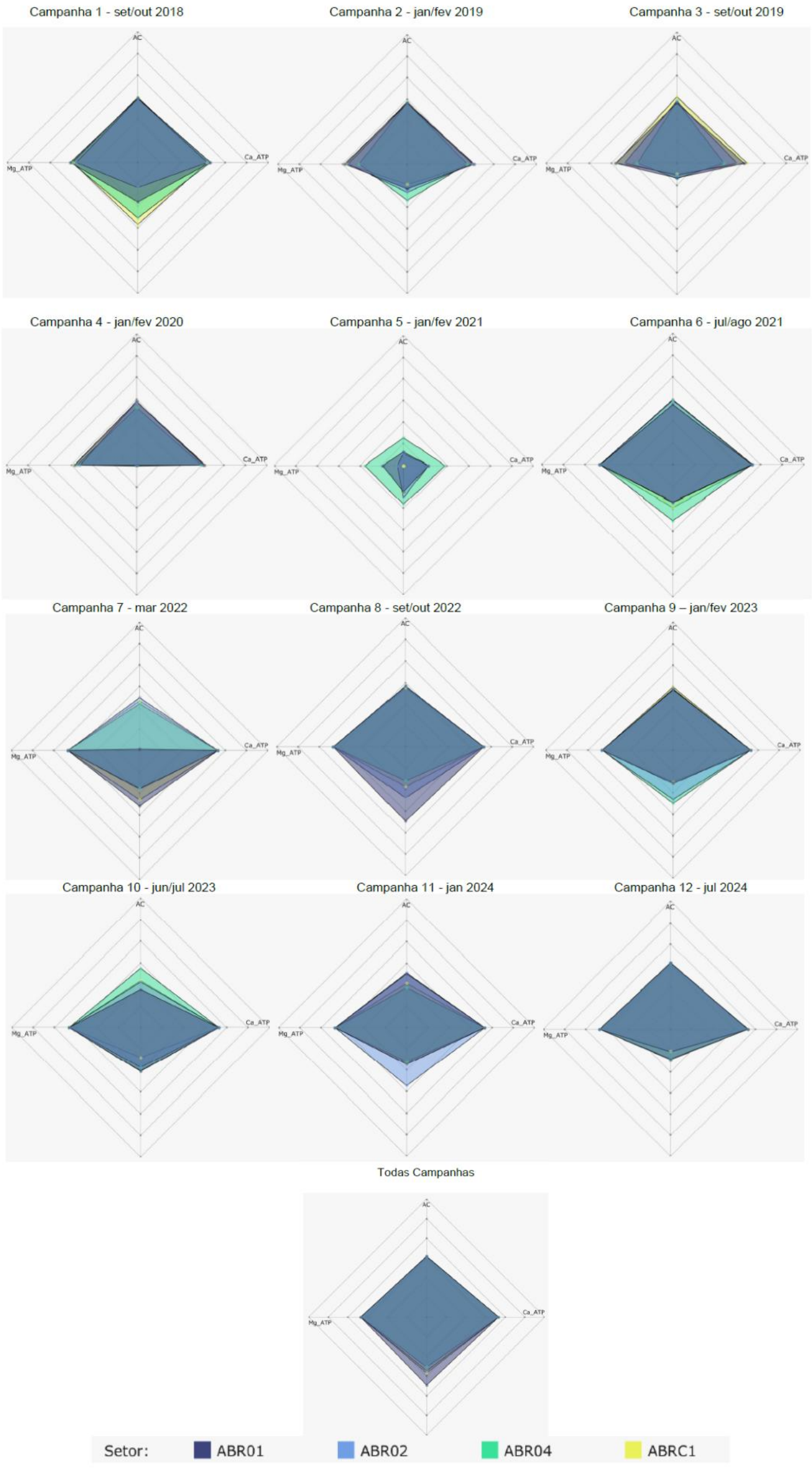
Figura 25: Valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setor e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



O gráfico de barras dos valores do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador), gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, permite identificar tendências espaço-temporais das respostas dos biomarcadores no coral da espécie *Mussimilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletados no Setor Abrolhos do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal global feita e apresentada na Figura 25, denota-se que os valores do IBR Biomarcador foram altos no início do monitoramento e apresentaram uma tendência decrescente até a Campanha 5 (jan/fev 2024 – período chuvoso), a qual apresentou menores valores do índice nas estações amostrais ABR01, ABR02 e ABRC1. Apesar disto, após a Campanha 5 (jan/fev 2024 – período chuvoso), os valores do índice voltaram a subir, inclusive, atingindo patamares mais altos aos observados no início do monitoramento. Esses resultados indicam um alto estresse bioquímico e fisiológico crônico aos quais os corais e hidrocorais do Setor de Abrolhos estão sujeitos no ambiente. A partir da análise comparativa dos dados apresentados na Figura 25 (IBR Bioacumulação) com aqueles reportados na Figura 11 (IBR Biomarcador), verifica-se uma associação do estresse com a bioacumulação de metais e As nesses organismos coralíneos.

Sabe-se que alterações nos biomarcadores analisados no presente monitoramento são capazes de induzirem efeitos negativos sobre processos fisiológicos vitais dos organismos recifais, tais como redução do crescimento e reprodução, podendo assim afetar a dinâmica populacional, bem como a composição e biodiversidade das comunidades recifais da região dos Abrolhos. Vale ressaltar que, mudanças e perda na biodiversidade nos ecossistemas são uma das maiores preocupações atuais, já que a biodiversidade está relacionada com a capacidade do ambiente em desempenhar suas funções ecossistêmicas.

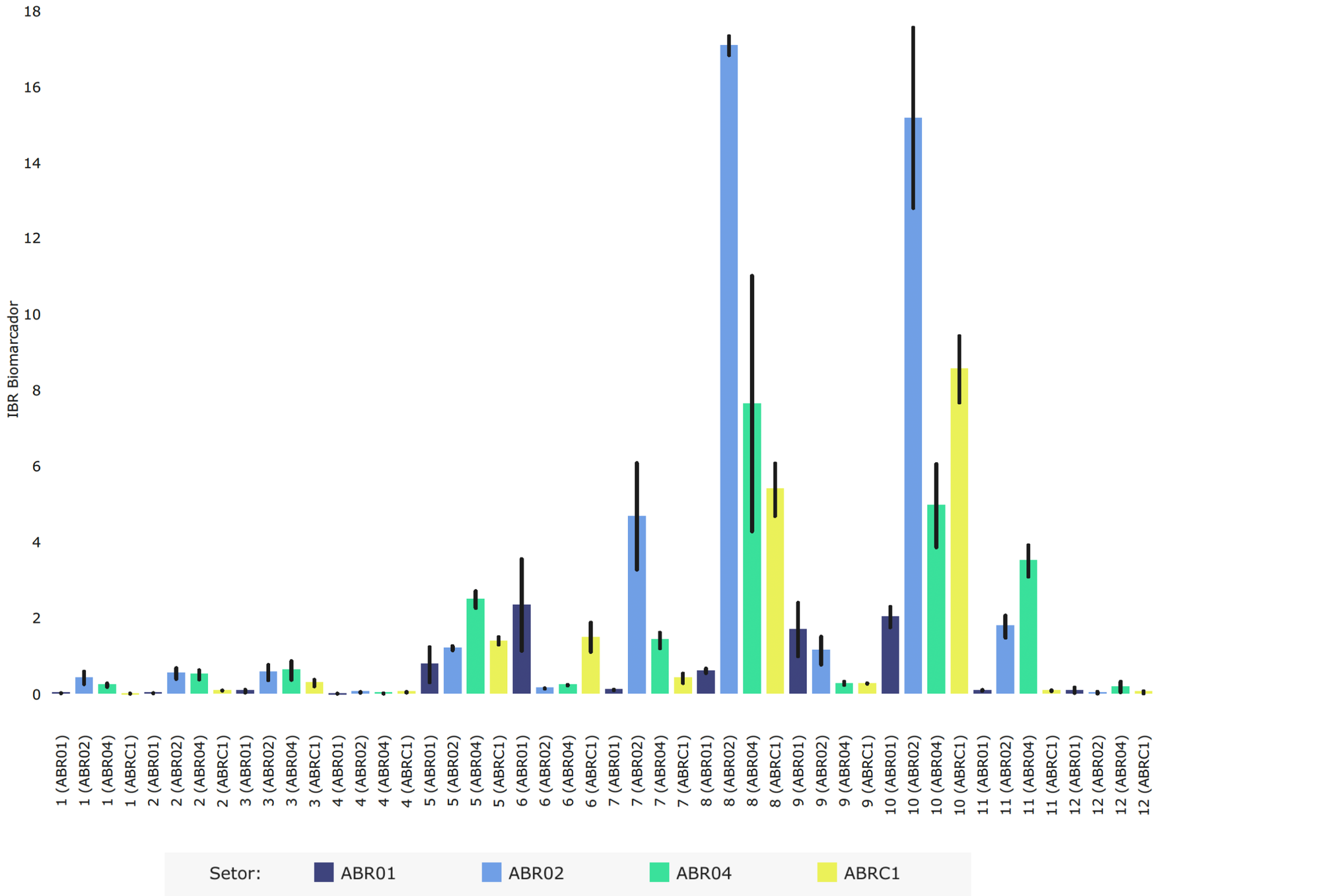
Figura 26: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores considerados foram: lipoperoxidação (LPO); atividade da enzima anidrase carbônica (AC); atividade da enzima Ca-ATPase (Ca-ATP); e atividade da enzima Mg-ATPase (Mg-ATP). Classificação por Setor e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].



Os gráficos de radar apresentados na Figura 26 foram obtidos a partir do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) de cada Setor avaliado e de cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores no coral da espécie *Mussismilia harttii* e do hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* coletados no Setor Abrolhos do Ambiente Marinho, bem como a contribuição destes para a composição do índice.

De modo geral, todos os biomarcadores analisados apresentaram valores altos de contribuição para a composição do IBR Biomarcador em todas as estações amostrais avaliadas e em todas as Campanhas realizadas, à exceção da LPO nas Campanhas 3 (set/out 2019 – período seco) e 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso). Nestes casos, este biomarcador não apresentou uma grande contribuição para a composição do índice. Estes resultados demonstram claramente que os mecanismos responsáveis pela calcificação dos corais estão comprometidos, bem como evidenciam a ocorrência de danos oxidativos nos componentes das membranas celulares desses organismos, tornando-os mais suscetíveis aos efeitos negativos de patógenos e de condições ambientais adversas.

Figura 27: Valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de plâncton de Abrolhos (fitoplâncton e zooplâncton) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setor e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



O gráfico de barras dos valores do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador), gerado para cada Setor avaliado e cada Campanha realizada, permite identificar tendências espaço-temporais dos efeitos das respostas dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) coletado no Setor Abrolhos do Ambiente Marinho, ao longo de todo o monitoramento.

De uma maneira geral, pode-se observar na Figura 27 que, no decorrer do monitoramento, houve uma tendência de aumento do valor do IBR Biomarcador em todas as estações amostrais avaliadas. Além disso, denota-se que os menores valores deste índice estão concentrados nas primeiras Campanhas (Campanhas 1: set/out 2019 – período seco a 4: jan/fev 2020 – período chuvoso). A partir da Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), os valores do IBR Biomarcador apresentaram uma tendência de aumento, com destaque para as Campanhas 8 (set/out 2023 – período seco) e 10 (jun/jul 2023 – peródo seco), as quais apresentaram os maiores valores do índice. As estações amostrais ABR02 e ABR04 foram aquelas que apresentaram os maiores valores do IBR Biomarcador na maior parte do período de monitoramento. Nas Campanhas 11 (jan 2024 – período chuvoso) e 12 (jul 2024 – período seco), os valores deste índice diminuíram em relação àqueles observados na Campanha 10, em todas as estações amostrais avaliadas. Inclusive, na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), os valores deste índice são semelhantes aos níveis basais mais baixos já observados no monitoramento.

A comparação do gráfico do IBR Biomarcador (Figura 27) com aquele do IBR Bioacumulação (Figura 13) permite identificar uma notável interferência da bioacumulação de metais e As na saúde do plâncton coletado na região de Abrolhos. Vale lembrar que o plâncton faz parte da base da cadeia alimentar, onde o fitoplâncton é produtor primário e o zooplâncton é o consumidor primário. Portanto, as consequências de impactos diretos nesses organismos podem desencadear alterações ecológicas indiretas na cadeia trófica, como por exemplo, magnificação de metais nos indivíduos de níveis tróficos superiores, efeito bottom-up e alterações na comunidade aquática.

Figura 28: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de plâncton de Abrolhos [fitoplâncton (_f) e zooplâncton(_z)] coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores considerados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MT). Classificação por Setor e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1



Os gráficos de radar apresentados na Figura 28 foram obtidos a partir do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) de cada Setor avaliado e de cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) coletados no Setor Abrolhos, bem como a contribuição destes para a composição do índice.

As Campanhas que apresentaram os maiores valores de IBR Biomarcador, ao longo de todo o monitoramento, foram as Campanhas 8 (set/out 2022 – período seco) e 10 (jun/jul 2023 – período seco). Na maior parte das Campanhas, houve a participação de todos os biomarcadores na composição do IBR Biomarcador. As exceções foram as Campanhas 1 (set/out 2018 – período seco), 3 (set/out 2019 – período seco) e 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), nas quais os valores do índice se associaram aos biomarcadores LPO no fitoplâncton, LPO no zooplâncton e MT no zooplâncton e, portanto, sem a contribuição da MT no fitoplâncton.

A Campanha 8 se destacou por apresentar os maiores valores do IBR Biomarcador nas estações amostrais ABR02 e ABR04, em todo o período do monitoramento. A estação amostral ABR02 apresentou o maior valor do IBR Biomarcador, sendo que todos os biomarcadores apresentaram uma contribuição relevante na composição do índice. Nesta estação amostral, foi possível observar picos de valores dos biomarcadores MT no fitoplâncton e MT no zooplâncton. Por sua vez, os valores do IBR Biomarcador nas estações amostrais ABR04 e ABRC1 contaram com a contribuição de todos os biomarcadores, sendo mais relevantes as da LPO no fitoplâncton e zooplâncton. Na estação amostral ABR01, o biomarcador mais importante para a composição do IBR Biomarcador foi a MT no zooplâncton, embora outros biomarcadores também tenham contribuído de forma menos expressiva na composição do índice.

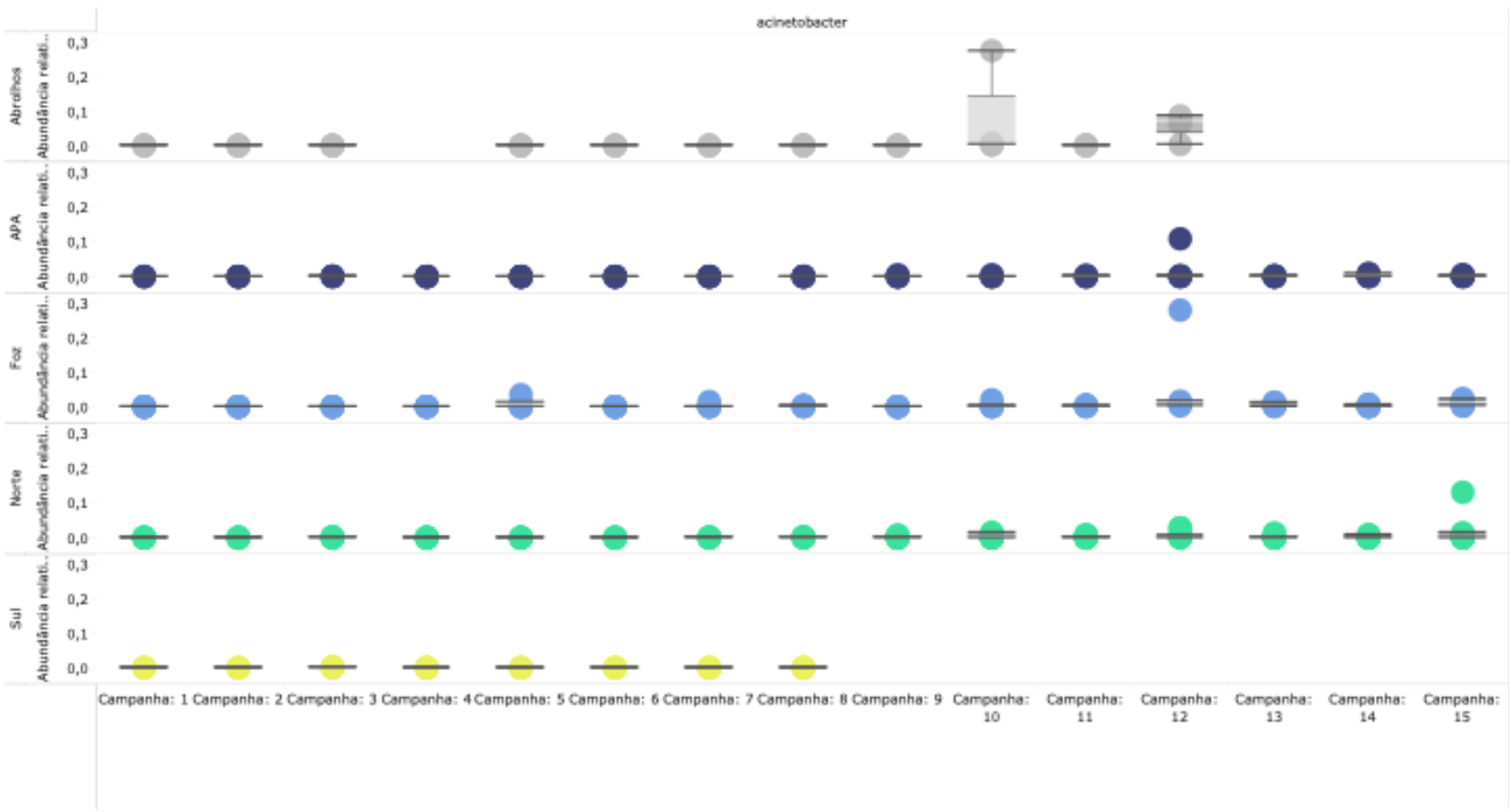
Com relação à Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), os maiores valores de IBR Biomarcador foram observados nas estações amostrais ABR02 e ABRC1. Para todas as estações amostrais, os valores do IBR Biomarcador se associaram aos quatro biomarcadores analisados. Porém, o que diferiu entre elas foram os biomarcadores que mais contribuíram para a composição dos valores do índice nas diferentes estações amostrais. Na estação amostral ABR02, a MT no zooplâncton foi o biomarcador que apresentou o maior valor de contribuição para o IBR Biomarcador. Por sua vez, o biomarcador que mais contribuiu para a composição do valor do índice na estação amostral ABRC1 foi a LPO no fitoplâncton. Já na estação amostral ABR04, a MT no zooplâncton foi o biomarcador que mais contribuiu na composição do índice. Por fim, a estação amostral ABR01 teve o valor do seu índice associado à LPO e MT no fitoplâncton.

