

**Projeto de Monitoramento Ambiental da
Atividade de Produção e Escoamento de
Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS
– Etapa 1 –
Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul**

**RTAA - Relatório Técnico de Avaliação Ambiental
9ª Campanha da Fase de Operação**

Volume Único

RTAA_DP-IRA-S_C9_BCA_20122023-02

**Revisão 00
Fevereiro/2024**



E&P

ÍNDICE GERAL

I - INTRODUÇÃO	21/284
II - OBJETIVO	23/284
III - ÁREA DE ESTUDO	24/284
III.1 - BACIA DE SANTOS – ÁREA DE IRACEMA.....	24/284
III.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE	25/284
IV - MATERIAL E MÉTODOS	33/284
IV.1 - ATIVIDADES DE CAMPO	33/284
IV.1.1 -Qualidade da Água.....	37/284
IV.1.2 -Fitoplâncton.....	43/284
IV.1.3 -Zooplâncton e Ictioplâncton.....	43/284
IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO	47/284
IV.2.1 -Qualidade da Água.....	47/284
IV.2.2 -Fitoplâncton.....	53/284
IV.2.3 -Zooplâncton.....	53/284
IV.2.4 -Ictioplâncton	54/284
IV.3 - TRATAMENTO DOS DADOS	55/284
IV.3.1 -Qualidade da Água.....	55/284
IV.3.2 -Plâncton	64/284
IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA	70/284
IV.4.1 -Qualidade da Água.....	70/284
IV.4.2 -Biota Aquática	71/284
IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA	72/284

V - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75/284
V.1 - QUALIDADE DA ÁGUA	75/284
V.1.1 - Temperatura e Salinidade	75/284
V.1.2 - Oxigênio Dissolvido (OD)	91/284
V.1.3 - Potencial Hidrogeniônico.....	99/284
V.1.4 - Clorofila-a	104/284
V.1.5 - Nutrientes	111/284
V.1.6 - Material Particulado em Suspensão (MPS) e Carbono Orgânico Total (COT)	124/284
V.1.7 - Sulfetos	135/284
V.1.8 - Fenóis	139/284
V.1.9 - Hidrocarbonetos.....	140/284
V.1.9.1 - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs).....	142/284
V.1.9.2 - Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTPs), N-Alcanos, Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)	143/284
V.1.10 - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (BTEX)	145/284
V.2 - PLÂNCTON	146/284
V.2.1 - Fitoplâncton.....	146/284
V.2.1.1 - Avaliação da Amostragem	148/284
V.2.1.2 - Análise Qualitativa	151/284
V.2.1.3 - Análise Quantitativa	153/284
V.2.1.4 - Análise da Distribuição Espacial do Fitoplâncton.....	163/284
V.2.1.5 - Análise de Cluster e MDS.....	170/284
V.2.2 - Zooplâncton	172/284
V.2.2.1 - Avaliação da Amostragem	174/284
V.2.2.2 - Análise Qualitativa	177/284
V.2.2.3 - Análise Quantitativa	180/284
V.2.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Zooplâncton.....	189/284
V.2.2.5 - Análise de Cluster e MDS.....	192/284
V.2.3 - Ictioplâncton	193/284
V.2.3.1 - Avaliação de Amostragem	195/284
V.2.3.2 - Avaliação Qualitativa	198/284

V.2.3.3 - Análise Quantitativa	200/284
V.2.3.4 - Análise da Distribuição Espacial do Ictioplâncton	210/284
V.2.3.5 - Análise de Cluster e MDS	212/284
VI - ANÁLISE INTEGRADA.....	215/284
VI.1 - AMBIENTE PELÁGICO.....	215/284
VI.1.1 - Variáveis Ambientais	215/284
VI.1.2 - Relação do Fitoplâncton com o Ambiente Físico-químico	217/284
VI.1.3 - Relação do Zooplâncton e Ictioplâncton com o Ambiente Físico- químico	221/284
VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	232/284
VIII - BIBLIOGRAFIA.....	236/284
IX - EQUIPE TÉCNICA	261/284
X - ANEXOS.....	263/284

FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura III-1 - Localização do FPSO-Cidade de Mangaratiba – BS.	25/284
Figura III-2 - Estruturas de fundo e malha de distribuição de poços produtores e injetores no entorno do FPSO-CMB.	27/284
Figura III-3 - Volume de Água produzida descartada pelo FPSO-CMB.	28/284
Figura III-4 - Volume de efluente sanitário descartado pelo FPSO-CMB.	29/284
Figura III-5 - Volume de efluente oleoso descartado pelo FPSO-CMB.	29/284
Figura IV-1 – Embarcação R/V Ocean Stawart utilizada durante a atual campanha.	33/284
Figura IV-2 – Gráfico com os dados fornecidos pelo ADCP para determinação da direção preferencial da corrente, utilizada para o posicionamento da malha amostra móvel de água e plâncton na DP-IRA-S_C9.	35/284
Figura IV-3– Malha amostral para coleta de água e plâncton da DP-IRA-S_C9 (Datum Sirgas 2000).	36/284
Figura IV-4 – CTD/Rosette com garrafas de coleta de amostras de água dos modelos Niskin e Go-flo utilizadas na DP-IRA-S_C9.	39/284
Figura IV-5– Disco de Secchi utilizado para medir a transparência da coluna da água durante a DP-IRA-S_C9.	40/284
Figura IV-6– Rede cilindro-cônica com malha de 200 µm para coleta de amostras de zooplâncton utilizada durante a DP-IRA-S_C9.	43/284
Figura IV-7 – Rede bongô com malhas de 300 e 500 µm para coleta de amostras de ictioplâncton, utilizada durante a DP-IRA-S_C9.	44/284
Figura IV-8 – Localização do FPSO-CMB, do FPSO Cidade de São Paulo, FPSO Cidade de Angra dos Reis (Piloto de Tupi) e FPSO Cidade de Paraty.	63/284
Figura V-1 – Temperatura (°C) da água na DP-IRA-S_C9.	78/284
Figura V-2 – Perfis de temperatura (°C) obtidos com CTD da DP-IRA-S_C9.	79/284
Figura V-3 – Valores de salinidade obtidos na DP-IRA-S_C9.	81/284

FIGURA	PÁG.
Figura V-4 – Perfis de salinidade (CTD) obtidos na DP-IRA-S_C9.	82/284
Figura V-5 – Diagrama T-S da DP-IRA-S_C9. Em vermelho, limites estabelecidos por Castro et al. (2006). Em preto Tommasi (1994) e Silveira et al. (2000).	86/284
Figura V-6 – Análise da distribuição vertical das massas d'águas na DP-IRA-S_C9.	88/284
Figura V-7 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos na DP-IRA-S_C9.	94/284
Figura V-8 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) (CTD) obtidos na DP-IRA-S_C9.	95/284
Figura V-9 – Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	98/284
Figura V-10 – Perfis de pH obtidos na DP-IRA-S_C9.	101/284
Figura V-11 – Concentrações de pH observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	104/284
Figura V-12 – Perfis de clorofila-a (µg/L) obtidos na DP-IRA-S_C9.	108/284
Figura V-13 – Concentrações de clorofila-a (µg/L) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	110/284
Figura V-14 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	114/284
Figura V-15 – Concentrações de nitrito (mg/L N) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	116/284
Figura V-16 – Concentrações de nitrato (mg/L) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	119/284
Figura V-17 – Perfis das concentrações de silicato obtidos na DP-IRA-S_C9.	121/284

FIGURA	PÁG.
Figura V-18 – Concentrações de silicato total (mg/L) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	122/284
Figura V-19 – Concentrações de fósforo total (mg/L P) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	124/284
Figura V-20 – Perfis das concentrações de MPS obtidos na DP-IRA-S_C9.	127/284
Figura V-21 – Concentrações de MPS (mg/L) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	130/284
Figura V-22 – Perfis das concentrações de COT obtidos na DP-IRA-S_C9.	132/284
Figura V-23 – Concentrações de COT (mg/L C) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	135/284
Figura V-24 – Concentrações de sulfetos (mg/L S) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	138/284
Figura V-25– Representação esquemática de alguns gêneros do fitoplâncton. Diatomáceas: (A) Skeletonema; (B) Chaetoceros; (C) Pleurosigma. Dinoflagelados: (D) Noctiluca; (E) Ceratium. Primnesiófita: (F) Coccolithus.	147/284
Figura V-26 – Taxa fitoplânctônica (número cumulativo) encontrados ao do DP-IRA-S. A linha preta representa a curva de Jackknife ¹ , ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.	149/284
Figura V-27 – Riqueza fitoplanctônica (nº de taxa) ao longo do DP-IRA-S	151/284
Figura V-28 – Box plots representativos dos valores de riqueza fitoplanctônica (nº de taxa) do DP-IRA-S.	158/284

