

**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 Zooplâncton**

**RT- 43/ JUN 23**

**RA2022 PMBA/FEST**

Vitória,

Junho de 2023

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>4</b>
2.1	COLETA .....	4
2.2	ANÁLISE.....	4
2.2.1	Análise Qualitativa – quantitativa .....	4
2.2.2	Tratamento Estatístico .....	5
2.3	HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS.....	6
<b>3</b>	<b>RESULTADOS DOS INDICADORES .....</b>	<b>7</b>
3.1	ÍNDICES DE DIVERSIDADE .....	8
3.2	ÍNDICE DE PREVALÊNCIA DE INDICADORAS.....	17
<b>4</b>	<b>ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS .....</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>21</b>

## 1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

O histórico de malha e frequência amostrais do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest) abrange informações de suma importância para o balizamento do presente programa, uma vez que passou por modificações ao longo do tempo, visando melhor atender aos objetivos do PMBA/Fest. Estas alterações foram aprovadas pela Câmara Técnica da Biodiversidade (CTBio) por meio de: (1) ofício SEI nº 1/2020-CTBio/DIBIO/ICMBio, de outubro de 2019 (para o período de transição) e (2) Proposta Técnica de continuação do monitoramento, apresentada no primeiro semestre de 2022 visando o “Novo Ciclo do PMBA/Fest”.

As modificações implementadas se encontram nos seguintes Materiais Suplementares: 1) **MS - Malha e frequência amostrais**, onde as diferentes malhas e frequências amostrais são apresentadas nas abas “Ano 1”, “Transição”, “Novo Ciclo” e “Histórico Frequências” e 2) MS – **Mapas das malhas amostrais**, com a espacialização referente às malhas amostrais dos Ambientes. Como forma de esclarecer os períodos contemplados em cada uma delas, “Ano 1” se refere às estações amostrais coletadas entre setembro de 2018 e setembro de 2019, “Transição” às estações entre outubro de 2019 e julho de 2022 e “Novo Ciclo” referente às estações amostrais coletadas a partir de agosto de 2022.

## 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 submetidas à Fundação Renova através do FORMULÁRIO DE APRESENTAÇÃO DE PLANO DE TRABALHO em 31 de agosto de 2022. 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 a fim de determinar os indicadores.

### 2.1 COLETA

As coletas de zooplâncton foram realizadas no período noturno, a partir de arrastos verticais estratificados com rede de fechamento WP-2, malha de 200  $\mu\text{m}$ , abertura de boca rede de 0,6 m de diâmetro com fluxômetro acoplado. Em profundidades entre 5 – 30 metros o arrasto foi feito do fundo (descontando 4m da rede) até metade da profundidade e seguidamente, da metade até a superfície. Em profundidades superiores a 30 metros o arrasto foi feito do fundo (descontando 4m da rede) até 30m e depois seguiu o padrão supracitado. As amostras foram fixadas em campo com solução formaldeído (4%) em frascos de polietileno e tamponadas com tetraborato de sódio.

### 2.2 ANÁLISE

#### 2.2.1 Análise Qualitativa – quantitativa

Em laboratório, as amostras foram fracionadas utilizando um subamostrador Folsom até a obtenção de aproximadamente 500 indivíduos, que foram posteriormente transferidos para placa Bogorov onde foi feita a identificação ao menor nível taxonômico possível utilizando bibliografia especializada (BOLTOVSKOY, 1999; BOLTOVSKOY, 1981). A nomenclatura dos *taxa* foi checada junto ao banco de dados do World Register of Marine Species (<http://www.marinespecies.org/>).

Os resultados da identificação das espécies foram expressos através da densidade de organismos (indivíduos.m<sup>-3</sup>). Por conseguinte, estes foram utilizados para o cálculo dos índices de diversidade pertinentes: Diversidade de Shannon (H') e Equabilidade de Pielou (J), selecionados a partir de embasamento bibliográfico, considerando a sua aplicação e eficácia em estudos de diagnóstico ambiental (BENEDETTI *et al.*, 2016; CAMPOS *et al.*, 2017; UTTAH *et al.*, 2013). Esses índices buscam avaliar o impacto direto na composição da comunidade zooplanctônica, bem como mudanças na dominância de espécies. Apenas os táxons identificados a nível de espécie foram considerados no cálculo dos índices de diversidade

Com base na abundância relativa das espécies foi também calculado o Índice de Prevalência de Indicadoras (IPI), que expressa a dominância dos táxons resistentes frente às condições de maior ou menor concentração de rejeito. No caso do presente relatório, foram considerados *Paracalanus* spp.

(juvenil), *Paracalanus* cf. *parvus* e *Oikopleura* spp., que mostraram grande relevância ecológica nos diferentes setores e importância na estruturação da comunidade ao longo de todo monitoramento. O índice foi calculado com base nos dados de abundância da PDB, onde: 
$$IPI = (AR_{Paracalanus\ spp\ [juvenil]} - AR_{Paracalanus\ cf\ parvus}) + AR_{Oikopleura\ spp.}$$
 Onde AR = Abundância Relativa Percentual. Desta forma, quanto maior o valor de IPI, maior o indicativo de impacto na comunidade, pois denota maior dominância de espécies resistentes ao impactante.

### 2.2.2 Tratamento Estatístico

As análises estatísticas foram realizadas em todos os setores entre os períodos seco e chuvoso, considerando todas as campanhas, bem como entre os anos dentro de cada um dos períodos, de forma a identificar a variação temporal durante o monitoramento. No setor Foz do Rio Doce foi feita uma subsetorização de acordo com a localização dos pontos amostrais situados ao norte, sul e transecto central, objetivando identificar a variação espacial das respostas da comunidade em relação à vazão do Rio e ao deslocamento da pluma.

O teste de variância ANOVA foi aplicado sobre a densidade zooplancônica e aos índices ecológicos a fim de detectar variabilidades espaciais (entre os setores) e temporais (entre os períodos e entre os anos dentro de cada setor) de acordo com a comparação entre as médias calculadas para cada variável (TURNER & THAYER, 2001). Onde foram encontradas diferenças significativas, foi aplicado também o teste Tukey a fim de localizar os momentos em que essas diferenças estavam concentradas (TUKEY, 1977). Para essas análises, a matriz de dados foi transformada através da raiz quarta com o objetivo de atender os pressupostos de normalidade e homogeneidade.