A indução da atividade de MT no plâncton está associada à síntese de proteínas pelos organismos expostos aos metais e ao As, visando sua proteção contra os efeitos negativos destes contaminantes. Por sua vez, o aumento da LPO no plâncton indica estresse oxidativo nos organismos em decorrência da contaminação ambiental por metais e As. Assim, foi possível fazer uma associação entre o estresse fisiológico observado e a bioacumulação de metais e As no plâncton marinho. Além disso, foi observado que, no início do monitoramento, o estresse fisiológico e a indução das respostas dos biomarcadores estiveram mais relacionadas ao fitoplâncton. Por sua vez, a importância dos biomarcadores

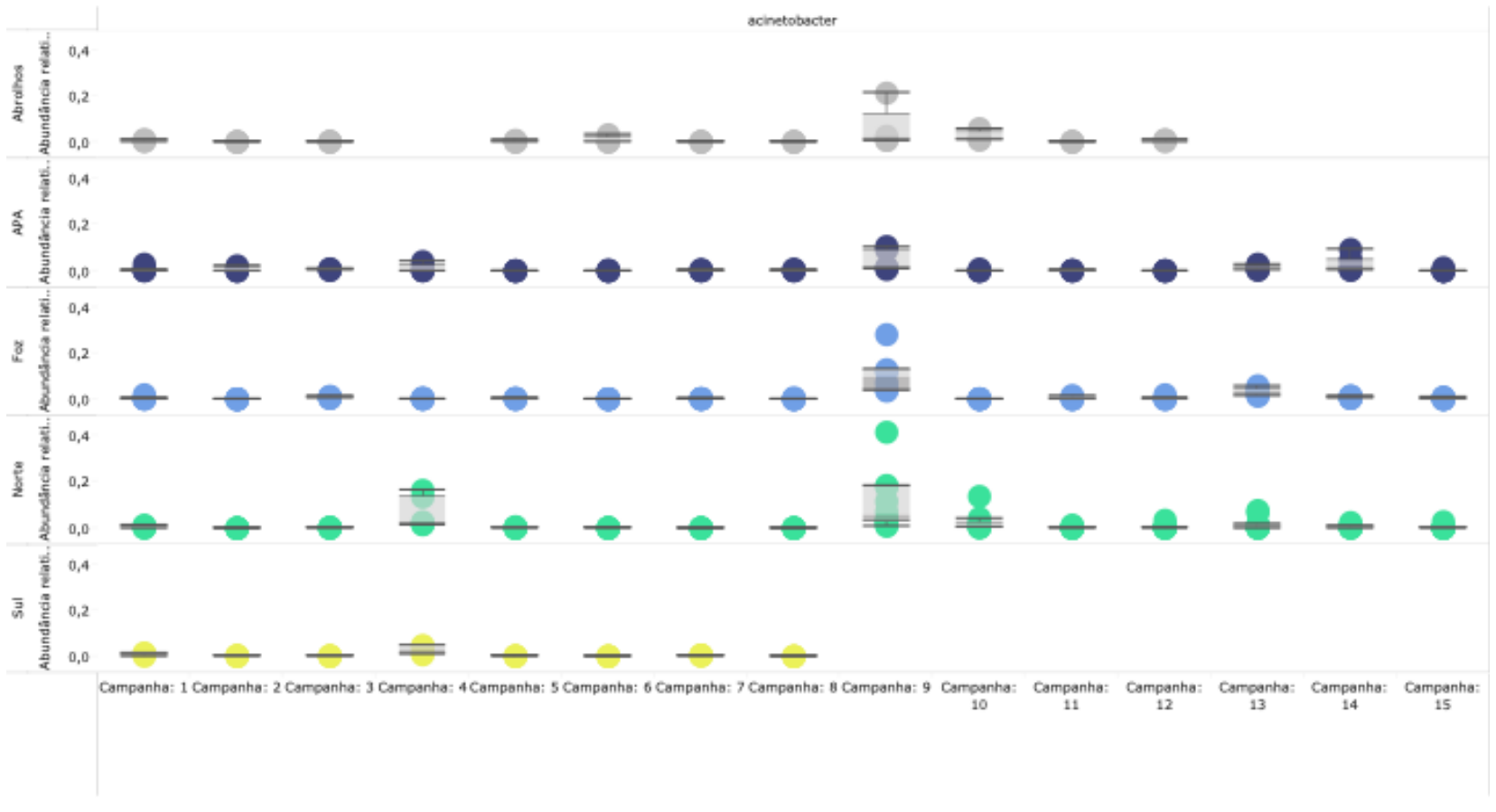
relacionados ao zooplâncton passou a ser mais destacada a partir da Campanha 5, demonstrando assim um efeito mais crônico da contaminação ambiental a que estes organismos estão sujeitos no ambiente marinho.

Figura 29: Abundância relativa do táxon *Acinetobacter*, bioindicador microbiano da contaminação por metal, mensurada nas amostras de sedimento (A), água de superfície (B) e água de fundo (C) do Oceano e de Abrolhos, coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; Área de Proteção Ambiental - APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 - a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); Foz [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 02 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 20 (SDN30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13 – a partir da Campanha 13) e Saída Doce Sul 30 (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 –da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 - a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)].

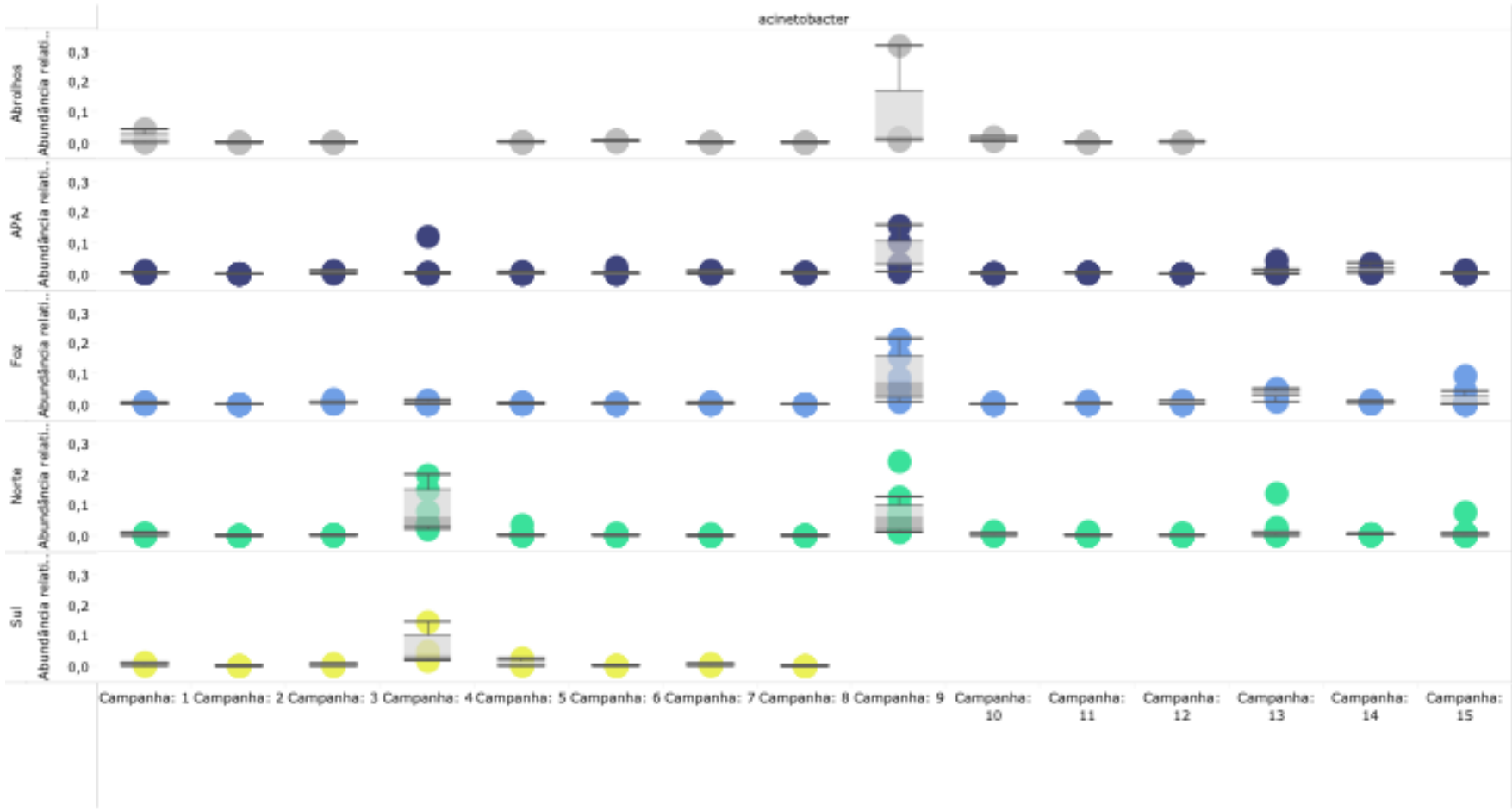
A) Sedimento



B) Água de superfície



C) Água de fundo



.

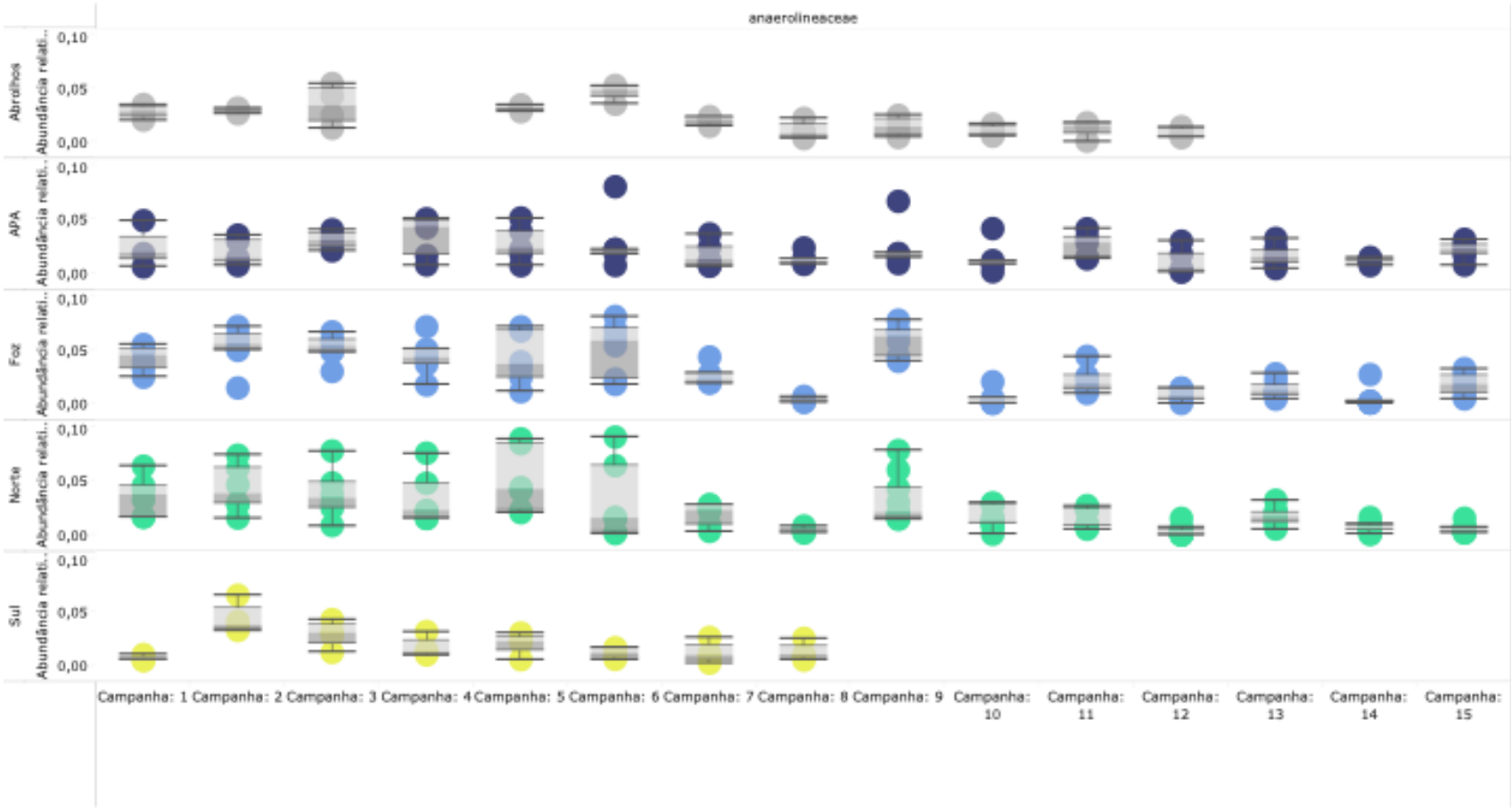
Na Figura 29, pode ser observado que a presença de *Acinetobacter* no sedimento marinho parece mostrar uma tendência de estabilidade na sua abundância relativa, mantendo-se reduzida ou tendendo a zero na maior parte das Campanhas, independente do Setor. Desta forma, a abundância relativa deste táxon foi menor no sedimento. Exceções a essa tendência foram observadas em períodos secos específicos no Setor Abrolhos, para a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco), onde foram registrados os maiores valores médios de abundância. O Setor Foz e o Setor APA também apresentaram um aumento da abundância relativa de *Acinetobacter* na Campanha 12 (jul 2024 – período seco). Já o Setor Norte apresentou um pico de abundância relativa na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). O gênero *Acinetobacter* é conhecido por sua resistência a altas concentrações de metais pesados e óleo (Méndez et al., 2017), tornando sua detecção no sedimento um sinal de contaminação ambiental. Embora *Acinetobacter* seja considerada um excelente bioindicador na superfície, seu crescimento em regiões mais profundas e com temperaturas mais baixas pode ser inibido, pois apesar de sua ampla faixa de tolerância térmica, *Acinetobacter* geralmente prospera em ambientes com temperaturas entre 20 e 44°C (Wisplinghoff, 2017).