FIGURA	PÁG.
Figura V-29 – Box plots representativos dos valores de densidade (ind/L) do DP-IRA-S.	159/284
Figura V-30 – Densidade fitoplanctônicas média (ind/L) da DP-IRA-S_C9. A barra verde representa a densidade média dos grupos $\pm$ desvio-padrão.	160/284
Figura V-31 - Box plots representativos dos valores de diversidade fitoplanctônica (bits/ind) DP-IRA-S.	161/284
Figura V-32 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade fitoplanctônica do DP-IRA-S.	163/284
Figura V-33 – Riqueza fitoplanctônica (Número de taxa) da DP-IRA-S_C9.	163/284
Figura V-34 – Riqueza fitoplanctônica (número de taxa) da DP-IRA-S_C9. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as estações).	164/284
Figura V-35 – Riqueza fitoplanctônica (número de taxa) da DP-IRA-S_C9. A) Perfis de variação da riqueza na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras, número de taxa das divisões fitoplanctônicas; a linha cinza representa a média de todas as amostras.	165/284
Figura V-36 – Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind/L) da DP-IRA-S_C9. A barra verde representa a densidade média das estações $\pm$ desvio-padrão.	166/284
Figura V-37 – Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind/L) da DP-IRA-S_C9. A barra verde representa a densidade média das profundidades $\pm$ desvio-padrão.	167/284
Figura V-38 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) da DP-IRA-S_C9. Perfis de variação da densidade na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras com densidade das divisões fitoplanctônicas; linha cinza representa a média de todas as amostras.	168/284
Figura V-39 – Diversidade e equitabilidade da comunidade fitoplanctônica da DP-IRA-S_C9.	169/284

FIGURA	PÁG.
Figura V-40 – Dendograma de agrupamento (Cluster) da comunidade fitoplanctônica na atual campanha de monitoramento ambiental.	171/284
Figura V-41 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade fitoplanctônica na atual campanha de monitoramento ambiental.	171/284
Figura V-42 – Esquema demonstrando alguns dos principais componentes da comunidade zooplanctônica no ambiente marinho: Radiolaria (A) Tintinnina (B) Siphonophora (C) Hydromedusae (D) Cladocera (E) Copepoda (F) Larva de Crustacea (G) Chaetognatha (H) Appendicularia (I) Doliolida (J) Salpida (L).	173/284
Figura V-43 – Taxa zooplânctonica (número cumulativo) encontrados ao longo do	176/284
Figura V-44 – Riqueza zooplanctônica (nº de taxa) ao longo do DP-IRA-S.	178/284
Figura V-45 – Box plots representativos dos valores de riqueza zooplanctônicas (número de taxa) encontradas ao longo do DP-IRA-S.	184/284
Figura V-46 – Box plots representativos dos valores de densidade zooplanctônica (ind/m ³) encontradas ao longo do DP-IRA-S.	186/284
Figura V-47 – Densidade zooplanctônica (ind/m ³) da DP-IRA-S_C9. A barra verde representa a densidade média das amostras ± desvio-padrão.	187/284
Figura V-48 – Box plots representativos dos valores de diversidade zooplanctônica (bits/ind) encontradas ao longo do DP-IRA-S.	188/284
Figura V-49 – Box plots representativos dos valores de equitabilidade zooplanctônica encontradas ao longo do DP-IRA-S.	189/284
Figura V-50 – Riqueza zooplanctônica (número de taxa) da DP-IRA-S_C9. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	190/284
Figura V-51 – Densidade zooplanctônica (ind/m ³) da DP-IRA-S_C9. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	191/284
Figura V-52 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade zooplanctônica da DP-IRA-S_C9.	192/284
Figura V-53 – Dendograma de agrupamento (Cluster) da comunidade zooplanctônica da DP-IRA-S_C9.	193/284

FIGURA	PÁG.
Figura V-54 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade zooplanctônica da DP-IRA-S_C9.	193/284
Figura V-55 – Esquema dos primeiros estados de desenvolvimento de Trachurussimmetricus. Adaptado de Moser (1984).	194/284
Figura V-56 – Taxa ictioplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo do DP-IRA-S. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.	197/284
Figura V-57 – Riqueza ictioplanctônica (nº de taxa) ao longo do DP-IRA-S.	199/284
Figura V-58 – Box plots representativos de riqueza ictioplanctônica (número de taxa) encontradas no DP-IRA-S.	204/284
Figura V-59 – Box plots representativos dos valores de densidade ictioplanctônica (ind/100 m³) encontradas no DP-IRA-S.	206/284
Figura V-60 – Densidade ictioplanctônica (ind/100m³) na DP-IRA-S_C9. A barra verde representa a densidade média das ordens $\pm$ desvio-padrão.	207/284
Figura V-61 – Box plots representativos dos valores de diversidade ictioplanctônicas (bits/ind) encontradas no DP-IRA-S.	208/284
Figura V-62 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade encontrada no DP-IRA-S.	209/284
Figura V-63 – Riqueza ictioplanctônicas (número de taxa) da DP-IRA-S_C9. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	210/284
Figura V-64 – Densidade ictioplanctônica (ind/100m³) da DP-IRA-S_C9. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	211/284
Figura V-65 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9 .	212/284
Figura V-66 – Dendograma de agrupamento (Cluster) da comunidade ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.	213/284
Figura V-67 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.	214/284

FIGURA	PÁG.
Figura VI.1-1 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas das estações amostrais da DP-IRA-S_C9.	216/284
Figura VI.1-2 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas das estações DP-IRA-S_M1000 e DP-IRA-S_J1002. Sobrepondo-se os indicadores ambientais do fitoplâncton e as estações sobre o plano da ACP.	218/284
Figura VI.1-3 - Análise de agrupamento dos estratos das estações de amostragem de fitoplâncton da DP-IRA-S_C9.	219/284
Figura VI.1-4 - Análise de escalonamento multidimensional entre as variáveis ambientais e os indicadores biológicos fitoplanctônicos da DP-IRA-S_C9.	220/284
Figura VI.1-5 – Relação de temperatura com a densidade zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9	224/284
Figura VI.1-6 – Relação de MPS, COT e OD com a densidade zooplanctônica e ictioplanctônica (da DP-IRA-S_C9.	224/284
Figura VI.1-7 – Relação da silicato com a densidade zooplanctônica e ictioplanctônica (da DP-IRA-S_C9.	225/284
Figura VI.1-8 – Relação de temperatura com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.	225/284
Figura VI.1-9 – Relação do MPS, COT e OD com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.	226/284
Figura VI.1-10 – Relação do silicato com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica (da DP-IRA-S_C9.	226/284
Figura VI.1-11 – Relação da temperatura com a diversidade zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.	227/284
Figura VI.1-12 – Relação de MPS, COT e OD com a diversidade zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.	227/284
Figura VI.1-13 – Relação do silicato com a diversidade zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.	228/284
Figura VI.1-14 – Relação da temperatura com a equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.	228/284

FIGURA	PÁG.
Figura VI.1-15 – Relação do MPS, COT e OD com a equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.	229/284
Figura VI.1-16 – Relação do silicato com a equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.	229/284

TABELA E QUADROS

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Quadro I-1 - Campanhas realizadas no PMPR_DP-IRA-S, com suas respectivas fases e períodos.	22/284
Tabela III-1 - Concentrações dos parâmetros monitorados na água produzida coletada no flotor do FPSO-CMB, em fevereiro de 2023.	30/284
Tabela III-2 - Concentrações dos parâmetros monitorados no efluente sanitário da ETE-BE e ETE-BB do FPSO-CMB, para o 1º trimestre de 2023.	31/284
Tabela IV-1 - Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23S, MC 45°S) das estações de amostragem de água e plâncton para DP-IRA-S_C9.	37/284
Tabela IV-2– Profundidades das diferentes camadas amostradas nas coletas de água e fitoplâncton na DP-IRA-S_C9.	41/284
Tabela IV-3 - Volumes de água do mar filtrados durante as coletas de zooplâncton e ictioplâncton na DP-IRA-S_C9	45/284
Quadro IV-1 - Parâmetros, volume, formas de acondicionamento e preservação das amostras de água coletadas durante a DP-IRA-S_C9	46/284
Tabela IV-4 - Resumo dos métodos utilizados, dos procedimentos de pré-tratamento, os respectivos limites de quantificação e detecção do método, conforme os parâmetros analisados nas amostras de água do mar.	48/284
Tabela IV-5 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a qualidade da água.	56/284
Quadro IV-2 - Estudos anteriores realizados na região e utilizados para comparação com os resultados obtidos na DP-IRA-S_C9	60/284
Tabela IV-6 – Limites de salinidade e temperatura das massas d'água segundo Tommasi (1994) e Silveira et al. (2000).	64/284
Tabela IV-7 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a biota aquática.	69/284
Tabela V-1 – Valores de temperatura (°C) medidos nas quatro profundidades amostradas na atual campanha de monitoramento	77/284

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-2 – Valores de salinidade medidos na DP-IRA-S_C9.	80/284
Tabela V-3 - Valores de temperatura (°C) e salinidade encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse.* = dados não disponíveis.	83/284
Quadro V-1 – Distribuição das massas d'água ao longo do DP-IRA-S	89/284
Tabela V-4 – Concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) na DP-IRA-S_C9.	92/284
Tabela V-5 - Valores de oxigênio dissolvido (mg/L) encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse.	96/284
Tabela V-6 – Valores de pH medidos na DP-IRA-S_C9.	100/284
Tabela V-7 - Valores de pH encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse.	102/284
Tabela V-8 – Valores de clorofila-a (µg/L) medidos na DP-IRA-S_C9.	107/284
Tabela V-9 - Valores de clorofila-a (µg/L) encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse. nd = não detectado e nq = não quantificado.	109/284
Tabela V-10– Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N), nitrito (mg/L N), nitrato (mg/L N), silicato (mg/L) e fósforo total (mg/LP) encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse (nd = não detectado e nq = não quantificado).	117/284
Tabela V-11 – Concentração de silicato (mg/L) na DP-IRA-S_C9.	120/284
Tabela V-12 – Concentração de MPS (mg/L) da DP-IRA-S_C9.	126/284
Tabela V-13 - Valores de MPS (mg/L) encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse. nd = não detectado e nq = não quantificado.	128/284
Tabela V-14 – Concentração de COT (mg/L C) da DP-IRA-S_C9.	131/284
Tabela V-15 - Valores de COT (mg/L C) encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	133/284
Tabela V-16 - Valores de sulfetos (mg/L S) encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	137/284