Os dados de composição e abundância zooplancônica também foram examinados através de análises multivariadas. As espécies e grupos taxonômicos que representaram ao menos 1% de abundância relativa foram selecionados para análise e todos os procedimentos realizados com índice de dissimilaridade de Bray Curtis. A dinâmica espaço-temporal da comunidade foi avaliada através da Análise de Coordenadas Principais (PCO), cujo procedimento de ordenação fornece uma projeção direta dos pontos no espaço definido pelas dissimilaridades entre amostras (ANDERSON *et al.*, 2008).

Para testar a significância das diferenças observadas na comunidade, foi aplicada a análise de variância PERMANOVA entre períodos (seco/chuvoso) e entre setores (APA, Foz e Norte). Esta análise é um método não-paramétrico baseado na equivalente multivariada da razão F de Fisher (pseudo-F), sendo que os p-valores são obtidos através de permutações ( $\alpha = 0,05$ ;  $N = 9999$ ; ANDERSON, 2001). Comparações pareadas foram realizadas a posteriori em caso de diferenças significativas entre grupos (versão multivariada da estatística t de Student). A análise PERMDISP, equivalente ao teste de Levene para homogeneidade das variâncias, também foi aplicada para testar efeitos significativos de dispersão entre os grupos (ANDERSON, 2006).

As relações entre a comunidade zooplancônica e as variáveis ambientais obtidas foram investigadas através da Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP). Este procedimento combina duas

técnicas multivariadas (PCO e análise canônica) e identifica os eixos da análise que apresentam correlações com o outro conjunto de variáveis (ANDERSON *et al.*, 2008). A análise canônica foi utilizada para avaliar os dados de concentração de metais totais na água e suas relações com a comunidade zooplancônica no setor Foz. Os táxons e os índices ecológicos (H', J e IPI) que mais contribuíram para caracterização das assembleias foram identificados através da correlação (Spearman rank) dos vetores e os eixos da análise.

Os dados de vazão do Rio Doce foram obtidos do subprojeto de Mapeamento de Habitats do PMBA/FEST. Para as análises, foram utilizados os valores médios referentes ao período de 15 dias anteriores à coleta, levando em consideração o tempo de resposta dos organismos zooplancônicos às alterações ocorridas no ambiente.

As análises estatísticas foram realizadas através dos softwares PRIMERv6 com o pacote complementar PERMANOVA+ adicionado (CLARKE & GORELY, 2006; ANDERSON *et al.*, 2008) e STATISTICA 12 (HILL & LEWICKI, 2007).

### 2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS

Com o objetivo de realizar uma análise temporal mais robusta, no presente relatório o fator Ano foi incluído nos testes estatísticos e nas análises descritivas dos índices ecológicos aplicados à comunidade zooplancônica. Além das análises comparativas entre os períodos seco e chuvoso, que já eram realizadas, a inclusão desse fator permite observar tendências de aumento ou diminuição dos índices frente aos impactos de rejeito no decorrer do tempo do monitoramento. Desta forma, foi possível otimizar as análises referentes à comunidade zooplancônica sem impacto financeiro.

Buscando atender às demandas do novo formato do Relatório Anual e consolidar os resultados expressos pelas espécies indicadoras ao longo do monitoramento, foi realizada uma adaptação na apresentação de dois indicadores anteriormente utilizados: a dinâmica populacional entre juvenis e adultos de *Paracalanus cf parvus* e a abundância relativa do gênero *Oikopleura*. Ambos agora integram o Índice de Prevalência de Indicadoras (IPI), detalhado nas seções anteriores, visando simplificar e categorizar os impactos através das respostas das espécies consideradas tolerantes ou sensíveis ao aporte de material do Rio Doce.

Por fim, outra adaptação importante realizada na metodologia de análise diz respeito aos taxa inclusos no cálculo dos índices de diversidade (J e H', anteriormente citados). A partir do Novo Ciclo, apenas indivíduos identificados a nível de espécie estão sendo considerados no cálculo da diversidade e da equabilidade. Essa alteração se fez necessária para atender os pressupostos da aplicação desses índices.

### **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 e obtidos ao longo do monitoramento (setembro/2018 – setembro/2022) 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 a 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 vêm se consolidando ao longo de quatro anos de monitoramento, onde seus principais resultados foram discutidos em todos os relatórios técnicos entregues até o presente, entretanto a partir do novo modelo de relatório solicitado via ofício SEI nº 85/2022-CTBio/DIBIO/ICMBio, proposto via ofício FR.2023.0214 (SEI13515133) e aprovado via ofício SEI nº4/2023-CTBio/DIBIO/ICMBio, 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 ÍNDICES DE DIVERSIDADE

Figura 1: **(A)** Valores de Índice de diversidade de Shannon da comunidade zooplanctônica amostrada nos setores APA, Foz e Norte para os períodos chuvoso e seco entre as campanhas de outubro/2018 e agosto/2022. **(B)** Variação temporal (por campanha) das médias de Índice de Shannon ( $\pm$  EP) nos setores APA, Foz e Norte ao longo do período de estudo. **(C)** Valores de Índice de Shannon no setor Foz durante os períodos chuvoso e seco dos anos de monitoramento. **(D)** Variação temporal (por campanha) das médias de Índice de Shannon ( $\pm$  EP) nos subsetores norte, central e sul ao longo do período de estudo. **(E)** Valores médios do fluxo de vazão do Rio Doce durante os 15 dias anteriores às campanhas amostrais ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