Na água de superfície, o gênero *Acinetobacter* apresentou valores de abundância relativa mais elevados na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) em todos os Setores, exceto o Setor Sul onde não houve amostragem. Picos na abundância relativa de *Acinetobacter* foram observados também na Campanha 4 (jan/fev 2023 – período chuvoso) para o Setor Norte, e, em menor grau, no Setor APA e Setor Sul. No Setor Norte, a abundância relativa manteve-se elevada na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco). Na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) houve um discreto aumento no indicador, sobretudo no Setor Norte e Setor Foz. As Campanhas subsequentes apresentaram variação espacial na abundância relativa, com aumento discreto no indicador na Campanha 14 (jul 2025 – período seco), seguido por redução na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). No Setor Norte e Setor Foz, partir da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), os indicadores mantiveram-se reduzidos e relativamente estáveis, com um discreto aumento no período chuvoso de 2025 (Campanha 13: jan/fev 2025) e 2026 (Campanha 15: jan/fev 2026)

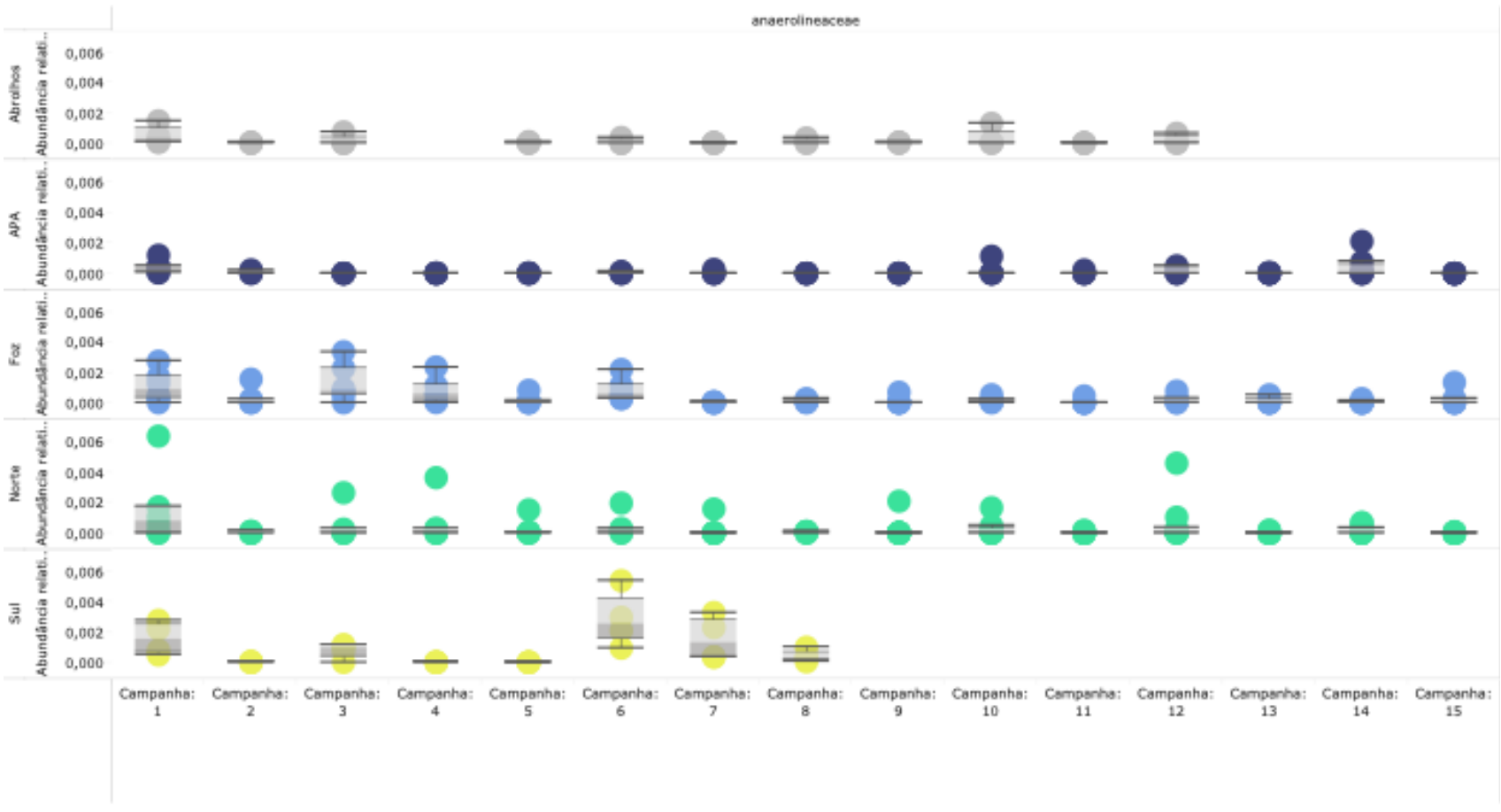
As amostras de água de fundo apresentaram os mesmos padrões que as amostras de água de superfície, com a diferença de que o pico mais acentuado no inicio do monitoramento ocorreu na Campanha 3 (jan/fev 2023 – período chuvoso) nos Setores APA, Norte e Sul. Novamente, a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) apresentou os maiores valores de abundância relativa de *Acinetobacter* na água para todos os Setores. Um discreto aumento foi observado na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) para todos os Setores, e também na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) no Setor Norte e Foz, indicando uma possível influência sazonal nas últimas Campanhas monitoradas.

Figura 30: Abundância relativa do táxon Anaerolineaceae, bioindicador microbiano da contaminação por metal, mensurada nas amostras de sedimento (A), água de superfície (B) e água de fundo (C) do Oceano e de Abrolhos, coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 - período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; Área de Proteção Ambiental - APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13]; Rio Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); Foz [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13 – a partir da Campanha 13) e Saída Doce Sul 30 (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 –da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)].

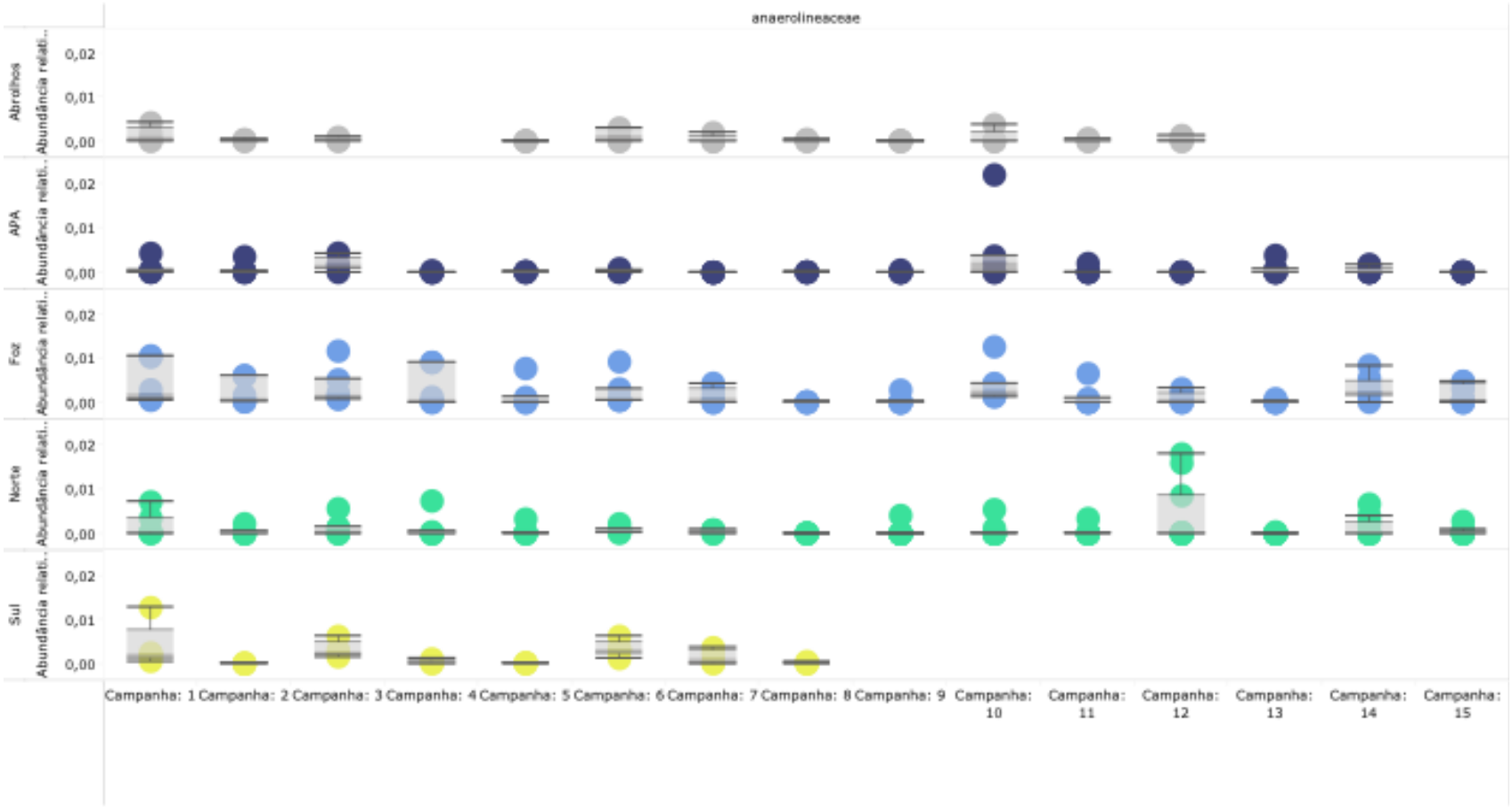
A) Sedimento



B) Água de Superfície



C) Água de Fundo



O táxon Anaerolineaceae á caracterizado por microrganismos fermentadores anaeróbios, os quais são altamente dependentes de compostos inorgânicos, podendo servir como um indicador sensível de contaminação por metais (Chung et al., 2019). Assim, sua detecção, mesmo em quantidades mínimas, pode representar um alerta ambiental de relevância. A Figura 30 mostra que a família Anaerolineaceae foi identificada no sedimento de todas as regiões amostradas com oscilações na sua abundância relativa. De fato, a abundância deste táxon apresentou-se elevada no sedimento até a Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco) Em seguida houve decréscimo do táxon na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – períos chuvoso) houve aumento da abundância, exceto para o Setor Abrolhos. A partir da Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) houve diminuição nos níveis do táxon seguida de estabilização a nos Setores APA e Foz e, em menor escala, no Setor Norte . Adicionalmente, no Setor Foz e Setor APA, foi possível observar leves aumentos na abundância relativa nos períodos chuvosos correspondentes à Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Os maiores níveis foram registrados para o Setor Norte. O padrão temporal observado no Setor Sul diferiu dos demais, com um pico na abundância relativa na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), seguido por declínio progressivo nas Campanhas subsequentes (amostragem realizada no Setor até a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os níveis da família Anaerolineaceae apresentaram-se maiores no sedimento do que nas amostras de água. Fernandes et al. (2022) já haviam relacionado a presença de Anaerolineaceae aos sedimentos do rio Doce e ao Material Ligado ao Desastre (MLD) relativo ao rompimento da barragem de Fundão, especialmente nos primeiros 3 anos após a ocorrência do evento.

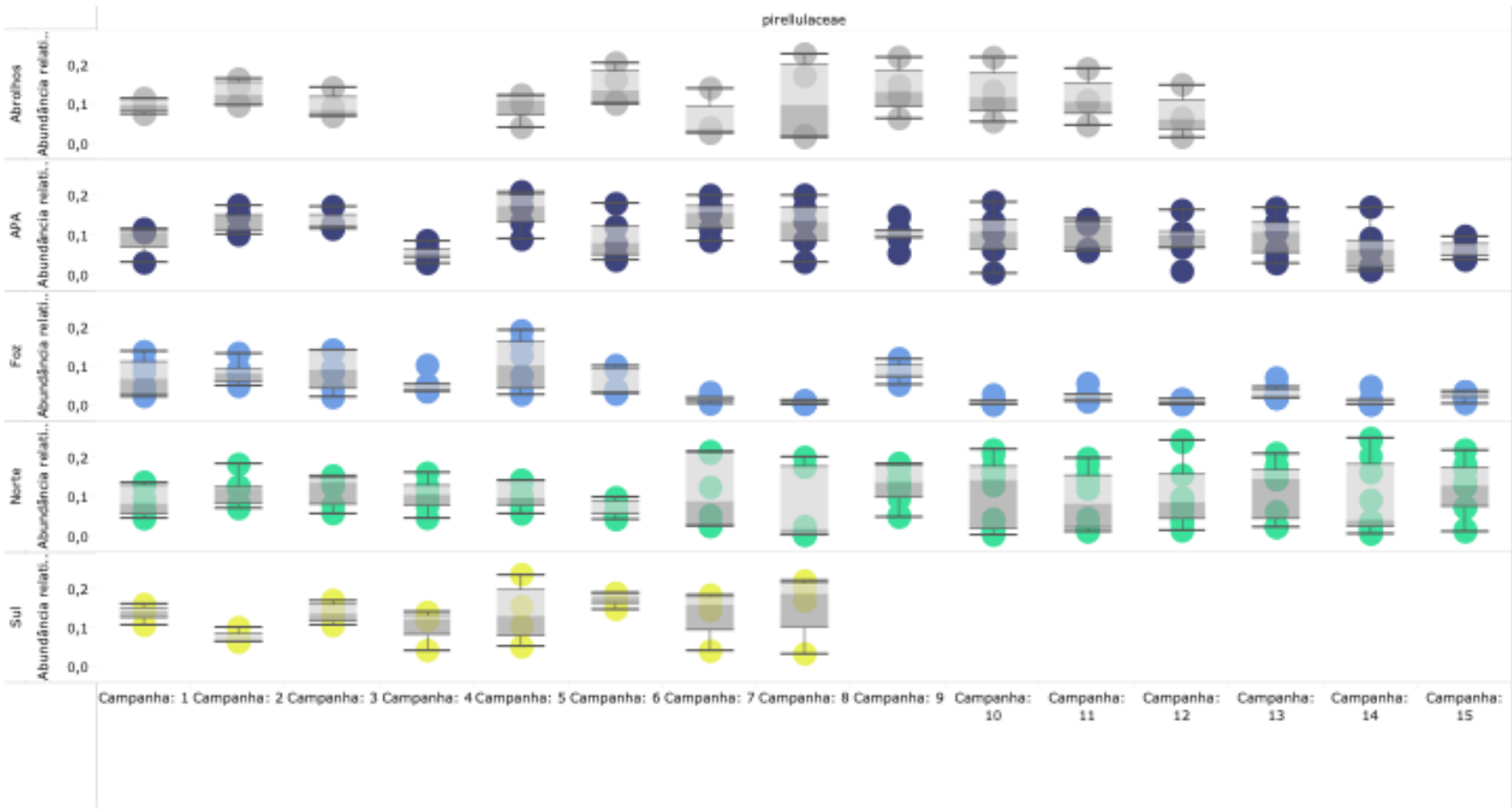
Na água de superfície, o perfil da abundância relativa do táxon Anaerolineaceae se destacou inicialmente na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), com declínio na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), seguido por novo aumento na Campanha 3 (set/out 2019 – período seco) nos Setores Norte, Foz e Sul. Estas Campanhas são referentes à períodos secos do início do monitoramento. No Setor Foz, observou-se uma estabilidade na abundância relativa de Anaerolineaceae a partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), com um discreto aumento na última Campanha amostrada (Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso). Já no Setor Norte, os valores do indicador oscilaram levemente entre a Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso) a Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), com um novo pico da abundância relartiva observado na Campanha 12 (jul 2024 – período seco). Após esta Campanha, houve nova redução na abundância relativa do táxon e variabilidade temporal e espacial no índice de Anaerolineacea na malha amostral marinha até a Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). O Setor Sul apresentou ampla variação, com picos da abudância relativa observados na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco) e Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). O Setor APA apresentou níveis relativamente reduzidos e estáveis, juntamente com o Setor Abrolhos.