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-17 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/L), diversidade (bits/ind) e equitabilidade fitoplanctônicas encontrados na DP-IRA-S_C9.	153/284
Tabela V-18 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade fitoplanctônica em campanhas de monitoramento ambiental na região do monitoramento do DP-IRA-S.	155/284
Tabela V-19 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/m ³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade zooplanctônica da DP-IRA-S_C9.	180/284
Tabela V-20 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade zooplanctônica em campanhas de monitoramento ambiental na região do monitoramento do DP-IRA-S.	182/284
Tabela V-21 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/100m ³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade ictioplanctônica encontrados na DP-IRA-S_C9.	201/284
Tabela V-22 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade ictioplanctônica em campanhas de monitoramento ambiental na região do DP-IRA-S.	202/284
Tabela VI.1-1 - Correlação de Spearman entre os índices ecológicos fitoplanctônicos e variáveis ambientais da DP-IRA-S_C9. Correlações destacadas em vermelho são significativas (p<0,05).	217/284
Tabela VI.1-2 - Indicadores biológicos do zooplâncton e ictioplâncton e variáveis ambientais da DP-IRA-S_C9.	222/284

ANEXOS

Anexo X-1 – Carta de aceite de material biológico
Anexo X-2 – Laudos Analíticos das amostras Físico-químicas
Anexo X-3 – Laudos Analíticos das amostras biológicas
Anexo X-4 – Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs) e Cadastro Técnico Federal da equipe técnica
Anexo X-5 – Resalva zooplâncton

I - INTRODUÇÃO

A atividade de instalação do Desenvolvimento da Produção (DP) de Iracema Sul teve seu início em maio de 2013 com o lançamento do gasoduto e atividades offshore. Após a instalação do duto e a chegada da FPSO Cidade de Mangaratiba (FPSO-CMB) ao local, iniciou-se a interligação dos poços e seguiu-se o início da operação. A licença de operação (LO nº 1263/2014) foi concedida pelo IBAMA em 07 de outubro de 2014, e a unidade opera desde novembro do mesmo ano, produzindo gás natural e petróleo.

Conforme o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), elaborado em setembro de 2013 e que subsidiou o licenciamento ambiental desse empreendimento (processo IBAMA/MMA nº 02022.002287/09), são previstos impactos decorrentes do descarte de água produzida e efluentes durante a fase de operação da unidade, podendo afetar os compartimentos água e biota associadas (PETROBRAS/ICF, 2013). Assim, com o intuito de verificar e monitorar a qualidade ambiental na área de influência direta das atividades e de se identificar a ocorrência de possíveis impactos na região, deu-se início, dentro do Programa de Monitoramento Ambiental (PMA) da Petrobras, a execução do Programa de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-sal da Bacia de Santos (PMAEpro) – Etapa 1 - Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul (PMAEpro-BS – E1 – DP-IRA-S ou como referenciado nesse relatório apenas PMPR_DP-IRA-S), o qual é realizado em atendimento às condicionantes da LO.

A primeira campanha do projeto, referente à fase de operação, foi realizada em fevereiro de 2015, quando o empreendimento já operava na área, porém ainda sem descarte de água produzida (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016c). O projeto prevê a realização de campanhas com periodicidade anual. As nove campanhas já executadas estão detalhadas abaixo, no Quadro I-1.

Quadro I-1 - Campanhas realizadas no PMPR_DP-IRA-S, com suas respectivas fases e períodos.

Campanha	Data	Fase
PMAEpro-BS_PMPR_DP-IRA-S_C1	fevereiro de 2015	operação
PMAEpro-BS_PMPR_DP-IRA-S_C2	dezembro de 2015	operação
PMAEpro-BS_PMPR_DP-IRA-S_C3	novembro de 2016	operação
PMAEpro-BS_PMPR_DP-IRA-S_C4	dezembro de 2017 e janeiro de 2018	operação
PMAEpro-BS_PMPR_DP-IRA-S_C5	novembro de 2018	operação
PMAEpro-BS_PMPR_DP-IRA-S_C6	janeiro de 2020	operação
PMAEpro-BS_PMPR_DP-IRA-S_C7	janeiro de 2021	operação
PMAEpro-BS_PMPR_DP-IRA-S_C8	dezembro de 2021	operação
PMAEpro-BS_PMPR_DP-IRA-S_C9	fevereiro de 2023	operação

O presente relatório descreve os procedimentos técnicos realizados em campo, as metodologias de análise e os resultados obtidos durante a 9ª campanha de monitoramento ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – DP de Iracema Sul (PMPR_DP-IRA-S_C9), aqui referida apenas como DP-IRA-S_C9. Esta campanha ocorreu a bordo do navio *R/V Ocean Stalwart*, e envolveu a coleta de amostras e análise de parâmetros físicos e químicos da água e parâmetros biológicos do plâncton. Os resultados obtidos foram tratados para a investigação de possíveis impactos decorrentes da operação da unidade marítima de produção que opera no DP de Iracema Sul, o FPSO-CMB.

II - OBJETIVO

O objetivo principal do Projeto de Monitoramento Ambiental do DP de Iracema Sul (PMAEpro-BS_PMPR_DP-IRA-S) é monitorar e avaliar a qualidade ambiental na área de influência direta do empreendimento, permitindo a identificação de possíveis impactos decorrentes de suas atividades.

A campanha descrita neste relatório teve por objetivo registrar aspectos da qualidade da água e da comunidade biológica planctônica da área de influência direta do empreendimento, em decorrência de sua operação.

Objetivos Específicos

A presente campanha apresenta como objetivos específicos:

- Monitorar as características físicas, químicas da água do mar na área de influência do empreendimento;
- Monitorar quali-quantitativamente as comunidades planctônicas da região, e;
- Comparar resultados obtidos na oitava campanha (C8) com as campanhas anteriores e com a bibliografia disponível, quando pertinente.

III - ÁREA DE ESTUDO

III.1 - BACIA DE SANTOS – ÁREA DE IRACEMA

A Bacia de Santos (BS) localiza-se na margem continental sudeste-sul do Brasil, ocupando uma área de 352.000 km², entre os paralelos 23º e 28º Sul. Limita-se ao norte com a Bacia de Campos, no Alto de Cabo Frio, e ao sul com a Bacia de Pelotas, no Alto de Florianópolis. A oeste, seu limite é dado pelas serras do Mar, da Mantiqueira e pelo Maciço da Carioca, enquanto a leste, a BS está em continuidade estrutural e estratigráfica com o platô de São Paulo (PORTILHO-RAMOS *et al.*, 2006). A BS tem um formato de lua crescente, ou seja, a plataforma continental é mais estreita nas proximidades de Cabo Frio (50 km) e Cabo de Santa Marta (70 km), onde a isóbata de 200 m, próxima à quebra da plataforma continental, aproxima-se da costa, e mais larga na parte central (230 km), em frente ao litoral de São Paulo, onde aquela isóbata encontra-se mais afastada da linha costeira (SOUZA, 2000). O limite batimétrico da BS é considerado atualmente em cerca de 2.000 m de lâmina d'água (PORTILHO-RAMOS *et al.*, 2006) (Figura III-1).

A FPSO-CMB está localizada na BS, a aproximadamente 280 km da costa do Rio de Janeiro/RJ (Figura III-1) em uma região com lâmina d'água de aproximadamente 2.000 metros de profundidade, 2.000 metros de rocha e 2.000 metros de crosta salina (PETROBRAS/ICF, 2008).