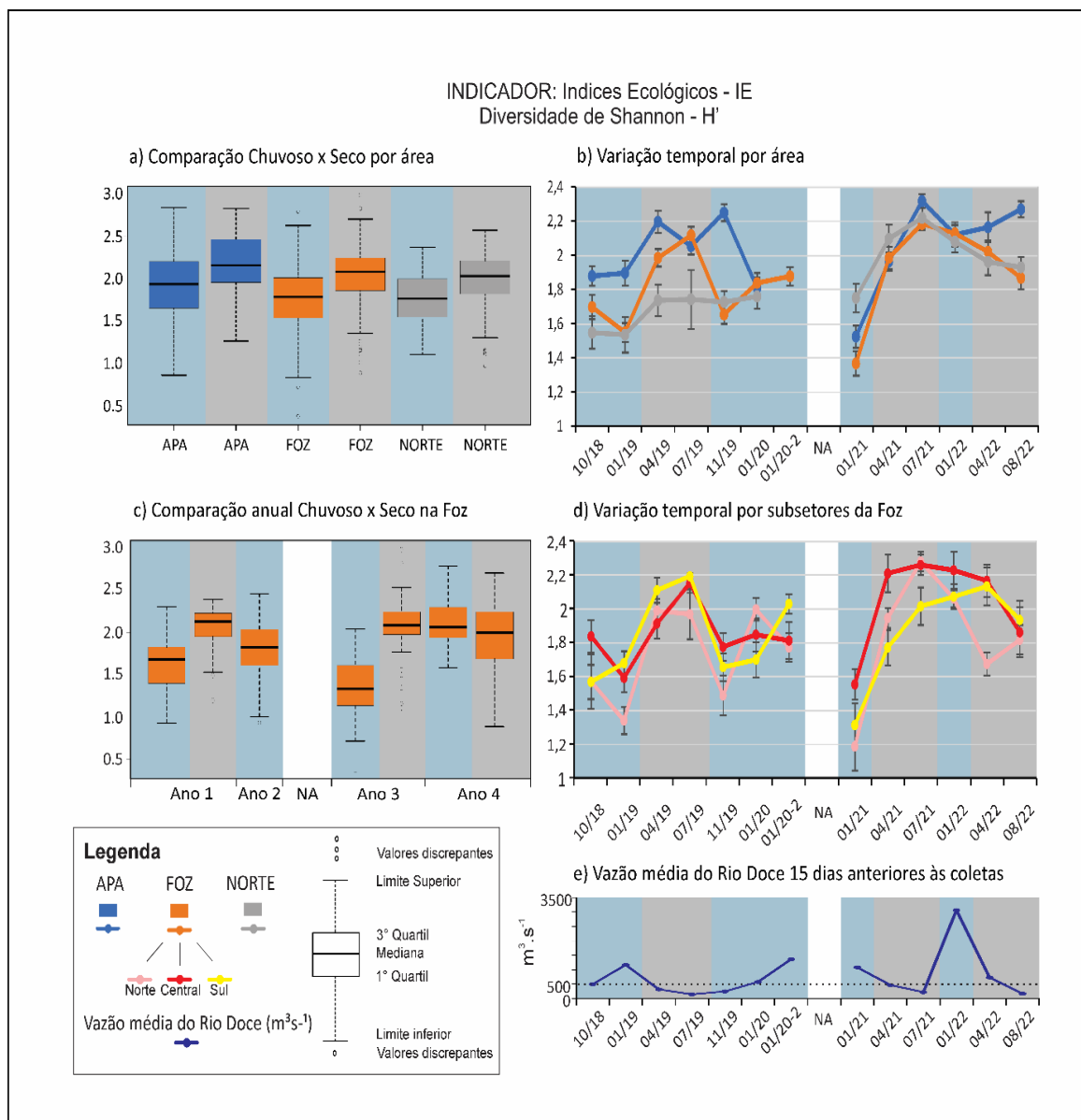


Figura 2: **(A)** Valores de Índice de equabilidade de Pielou da comunidade zooplancônica amostrada nos setores APA, Foz e Norte para os períodos chuvoso e seco entre as campanhas de outubro/2018 e agosto/2022. **(B)** Variação temporal (por campanha) das médias de Índice de Pielou ( $\pm$  EP) nos setores APA, Foz e Norte ao longo do período de estudo. **(C)** Valores de Índice de Pielou no setor Foz durante os períodos chuvoso e seco dos anos de monitoramento. **(D)** Variação temporal (por campanha) das médias de Índice de Pielou ( $\pm$  EP) nos subsetores norte, central e sul ao longo do período de estudo. **(E)** Valores médios do fluxo de vazão do Rio Doce durante os 15 dias anteriores às campanhas amostrais ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