Na água de fundo, foram registrados valores elevados de abundância relativa do táxon Anaerolineaceae da Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) a Campanha 4 (jan/fev 2023 – período chuvoso), com níveis mais expressivos no Setor Foz. Entre as Campanhas 5 (jan/fev 2021 – período

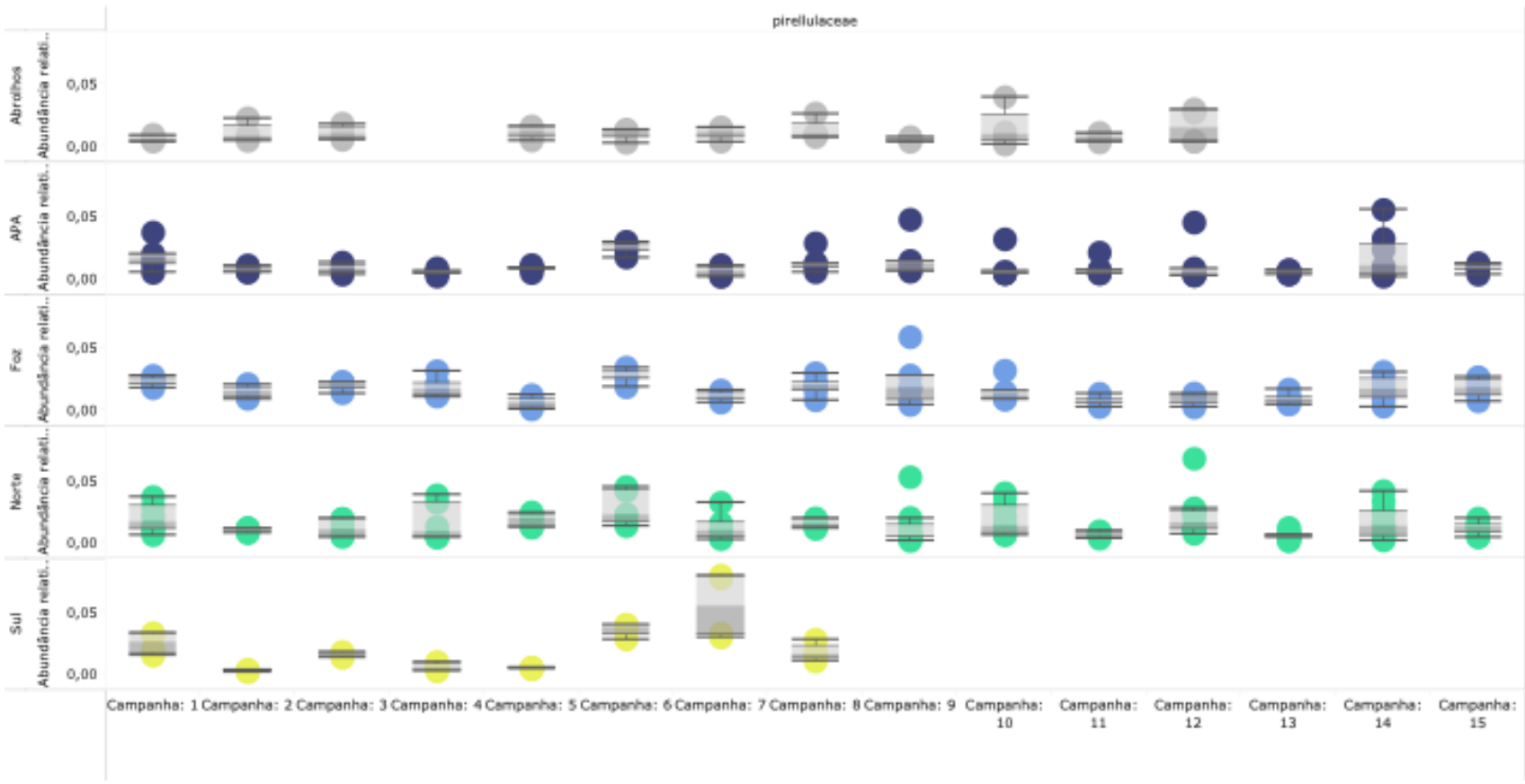
chuvoso) e 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), os valores permaneceram mais baixos e estáveis. Na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), observou-se um aumento na abundância relativa de Anaerolineaceae nos Setores Abrolhos, APA e Foz. A partir da Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) os níveis do indicador mantiveram-se estáveis com pequenas variações temporais no Setor APA. Já no Setor Foz, observou-se um novon aumento na Campanha 14 (jul 2025 - período seco), com discreta redução na Campanha 15 (jan/fev 2026 - periodo chuvoso). No Setor Norte, destacou-se um pico na Campanha 12 (jul 2024 – período seco) e, um padrão semelhante de incremento na Campanha 14 (jul 2025 – período seco). Ressalta-se que a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), Campanha 12 (jul 2024 – período seco) e Campanha 14 (jul 2025 – período seco) correspondem a períodos secos

Figura 31: Abundância relativa do táxon Pirellulaceae, bioindicador microbiano da contaminação por metal, mensurada nas amostras de sedimento (A), água de superfície (B) e água de fundo (C) do Oceano e de Abrolhos, coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; Área de Proteção Ambiental - APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04(PA04 – a partir da Campanha 13); Foz [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13 – a partir da Campanha 13) e Saída Doce Sul 30 (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13), Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus -4 (SM04 – a partir da Campanha 13)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)].

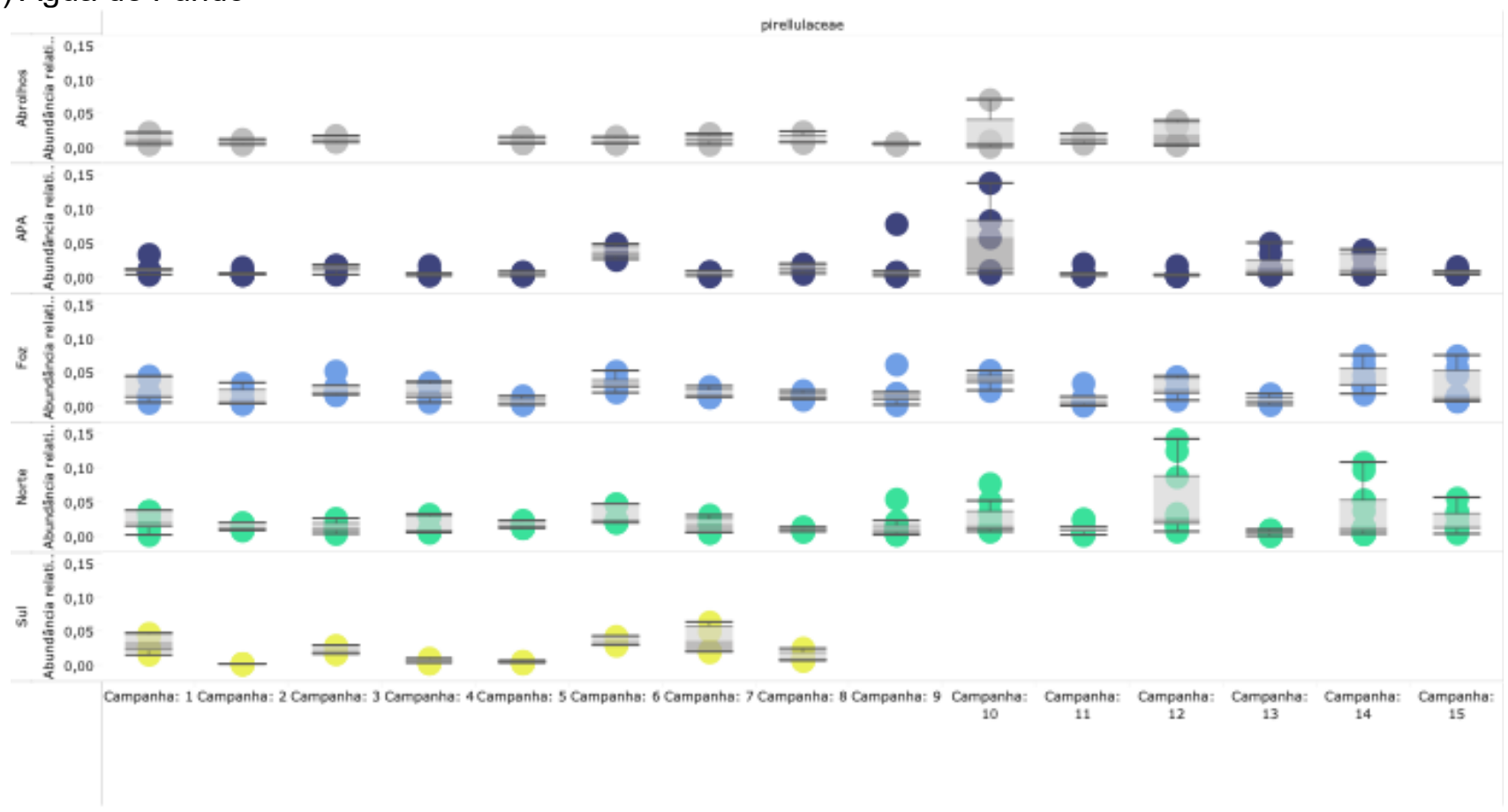
A) Sedimento



B) Água de Superfície



C) Água de Fundo



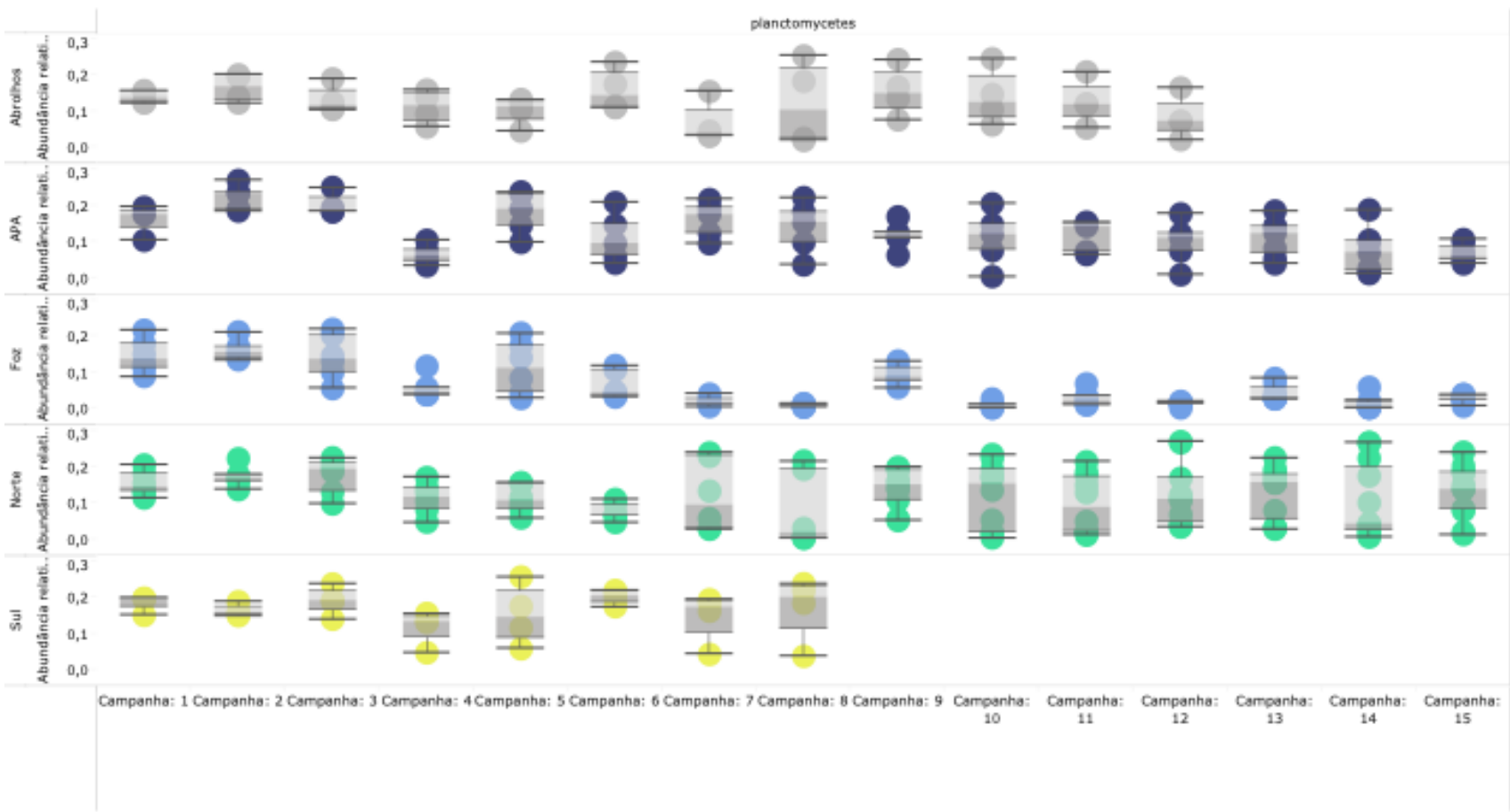
.

A Figura 31 mostra que a abundância da família Pirellulaceae no sedimento da região marinha adjacente ao Rio Doce apresentou valores maiores do que nas amostras de água de superfície e de fundo. No sedimento, os níveis de mantiveram altos, com pequenas oscilações em todos os Setores, exceto por uma discreta redução na Campanha 4 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Além disso, no Setor Foz os níveis relativos do táxon caíram a partir da da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e se mantiveram em níveis mais baixos, exceto pela Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), a qual apresentou um pico de abundância relativa neste Setor. No que se refere ao Setor Norte, observa-se uma manutenção dos níveis elevados do indicador nas Campanhas mais recentes, entre a Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco) até a Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), sugerindo que os impactos do rompimento da barragem do Fundão persistem sob o ponto de vista microbiológico. No Setor APA, uma ligeira redução da abundância na família Pirellulaceae foi observada na última Campanha. Gêneros pertencentes à família Pirellulaceae, têm sido associados ao rompimento da barragem (Fernandes et al., 2022) e outros resíduos de mineração, especialmente em contaminação por altos níveis de Mn (Sjöberg et al., 2020).

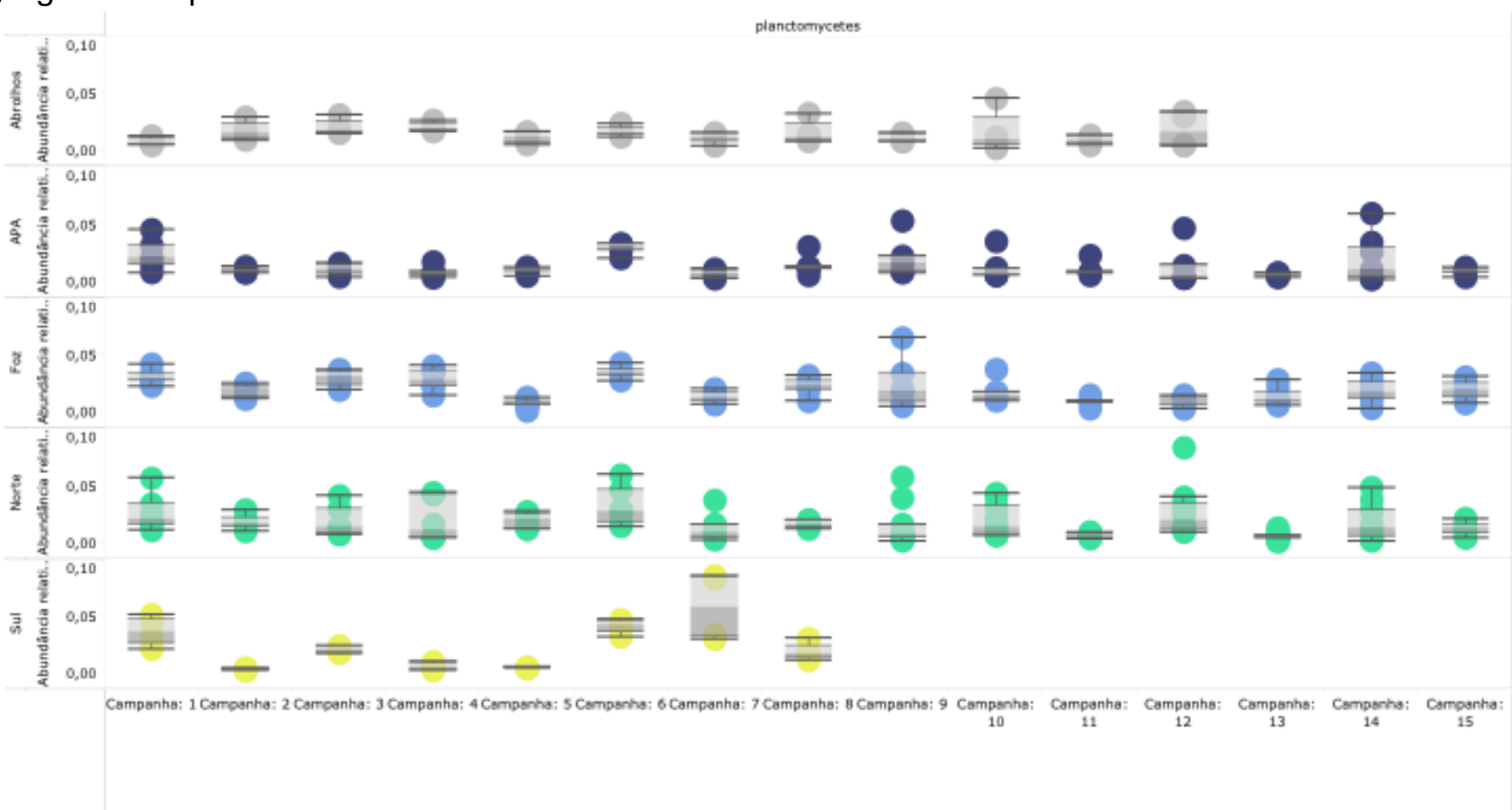
Na água de superfície, a abundância relativa de Pirellulaceae variou menos do que no sedimento, mantendo níveis relativamente baixos em todos os Setores avaliados. Exceções foram observadas nas Campanhas 4 (jan/fev 2023 – período chuvoso), 6 (jul/ago 2021 – período seco), 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e 14 (jul 2025 – período seco) quando a abundância relativa foi maior que nas demais Campanhas. O padrão de oscilação nos Setores APA, Foz e Norte foi semelhante ao longo do período monitorado. O Setor Sul, por outro lado, apresentou variação distinta entre as Campanhas, com um pico de abudnância relativa reportado na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Considerando que Pirellulaceae está mais intimamente associada ao sedimento e aos resíduos minerais, é esperado que os níveis de sua abundância relativa na água de superfície sejam inferiores em comparação ao sedimento. No entanto, mesmo quando pequenos valores surgem na água em movimento, isso pode representar um importante alerta ambiental. De fato, estudos anteriores já demonstraram que táxons como Pirellulaceae podem estar associados à mudança no microbioma pela entrada de metais no ecossistema (Chen et al., 2018). Na água de fundo, a abundância relativa de Pirellulaceae teve valores intermediários entre o sedimento e a água de superfície, embora o padrão de variação espacial e temporal tenha se assemelhado ao padrão descrito na água de superfície

Figura 32: Abundância relativa do táxon Planctomycetes, bioindicador microbiano da contaminação por metal, mensurada nas amostras de sedimento (A), água de superfície (B) e água de fundo (C) do Oceano e de Abrolhos, coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)]; Área de Proteção Ambiental - APA [Costa das Algas 1 (CA1), Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 3 (CA3), Costa das Algas 4 (CA4 – até a Campanha 12), Costa das Algas 5 (CA5 – até a Campanha 12), Costa das Algas 7 (CA7 – a partir da Campanha 13), Costa das Algas 13 (CA13 – a partir da Campanha 13) e Costa das Algas 15 (CA15 – a partir da Campanha 13)]; Piraquê-Açu 04 (PA04 – a partir da Campanha 13); Foz [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 3 (FRD3 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 8 (FRD8 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 9 (FRD9 – até a Campanha 12), Foz do rio Doce 10 (FRD10 – até a Campanha 12), Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 02 (SD02 – a partir da Campanha 13), Saída Doce 03 (SD03 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 13 (SDN13 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Norte 30 (SDN30 – a partir da Campanha 13), Saída Doce Sul 13 (SDS13 – a partir da Campanha 13) e Saída Doce Sul 30 (SDS30 – a partir da Campanha 13)]; Norte [Barra Nova 1 (BN1 – até a Campanha 12)), Barra Nova 2 (BN2), Barra Nova 3 (BN3 – a partir da Campanha 13); Barra Seca 1 (BS1– a partir da Campanha 9), Barra Seca 2 (BS2 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 1 (CB1 – a partir da Campanha 9), Conceição da Barra 2 (CB2 – da Campanha 9 à 12), Conceição da Barra 3 (CB3 – a partir da Campanha 13), Degredo 1 (DEG1), Degredo 2 (DEG2), Itaúnas 1 (ITA1), Itaúnas 2 (ITA2 – até a Campanha 12), Itaúnas 3 (ITA3 – a partir da Campanha 13) e São Matheus 04 (SM04 – a partir da Campanha 13)]; e Sul [Guarapari 1 (GUA1 - da Campanha 1 à 8), Guarapari 2 (GUA2 - da Campanha 1 à 8), Vitória 1 (VIX1 - da Campanha 1 à 8) e Vitória 2 (VIX2 - da Campanha 1 à 8)].