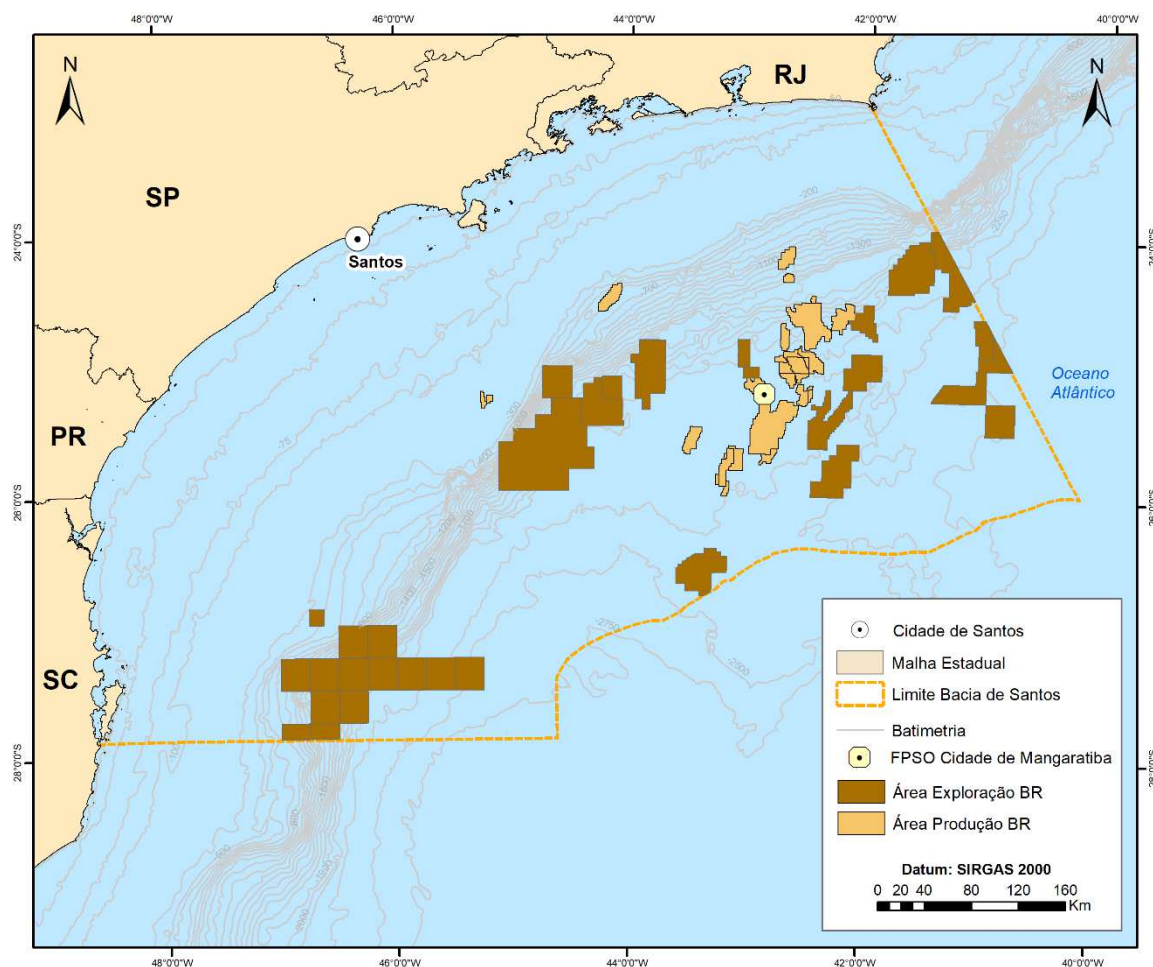


Figura III-1 - Localização do FPSO-Cidade de Mangaratiba – BS.

III.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE

À época da execução da DP-IRA-S_C9 a exploração de petróleo do empreendimento se dava através da unidade de produção FPSO-CMB que opera interligada a 16 poços (Figura III-2), sendo oito produtores (7-LL-27-RJS, 9-RJS-681, 7-LL-31D-RJS, 7-LL-114D-RJS, 4-RJS-647, 3-RJS-676, 7-LL-83D-RJS e 7-LL-45D-RJS), e oito injetores (8-LL-39-RJS, 8-LL-24D-RJS, 8-LL-32D-RJS, 8-LL-23-RJS, 8-LL-33-RJS, 8-LL-65D-RJS, 7-LL-41D-RJS e 8-LL-38D-RJS). Durante a realização da DP-IRA-S_C9, operavam apenas o poço produtor 7-LL-114D-RJS e o poço injetor 8-LL-39-RJS, e todos os demais poços encontravam-se temporariamente fechados. Ademais, existem na área outros seis poços interferentes, relacionados a outros empreendimentos, a saber: poços 8-LL-75-

RJS, 8-LL-44-RJS, 7-LL-51-RJS, 7-L-36-RJS, 7-LL-36A-RJSe 7-LL-96D-RJS, que não são apresentados na figura. O óleo produzido é processado e estocado nos tanques do FPSO-CMB e, periodicamente, escoado via navios aliviadores por operações de *offloading*. Já o escoamento da produção de gás é realizado via gasodutos até a Unidade de Tratamento de Gás Monteiro Lobato (UTGCA), no município de Caraguatatuba, onde é tratado (PETROBRAS/ICF, 2013).

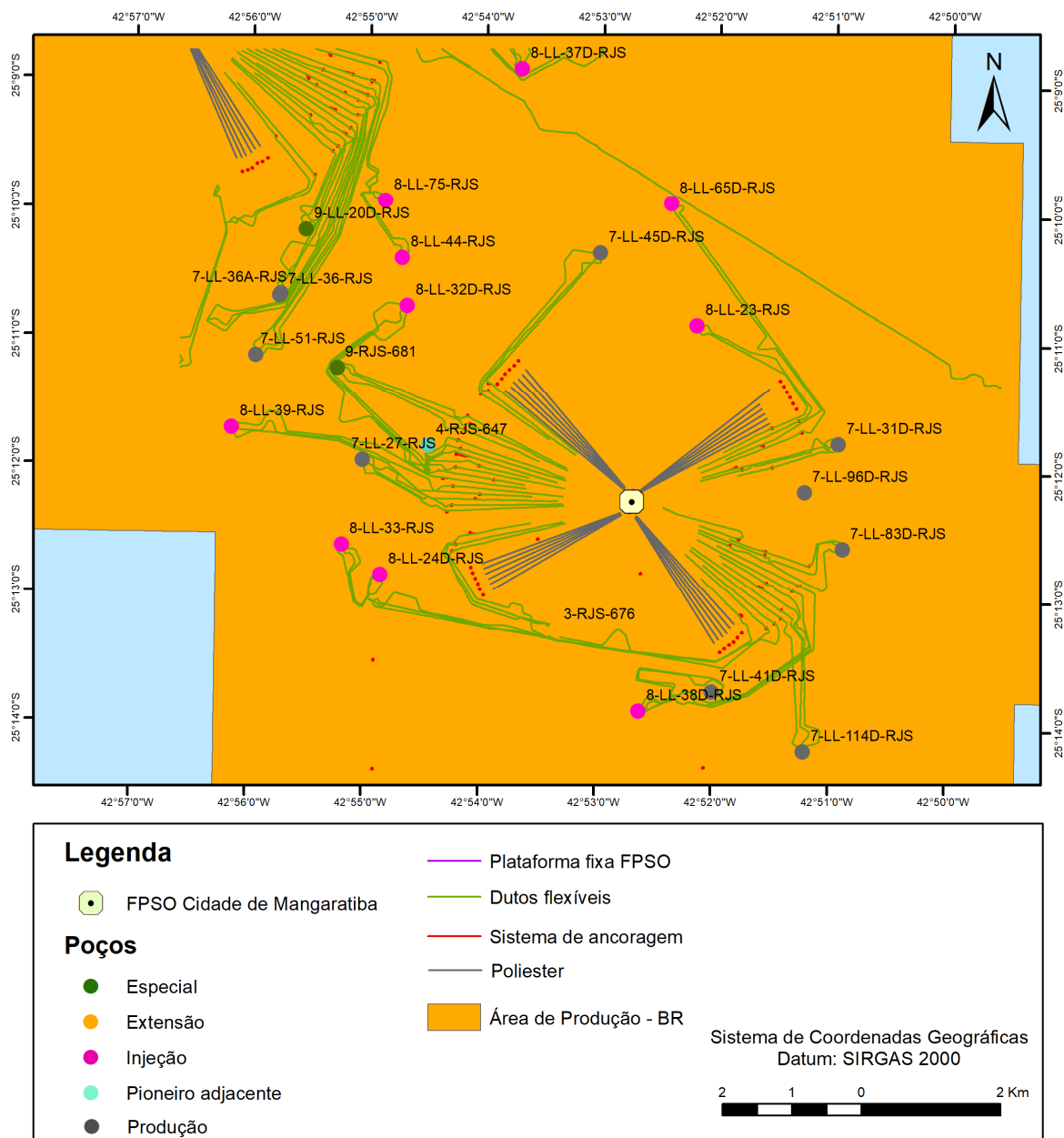


Figura III-2 - Estruturas de fundo e malha de distribuição de poços produtores e injetores no entorno do FPSO-CMB.

Em atendimento às resoluções CONAMA nº 393/2007 e NT IBAMA 01/2011, a Petrobras realiza o monitoramento da água produzida e demais efluentes descartados pelo FPSO-CMB, através do controle dos volumes descartados e da realização de ensaios físico-químicos e ecotoxicológicos, conforme periodicidade estipulada pelos instrumentos legais supracitados.