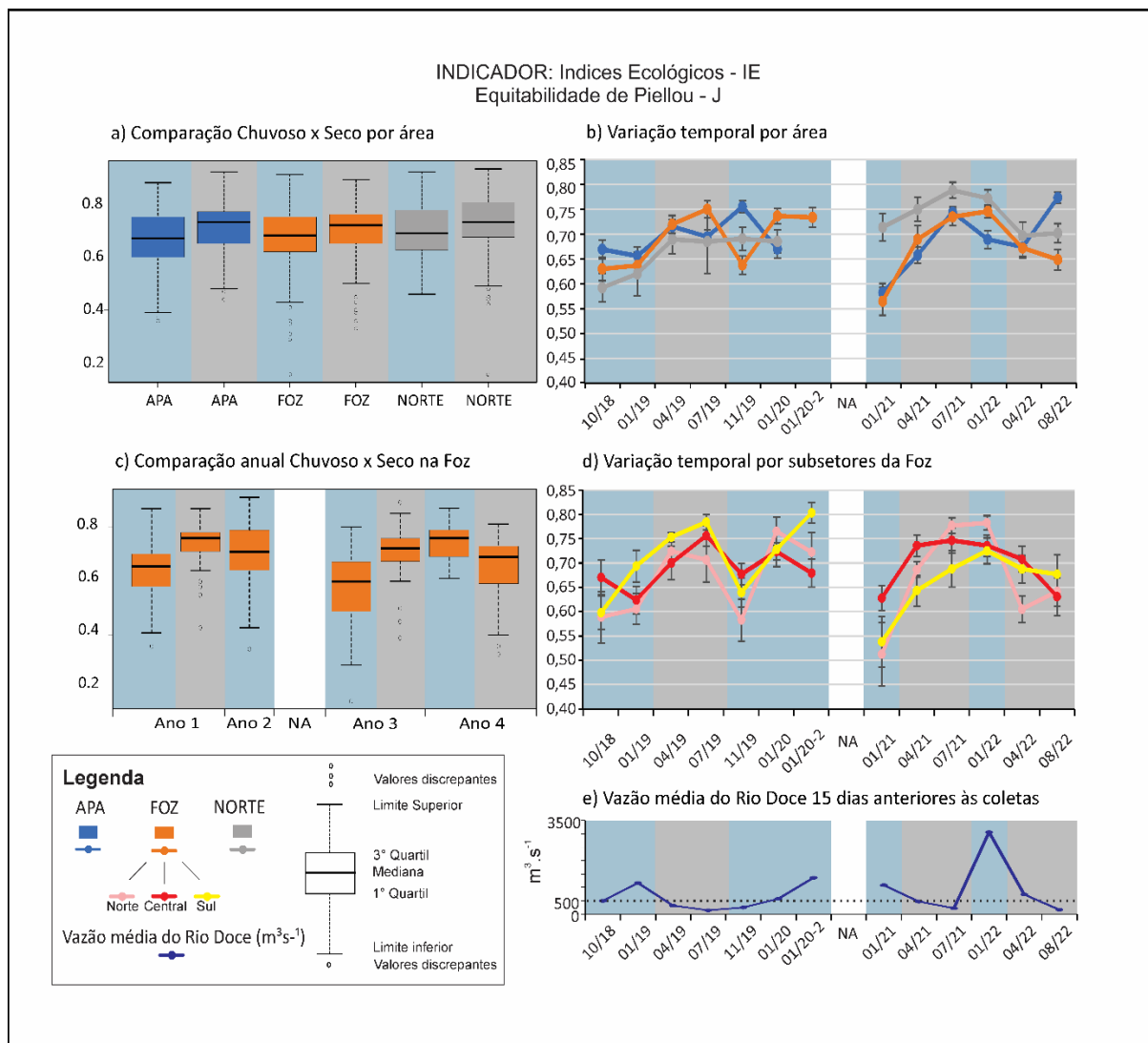


Tabela 1: Resultados da ANOVA para os Índices Ecológicos (H' e J) e Densidade entre os setores (Norte, APA e Foz) considerando o fator Período (Seco/Chuvoso) entre as campanhas de out/2018 a ago/2022 no âmbito do PMBA/Fest.

ANOVA							
			SS	Degr. of	MS	F	p
Seco	H'	Intercept	541,2850	1	541,2850	194598,3	0,00000000
		Setor	0,0579	2	0,0289	10,4	0,00003879
		Error	1,1822	425	0,0028		
	J'	Intercept	319,1494	1	319,1494	275709,9	0,00000000
		Setor	0,0026	2	0,0013	1,1	0,32874084
		Error	0,4920	425	0,0012		
	Densidade	Intercept	17213,87	1	17213,87	8777,765	0,00000000
		Setor	32,98	2	16,49	8,410	0,00026186
		Error	833,46	425	1,96		
Chuvoso	H'	Intercept	481,4785	1	481,4785	109136,7	0,00000000
		Período- Ano	0,0745	2	0,0373	8,4	0,00025199
		Error	1,9367	439	0,0044		
	J'	Intercept	295,9363	1	295,9363	166893,0	0,00000000
		Período- Ano	0,0028	2	0,0014	0,8	0,45715459
		Error	0,7784	439	0,0018		
	Densidade	Intercept	13806,39	1	13806,39	6080,333	0,00000000
		Período- Ano	6,54	2	3,27	1,439	0,23816757
		Error	996,82	439	2,27		

Tabela 2: Resultados da ANOVA para os Índices Ecológicos (H' e J) e Densidade dentro do setor APA considerando o fator Período (Seco/Chuvoso), entre as campanhas de outubro/2018 a agosto/2022 no âmbito do PMBA/Fest.

ANOVA							
			SS	Degr. of	MS	F	p
APA	H'	Intercept	505,1365	1	505,1365	143151,5	0,00000000
		período	0,1336	1	0,1336	37,9	0,00000000
		Error	1,2527	355	0,0035		
	J'	Intercept	295,1580	1	295,1580	238115,1	0,00000000
		período	0,0178	1	0,0178	14,4	0,00017773
		Error	0,4400	355	0,0012		
	Densidade	Intercept	14476,47	1	14476,47	6393,452	0,00000000
		período	2,90	1	2,90	1,280	0,25858089
		Error	803,81	355	2,26		

Tabela 3: Resultados da ANOVA para os Índices Ecológicos (H' e J) e Densidade dentro do setor Norte considerando o fator Período (Seco/Chuvoso), entre as campanhas de outubro/2018 a agosto/2022 no âmbito do PMBA/Fest.

ANOVA							
			SS	Degr. of	MS	F	p
NORTE	H'	Intercept	207,5288	1	207,5288	69475,70	0,00000000
		período	0,0390	1	0,0390	13,05	0,00041095
		Error	0,4540	152	0,0030		
	J'	Intercept	127,8481	1	127,8481	96566,21	0,00000000
		período	0,0037	1	0,0037	2,76	0,09841040
		Error	0,2012	152	0,0013		
	Densidade	Intercept	6083,425	1	6083,425	3069,314	0,00000000
		período	18,362	1	18,362	9,264	0,00275447
		Error	301,266	152	1,982		

Tabela 4: Resultados da ANOVA para os Índices Ecológicos (H' e J) e Densidade dentro do setor Foz e seus respectivos subsetores (Norte, Central e Sul) considerando o fator Período (Seco/Chuvoso), entre as campanhas de outubro/2018 a agosto/2022 no âmbito do PMBA/Fest.

ANOVA							
			SS	Degr. of	MS	F	p
FOZ	H'	Intercept	485,4806	1	485,4806	122730,0	0,00000000
		período	0,1936	1	0,1936	48,9	0,00000000
		Error	1,4122	357	0,0040		
	J'	Intercept	294,1018	1	294,1018	166891,7	0,00000000
		período	0,0094	1	0,0094	5,3	0,02159901
		Error	0,6291	357	0,0018		
	Densidade	Intercept	15960,54	1	15960,54	7857,038	0,00000000
		período	53,25	1	53,25	26,214	0,00000050
		Error	725,20	357	2,03		
FOZ NORTE	H'	Intercept	134,9629	1	134,9629	29184,87	0,00000000
		período	0,0658	1	0,0658	14,23	0,00027442
		Error	0,4624	100	0,0046		
	J'	Intercept	82,77034	1	82,77034	34430,85	0,00000000
		período	0,00389	1	0,00389	1,62	0,20635757
		Error	0,24040	100	0,00240		
	Densidade	Intercept	4790,046	1	4790,046	2000,708	0,00000000
		período	50,617	1	50,617	21,142	0,00001250
		Error	239,418	100	2,394		
FOZ CENTRAL	H'	Intercept	197,0466	1	197,0466	58415,10	0,00000000
		período	0,0714	1	0,0714	21,15	0,00000935
		Error	0,4756	141	0,0034		
	J'	Intercept	118,0201	1	118,0201	100719,8	0,00000000
		período	0,0047	1	0,0047	4,0	0,04664949
		Error	0,1652	141	0,0012		
	Densidade	Intercept	5960,412	1	5960,412	3668,547	0,00000000
		período	48,179	1	48,179	29,654	0,00000022
		Error	229,087	141	1,625		
FOZ SUL	H'	Intercept	133,9726	1	133,9726	34550,05	0,00000000
		período	0,0648	3	0,0216	5,57	0,00135389
		Error	0,4265	110	0,0039		
	J'	Intercept	81,28521	1	81,28521	42416,93	0,00000000
		período	0,00813	3	0,00271	1,41	0,24233893
		Error	0,21080	110	0,00192		
	Densidade	Intercept	4503,249	1	4503,249	3189,438	0,00000000
		período	43,531	3	14,510	10,277	0,00000510
		Error	155,312	110	1,412		

Tabela 5: Resultados da ANOVA para os Índices Ecológicos (H' e J) e Densidade Total dentro do setor APA considerando o fator Período-Ano (Seco/Chuvoso; Anos 1, 2, 3 e 4), entre as campanhas de outubro/2018 a agosto/2022 no âmbito do PMBA/Fest.