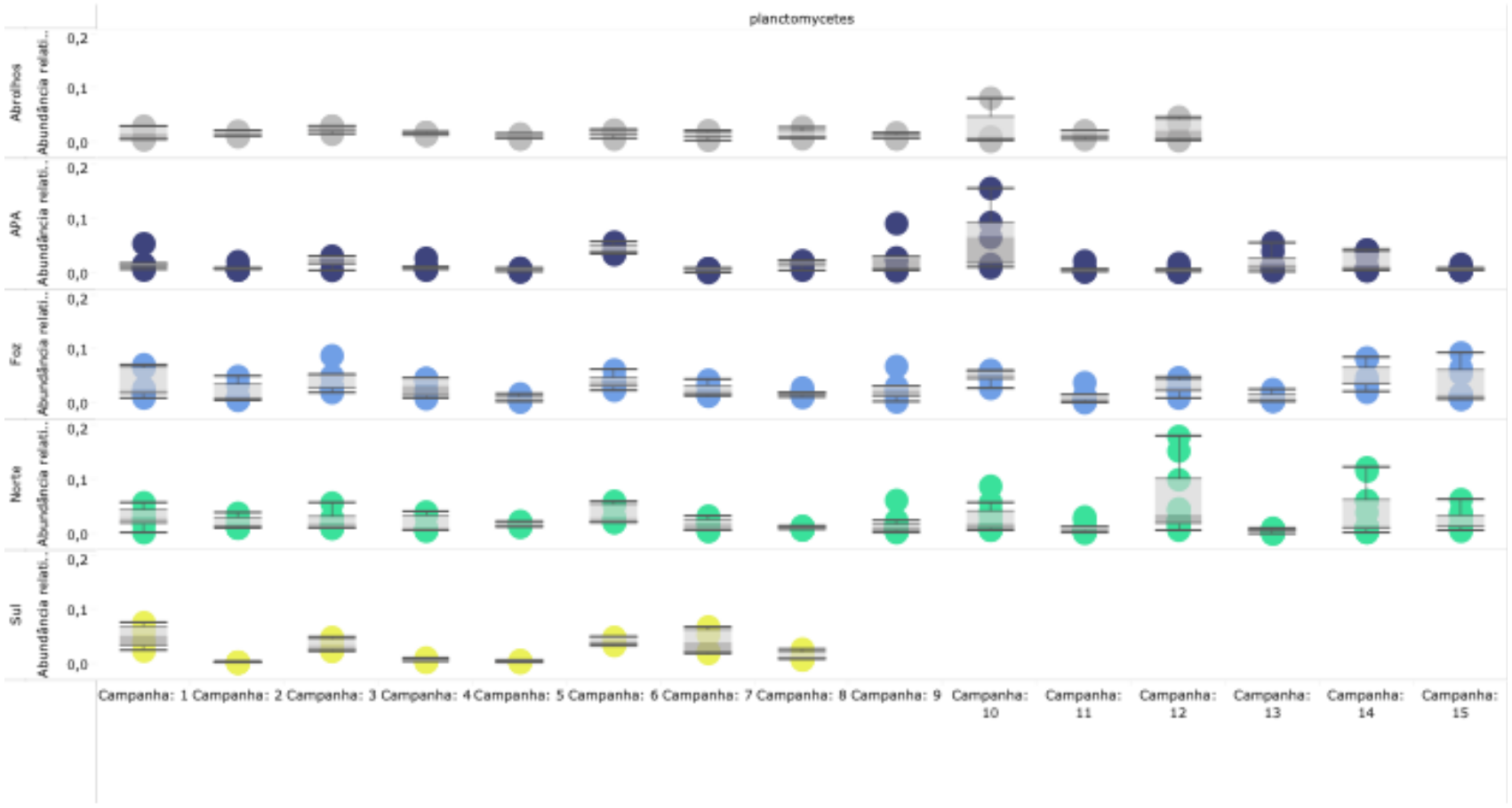
A) Sedimento



B) Água de Superfície



C) Água de Fundo



Com relação ao táxon Planctomycetes, a Figura 32 mostra que houve maior consistência nos níveis de sua abundância relativa nas amostras de sedimento coletadas ao longo de todas as Campanhas. Os Setores APA, Foz, Norte e Sul, apresentaram abundância relativa do táxon levemente oscilante, e muito semelhante até a Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco). Neste período, destaca-se a redução no período chuvoso de 2020 (Campanha 4: jan/fev 2020 – período chuvoso). A partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o nível elevado do indicador manteve-se no Setor Norte e APA, com uma discreta redução da abundância relativa no Setor APA, durante a Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Em contrapartida, no Setor Foz, observou-se uma tendência de redução que persistiu até a última Campanha. Cabe ressaltar que Planctomycetes estão relacionados à toxicidade de metais (Lage et al., 2012). Assim, os altos valores na abundância relativa observadas para este táxon podem indicar contaminação por metais.

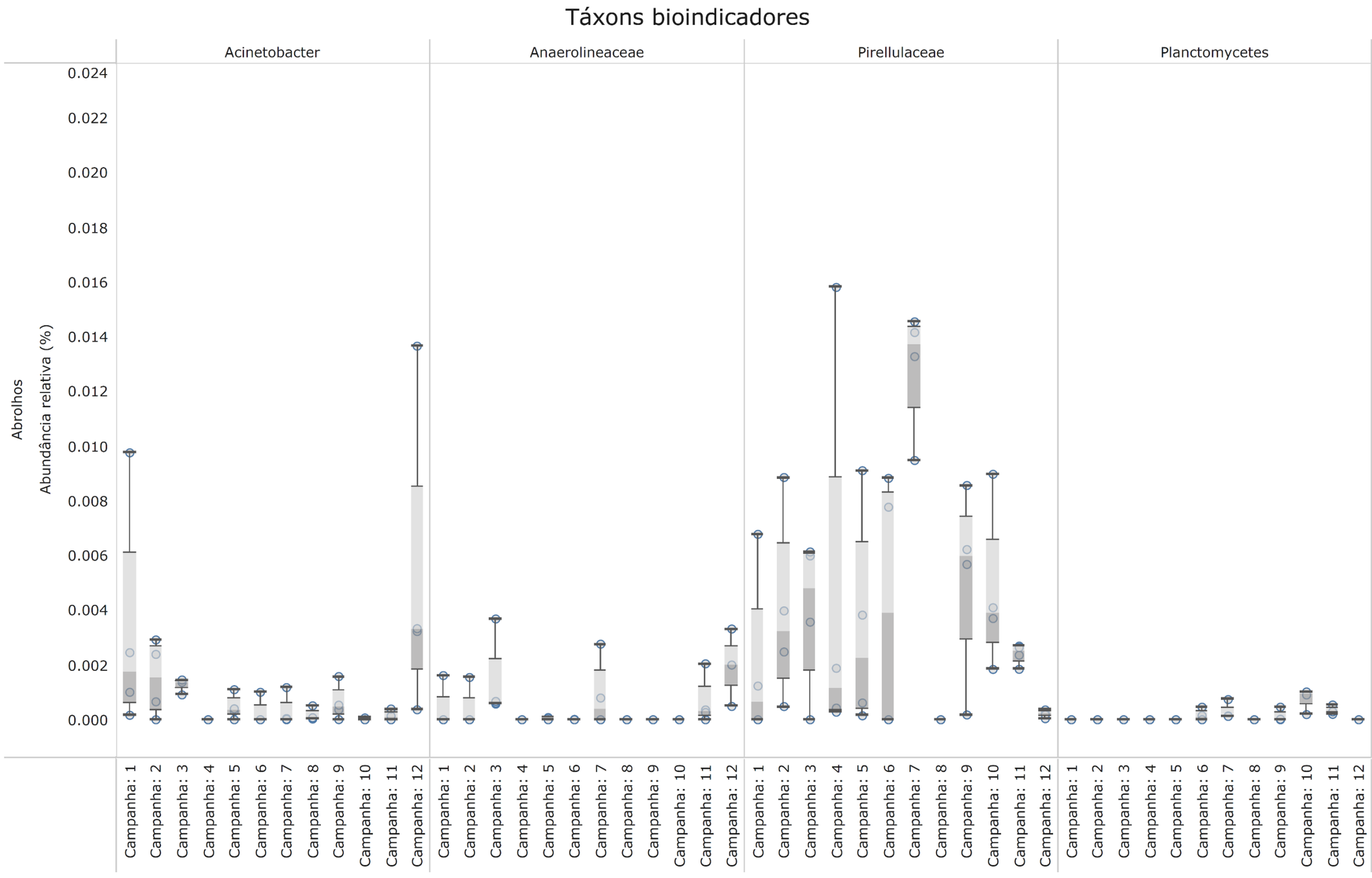
A água de superfície apresentou menores valores de abundância relativa de Planctomycetes do que o sedimento, apesar dos níveis realtivamente consistentes nos Setores APA, Foz e Norte. O padrão de expressão do táxon foi oscilante, mas com perfil semelhante nestes três setores. Os maiores valores de abundância relativa no Setor APA, Foz e Norte foram registrados na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco),e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Especificamente, no Setor APA houve um pico na abundância relativa do táxon durante a Campanha 14 (jul 2025 – período seco), enquanto, para o Setor Norte, destaca-se a Campanha 12 (jul 2024 – período sec). O Setor Sul e Abrolhos apresentaram padrão distinto dos demais Setores. Destaca-se, por exemplo, a Campanha 7 (mar 2022. -pe'riodo chuvoso) como pico de abundância relativa de Planctomycetes no Setor Sul ao passo que o maior valor do indicador foi registrado na Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), para o Setor Abroilhos. Planctomycetes é um filo amplo e, ao contrário de outros indicadores, pode apresentar uma variação menos pronunciada devido à sua abrangência taxonômica. Planctomycetes está frequentemente associado ao microbioma marinho e está correlacionado com algas (Pizzetti et al., 2011), bem como com mudanças na comunidade planctônica influenciadas pela contaminação por metais (Huang et al., 2021). Assim, mesmo com valores menos proeminentes, picos repentinos de abundância relativa deste bioindicador não devem ser negligenciados.

Na água de fundo, os microrganismos do táxon Planctomycetes apresentaram maior abundância relativa em comparação à água de superfície, porém menor do que a registrada no sedimento. Considerando que a água de fundo é mais influenciada pelo sedimento, é provável que essa maior abundância esteja relacionada à presença de metais nessa matriz. No Setor Foz, foi registrada maior abundância relativa do táxon nos dois primeiros anos de monitoramento (Campanha 1: set/out 2018 – período seco – a Campanha 3: set/out 2019 – período seco), bem como nas últimas duas Campanhas (Campanha 14: jul 2025 – período seco e Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso). Nos demais Setores, os níveis permaneceram relativamente constantes na água de fundo, com apenas dois momentos de aumento mais expressivo: na Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), para os Setores Abrolhos e APA, e na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), para o Setor Norte. Destaca-se também, no Setor Norte, o aumento expressivo da abundância relativa deste táxon durante a Campanha 14 (jul

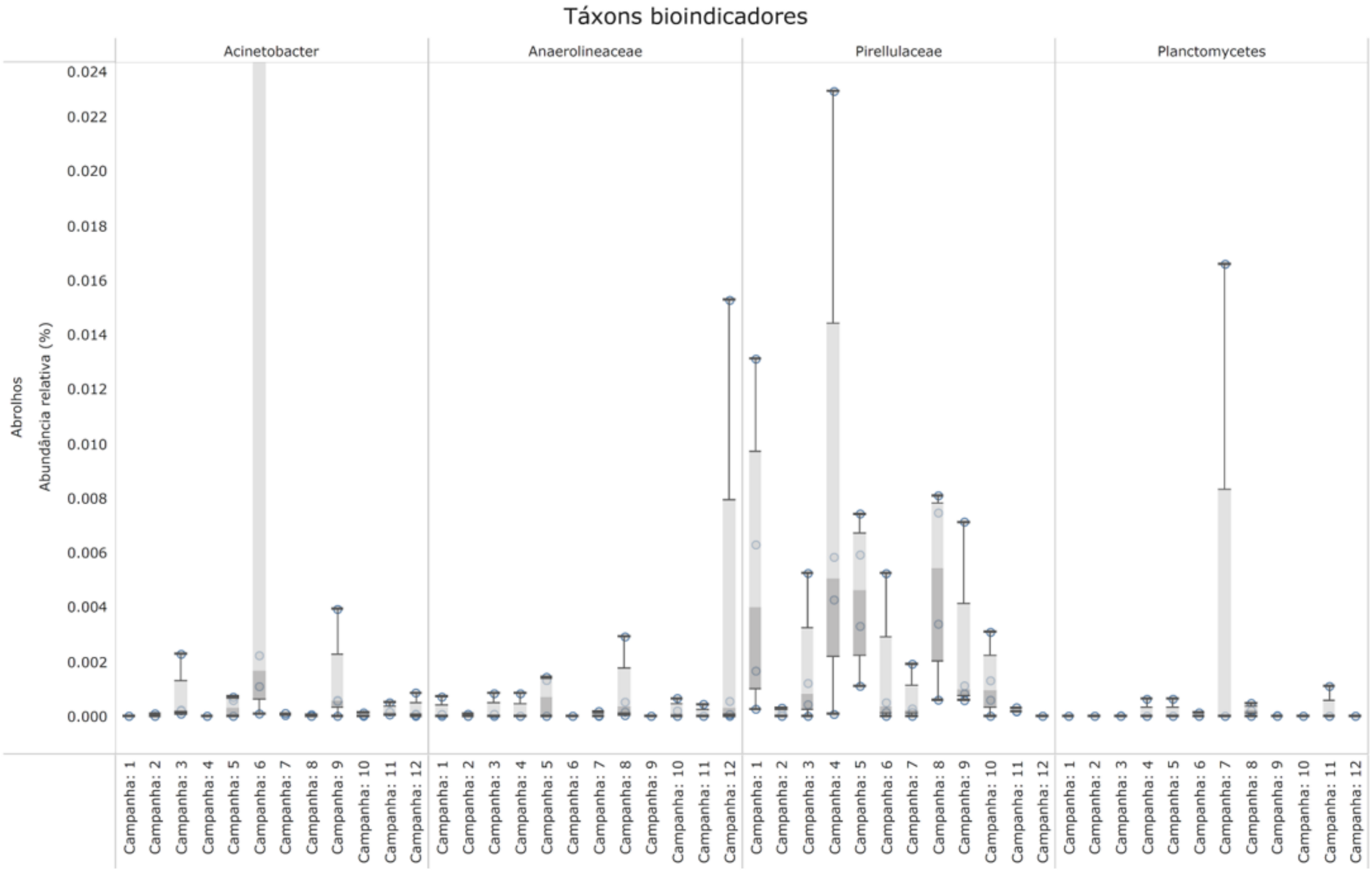
2025 – período seco), com pequena redução na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), ainda que os valores tenham sido proporcionais ao do início do monitoramento. De modo geral, o padrão de oscilação foi semelhante entre água de superfície e de fundo em todos os Setores, indicando consistência na resposta do táxon (abundância relativa) frente a variações ambientais, como a presença de metais.