Até o momento da realização da 3ª campanha de monitoramento, ainda não havia sido iniciada a geração e o descarte de água produzida pelo FPSO-CMB, o

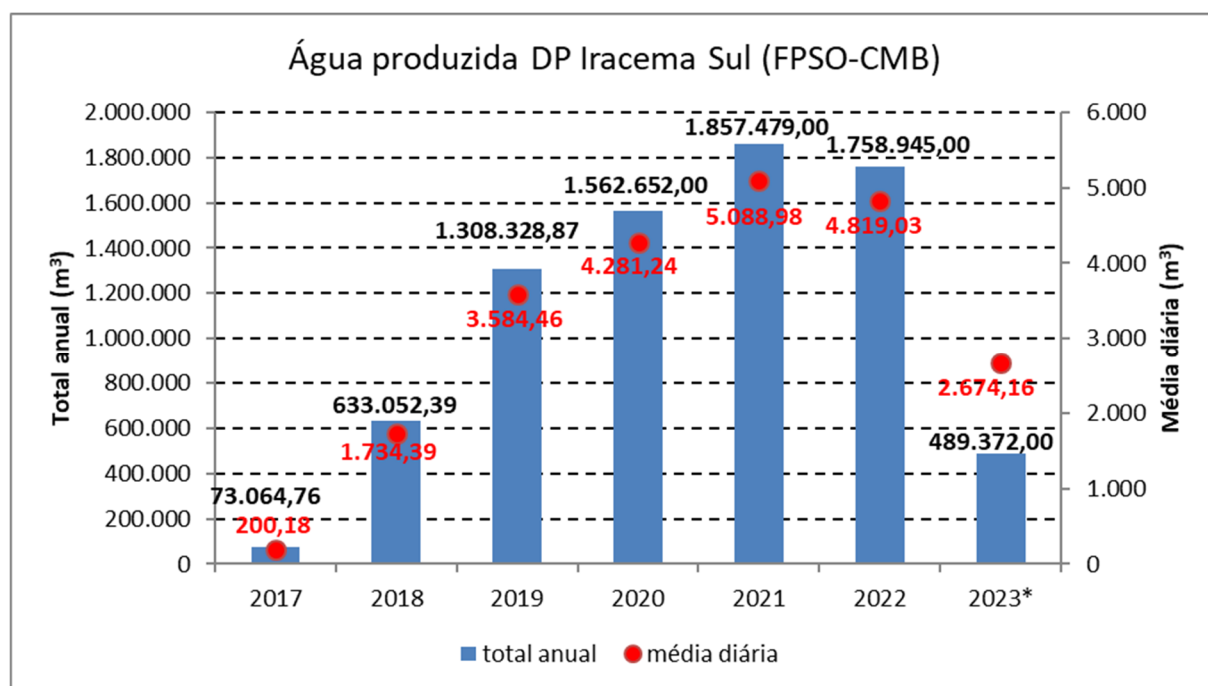
que ocorreu somente em 2017, tendo a 4ª campanha de monitoramento ocorrido já durante a geração e descarte deste efluente. Entretanto, a unidade já descartava efluentes sanitário e oleoso desde o início de sua operação.

Os volumes dos efluentes descartados pelo FPSO-CMB são apresentados a seguir: água de produção na * Considera 1º semestre do ano.

Figura III-3, efluente sanitário na * Considera 1º semestre do ano.

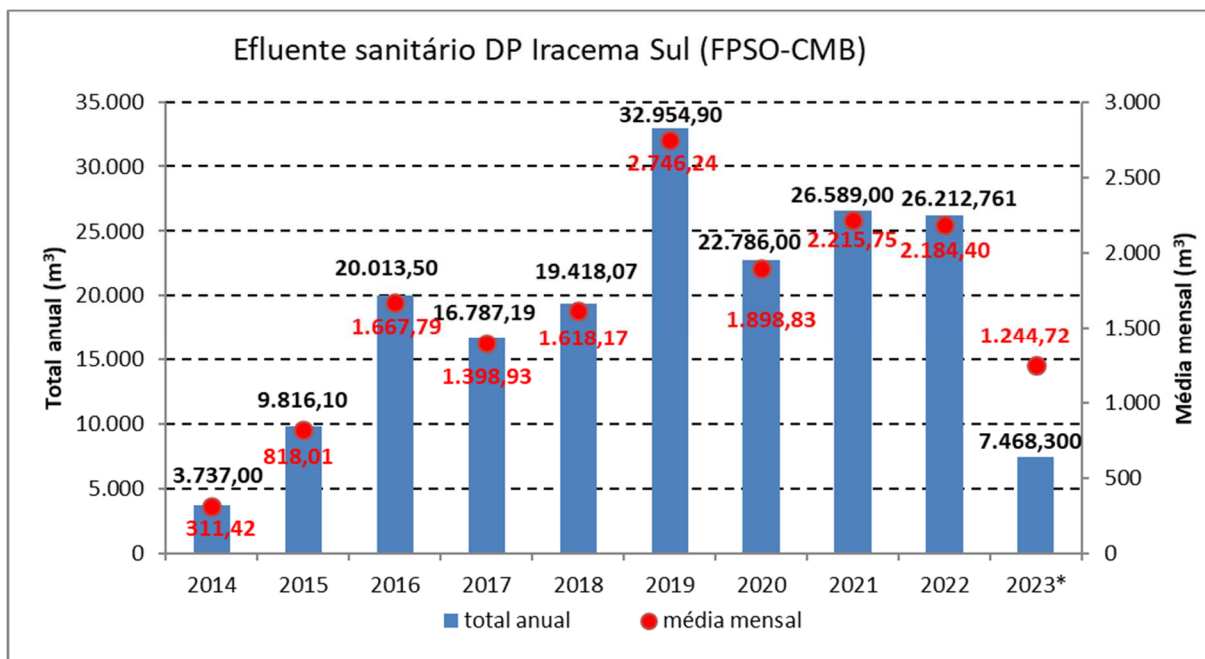
Figura III-4 e efluente oleoso na * Considera 1º semestre do ano.

Figura III-5. Importante ressaltar que houve descarte de água produzida nos dias 25 a 27 de fevereiro 2023, com volume médio de 2.150,33 m³.



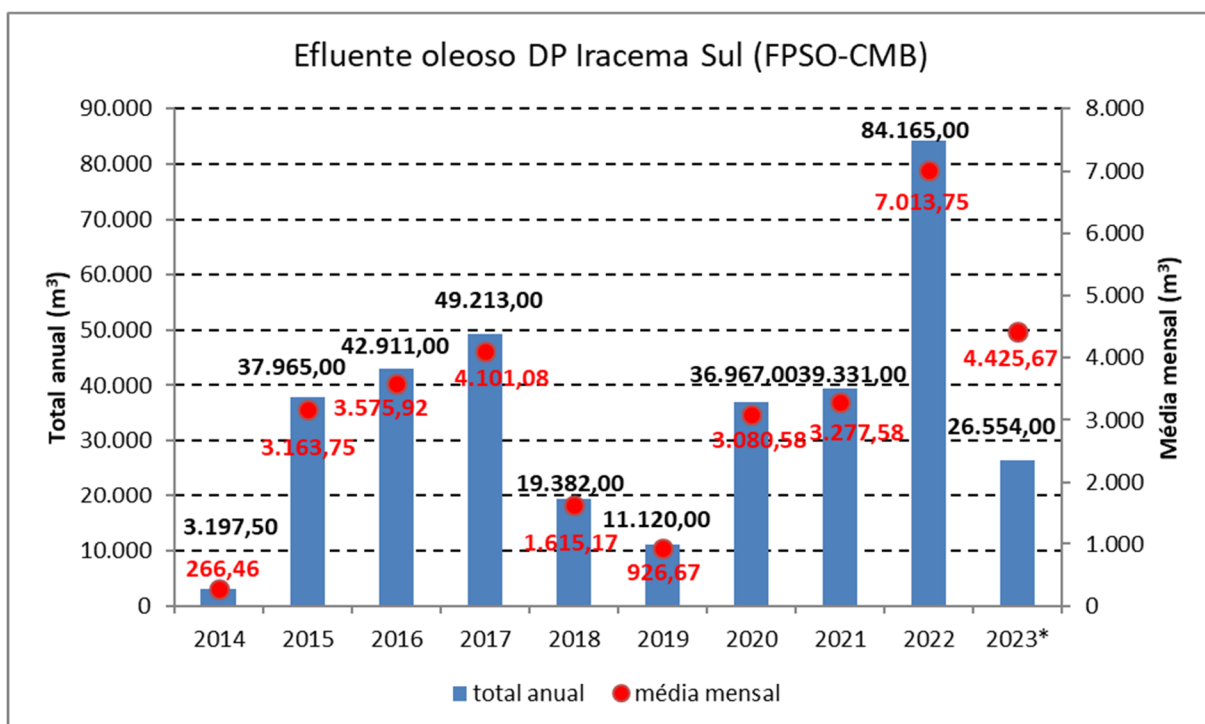
* Considera 1º semestre do ano.

Figura III-3 - Volume de Água produzida descartada pelo FPSO-CMB.



* Considera 1º semestre do ano.

Figura III-4 - Volume de efluente sanitário descartado pelo FPSO-CMB.



* Considera 1º semestre do ano.

Figura III-5 - Volume de efluente oleoso descartado pelo FPSO-CMB.

Os resultados das análises físico-químicas e ecotoxicológicas da água de produção realizadas durante o período da campanha, em fevereiro de 2023, são apresentados na Tabela III-1.

Tabela III-1 - Concentrações dos parâmetros monitorados na água produzida coletada no flotor do FPSO-CMB, em fevereiro de 2023.