ANOVA							
			SS	Degr. of	MS	F	p
APA	H'	Intercept	426,21	1	426,21	136566,43	0,00000000
		Período-Ano	0,29	6	0,049	15,70	0,00000000
		Error	1,09	350	0,0031		
	J'	Intercept	249,58	1	249,58	218232,29	0,00000000
		Período-Ano	0,06	6	0,010	8,39	0,00000002
		Error	0,40	350	0,0011		
	Densidade	Intercept	12081,04	1	12081,04	5359,36	0,00000000
		Período-Ano	17,75	6	2,958	1,31	0,25087853
		Error	788,97	350	2,2542		

Tabela 6: Resultados da ANOVA para os Índices Ecológicos (H' e J) e Densidade dentro do setor Norte, considerando o fator Período-Ano (Seco/Chuvoso; Anos 1, 2, 3 e 4), entre as campanhas de outubro/2018 a agosto/2022 no âmbito do PMBA/Fest.

ANOVA							
			SS	Degr. of	MS	F	p
NORTE	H'	Intercept	182,85	1	182,85	78450,91	0,00000000
		Período-Ano	0,15	6	0,025	10,75	0,00000000
		Error	0,34	147	0,0023		
	J'	Intercept	113,14	1	113,14	102080,69	0,00000000
		Período-Ano	0,04	6	0,01	6,31	0,00000630
		Error	0,16	147	0,0011		
	Densidad e	Intercept	5267,81	1	5267,81	2661,00	0,00000000
		Período-Ano	28,62	6	4,77	2,41	0,02990908
		Error	291,01	147	1,9796		

Tabela 7: Resultados da ANOVA para os Índices Ecológicos (H' e J) e Densidade dentro do setor Foz e seus respectivos subsetores (Norte, Central e Sul), considerando o fator Período-Ano (Seco/Chuvoso; Anos 1, 2, 3 e 4), entre as campanhas de outubro/2018 a agosto/2022 no âmbito do PMBA/Fest.

ANOVA							
			SS	Degr. of	MS	F	p
FOZ	H'	Intercept	423,57	1	423,57	134984,37	0,00000000
		Período-Ano	0,50	6	0,08	26,62	0,00000000
		Error	1,10	352	0,0031		
	J'	Intercept	257,31	1	257,31	174708,04	0,00000000
		Período-Ano	0,12	6	0,02	13,59	0,00000000
		Error	0,52	352	0,0015		
	Densidad e	Intercept	423,57	1	423,57	134984,37	0,00000000
		Período-Ano	0,50	6	0,08	26,62	0,00000000
		Error	1,10	352	0,0031		
FOZ NORTE	H'	Intercept	117,72	1	117,72	25605,02	0,00000000
		Período-ANO	0,08	3	0,03	5,63	0,00132885
		Error	0,45	98	0,0046		
	J'	Intercept	72,00	1	72,00	30903,97	0,00000000
		Período-ANO	0,02	3	0,01	2,29	0,08351321
		Error	0,23	98	0,0023		
	Densidad e	Intercept	4324,41	1	4324,41	2605,48	0,00000000
		Período-ANO	127,38	3	42,46	25,58	0,00000000
		Error	162,65	98	1,6597		
FOZ CENTRAL	H'	Intercept	171,90	1	171,90	59940,58	0,00000000
		Período-ANO	0,16	6	0,03	9,12	0,00000002
		Error	0,39	136	0,0029		
	J'	Intercept	103,04	1	103,04	95945,51	0,00000000
		Período-ANO	0,02	6	0,00	3,71	0,00191456
		Error	0,15	136	0,0011		
	Densidad e	Intercept	5089,09	1	5089,09	3657,85	0,00000000
		Período-ANO	88,05	6	14,68	10,55	0,00000000
		Error	189,21	136	1,3913		
FOZ SUL	H'	Intercept	133,97	1	133,97	34550,05	0,00000000
		Período-ANO	0,06	3	0,02	5,57	0,00135389
		Error	0,43	110	0,0039		
	J'	Intercept	81,29	1	81,29	42416,93	0,00000000
		Período-ANO	0,01	3	0,00	1,41	0,24233893
		Error	0,21	110	0,0019		
	Densidad e	Intercept	4503,25	1	4503,25	3189,44	0,00000000
		Período-ANO	43,53	3	14,51	10,28	0,00000510
		Error	155,31	110	1,4119		

Os valores de diversidade de Shannon (H') obtidos para a comunidade zooplancônica analisada apresentaram variação espaço-temporal associada à sucessão de períodos secos e chuvosos na região (Fig.1a). As médias de diversidade calculadas a partir deste Índice foram significativamente diferentes nos setores APA, Foz e Norte em ambos períodos analisados - seco e chuvoso (Tab.1; ANOVA:  $p < 0,05$ ). Não obstante, os três setores também apresentaram valores de H' significativamente