Figura 33: Abundância relativa dos táxons *Acinetobacter*, Anaerolineaceae, Pirellulaceae e Planctomycetes, bioindicadores microbianos da contaminação por metal, mensurada nas amostras dos corais das espécies (A) e *Milepora alcicornis* (B), coletadas em Abrolhos durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jul 2024 – período seco). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Abrolhos [Abrolhos Controle 1 (ABRC1), Abrolhos 1 (ABR01), Abrolhos 2 (ABR02) e Abrolhos 4 (ABR04)].

A) *Mussismilia hartii*



B) *Milepora alcicornis*



A Figura 33 mostra o perfil microbiológico encontrado nos corais *Mussismilia harttii* e *Milepora alcicornis* coletados no Setor de Abrolhos. A influência do Material Ligado ao Desastre (MLD) pode ser inferida pelos dados do biomarcador *Acinetobacter* no coral *M. harttii*, onde inicialmente nas Campanhas 1 e 2 foram observados valores altos de abundância relativa (0,009 e 0,003%, respectivamente). Posteriormente, observou-se uma diminuição gradual na abundância deste táxon até a Campanha 11, e na Campanha 12, o táxon volta a apresentar um aumento considerável na sua abundância, levantando um ponto de atenção. A proliferação de bactérias que possuem genes de resistência como *Acinetobacter* foi, possivelmente, favorecida pela contaminação por metais e As devido ao rompimento da Barragem de Fundão (Ghaima et al*.,* 2018). Estes microorganismos são capazes de desempenhar um papel importante na mitigação de elementos metálicos e As em ambientes contaminados.

Já no hidrocoral *M. alcicornis* é possível observar que, no decorrer do período de monitoramento, a abundância relativa do gênero *Acinetobacter* permaneceu baixa, com leve aumento nas Campanhas 3, 5 e 9 e 11 (0,0005% a 0,004%). No entanto, houve um pico na abundância relativa deste gênero (0,06%) na Campanha 6, período seco. Vale lembrar que *Acinetobacter* é um gênero de vasto potencial metabólico que está normalmente presente no microbioma do hidrocoral *M. alcicornis* (Vilela et al., 2021). Porém, não foi possível determinar um padrão claro da abundância relativa deste táxon no hidrocoral *M. alcicornis*, em contraste com o perfil obtido para o coral *M. harttii*.

A abundância relativa de Anaerolineaceae no coral *M. harttii* foi expressiva nas Campanhas de 1 a 3, alcançando seu valor máximo na Campanha 3 (0,0036%). Em seguida observou-se uma estabilização nos níveis deste táxon, mas no último período em que Abrolhos foi monitorado, Campanhas 11 e 12, a abundância relativa volta a aumentar, com valores semelhantes nas Campanhas 3 e 12. Salienta-se a presença de um pico, especificamente, na Campanhas 7, atingindo 0,0027%. O aumento da abundância relativa de Anaerolineaceae no coral *M. harttii* parece ter sido diretamente influenciado pelo Material Ligado ao Desastre (MLD), proposição corroborada pela presença desta família em ambientes contaminados por metais, especialmente Cu (Zárate et al., 2021).

Para o hidrocoral *M. alcicornis*, os dados de Anaerolineaceae mostram pequenas oscilações, sem um padrão de sazonalidade, porém a Campanha 12 se destaca sendo aquela onde foi detectado o maior valor de abundância relativa. Da mesma forma, a influência do rompimento da barragem parece ter sido mais pronunciada no microbiona do coral *M. harttii* do que no microbioma do hidrocoral *M. alcicornis.*

A abundância relativa de Pirellulaceae no coral *M. harttii* foi elevada, mas sem demonstrar um padrão sazonal, embora tenha sido observado um pico na Campanha 7. De fato, o táxon Pirellulaceae apresentou a maior abundância relativa ao longo de todas as Campanhas tanto no coral *M. harttii* como no hidrocoral *M. alcicornis*. Além disso, embora tenha ocorrido uma diminuição em alguns períodos, seus valores de abundância relativa permaneceram acima de 0,002% até o último período monitorado (Campanhas 11 e 12), quando caíram para valores bastante reduzidos, podendo, inclusive, estar ausente. Esta família também já foi identificada em áreas contaminadas por resíduos de mineração

(Fernandes et al., 2018; Böhmer et al., 2020), sugerindo que sua presença e abundância podem estar diretamente associadas à contaminação pelo Material Ligado ao Desastre (MLD).

Embora não tenha sido possível observar um padrão sazonal nos dados de abundância relativa da família Pirellulaceae no hidrocoral *M. alcicornis*, os maiores valores foram registrados na Campanha 1 (0,013%) e na Campanha 4 (0,022%), enquanto na Campanha 12 não foi se observou esse táxon. Cabe destacar que este bioindicador está, geralmente, presente no microbioma de corais, atuando em conjunto com outros microrganismos em processos metabólicos como a oxidação de amônia, essencial para a ciclagem de nitrogênio (Marchioro et al., 2020; Kellogg et al., 2019).

Durante os 2 primeiros Anos de monitoramento, não foram detectados valores de abundância relativa de Planctomycetes no coral *M. harttii*. Um aumento gradual na presença desse bioindicador somente foi observado a partir da Campanha 6, atingindo um pico de abundância relativa na Campanha 10 (0,0010%). Planctomycetes é um filo comumente encontrado na microbiota saudável do coral *M. harttii* (de Castro et al. 2013). No entanto, este microorganismo também está presente em diversos ambientes contaminados por Hg, Mn e Zn (Beattie et al., 2018; Frossard et al., 2018). Os baixos níveis de abundância relativa de Planctomycetes no coral *M. harttii* nos primeiros Anos do monitoramento e seu aumento progressivo da Campanha 6 em diante, sugerem uma possível supressão inicial do crescimento deste filo, com adaptabilidade tardia da microbiota destes corais após o rompimento da Barragem de Fundão.

Já a abundância relativa de Planctomycetes no hidrocoral *M. alcicornis* foi geralmente baixa em todas as Campanhas do monitoramento, com exceção da Campanha 7, que ocorreu no período chuvoso. Neste caso, foi observada uma abundância relativa de 0,017%. Apesar de ser um aumento discreto, uma tendência de maior abundância de Planctomycetes nos períodos chuvosos parece ocorrer. Vale lembrar que as chuvas estão associadas à ressuspensão de sedimentos depositados, o que pode ter contribuído para o aumento da abundância relativa de Planctomycetes em decorrência da disponibilização do Material Ligado ao Desastre (MLD).

3.4 ÍNDICE DE TOXICIDADE

Figura 34: Classificação e valores da toxicidade das amostras de água e sedimento coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 - período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026-período chuvoso). As amostras foram classificadas de acordo com o índice de toxicidade, expresso numericamente em cada célula, e seguindo um padrão de cores como: Verde - Não tóxico [NT (≤1 ou Não Estimável (NE))]; Amarelo - Levemente tóxico [LT (2-25)]; Laranja - Moderadamente tóxico [MT (26-50)]; Vermelho -Tóxico [T (51-100)]; e Cinza – "NA" = sem dados devido a ausência de coleta. Classificação por Estações de coleta: Área de Proteção Ambiental - APA [Costa das Algas 1 (CA1); Costa das Algas 2 (CA2), Costa das Algas 13 (CA13 – era chamado CA2 até a Campanha 12, mas passou a ser chamado CA13 após a Campanha 13)]; Foz [Foz do rio Doce 1 (FRD1 – até a Campanha 12), substituído pelo Saída Doce 01 (SD01 – a partir da Campanha 13); Foz do rio Doce 6 (FRD6 – até a Campanha 12), substituído pelo Saída Doce Norte 30 (SDN30 – a partir da Campanha 13)]; e Norte [Degredo 1 (DEG1 – a partir da Campanha 3)].

Estações	Matriz	Campanha 1	Campanha 2	Campanha 3	Campanha 4	Campanha 5	Campanha 6	Campanha 7	Campanha 8	Campanha 9	Campanha 10	Campanha 11	Campanha 12	Campanha 13	Campanha 14	Campanha 15
DEG1	Água	NA	NA	24	25	48	36	2	10	2	1	1	5	36	13	3
	Sedimento	NA	NA	42	40	41	58	39	49	21	1	21	20	49	30	22
FRD6/ SDN30	Água	48	9	9	24	30	36	1	3	2	1	2	27	36	3	3
	Sedimento	55	32	40	40	42	59	21	49	21	2	21	19	49	31	21
FRD1/ SD01	Água	17	9	15	29	38	30	1	2	12	2	1	15	18	0	2
	Sedimento	33	53	40	30	33	39	20	30	22	1	21	24	49	22	22
CA1	Água	35	21	26	24	18	48	0	6	2	6	2	38	24	3	5
	Sedimento	51	50	41	40	26	78	20	22	1	2	3	22	49	25	24
CA2	Água	17	1	NA	24	19	48	1	11	1	2	6	28	25	7	2
	Sedimento	54	38	NA	41	41	59	39	33	0	1	21	20	49	30	22

Classificação por matriz: NT - Não tóxica | LT - Levemente tóxica | MT - Moderadamente tóxica | T - Tóxica | Sem dados

Na maior parte dos pontos amostrais, os ensaios de toxicidade realizados com organismos de diferentes níveis da cadeia trófica indicaram que a água e o sedimento da foz do rio Doce e região marinha adjacente apresentaram níveis de toxicidade consideráveias atee a Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), com redução entre a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e a Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e novo aumento a partir da Campanha 12 (jul 2024 – período seco), porém menos expressivos do que aqueles observados nos anos iniciais do monitoramento. Para a água, esta redução momentânea ocorreu a partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), e para o sedimento a partir da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) (Figura 34). No entanto, na Campanha 12 (jul 2024 – período seco) e, especialmente, na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), a toxicidade volta a aumentar em ambas as matrizes, com destaque para os pontos DEG1, SDN30, CA1 e CA2, indicando comprometimento da Foz do rio Doce, REVIS Santa Cruz e região ao Norte da Foz, em Degredo. Na Campanha 14 (jul 2025 – peródo seco) houve uma redução da toxicidade, com manutenção da classificação de moderadamente tóxica apenas para o sedimento de DEG1, CA1 e SDN30. Na última Campanha, no entanto, ambas as matrizes, em todos os pontos amostrais, passaram a ser classificados como levemente tóxicas. De maneira geral, os maiores valores do índice de toxicidade estiveram relacionados ao sedimento, imputando um maior efeito tóxico a essa matriz. No entanto, cabe destacar que esse perfil mudou na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), onde pudemos observar maiores valores de toxicidade nas amostras de água, que inclusive foram classificadas como “moderadamente tóxicas”. Cabe ressaltar que os ensaios de toxicidade estão diretamente associados à avaliação da qualidade das matrizes abióticas, considerando estações amostrais específicas e a resposta de um conjunto de organismos de diferentes níveis tróficos, testados em condições controladas de laboratório. Um ponto importante a se considerar é que as amostras coletadas na malha amostral marinha, sejam de água ou de sedimento, vêm apresentando toxicidade ao longo do período monitorado, inclusive na última Campanha (Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso), com a maioria das análises indicando toxicidade, com classificação variando entre “levemente tóxica” a “tóxica”.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO

Os padrões de bioacumulação de contaminantes evidenciados nos organismos do plâncton marinho foram identificados através da análise do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) tanto para fitoplâncton e zooplâncton separadamente, quanto para ambos em conjunto. Os resultados do IBR Bioacumulação em fitoplâncton, zooplâncton e ambos agrupados mostraram que houve um aumento expressivo nos níveis de acumulação de metais e As na comunidade planctônica marinha coletada na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), em todos os Setores amostrais avaliados. Nesta Campanha, foi observado o maior nível de bioacumulação de metais e As para o plâncton coletado nos Setores Foz e APA, ao longo de todo o monitoramento realizado. Já no setor Norte, apesar do elevado valor do índice observado na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), a maior

bioacumulação de metais e As foi observada na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Este aumento na bioacumulação destes contaminantes no plâncton indica maior grau de contaminação ambiental ou maior biodisponibilidade de metais e As no Ambiente Marinho nas últimas Campanhas de monitoramento. A análise do IBR Bioacumulação também evidenciou uma importante contribuição de contaminantes característicos do Material Ligado ao Desastre (MLD) para a composição do valor do índice. Tendo em vista o ciclo de vida relativamente curto dos organismos planctônicos, apesar de ter sido verificada uma redução nos valores do IBR Bioacumulação no plâncton coletado nos últimos períodos secos (Campanha 10: jun/jul 2023 – período seco; Campanha 12: jun 2024 – período seco; Campanha 14: jul 2025 – período seco), sugere-se que os altos níveis de metais acumulados neste grupo de organismos em comparação aos valores pretéritos à chegada do Material Ligado ao Desastre (MLD) no Ambiente Marinho reflitam uma biodisponibilização constante destes elementos na região marinha adjacente ao rio Doce, situação que pode ser intensificada em períodos de maior pluviosidade. Comparações entre os níveis atuais de bioacumulação e aqueles pretéritos ao rompimento da barragem de Fundão para amostras de zooplâncton coletadas em nov/2015 na região marinha mais próxima à foz do rio Doce, antes da chegada do Material Ligado ao Desastre (MLD) (Bianchini, 2019), mostram que os níveis de Fe nos organismos de base da cadeia trófica ainda estão elevados, sendo que nas últimas Campanhas realizadas foram observados os maiores valores médios deste metal ao longo de todo monitoramento. Isto pode estar relacionado às intensas chuvas que aumentam o aporte de material do rio Doce para o ambiente marinho. Adicionalmente, cabe ressaltar que elementos, como As, Cd, Cr, Cu, Hg e Pb, ainda são encontrados em níveis elevados no plâncton (acima dos resultados pretéritos), mesmo já decorridos 11 anos do rompimento da barragem de Fundão. No que se refere aos níveis de bioacumulação de metais e As no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) coletado no Setor Abrolhos, a análise do IBR Bioacumulação indicou que, de maneira geral, a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 12 (jun 2024 – período seco) foram aquelas que mais se destacaram por apresentarem os maiores valores deste índice, bem como a maior diversidade de contaminantes bioacumulados no plâncton marinho.

Com relação à comparação geral feita a partir da avaliação do IBR Bioacumulação em camarões marinhos, os valores deste índice indicam uma tendência de aumento temporal até o ano de 2024 nos níveis de metais e As bioacumulados nestes organismos, com maiores valores do IBR Bioacumulação associados à Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), com destaque para os Setores Foz e Norte e, também para o Setor APA na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso). Apesar de ter sido verificada uma discreta redução nos valores do IBR Bioacumulação na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), esta redução foi transitória, já que foi seguida por um significativo aumento no valor do IBR Bioacumulação, seguido de um declínio expressivo da Campanha 12 à Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Assim, o conjunto dos resultados obtidos fornece evidências de uma contaminação crônica em parte do monitoramento, seguindo da foz do rio Doce em direção ao Norte. Corroborando esta hipótese, vale relembrar que o IBR Bioacumulação para o plâncton indica maiores níveis de bioacumulação no Setor Norte nas últimas Campanhas de monitoramento, com pico de bioacumulação

na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), enquanto foram observados picos nos outros Setores na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), os quais foram seguidos por uma redução nos valores do IBR Bioacumulação nas campanhas subsequentes. Esses resultados evidenciam que o aporte contínuo de Fe e outros elementos associados ao Material Ligado ao Desastre (MLD) para esta região central e próxima da foz do rio Doce está sob maior influência do aporte fluvial deste material nos períodos chuvosos. Além do Fe, concentrações de Cd, Cr e Mn acima dos valores pretéritos também são ainda encontradas no músculo dos camarões coletados em praticamente todos os pontos amostrais e em todas as Campanhas realizadas. Reforçando estes achados, ao considerarmos como referência os resultados de metais e As em músculos de camarões coletados em diferentes pontos amostrais da região marinha adjacente à foz do rio Doce entre dez/2015 e fev/2016, é nítido o aumento temporal no teor de metais nos camarões coletados e analisados no âmbito do PMBA/Fest-UFES, principalmente para o Cd e Pb em diversos pontos amostrais, bem como para o Fe e Mn na região da Foz e em pontos amostrais do setor Norte (Relatório Técnico – RT EcoConservation 065/2016). Em suma, os resultados do IBR Bioacumulação para camarões destacaram os setores Foz e Norte como sendo os mais contaminados ao longo das Campanhas do monitoramento ecotoxicológico – exceto para a Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), onde o Setor APA teve destaque - corroborando os resultados obtidos para o plâncton marinho.