Composto	Parâmetro	Resultado	Unidade
Inorgânicos	Arsênio	0,0010	mg/L
Inorgânicos	Bário	21,599	mg/L
Inorgânicos	Cádmio	<0,0005	mg/L
Inorgânicos	Cromo	0,0015	mg/L
Inorgânicos	Cobre	<0,005	mg/L
Inorgânicos	Ferro	0,238	mg/L
Inorgânicos	Manganês	0,060	mg/L
Inorgânicos	Níquel	<0,001	mg/L
Inorgânicos	Chumbo	<0,0005	mg/L
Inorgânicos	Vanádio	<0,0005	mg/L
Inorgânicos	Zinco	<0,05	mg/L
Inorgânicos	Mercúrio	0,00400	mg/L
Radioisótopos	Rádio -226	1,610	Bq/L
Radioisótopos	Rádio -228	<0,32	Bq/L
Orgânicos - HPA	Naftaleno	3,159	µg/L
Orgânicos - HPA	Acenafteno	0,0190	µg/L
Orgânicos - HPA	Acenaftileno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Antraceno	0,0310	µg/L
Orgânicos - HPA	Fenantreno	0,198	µg/L
Orgânicos - HPA	Fluoreno	0,062	µg/L
Orgânicos - HPA	Fluoranteno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Pireno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Benzo(a)antraceno	0,0080	µg/L
Orgânicos - HPA	Benzo(a)pireno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Benzo(b)fluoranteno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Benzo(k)fluoranteno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Criseno	0,013	µg/L
Orgânicos - HPA	Benzo(ghi)perileno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Dibenzo(a,h)anthraceno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Indeno(1,2,3-cd)pireno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - BTEX	BTEX	-	-
Orgânicos - BTEX	Benzeno	1911,400	µg/L
Orgânicos - BTEX	Tolueno	1319,150	µg/L
Orgânicos - BTEX	Etilbenzeno	114,100	µg/L
Orgânicos - BTEX	o-Xilenos	216,800	µg/L
Orgânicos - BTEX	m,p-Xilenos	494,600	µg/L
Orgânico - Fenóis	Fenóis	208,970	µg/L
Orgânico	Óleos e Graxas	10,00	mg/L
Complementares	Carbono Orgânico Total - COT	369,000	mg/L

Composto	Parâmetro	Resultado	Unidade
Complementares	pH	7,140	
Complementares	Salinidade	70.798,70	mg/L NaCl
Complementares	Temperatura	32,40	° C
Complementares	Nitrogênio Amoniacal Total	48,90	mg/L
Toxicidade Crônica - <i>Echinometra lucunter</i>	CENO	12,50	%
Toxicidade Crônica - <i>Echinometra lucunter</i>	CEO	25,00	%
Orgânico - 25/02/2023	TOG - Óleos e Graxas	10	mg/L
Orgânico - 26/02/2023	TOG - Óleos e Graxas	10	mg/L
Orgânico - 27/02/2023	TOG - Óleos e Graxas	9,00	mg/L

Os resultados das análises dos efluentes sanitários das duas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) existentes no FPSO-CMB (a ETE Boreste (BE) e a ETE Bombordo (BB)) referentes ao 1º trimestre de 2023 estão apresentados na Tabela III-2.

Tabela III-2 - Concentrações dos parâmetros monitorados no efluente sanitário da ETE-BE e ETE-BB do FPSO-CMB, para o 1º trimestre de 2023.

Ponto	Parâmetro	Resultado	Unidade
ETE-BE	DBO Entrada	271,00	mg O ₂ /L
ETE-BE	DQO Entrada	350,00	mg O ₂ /L
ETE-BE	DBO Saída	75,90	mg O ₂ /L
ETE-BE	DQO Saída	95,70	mg O ₂ /L
ETE-BE	TOG Total	<5,00	mg/L
ETE-BE	pH	6,04	-
ETE-BE	Cloro Residual	<0,1	mg/L
ETE-BE	Coliformes Totais	14136	NMP/100mL
ETE-BE	Clorobenzenos	<0,005	mg/L
ETE-BE	Dicloroeteno	<0,013	mg/L
ETE-BE	Tricloroeteno	<0,004	mg/L
ETE-BE	Clorofórmio	<0,005	mg/L
ETE-BE	Tetracloroeto de Carbono	<0,002	mg/L
ETE-BE	PCBs	<0,07	µg/L
ETE-BB	DBO Entrada	292,70	mg O ₂ /L
ETE-BB	DQO Entrada	600,50	mg O ₂ /L
ETE-BB	DBO Saída	190,80	mg O ₂ /L
ETE-BB	DQO Saída	292,40	mg O ₂ /L
ETE-BB	TOG Total	<5	mg/L
ETE-BB	pH	6,18	-
ETE-BB	Cloro Residual	<0,05	mg/L

Ponto	Parâmetro	Resultado	Unidade
ETE-BB	Coliformes Totais	1732900	NMP/100mL
ETE-BB	Clorobenzeno	<0,005	mg/L
ETE-BB	Dicloroetano	<0,013	mg/L
ETE-BB	Tricloroetano	<0,004	mg/L
ETE-BB	Clorofórmio	<0,005	mg/L
ETE-BB	Tetracloroeto de Carbono	<0,002	mg/L
ETE-BB	PCBs	<0,07	µg/L

IV - MATERIAL E MÉTODOS

IV.1 - ATIVIDADES DE CAMPO

A DP-IRA-S_C9 foi realizada no período de 24 de fevereiro a 03 de março de 2023, a bordo do navio *R/V Ocean Stalwart* (Figura IV-1).



Fonte: Petrobras/Oceanpact,2023

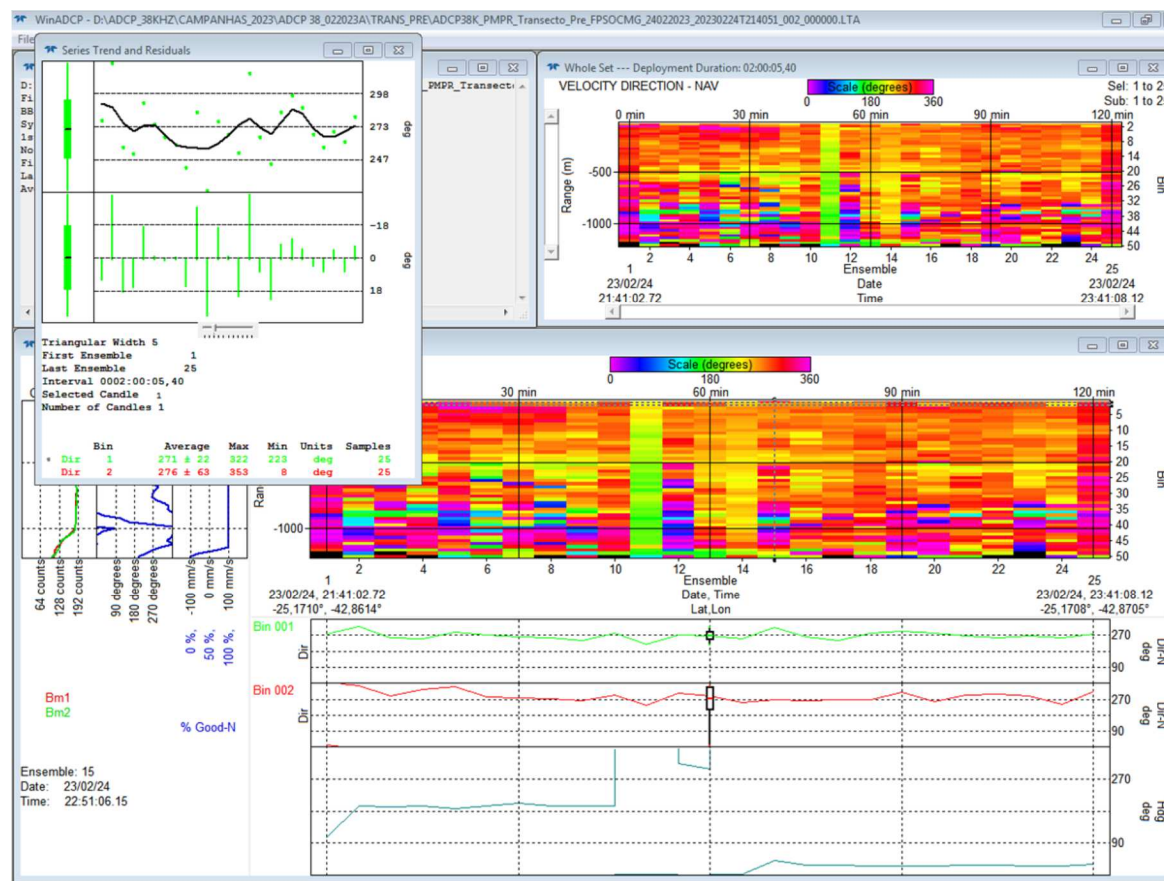
Figura IV-1 – Embarcação *R/V Ocean Stawart* utilizada durante a atual campanha.

A campanha teve início no dia 24/02/2023 com a navegação para a área de amostragem. Nesse dia, às 15h22min teve início o transecto pré-amostragem. Devido às más condições meteoceanográficas, as amostragens apenas tiveram início no dia 25/02/2023 às 17h56 min. As operações de coleta ocorreram em regime de trabalho de 24 horas, e envolveram a coleta de dados físico-químicos e de amostras de água e plâncton.

As amostragens foram finalizadas às 21h10min do dia 27/02/2023, com a realização dos transectos pós amostragem. O desembarque das amostras coletadas durante a campanha ocorreu entre as 08h45min e 16h35min do dia 03/03/2023 no Porto de Mauá, no Niterói/RJ, com o envio das remessas das amostras de água e biota aos laboratórios de análise.

Para a malha móvel de amostragem de água, inicialmente, foi realizada uma medição da corrente no local, através de perfilagem com o ADCP de casco do navio através de dois transectos, um localizado 500 m à montante da plataforma e o outro, 500 m a jusante (Figura IV-2). Os dados mostraram que a corrente superficial apresentava direção de 271°, a partir da qual foram plotadas as estações para realização das coletas de água e plâncton.

As nove estações foram dispostas da seguinte maneira: uma estação 1.000 m a montante da plataforma, uma estação 100 m a jusante, uma estação 250 m a jusante, três estações 500 m a jusante, uma alinhada horizontalmente em relação ao ponto de descarte e a direção da corrente e duas (a esquerda e a direita) dispostas em ângulo de 15° em relação ao alinhamento da corrente, e três estações 1.000 m a jusante, também dispostas alinhadas com a direção da corrente e duas com ângulos de 15° em relação ao alinhamento da corrente.