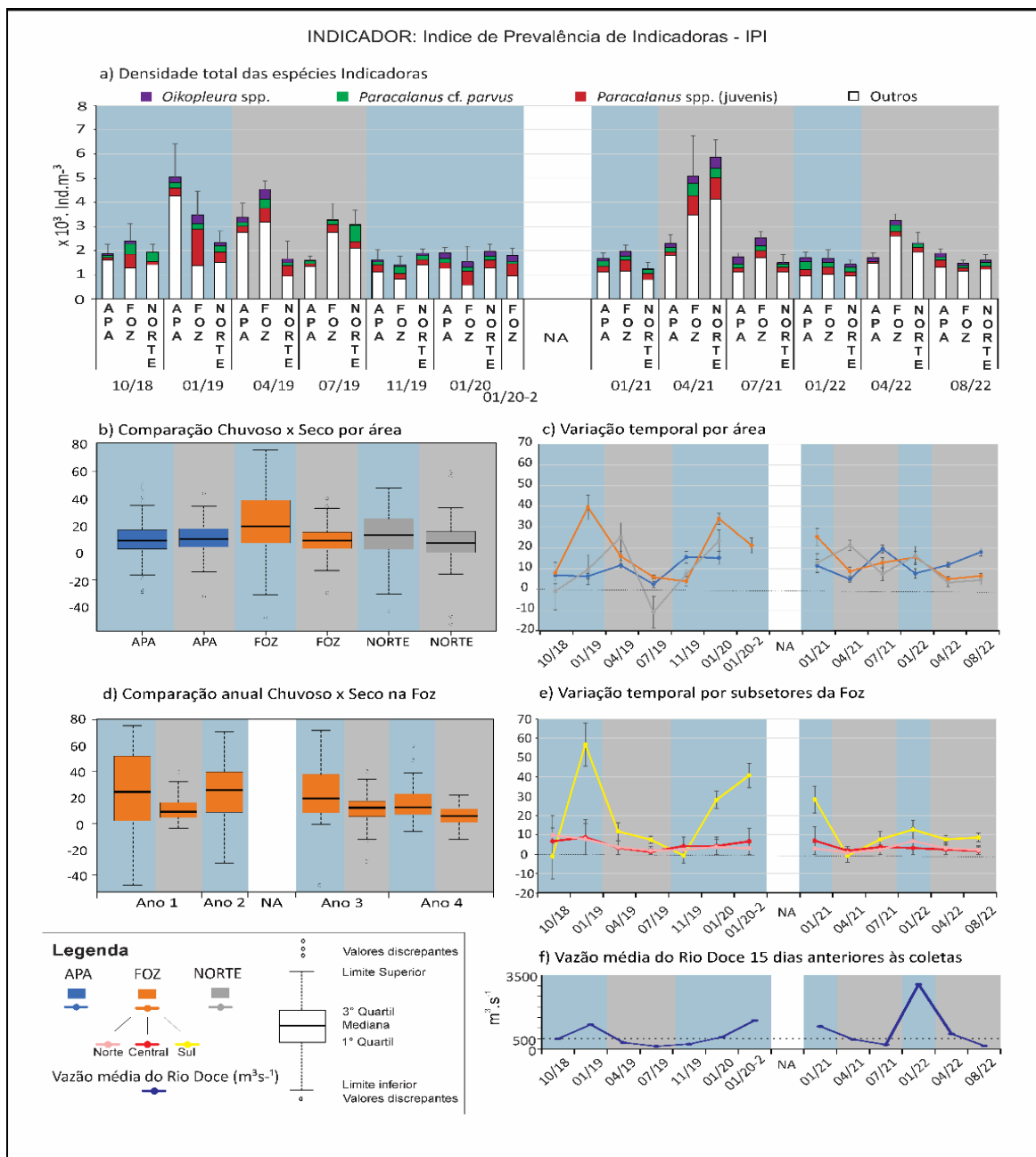
menores durante as campanhas de período chuvoso (Tab. 2, 3 e 4; ANOVA:  $p < 0,05$ ), acompanhando o aumento sazonal do fluxo de vazão do Rio Doce. Durante o período de monitoramento correspondente aos Anos 1 e 2, os menores valores de  $H'$  foram registrados nos setores Foz e Norte. Este último setor abrange pontos amostrais distantes da região da Foz e recebe influência limitada da pluma do Rio Doce, dependendo de condições variadas de circulação oceânica. Ao longo dos anos monitorados, o setor Norte também apresentou uma tendência de aumento nos valores de Índices Ecológicos da comunidade (Fig. 1b), o que precisa ser melhor investigado através da continuidade do monitoramento, mas sugere que a influência dos efeitos agudos do aporte de material do Rio Doce pode estar diminuindo neste setor. Já a elevada variabilidade temporal observada nos setores APA e Foz está associada à influência da pluma do Rio Doce, cujo deslocamento é predominantemente para Sul nos momentos de alta vazão (QUARESMA *et al.*, 2015; RRDM, 2021; 2022). Nos anos seguintes do monitoramento (Anos 3 e 4), foram registrados valores mínimos de  $H'$  nos setores APA e Foz em janeiro/2021 e valores máximos na APA em julho/2021 e agosto/2022. Da mesma forma, a região que recebe influência direta do Rio Doce (setor Foz) exibiu os menores valores de  $H'$  no período chuvoso do Ano 3, com mínimos observados nos subsetores norte e sul. Nas campanhas referentes aos Anos 3 e 4, a diversidade apresentou padrão semelhante de variação nos três setores (e subsectores da Foz) até o último período chuvoso analisado (Janeiro/2022), quando o fluxo de vazão do Rio Doce atingiu os valores máximos registrados durante todo período de estudo ( $> 3000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Na região da Foz (Fig. 1c), o mesmo padrão de redução dos Índices foi observado no período seco subsequente, especialmente no subsector norte, onde a diversidade teve valores comparáveis aos observados em campanhas chuvosas (Fig. 1d). Nas campanhas seguintes, os valores de Shannon registrados nos setores Foz e Norte não seguiram a tendência de aumento esperada para o período de baixa vazão, indicando um possível efeito prolongado do pico de vazão registrado no período anterior. Além disso, durante o período seco do Ano 4, foram registrados os maiores valores de altura de ondas na região da Foz, sendo essa força responsável por ressuspender o material acumulado no leito marinho, principalmente nas isóbatas mais rasas ( $\sim 20\text{m}$ ; RRDM, 2022). Sendo assim, a queda nos valores de diversidade  $H'$  no período seco do Ano 4 pode ser resultado da intensa ação de ondas, capaz de ressuspender o conteúdo do rejeito de mineração carreado pela elevada vazão registrada no período chuvoso do mesmo ano.

Já os valores de equabilidade de Pielou ( $J$ ) obtidos para a comunidade zooplanctônica analisada apresentaram baixa variabilidade espaço-temporal (Fig. 2a e 2b), sendo que não foram detectadas diferenças significativas entre os três setores amostrados durante o período de monitoramento (Tab. 1; ANOVA:  $p > 0,05$ ). Entretanto, as médias de  $J$  calculadas para os períodos seco e chuvoso foram significativamente diferentes nos setores APA e Foz, com os menores valores registrados nas campanhas de período chuvoso (Tab 2, 3 e 4; ANOVA:  $p < 0,05$ ), atestando a influência da pluma do Rio Doce na comunidade destes setores. O padrão de distribuição dos valores de  $J$  ao longo do monitoramento apresentou variação semelhante ao observado para o Índice de Shannon, com mínimos registrados nos setores APA e Foz durante a campanha de janeiro/2021. O mesmo padrão também pôde ser observado nos subsectores da Foz (Fig. 2d), que recebem influência direta do material proveniente da calha do Rio. Os baixos valores de  $J$  refletem a dominância de espécies e instabilidade

da comunidade zooplânctônica durante os momentos de impacto associados aos períodos de alta vazão do Rio Doce, quando também foram registradas as maiores concentrações de metais totais na coluna d'água (RRDM, 2022). Por outro lado, a inversão deste padrão observada nas campanhas amostrais do Ano 4, com queda nos valores de equidade durante o período seco, demonstra o efeito conjunto de condições excepcionais de intenso fluxo de vazão e ação de ondas registrados nos períodos chuvoso e seco deste ano, respectivamente.