Com relação ao padrão geral de bioacumulação de metais e As na comunidade de peixes marinhos, a análise do IBR Bioacumulação demonstrou que os valores mais altos deste índice foram obtidos na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 11 (jan 2024 - período chuvoso) e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso). Assim, da Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso) até a Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), o IBR Bioacumulação apresentou uma redução e tendeu a se manter em um nível mais baixo em todos os Setores avaliados. Porém, a partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), foi observado um discreto aumento no valor do IBR Bioacumulação em todos os Setores avaliados. Após uma discreta redução no nível de bioacumulação de metais e As nos tecidos dos peixes marinhos observada na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), foram registrados, na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) aumentos expressivos e preocupantes nos valores do IBR Bioacumulação nos três Setores avaliados no Ambiente Marinho, com destaque para o Setor Norte. Na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), os valores do índice reduziram significativamente, atingindo níveis semelhantes àqueles observados no período seco do ano anterior (Campanha 10: jun/jul 2023 – período seco). Durante a Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), observou-se um novo aumento, porém menos expressivo do que os índices reportados para a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) e Campanha 11 (jan 2024 - período chuvoso). Ainda, o período chuvoso de 2026, referente à Campanhha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) foi marcado por um ligeiro aumento no Setor Norte. Vale ressaltar que os maiores valores do IBR Bioacumulação, ao longo do monitoramento, se concentraram nos Setores Foz, Norte e APA, enquanto o menor valor do IBR Bioacumulação foi observado no Setor Sul, corroborando assim os resultados obtidos para os níveis tróficos inferiores (plâncton e camarões). Assim como os camarões, os músculos dos peixes coletados ao longo das quinze Campanhas realizadas no Ambiente Marinho também apresentaram concentrações elevadas de metais e As quando comparadas àquelas observadas antes do rompimento da Barragem de Fundão.

Ambas as guildas tróficas (onívoros e carnívoros) de peixes marinhos coletados no âmbito do PMBA/Fest-UFES apresentaram concentrações superiores àquelas observadas para os peixes coletados em nov/2015, antes da chegada do Material Ligado ao Desastre (MLD) na foz do rio Doce, principalmente para Cd, Cr, Cu, Fe e Mn (Bianchini, 2019).

Para os corais e hidrocorais coletados na região de Abrolhos, o IBR Bioacumulação indicou uma tendência geral de diminuição nas concentrações de metais e As nestes organismos ao longo do tempo, da Campanha 1 (set/out 2018 - período seco) até a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). No entanto, os corais e hidrocorais coletados nas estações amostrais ABR04 e ABRC1 durante a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) apresentaram um incremento significativo no valor do IBR Bioacumulação, indicando assim uma maior biodisponibilidade de metais e As nestas estações amostrais neste período do monitoramento. Esse padrão foi mantido na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), além de ter sido observado grande aumento no valor do índice para a estação amostral ABR04. A tendência de aumento crônico na bioacumulação de metais e As nos hidrocorais e corais coletados em Abrolhos foi corroborada pela manutenção do valor elevado do IBR Bioacumulação para os organismos coletados na estação amostral ABR04, bem como por um aumento expressivo no valor deste índice também para os hidrocorais e corais coletados nas estações amostrais ABR01 e ABR02 na Campanha 12 (jul 2024 – período chuvoso). De forma geral, valores elevados do IBR Bioacumulação foram observados em todas as Campanhas realizadas, exceto na Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Neste contexto, o aumento observado nos valores do IBR Bioacumulação de corais e hidrocorais nas últimas Campanhas realizadas pode ser consequência de um aumento progressivo observado nos níveis de contaminação do plâncton de Abrolhos com metais e As. De fato, foi observado que os valores do IBR Bioacumulação do plâncton de Abrolhos aumentaram a partir da Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), com os valores médios mais elevados ocorrendo a partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), evidenciando assim uma exposição em longo prazo (crônica) dos organismos coletados em Abrolhos.

Em relação à comparação temporal geral feita a partir da avaliação do IBR Biomarcador para o plâncton marinho, foi observado um nítido aumento na resposta biológica destes organismos a partir da Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), sugerindo, por sua vez, um efeito crônico da contaminação ambiental sobre as respostas biológicas do plâncton. Neste contexto, cabe destacar que foi observada também uma variação sazonal das respostas observadas, uma vez que os valores do IBR Biomarcador para os Setores APA e Foz apresentaram uma tendência de aumento nos valores do índice nos períodos chuvosos (Campanha 5: jan/fev 2021 – período chuvoso; Campanha 7: mar 2022 – período chuvoso; Campanha 9: jan/fev 2023 – período chuvoso; Campanha 11: jan 2024 – período chuvoso; Campanha 13: jan/fev 2025 – período chuvoso; e Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso), com destaque para o Setor APA, o qual apresentou os valores mais altos do IBR Biomarcador. Já nos períodos secos (Campanha 6: jul/ago 2021 – período seco; Campanha 8: set/out 2022 – período seco; e Campanha 10: jun/jul 2023 – período seco), os valores do índice tenderam a aumentar no Setor Norte, o qual, em geral, se destaca dos demais Setores por apresentar os maiores valores do IBR Bioacumulação.

Em relação à comparação temporal geral do IBR Biomarcador para os camarões marinhos, foi observado que, a partir da Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), os valores deste índice começam a aumentar sutilmente. Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), ocorreu um expressivo aumento no valor do IBR Bioacumulação para o Setor APA, decorrente do aumento de metalotioneínas (MTs) e de lipoperoxidação (LPO) no hepatopâncreas dos camarões coletados neste Setor, o qual voltou a diminuir na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Por fim, nas Campanhas subsequentes, um os valores do índice foram reduzidos, mas ainda mais elevados que os reportados no ano de 2022 e no início do monitoramento. Destaca-se, principalmente, um pico no valor médio do IBR Biomarcador do Setor APA na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Estes resultados estão em concordância com o maior aporte de material proveniente do rio Doce nestes períodos chuvosos e corroboram com os resultados obtidos para o nível trófico inferiores (plâncton).

Por sua vez, o valor do IBR Biomarcador para a comunidade de peixes marinhos (onívoros e carnívoros) tendeu a aumentar gradualmente ao longo do tempo, até a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Apesar disto, da Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) à Campanha 15 (jan/fev 2026 - período chuvoso) foi possível observar uma diminuição do valor deste índice, o qual se manteve relativamente estável com um discreto redução nas últimas duas Campanhas. A Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) distinguiu-se das demais por apresentar os maiores valores do IBR Biomarcador, em todos os Setores avaliados. Cabe destacar o aumento expressivo do IBR Biomarcador no Setor Foz na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), destacado como o maior valor do índice observado ao longo de todo o período do monitoramento. Em conjunto, estes resultados sugerem que a biota marinha analisada respondeu mais intensamente a um aumento da contaminação ambiental no ano de 2023.

Em relação ao IBR Biomarcador de corais e hidrocorais de Abrolhos, foi possível observar valores altos já no início do monitoramento, mas que apresentaram uma tendência decrescente até a Campanha 5, a qual apresentou menores valores do índice nos três setores avaliados. Apesar disto, após essa Campanha, os valores do índice voltaram a subir, inclusive, atingindo patamares mais altos aos observados no início do monitoramento. Esses resultados indicam um alto estresse bioquímico e fisiológico crônico aos quais os corais e hidrocorais estão sujeitos no ambiente. Por fim, para o caso do IBR Biomarcador do plâncton de Abrolhos, é possível observar uma clara tendência de aumento deste índice a partir da Campanha 5 (jan/fev 2024 – período chuvoso) até a Campanha 10 (jun/jul 2023 – pe'riodo seco), mas estes valores começam a baixar a partir da Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), voltando a apresentar níveis basais baixos na Campanha 12 (jul 2024 – perído seco), semelhantes àqueles vistos no início do monitoramento.

Em suma, os resultados das análises de biomarcadores demonstram que os organismos do Ambiente Marinho ainda estão sob grande estresse fisiológico, sobretudo em períodos de maior pluviosidade. Como consequência disso, eles podem estar mais debilitados, se tornando mais vulneráveis para fatores como a predação, mudanças das variáveis abióticas e exposição a contaminantes. No caso da contaminação, ora esta ocorre pela reincidência e aumento na biodisponibilidade dos metais aqui analisados, ora por novos eventos de entrada de outras substâncias químicas no ambiente (López-

Valcárcel et al., 2024; Niinemets et al., 2017). Isto pode trazer consequências negativas para o ambiente, como por exemplo perda da biodiversidade, alterações na estrutura das comunidades e populações aquáticas, bem como alterações na dinâmica e funcionalidade do ecossistema (Tovar-Sánchez et al., 2018). Além disso, vale lembrar que os metais são elementos não biodegradáveis e persistentes no ambiente, causando toxicidade à biota aquática quando se encontram biodisponíveis (Pereira et al., 2023).

Com relação a diversidade microbiana, os resultados das análises realizadas no Ambiente Marinho demonstram manutenção dos principais grupos bacterianos observados ao longo das últimas Campanhas do monitoramento, os quais são indicadores de ambientes estressante e presença de metais. Neste contexto, o gênero *Acinetobacter* permanece sendo observado em todas as Campanhas realizadas no Ambiente Marinho, apresentando maior abundância relativa nas amostras de água em comparação com as amostras de sedimento. Os microorganismos desse gênero possuem alta resistência e capacidade de metabolizar metais, sendo comumente encontrada em ambientes contaminados por estes elementos (Akkoyun et al., 2020; Park & Chon, 2016). Neste contexto, cabe destacar que *Acinetobacter* apresentou grande abundância na bacia do rio Doce dias após o rompimento da barragem de Fundão (Reis et al., 2020).

Por sua vez, os grupos Anaerolineaceae e Pirellulaceae continuam se destacando em amostras de sedimento, sendo que este último vem sendo indicado como potencial bioindicador da presença de metais em sedimento marinho. De fato, a sua presença no ambiente está fortemente associada a rejeitos de mineração e ao metabolismo associado à presença de metais (Almeida et al., 2023; Sjöberg et al., 2020; Zeng et al., 2022), especialmente em áreas contaminadas com elevados teores de Mn (Sjöberg et al., 2020).

Planctomycetes, o outro táxon que se destacou como bioindicador, é um filo amplo e, ao contrário de outros indicadores, pode apresentar variações menos pronunciadas devido à sua abrangência taxonômica. Apesar das pequenas oscilações observadas na abundância relativa deste táxon nas matrizes, os microorganismos Planctomycetes foram observados com maior abundância relativa no sedimento e água de fundo do que na água de superfície, possivelmente, por influência do sedimento contaminado por metais, já que o filo Planctomycetes tem correlação com a presença de depósitos destes elementos no Ambiente Marinho (Storesund & Øvreås, 2013).

Nos corais do Setor Abrolhos, o bioindicador Acinetobacter apresentou níveis elevados de abundância relativa no coral *M. harttii* no início do monitoramento, seguidos por uma redução e novo aumento expressivo na Campanha 12 (jul 2024 – perío so seco), destacando um ponto de atenção. A família Anaerolineaceae também foi significativa nas Campanhas 1 (set/out 2018 – perío so seco) a 3 (set/out 2019 – período seco), seguida por estabilização e novo aumento nas Campanhas 11 (jan 2024 – período chuvoso) e 12 (jul 2024 – perío so seco). Já a família Pirellulaceae mostrou alta abundância relativa ao longo de todas as campanhas em *M. harttii* e no hidrocoral *M. alcicornis*, sem padrão sazonal claro. Apesar de uma diminuição em alguns períodos, seus níveis permaneceram relativamente altos até a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), caindo acentuadamente na Campanha 11 (jan 2024

– período chuvoso) e, principalmente na Campanha 12 (jul 2024 – perío so seco). O perfil de abundância de Planctomycetes em *M. harttii* sugere uma supressão inicial desse filo, possivelmente seguida por adaptação tardia da microbiota após o rompimento da Barragem de Fundão. Em geral, o impacto do rompimento da barragem de Fundão foi mais evidente no microbioma de *M. harttii* do que em *M. alcicornis*, que não exibiu alterações expressivas nos táxons analisados. O aumento dos táxons bacterianos em *M. harttii* parece estar relacionado ao Material Ligado ao Desastre (MLD), considerando a associação desses microrganismos a ambientes contaminados por metais, incluindo resíduos de mineração. Embora os táxons analisados façam parte do microbioma natural dos corais, as variações em suas abundâncias sugerem um desequilíbrio induzido pela contaminação ambiental por metais.

Os resultados dos ensaios de toxicidade, resumidos no Índice de Toxicidade, indicaram que houve uma tendência de redução da toxicidade da água e do sedimento na foz do rio Doce e na região marinha adjacente entre os anos de 2022 e 2024. Essa diminuição foi observada a partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) para as amostras de água e da Campanha 9 para o sedimento. Entretanto, nas Campanhas 12 (jul 2024 – perío so seco) e, especialmente, Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), registrou-se novamente um aumento da toxicidade em ambas as matrizes, com destaque para os pontos DEG1, SDN30, CA2 e CA1, sugerindo comprometimento da foz do rio Doce, da REVIS Santa Cruz e da área ao norte da foz, em Degredo. De forma geral, os maiores índices de toxicidade foram associados ao sedimento, indicando maior efeito tóxico nessa matriz. Contudo, na Campanha 12 verificou-se uma inversão desse padrão, com as amostras de água apresentando maior toxicidade, a qual manteve-se na Campanha 13. Cabe ressaltar ainda que, ao longo de todo o período monitorado, as amostras coletadas na malha amostral marinha, tanto de água quanto de sedimento, apresentaram níveis de toxicidade variando de levemente tóxicas a tóxicas. Isto é particularmente preocupante, pois a redução da toxicidade parece ter sido apenas momentânea, uma vez que o índice permanece indicando toxicidade, inclusive nas amostras coletadas no último ano de amostragem: Campanha 14 (julho de 2025 – período seco) e Campanha 15 (janeiro/fevereiro de 2026 – período chuvoso). Os efeitos ecotoxicológicos avaliados nos testes de toxicidade estão relacionados a respostas terminais, como mortalidade, desenvolvimento e reprodução dos organismos testados. Nesse contexto, é essencial considerar também os efeitos ecotoxicológicos observados em outros níveis de organização biológica, especialmente aqueles identificados por meio de biomarcadores específicos em organismos coletados no ambiente, que fornecem informações sobre respostas biológicas mais sensíveis, complementando as análises tradicionais e ampliando a compreensão dos impactos ambientais. Adicionalmente, considerando que os ensaios são realizados com amostras de água e sedimento e, portanto, refletem a toxicidade das matrizes abióticas, é pertinente relacionar esses resultados aos bioindicadores microbiológicos, cujos dados corroboram aqueles apresentados pelo Índice de Toxicidade.

5 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS

Todos os itens previstos foram cumpridos para o Tema.

6 REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15350. (2023). *Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica de curta duração – método de ensaio com ouriço-do-mar (Echinodermata: Echinoidea)*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15469. (2021). *Ecotoxicologia—Coleta, preservação e preparo de amostras.* Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16181. (2021). *Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – microalgas marinhas*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Aebi, H. (1984). [13] Catalase in vitro. Em *Methods in Enzymology* (p. 121–126). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3

Akkoyun, M. B., Özdemir, S., Kılınç, E., & Birhanlı, E. (2020). Investigations of Hg(II) and Pb(II) tolerance, removal and bioaccumulation and their effects on antioxidant enzymes on thermophilic *Exiguobacterium profundum*. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, *26*(5), 1234–1253. https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1562882

Albarico, F. P. J. B., Chen, C.-W., Lim, Y. C., Wang, M.-H., Chuang, Y., & Dong, C.-D. (2022). Driving factors of phytoplankton trace metal concentrations and distribution along anthropogenically-impacted estuaries of southern Taiwan. *Regional Studies in Marine Science*, 56, 102610. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102610

Almeida, P. I. N. de, Jesus, H. E. de, Pereira, P. H. F., Vieira, C. E. D., Bianchini, A., Martins, C. D. M. G., & Santos, H. F. dos. (2023). The microbial profile of rivers and lagoons three years after the impact of the world's largest mining disaster (Fundão dam, Brazil). *Environmental Research*, *216*. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114710

Arreguin-Rebolledo, U., Castelhano Gebara, R., Valencia-Castañeda, G., Rico-Martínez, R., Frías-Espericueta, M. G., Longo, E., & Páez-Osuna, F. (2024). Toxicity of binary-metal mixtures (As, Cd, Cu, Fe, Hg, Pb and Zn) in the euryhaline rotifer *Proales similis*: Antagonistic and synergistic effects. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115819. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115819

Beattie, R. E., Henke, W., Campa, M. F., Hazen, T. C., McAliley, L. R., & Campbell, J. H. (2018). Variation in microbial community structure correlates with heavy-metal contamination in soils decades

after mining ceased. *Soil Biology and Biochemistry*, 126, 57–63. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.08.011

Beliaeff B., & Burgeot, T. (2002). Integrated biomarker response: A useful tool for ecological risk asses sment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, *21*(6), 1316– 1322. https://doi.org/10.1002/etc.5620 210629

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. https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.1999.00134.x

Bianchini, A. (2019). Monitoramento dos efeitos ecotoxicológicos da pluma de sedimentos oriunda da foz do Rio Doce sobre o ambiente marinho. Relatório Técnico-Científico - FURG/ICMBio, Rio Grande, RS.

Böhmer, M., Ozdín, D., Račko, M., Lichvár, M., Budiš, J., & Szemes, T. (2020). Identification of bacterial and fungal communities in the roots of orchids and surrounding soil in heavy metal contaminated area of mining heaps. *Applied Sciences*, 10(20), 7367. https://doi.org/10.3390/app10207367

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1), 248–254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Bulich, A. A. (1982). A practical and reliable method for monitoring the toxicity of aquatic samples. *Process Biochemistry*, 17(2), 45–47.