Fonte: Petrobras/Oceanpact, 2023 (RL-3A03.15-5521-996-OC8-004=B.pdf).

Figura IV-2 – Gráfico com os dados fornecidos pelo ADCP para determinação da direção preferencial da corrente, utilizada para o posicionamento da malha amostra móvel de água e plâncton na DP-IRA-S_C9.

Fonte: Bioconsult (2023).

A Figura IV-3 apresenta o mapa com a malha amostral para a coleta das amostras de água e plâncton. As coordenadas das estações amostradas durante a campanha podem ser observadas no Tabela IV-1.

Cabe destacar que, ao término das amostragens, foi realizada nova medição da corrente no local através de perfilagem com o ADCP de casco do navio, nos mesmos transectos previamente perfilados, quando os dados mostraram que a direção da corrente superficial era de 215º (gráfico apresentado no respectivo RTB da campanha e não apresentado no presente relatório, uma vez que a medição é utilizada para fins de avaliação da variação da corrente na campanha).

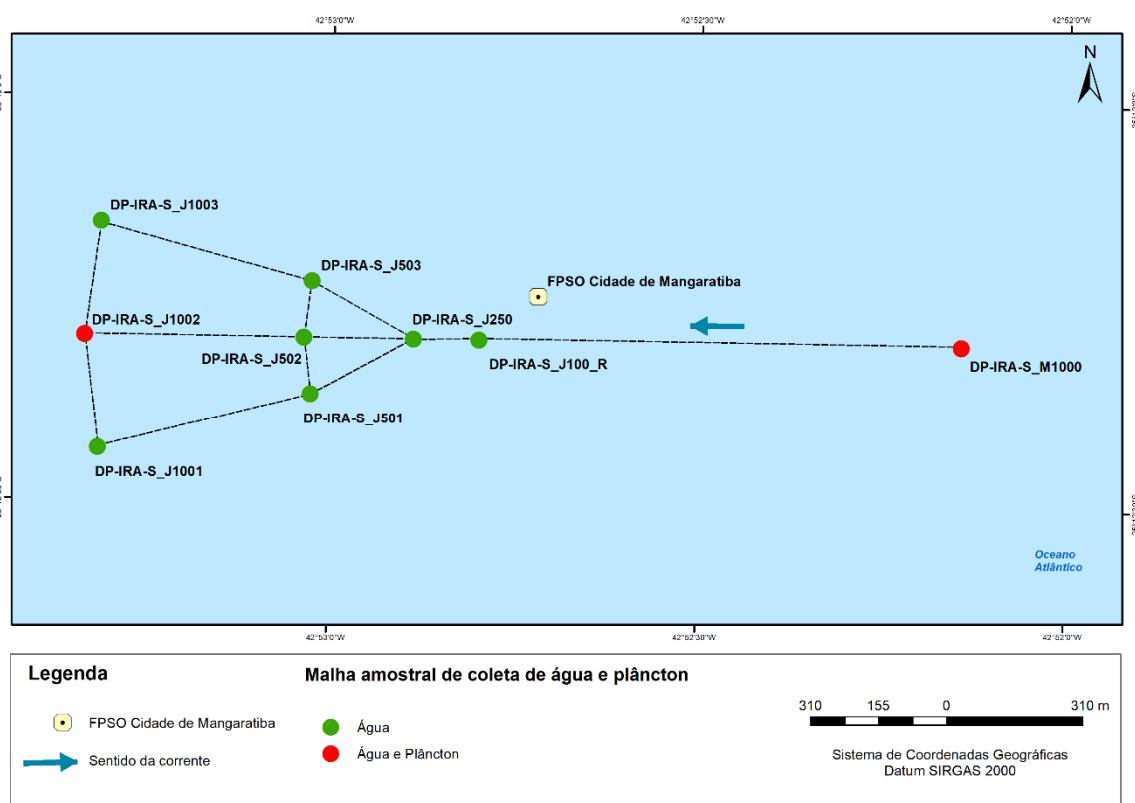


Figura IV-3– Malha amostral para coleta de água e plâncton da DP-IRA-S_C9 (Datum Sirgas 2000).

Tabela IV-1 - Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23S, MC 45°S) das estações de amostragem de água e plâncton para DP-IRA-S_C9.

Estações	N (UTM)	E (UTM)	Compartimento
DP-IRA-S_M1000	7210655,90	714703,69	Água e Plâncton
DP-IRA-S_J100	7210675,10	713603,85	Água
DP-IRA-S_J250	7210677,72	713453,88	Água
DP-IRA-S_J501	7210552,39	713218,69	Água
DP-IRA-S_J502	7210682,08	713203,91	Água
DP-IRA-S_J503	7210811,17	713223,21	Água
DP-IRA-S_J1001	7210431,43	712733,54	Água
DP-IRA-S_J1002	7210690,8	712703,99	Água e Plâncton
DP-IRA-S_J1003	7210948,99	712742,58	Água

Os procedimentos técnicos de coleta e processamento das amostras de água e plâncton empregados durante a DP-IRA-S_C9 foram realizados em conformidade com o escopo da campanha, com as informações obtidas na reunião de pré-campanha e com o protocolo de coleta elaborado pelo CENPES (PDEDS/AMA, 2019).

IV.1.1 - Qualidade da Água

Em cada estação de coleta de água do mar, foram realizadas amostragens em quatro níveis, definidos de acordo com a profundidade da termoclina verificada através de perfilagens com CTD no momento das amostragens, da seguinte maneira:

- superfície (SUP) – até 10 m da lâmina d'água;
- acima da termoclina (ACTC) – em meia profundidade entre superfície e termoclina sazonal;
- termoclina (TC) – na profundidade onde foi identificada a termoclina sazonal;
- abaixo da termoclina (ABTC) – profundidade da termoclina sazonal acrescida do valor da meia profundidade entre superfície e termoclina.

As profundidades dos estratos de cada estação são apresentadas na Tabela IV-2. As amostragens foram realizadas com a utilização de um conjunto composto por uma rosette para 24 garrafas oceanográficas dos tipos Niskin e Go-flo (Figura IV-4), e um CTD SBE 9 plus. Um disco de Secchi (Figura IV-5) também foi acoplado

a Rosette para determinação da transparência da coluna d'água nas estações cujas coletas das amostras de água foram realizadas durante o período do dia. Como os dados são medidos somente nas estações coletadas durante o dia (5 no caso de DP-IRA-S_C9), os resultados não são apresentados no presente relatório, a menos que seja pertinente na discussão dos demais parâmetros. As amostras de água foram coletadas entre 14:56 e 22:21 do dia 25/02/2023, entre 01:51 e 23:59 do dia 26/02/2023 e entre as 0:00 e 08:36 do dia 27/02/2023.

Por questões de segurança, devido à proximidade de obstáculos do FPSO-CMB, a perfilagem de CTD da estação DP-IRA-S_J100 foi realizada até 100 m, DP-IRA-S_J250 até 250m, DP-IRA-S_J501, J502 e J503 até 600m, DP-IRA-S_J1001 até 1250m, DP-IRA-S_J1002 até 2100m e DP-IRA-S_J1003 até 1100m de profundidade.

Os critérios utilizados para a validação das amostras de água foram os seguintes:

- fechamento das garrafas oceanográficas;
- funcionamento das garrafas oceanográficas; e
- ausência de bolhas nas amostras de BTEX e oxigênio dissolvido (OD).



Figura IV-4 – CTD/Rosette com garrafas de coleta de amostra de água dos modelos Niskin e Go-flo utilizadas na DP-IRA-S_C9.



Fonte: Relatório Técnico de Bordo Gardline (RL-3A17.00-5521-996-GB1-007=A.pdf).

Figura IV-5– *Disco de Secchi utilizado para medir a transparência da coluna da água durante a DP-IRA-S_C9.*

Tabela IV-2– Profundidades das diferentes camadas amostradas nas coletas de água e fitoplâncton na DP-IRA-S_C9.

Estações	Níveis	Profundidade (m)
DP-IRA-S_M1000	SUP	5
	ACTC	15
	TC	30
	ABTC	45
DP-IRA-S_J100	SUP	5
	ACTC	22
	TC	43
	ABTC	65
DP-IRA-S_J250	SUP	5
	ACTC	18
	TC	37
	ABTC	55
DP-IRA-S_J501	SUP	5
	ACTC	20
	TC	40
	ABTC	60
DP-IRA-S_J502	SUP	5
	ACTC	18
	TC	36
	ABTC	54
DP-IRA-S_J503	SUP	5
	ACTC	19
	TC	38
	ABTC	57
DP-IRA-S_J1001	SUP	5
	ACTC	23
	TC	45
	ABTC	68
DP-IRA-S_J1002	SUP	5
	ACTC	19
	TC	37
	ABTC	56
DP-IRA-S_J1003	SUP	5
	ACTC	20
	TC	40
	ABTC	60

Legenda: SUP: Superior; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

As garrafas e frascaria utilizadas, o volume coletado e os métodos de preservação e acondicionamento para cada parâmetro amostrado na água são apresentados no Quadro IV-1.

Ressalta-se que as primeiras amostras a serem drenadas das garrafas foram destinadas às análises de BTEX e OD. As amostras para análise de carbono orgânico total (COT) foram coletadas diretamente da garrafa oceanográfica, sem nenhum tipo de filtração. Os filtros para determinação de material particulado em suspensão (MPS) foram pesados, antes e após a filtração, em laboratório especializado em terra.