### 3.2 ÍNDICE DE PREVALÊNCIA DE INDICADORAS

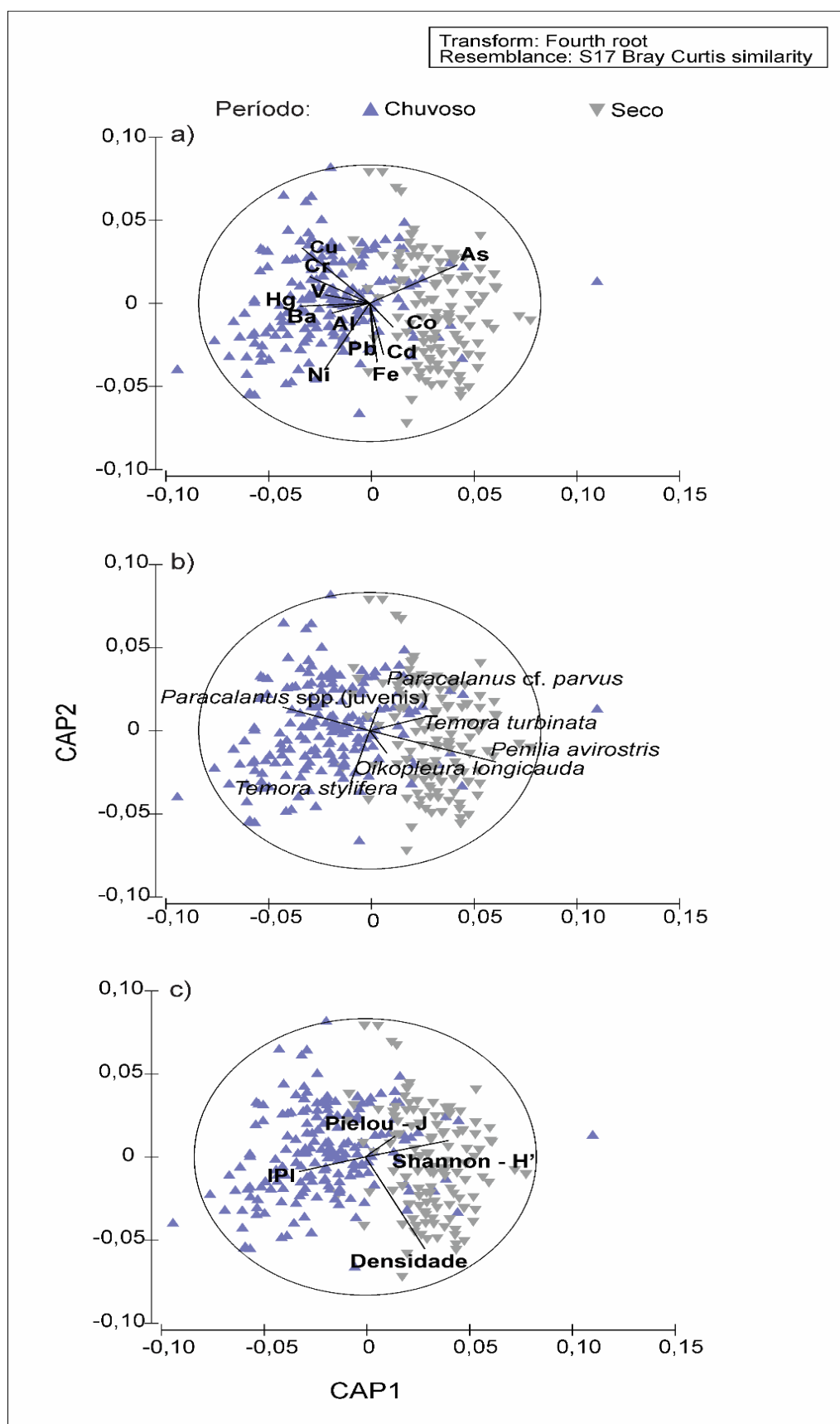
Figura 3: **(A)** Variação temporal dos valores de densidade das espécies indicadoras que compõem o Índice de Prevalência de Indicadoras (IPI) em relação às demais espécies do zooplâncton para cada um dos Setores amostrados. **(B)** Variação dos valores do IPI entre os períodos chuvosos e secos para cada setor. **(C)** Variação temporal do valor do IPI para cada Setor. **(D)** Variação dos valores do IPI no Setor Foz entre os períodos chuvosos e secos ao longo dos anos de monitoramento. **(E)** Variação temporal do valor de IPI para os Subsetores do Setor Foz. **(F)** Valores médios do fluxo de vazão do Rio Doce durante os 15 dias anteriores às campanhas amostrais ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).



Os resultados do IPI aplicados na comparação entre os períodos seco e chuvoso evidenciam, no Setor Foz, maiores valores médios e maior variabilidade do período chuvoso em relação ao período seco, mostrando maior influência do Rio Doce no aumento do valor do índice (Fig. 3b). Ainda no Setor Foz,

o aumento do valor de IPI é bem mais intenso durante as campanhas de janeiro, quando a vazão do Rio Doce é maior, mostrando evidência de impacto da pluma nesse Setor (Fig. 3c). Em uma análise temporal, observa-se que a diferença entre os períodos se reduz gradativamente ano após ano, principalmente na Foz mas também nos demais setores amostrados (Fig 3 c e 3d). Nos Subsetores Sul e Norte da Foz os valores respondem mais claramente aos períodos de alta vazão (Fig 3e). É necessário destacar que o Subsetor Central apresenta os pontos SD04 e SD05, que são profundos e mais afastados da costa, sofrendo menos influência da pluma do Rio Doce, o que contribui para reduzir as médias de valores de IPI desse Subsetor.