Cedergreen, N. (2014). Quantifying synergy: A systematic review of mixture toxicity studies within environmental toxicology. *PLOS ONE*, 9(5), e96580. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096580

Chen, Y., Jiang, Y., Huang, H., Mou, L., Ru, J., Zhao, J., & Xiao, S. (2018). Long-term and high-concentration heavy-metal contamination strongly influences the microbiome and functional genes in Yellow River sediments. *Science of The Total Environment*, *637–638*, 1400–1412. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.109

Chevrollier, L.-A., Koski, M., Søndergaard, J., Trapp, S., Aheto, D. W., Darpaah, G., & Nielsen, T. G. (2022). Bioaccumulation of metals in the planktonic food web in the Gulf of Guinea. *Marine Pollution Bulletin*, 179, 113662. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113662

Childress, J. J., & Somero, G. N. (1979). Depth-related enzymic activities in muscle, brain and heart of deep-living pelagic marine teleosts. *Marine Biology*, 52(3), 273–283. https://doi.org/10.1007/BF00398141

Chung, A. P., Coimbra, C., Farias, P., Francisco, R., Branco, R., Simão, F. V., Gomes, E., Pereira, A., Vila, M. C., Fiúza, A., Mortensen, M. S., Sørensen, S. J., & Morais, P. V. (2019). Tailings microbial community profile and prediction of its functionality in basins of tungsten mine. *Scientific Reports*, *9*(1), 19596. https://doi.org/10.1038/s41598-019-55706-6

de Castro, A. P., Araújo, S. D., Reis, A. M. M., Pompeu, M., Hatay, M., de Moura, R. L., Francini-Filho, R. B., Thompson, F. L., & Krüger, R. H. (2013). Bacterial communities associated with three Brazilian endemic reef corals (*Mussismilia spp.*) in a coastal reef of the Abrolhos shelf. *Continental Shelf Research*, 70, 135–139. https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.05.009

de Oliveira Gomes, L. E., Correa, L. B., Sá, F., Neto, R. R., & Bernardino, A. F. (2017). The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, eastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 120, 28–36. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.056

Devin, S., Burgeot, T., Giambérini, L., Minguez, L., & Pain-Devin, S. (2014). The integrated biomarker response revisited: Optimization to avoid misuse. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(4), 2448–2454. https://doi.org/10.1007/s11356-013-2169-9

EcoConservation. Relatório Técnico - RT ECV 065/16. Monitoramento de bioacumulação (ictiofauna, carcinofauna e malacofauna) por metais, na região marinha adjacente à foz do Rio Doce e sob possível influência da lama de rejeitos oriunda do rompimento da barragem de Fundão.

Ezemonye, L. I., Adebayo, P. O., Enuneku, A. A., Tongo, I., & Ogbomida, E. (2019). Potential health risk consequences of heavy metal concentrations in surface water, shrimp (*Macrobrachium macrobrachion*) and fish (*Brycinus longipinnis*) from Benin River, Nigeria. *Toxicology Reports*, 6, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.11.010

Fernandes, C. C., Kishi, L. T., Lopes, E. M., Omori, W. P., Souza, J. A. M. de, Alves, L. M. C., & Lemos, E. G. de M. (2018). Bacterial communities in mining soils and surrounding areas under regeneration process in a former ore mine. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(3), 489–502. https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.12.006

Fernandes, L., Jesus, H., Almeida, P., Sandrini, J., Bianchini, A., & Santos, H. (2022). The influence of the Doce River mouth on the microbiome of nearby coastal areas three years after the Fundão Dam failure, Brazil. *Science of the Total Environment*, *807*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151777

FEST, Fundação Espírito-santense de Tecnologia (2023). Relatório Semestral de Evolução do PMBA/Fest-UFES – RT-44, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática. 79 pag.

Frías-Espericueta, M. G., Bautista-Covarrubias, J. C., Osuna-Martínez, C. C., Delgado-Alvarez, C., Bojórquez, C., Aguilar-Juárez, M., Roos-Muñoz, S., Osuna-López, I., & Páez-Osuna, F. (2022). Metals and oxidative stress in aquatic decapod crustaceans: A review with special reference to shrimp and crabs. *Aquatic Toxicology*, 242, 106024. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.106024

Frossard, A., Donhauser, J., Mestrot, A., Gygax, S., Bååth, E., & Frey, B. (2018). Long- and short-term effects of mercury pollution on the soil microbiome. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 191–199. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.028

Ghaima, K., Lateef, S., Khaz'al, Z. (2018). Heavy metal and antibiotic resistance of *Acinetobacter* spp. isolated from diesel fuel polluted soil. *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*. 58-64. 9.2.

Henry, R. P. (1991). Techniques for Measuring Carbonic Anhydrase Activity in Vitro. Em S. J. Dodgson, R. E. Tashian, G. Gros, & N. D. Carter (Orgs.), *The Carbonic Anhydrases: Cellular Physiology and Molecular Genetics* (p. 119–125). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0750-9_8

Huang, C.-C., Liang, C.-M., Yang, T.-I., Chen, J.-L., & Wang, W.-K. (2021). Shift of bacterial communities in heavy metal-contaminated agricultural land during a remediation process. *PLOS ONE*, *16*(7), e0255137. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255137

Hussain, M. B., Laabir, M., & Daly Yahia, M. N. (2020). A novel index based on planktonic copepod reproductive traits as a tool for marine ecotoxicology studies. *Science of The Total Environment*, 727, 138621. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138621

Isibor, P. O., Imoobe, T. O. T., Dedeke, G. A., Adagunodo, T. A., & Taiwo, O. S. (2020). Health risk indices and zooplankton-based assessment of a tropical rainforest river contaminated with iron, lead, cadmium, and chromium. *Scientific Reports*, 10(1), Artigo 1. https://doi.org/10.1038/s41598-020-72526-1

Ju, Y.-R., Lo, W.-T., Chen, C.-F., Chen, C.-W., Huang, Z.-L., & Dong, C.-D. (2019). Effect of metals on zooplankton abundance and distribution in the coast of southwestern Taiwan. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(33), 33722–33731. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2169-x

Kellogg, C. A. (2019). Microbiomes of stony and soft deep-sea corals share rare core bacteria. *Microbiome*, 7(1), 90. https://doi.org/10.1186/s40168-019-0697-3

Lage, O. M., Bondoso, J., & Catita, J. A. M. (2012). Determination of zeta potential in Planctomycetes and its application in heavy metals toxicity assessment. *Archives of Microbiology*, *194*(10), 847–855. https://doi.org/10.1007/s00203-012-0818-x

Lokeshappa, B., Shivpuri, K., Tripathi, V., & Dikshit, A. K. (2012). Assessment of toxic metals in agricultural produce. *Food and Public Health*, 2(1), 24–29.

Lomartire, S., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. M. (2021). The key role of zooplankton in ecosystem services: A perspective of interaction between zooplankton and fish recruitment. *Ecological Indicators*, 129, 107867. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107867

López-Valcárcel, M. E., del Arco, A., & Parra, G. (2024). Zooplankton vulnerability to glyphosate exacerbated by global change. *Science of The Total Environment*, 913, 169806. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169806

Lotufo, G. R., & Abessa, D. M. S. (2002). Testes de toxicidade com sedimento total e água intersticial estuarinos utilizando copépodes bentônicos. Em I. A. Nascimento, E. C. P. M. Sousa, & M. G. Nipper (Orgs.), *Métodos em Ecotoxicologia Marinha: Aplicações no Brasil* (p. 91–92). Artes Gráficas e Indústria Ltda.

MacFarlane, G. R., Schreider, M., & McLennan, B. (2006). Biomarkers of heavy metal contamination in the red fingered marsh crab, *Parasesarma erythodactyla*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 51(4), 584–593. https://doi.org/10.1007/s00244-005-5067-4

Marchioro, G. M., Glasl, B., Engelen, A. H., Serrão, E. A., Bourne, D. G., Webster, N. S., & Frade, P. R. (2020). Microbiome dynamics in the tissue and mucus of acroporid corals differ in relation to host and environmental parameters. *PeerJ*, 8, e9644. https://doi.org/10.7717/peerj.9644

Marklund, S., & Marklund, G. (1974). Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. *European Journal of Biochemistry*, 47(3), 469–474. https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1974.tb03714.x

Méndez, V., Fuentes, S., Morgante, V., Hernández, M., González, M., Moore, E., & Seeger, M. (2017). Novel hydrocarbonoclastic metal-tolerant *Acinetobacter* and Pseudomonas strains from Aconcagua river oil-polluted soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *17*(4), 1074–1087. https://doi.org/10.4067/S0718-95162017000400017

Niinemets, Ü., Kahru, A., Mander, Ü., Nõges, P., Nõges, T., Tuvikene, A., & Vasemägi, A. (2017). Interacting environmental and chemical stresses under global change in temperate aquatic ecosystems:

Stress responses, adaptation, and scaling. *Regional Environmental Change*, 17(7), 2061–2077. https://doi.org/10.1007/s10113-017-1196-3

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). *Test No. 203: Fish, Acute Toxicity Test*. Organisation for Economic Co-operation and Development. https://doi.org/10.1787/9789264069961-en

Park, J. H., & Chon, H.-T. (2016). Characterization of cadmium biosorption by Exiguobacterium sp. isolated from farmland soil near Cu-Pb-Zn mine. *Environmental Science and Pollution Research*, *23*(12), 11814–11822. https://doi.org/10.1007/s11356-016-6335-8

Pereira, J. G., Raikar, S. S., Bhatti, A. G., Fatarpekar, P. G., & Nasnodkar, M. R. (2023). Metal bioavailability, bioaccumulation, and toxicity assessment through sediment and edible biota from intertidal regions of the Aghanashini Estuary, India. *Marine Environmental Research*, 191, 106172. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.106172

Pestana, J. L. T., Novais, S. C., Norouzitallab, P., Vandegehuchte, M. B., Bossier, P., De Schamphelaere, K. A. C. (2016). Non-lethal heat shock increases tolerance to metal exposure in brine shrimp. *Environmental Research*, 151, 663-670. https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.08.037.

Pizzetti, I., Fuchs, B. M., Gerdts, G., Wichels, A., Wiltshire, K. H., & Amann, R. (2011). Temporal variability of coastal Planctomycetes Clades at Kabeltonne Station, North Sea. *Applied and Environmental Microbiology*, *77*(14), 5009–5017. https://doi.org/10.1128/AEM.02931-10

Rauf, A., Javed, M., & Jabeen, G. (2019). Uptake and accumulation of heavy metals in water and planktonic biomass of the River Ravi, Pakistan. Turkish *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19(10), 857–864. http://doi.org/10.4194/1303-2712-v19_10_05

RRDM, Rede Rio Doce Mar (2022). Relatório Anual do PMBA/Fest-UFES-RRDM 2022 - Síntese integrativa entre ambientes. RT-39E, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito santense de Tecnologia. 150 pag.

Reis, M. P., Suhadolnik, M. L. S., Dias, M. F., Ávila, M. P., Motta, A. M., Barbosa, F. A. R., & Nascimento, A. M. A. (2020). Characterizing a riverine microbiome impacted by extreme disturbance caused by a mining sludge tsunami. *Chemosphere*, *253*, 126584. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126584

Ribeiro, A. C., Batista, M. T. O., Rodrigues Junior, E., Oliveira, M. F. de, Vani, G. S., Rodrigues, E., & Suda, C. N. K. (2015). Atividades de lactato desidrogenase e malato desidrogenase de Astyanax

bimaculatus (lambari) da bacia hidrográfica do rio Una como biomarcadoras de impacto ambiental. *Revista Ambiente & Água*, 10, 793–803. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1615

Rocha, G. S., de Palma Lopes, L. F., de Medeiros, J. F., Montagner, C. C., & Gaeta Espíndola, E. L. (2023). Environmental concentrations of cadmium and fipronil, isolated and combined, impair the survival and reproduction of a Neotropical freshwater copepod. *Environmental Pollution*, 336, 122415. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122415

Segura, F. R., Nunes, E. A., Paniz, F. P., Paulelli, A. C. C., Rodrigues, G. B., Braga, G. U. L., Pedreira Filho, W. R., Barbosa Jr., F., Cerchiaro, G., Silva, F. F., & Batista, B. L. (2016). Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil). *Environmental Pollution*, 218, 813–825. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.005

Sjöberg, S., Stairs, C. W., Allard, B., Homa, F., Martin, T., Sjöberg, V., Ettema, T. J. G., & Dupraz, C. (2020). Microbiomes in a manganese oxide producing ecosystem in the Ytterby mine, Sweden: impact on metal mobility. *FEMS Microbiology Ecology*, *96*(11). https://doi.org/10.1093/femsec/fiaa169

Storesund, J. E., & Øvreås, L. (2013). Diversity of Planctomycetes in iron-hydroxide deposits from the Arctic Mid Ocean Ridge (AMOR) and description of *Bythopirellula goksoyri* gen. nov., sp. nov., a novel Planctomycete from deep sea iron-hydroxide deposits. *Antonie van Leeuwenhoek*, *104*(4), 569–584. https://doi.org/10.1007/s10482-013-0019-x

Tovar-Sánchez, E., Hernández-Plata, I., SantoyoMartínez, M., Valencia-Cuevas, L., & Galante, P. M. (2018). Heavy Metal Pollution as a Biodiversity Threat. Em *Heavy Metals*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.74052

U.S. EPA. (2007). *Method 3015A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts*. Revision 1. Washington, DC.

U.S. EPA. (2007). *Method 3051A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Oils*, Revision 1. Washington, DC.

U.S. EPA (1998). *Method 6020A (SW-846): Inductively Coupled Plasma—Mass Spectrometry*. https://19january2017snapshot.epa.gov/homeland-security-research/epa-method-6020a-sw-846-inductively-coupled-plasma-mass-spectrometry_.html

Vajreswari, A., Rao, P. S., Kaplay, S. S., & Tulpule, P. G. (1983). Erythrocyte membrane in rats fed high erucic acid-containing mustard oil: Osmotic fragility, lipid composition, and (Na+, K+)- and (Ca2+, Mg2+)-ATPases. *Biochemical Medicine*, 29(1), 74–84. https://doi.org/10.1016/0006-2944(83)90056-X

van Dam, J. W., Negri, A. P., Uthicke, S., & Mueller, J. F. (2011). Chemical Pollution on Coral Reefs: Exposure and Ecological Effects. Em F. Sanchez-Bayo, P. J. van den Brink, & R. M. Mann (Orgs.), *Ecological Impacts of Toxic Chemicals* (p. 187–211). Bentham Science Publishers.

Vellinger, C., Parant, M., Rousselle, P., & Usseglio-Polatera, P. (2012). Antagonistic toxicity of arsenate and cadmium in a freshwater amphipod (*Gammarus pulex*). *Ecotoxicology*, 21(7), 1817–1827. https://doi.org/10.1007/s10646-012-0916-1

Vilela, C.L.S., Villela, H.D.M., Rachid, C.T.C.d.C., Carmo, F.L.d., Vermelho, A.B., Peixoto, R.S. (2021). Exploring the diversity and biotechnological potential of cultured and uncultured coral-associated bacteria. *Microorganisms*. 9(11), 2235. https://doi.org/10.3390/microorganisms9112235

Walker, C. H., Hopkin, S. P., Sibly, R. M., & Peakall, D. B. (1996). *Principles of Ecotoxicology*. Taylor & Francis.

Wisplinghoff, H. (2017). Pseudomonas spp., *Acinetobacter* spp. and Miscellaneous Gram-Negative Bacilli. *Infectious Diseases, 2-Volume Set*, 1579-1599.e2. https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-6285-8.00181-7

Yan, C., Wang, F., Liu, H., Liu, H., Pu, S., Lin, F., Geng, H., Ma, S., Zhang, Y., Tian, Z., Chen, H., Zhou, B., & Yuan, R. (2020). Deciphering the toxic effects of metals in gold mining area: Microbial community tolerance mechanism and change of antibiotic resistance genes. *Environmental Research*, *189*, 109869. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109869

Zárate, A., Dorador, C., Valdés, J., Molina, V., Icaza, G., Pacheco, A. S., & Castillo, A. (2021). Benthic microbial diversity trends in response to heavy metals in an oxygen-deficient eutrophic bay of the Humboldt current system offshore the Atacama Desert. Environmental Pollution, 286, 117281. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117281

Zebral, Y. D., Righi, B. D. P., Anni, I. S. A., Escarrone, A. L. V., Roza, M., Vieira, C. E. D., Costa, P. G., & Bianchini, A. (2021). Pollution levels and biomarker responses in zooplankton from three hydrographic regions of southern Brazil: An integrated approach for water quality monitoring. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(5), 106180. https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106180

Zeng, T., Wang, L., Zhang, X., Song, X., Li, J., Yang, J., Chen, S., & Zhang, J. (2022). Characterization of Microbial Communities in Wastewater Treatment Plants Containing Heavy Metals Located in Chemical Industrial Zones. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(11), 6529. https://doi.org/10.3390/ijerph19116529