Figura 4: Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) para o setor Foz (Norte, Central e Sul), considerando o fator Período (seco e chuvoso), entre outubro/2018 e agosto/2022 no âmbito do PMBA/Fest para: (A) concentração de metais totais; (B) espécies representativas da comunidade; (C) índices ecológicos.



A partir do resultado da CAP, com objetivo de aprofundamento dos resultados observados através dos índices ecológicos e do IPI, é possível observar uma clara separação da comunidade zooplancônica em função do período (seco/chuvoso) com significativa correlação das concentrações de metais totais na coluna d'água (Fig. 4a, CAP:  $p < 0,05$ ), além da contribuição das espécies indicadoras e dos índices ecológicos na caracterização dos agrupamentos. *Paracalanus* cf. *parvus*, *Temora turbinata*, *Penilia avirostris* e *Oikopleura longicauda* mostraram maior correlação com o período seco (Fig 4b), assim como os índices ecológicos H' e J (Fig. 4c). Em períodos de menor vazão, é esperado que a diversidade seja maior, já que a influência direta do material proveniente do Rio Doce é reduzida (ROCHA *et al.*, 2022; CONCEIÇÃO *et al.*, 2021). Juvenis de *Paracalanus* spp. e *Temora stylifera* juntamente com o IPI, mostraram maior correlação com o período chuvoso (Fig. 4b e 4c) onde também houve a maior correlação da fração de metais totais (Cu, Cr, V, Ba, Fe, Hg, Al, Cd, Pb, Ni e Co) com exceção do arsênio (As) (Fig. 4a), corroborando com os resultados obtidos por Rocha *et al.* (2022), onde os autores constataram a maior tolerância de juvenis frente a condições de maior stress. Na literatura é bem conhecido que as altas taxas de mortalidade de *Paracalanus* devido ao impacto ambiental antrópico e perda por predação, podem ser compensadas por sua reprodução contínua e taxa de crescimento rápido em altas temperaturas, o que resulta no domínio de formas juvenis durante períodos de maior impacto (CHEW e CHONG, 2016; TURNER, 2004). A resposta de *P. cf. Parvus* se manteve no mesmo padrão da malha amostral anterior. A maior relação de *T. turbinata* com o período seco sugere que essa espécie pode ter se favorecido em função da menor predominância de sua competidora *T. stylifera*, podendo este resultado estar associado a questões e interespecíficas, o que reforça a importância da continuidade do monitoramento para que seja avaliado o potencial dessas duas espécies como indicadoras. Para *O. longicauda*, o padrão observado foi diferente dos já registrados anteriormente, onde essa espécie mostrou correlação com o período chuvoso. Apesar de nessa nova malha amostral ter sido registrada correlação com o período seco, esta correlação foi considerada baixa em comparação com as demais espécies. Tal resultado pode estar associado ao fato da inserção da campanha de abril/2022, que teve como característica ter sido precedida pelo maior evento de vazão registrado ao longo do PMBA/Fest, onde no mês de janeiro/2022 a vazão atingiu valor médio superior a  $3000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Dessa forma, *O. longicauda* pode ter tido um tempo de resposta prolongado a partir da campanha de janeiro, se estendendo até a campanha de abril, correspondente ao período seco, visto o maior volume de material que foi aportado do Rio Doce. A relação de *P. avirostris* com o período seco, corrobora com o comportamento já observado para a espécie que tem além de ter baixa tolerância ao material proveniente do Rio Doce em eventos de alta vazão, tem o seu período reprodutivo associado aos meses de janeiro a abril.

#### 4 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS

Todas as metas previstas para o Tema Zooplâncton - Ambiente Marinho foram cumpridas.

## 5 REFERÊNCIAS

- Anderson, M. J., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, v. 26, p. 32-46.
- Anderson, M. J., 2006. Distance-Based Test for Homogeneity of Multivariate Dispersions. *Biometrics*, v. 62, p. 245-253.
- Anderson, M. J.; Gorley, R. N.; Clarke, K. R., 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to software and statistical methods. Plymouth: Primer-E Ltd.
- Benedetti, F.; Gasparini, S.; Ayata, D., 2016. Identifying copepod functional groups from species functional traits. *Journal of Plankton Research* 38: 159-166.
- Boltovskoy, D, 1981. Atlas del zooplankton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con zooplancton marino. Mar del Plata: Instituto Nacional de Investigacion y Desarrollo Pesquero.
- Boltovskoy, D, 1999. South Atlantic Zooplankton. Leiden: Backhuys Publishers, 1999.
- Campos, C.C.; Garcia, T.M.; Neumann-Leitão, S.; Soares, M.O., 2017. Ecological indicators and functional groups of copepod assemblages. *Ecological Indicators*, 83, 416-426.
- Chew, L. L.; Chong, V. C., 2016. Response of marine copepods to a changing tropical environment: winners, losers and implications. *PeerJ*, 4, e2052.
- Clarke, K.R.; Gorley, R.N., 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. Plymouth: PRIMER-E.
- Conceição, L.R., Demoner, L.E., Pereira, J.B., Perassoli, F., Ghisolfi, R.D., Bastos, A.C., et al., 2021. Copepod community structure after a mining dam disaster in the Southwestern Atlantic Ocean. *Estuar. Coast. Shelf Scie*, 254, 107325.
- Hill, T. & Lewicki, P., 2007. STATISTICS: Methods and Applications. StatSoft, Tulsa, OK.
- Quaresma, V.D.S.; Catabriga, G.; Bourguignon, S.N.; Godinho, E.; Bastos, A.C., 2015. Modern sedimentary processes along the Doce river adjacent continental shelf. *Brazilian Journal of Geology*, 45(4), 635-644.
- RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual do PMBA/Fest-RRDM - Síntese integrativa entre ambientes. RT-39E, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 150 pag. 2022.
- RRDM, Rede Rio Doce Mar, Relatório Semestral de Evolução (RSE). RT-37, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 143 pag. 2021.
- Tukey, J. W., 1977. Exploratory data analysis. Reading, MA: Addison -Wesley.

Turner, J. R.; Thayer, J. F., 2001. Introduction to analysis of variance: Design, analysis, & interpretation. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Turner, J. T., 2004. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. Zoological studies, 43(2), 255-266.

Uttah, E.; Ogbeche, J.; Ukpong, G.I.; Ajang, R.; Iboh, C.; Ayanda, O.I., 2013. The Taxa Structure and Composition of Zooplankton Communities of Bonny Estuary: A Bio-indication of Anthropogenic Activities. The Pacific Journal of Science.