Dois parâmetros foram medidos *in situ*: OD e potencial hidrogeniônico (pH). Para a análise de OD, foi utilizado um frasco de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que foi preenchido três vezes até o transbordamento de sua capacidade, sendo mantido o volume do terceiro enchimento. O enchimento do frasco foi realizado de forma cuidadosa, colocando-se o tubo plástico de drenagem da garrafa no fundo do frasco de modo a se evitar a formação de bolhas. Foi utilizada uma bureta digital eletrônica, que consiste em uma adaptação automatizada do método de Winkler (1888) para titulação de oxigênio dissolvido. As análises foram realizadas em triplicata.

A segunda amostra drenada foi utilizada para a determinação do pH. Os cuidados para a coleta deste parâmetro foram os mesmos realizados para a coleta de OD. As medições foram realizadas através de um pHmetro, cujo eletrodo era inserido nas alíquotas até que se houvesse a estabilização e definição dos valores. As amostras de MPS e clorofila-a foram filtradas a bordo, e somente os filtros com o material de interesse foram armazenados.

Para avaliar os recipientes utilizados no acondicionamento das amostras foram coletados brancos de frascaria, selecionando-se aleatoriamente um frasco de vidro âmbar para hidrocarbonetos (1L), outro para fenóis (1L) e mais um para COT (250 mL), um frasco plástico para sulfetos (1L), outro para nutrientes (500 mL) e 1 vial de vidro para BTEX (40 mL).

IV.1.2 - Fitoplâncton

As coletas de fitoplâncton foram realizadas concomitantemente às coletas das amostras de água, através de garrafas go-flo, nas mesmas quatro profundidades definidas para a coleta dos outros parâmetros, sendo, entretanto, restritas às estações definidas para coleta do plâncton (DP-IRA-S_M1000 e DP-IRA-S_J1002).

IV.1.3 - Zooplâncton e Ictioplâncton

As amostras de zooplâncton foram coletadas em arrastos horizontais de superfície e arrastos oblíquos da termoclina à superfície, com uma rede cilindro-cônica de malha de 200 μ m, com 2 m de comprimento total e com diâmetro de boca de 60 cm (Figura IV-6). A fim de calcular o volume de água filtrado, um fluxômetro foi acoplado à boca da rede.



Figura IV-6– Rede cilindro-cônica com malha de 200 μ m para coleta de amostras de zooplâncton utilizada durante a DP-IRA-S_C9.

As amostras de ictioplâncton foram coletadas em arrastos horizontais de superfície, e em arrastos oblíquos, da termoclina até a superfície, com rede bongô de malhas de 300 e 500 μm , com fluxômetro acoplado, comprimento de 2 m e diâmetro de boca de 60 cm (Figura IV-7). Os arrastos foram realizados entre 17h00min e 18h50min do dia 26/02/2023 e entre 17h08min e 18h14min do dia 27/02/2023.



Figura IV-7 – Rede bongô com malhas de 300 e 500 μm para coleta de amostras de ictioplâncton, utilizada durante a DP-IRA-S_C9.

Para a validação das amostras de plâncton foram considerados os seguintes critérios:

- Redes e copos sem danos;
- Ângulo da rede correto;
- Profundidade de arrasto correta; e

- Perfeito funcionamento do fluxômetro.

Na Tabela IV-3, são apresentados os volumes de água do mar filtrados durante as amostragens.

Tabela IV-3 - Volumes de água do mar filtrados durante as coletas de zooplâncton e ictioplâncton na DP-IRA-S_C9

Grupo	Estação	Tipo de arrasto	Malha (µm)	Volume filtrado (m³)
Zooplâncton	DP-IRA-S__M1000	Horizontal	200	82,06
Zooplâncton	DP-IRA-S__M1000	Oblíquo	200	41,89
Ictioplâncton	DP-IRA-S__M1000	Horizontal	300	84,03
Ictioplâncton	DP-IRA-S__M1000	Horizontal	500	86,52
Ictioplâncton	DP-IRA-S__M1000	Oblíquo	300	45,56
Ictioplâncton	DP-IRA-S__M1000	Oblíquo	500	36,96
Zooplâncton	DP-IRA-S__J1002	Horizontal	200	117,07
Zooplâncton	DP-IRA-S__J1002	Oblíquo	200	37,47
Ictioplâncton	DP-IRA-S__J1002	Horizontal	300	65,52
Ictioplâncton	DP-IRA-S__J1002	Horizontal	500	72,81
Ictioplâncton	DP-IRA-S__J1002	Oblíquo	300	66,68
Ictioplâncton	DP-IRA-S__J1002	Oblíquo	500	60,14

No Quadro IV-1, encontram-se os parâmetros, volumes, acondicionamento e preservação das amostras de água coletadas durante a campanha.

Quadro IV-1 - Parâmetros, volume, formas de acondicionamento e preservação das amostras de água coletadas durante a DP-IRA-S_C9

PARÂMETROS	EQUIPAMENTO	VOLUME	ACONDICIONAMENTO	PRESERVAÇÃO	ACONDICIONAMENTO
HPA e n- alcanos	Garrafa go-flo	1 L	Frasco de vidro âmbar	-	Refrigeração entre 0-6°C
HTP	Garrafa go-flo	1 L	Frasco de vidro âmbar	-	Refrigeração entre 0-6°C
Fenóis	Garrafa go-flo	1 L	Frasco de vidro âmbar	H ₂ SO ₄	Refrigeração entre 0-6°C
Sulfetos	Garrafa go-flo	100mL	Frasco polietileno de alta densidade	Acetato de zinco e Hidróxido de sódio 6N	Refrigeração entre 0-6°C
COT	Garrafa go-flo	250 mL	Frasco de vidro âmbar	H ₃ PO ₄	Refrigeração entre 0-6°C
BTEX	Garrafa go-flo	2 x 40 mL	Frasco VIAL de vidro	HCl	Refrigeração entre 0-6°C
Nutrientes	Garrafa go-flo	2 x 500 mL	Frasco polietileno de alta densidade	-	Congelamento a ≤ -20°C
MPS	Garrafa go-flo	2 L (volume filtrado) ou até saturação da membrana	filtro de acetato de celulose (47 mm, 0,45 µm)	-	Congelamento a ≤ -20°C
Clorofila-a	Garrafa go-flo	2 L (volume filtrado)	Membrana de fibra de vidro GFF 0,4-0,7 µm Tubo criogênico	-	Congelamento a ≤ -80°C
Fitoplâncton	Garrafa go-flo	2 x 1 L	Frasco polietileno escuro	Formaldeído 2%	Temperatura ambiente
Zooplâncton	Rede cilindro- cônica	1 L	Frasco polietileno	Formaldeído 4%	Temperatura ambiente
Ictioplâncton	Rede bongô	1 L	Frasco polietileno	Formaldeído 4%	Temperatura ambiente

IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

As amostras destinadas às análises físico-químicas de água foram encaminhadas à empresa SGS do Brasil, exceto MPS, e COT enviadas à empresa Bioconsult, e as amostras destinadas às análises biológicas (plâncton) e clorofila-a, à empresa Bioconsult Ambiental.

IV.2.1 - Qualidade da Água

Neste item é apresentado um resumo dos parâmetros analisados para a qualidade da água, as referências oficiais dos métodos de extração, digestão e análise, os procedimentos de pré-tratamento utilizados e os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) dos métodos analíticos empregados (Tabela IV-4).

Tabela IV-4 - Resumo dos métodos utilizados, dos procedimentos de pré-tratamento, os respectivos limites de quantificação e detecção do método, conforme os parâmetros analisados nas amostras de água do mar.

Parâmetro	Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
Clorofila a	Fluorimetria	-	0,0102 µg/L	0,0004 µg/L
Carbono Orgânico Total	SMEWW 5310 B	-	0,500 mg/L	0,100 mg/L
MPS	SMEWW 2540 B	Pesagem dos filtros em estufa a 180°C e filtragem da amostra	0,100 mg/L	0,005 mg/L
Sulfetos	SMEWW 4500 S2 D	-	0,002 mg/L	0,001 mg/L
Nitrogênio Amoniacal	EPA 350.1	-	0,010 mg/L	0,003 mg/L
Nitrato	SMEWW 4500 NO ₃ F	-	0,200 mg/L	0,050 mg/L
Nitrito	SMEWW 4500 NO ₂ B	-	0,002 mg/L	0,001 mg/L
Silicato	SMEWW 4500 SiO ₂ C	-	0,050 mg/L	0,020 mg/L
Fósforo Total	SMEWW 4500 P E	-	0,005 mg/L	0,002 mg/L
Acenafeno	HPA USEPA 3510C / USEPA 8270E	-	0,005 µg/L	0,001 µg/L
Acenafileno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
Antraceno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
Benzo[a]antraceno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
Benzo[b]fluoranteno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
Benzo[g,h,i]perileno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
Benzo[k]fluoranteno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
Benzo[a]pireno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
Criseno			0,005 µg/L	0,001 µg/L

Parâmetro		Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
HPA	Dibenzo[a,h]antraceno	USEPA 3510C / USEPA 8270E	-	0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Fenantreno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Fluoranteno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Fluoreno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Indeno[1,2,3,c,d]pireno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Naftaleno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Pireno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
n-alcanos	n-C8	USEPA 3510C / USEPA 8015D	-	1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C9			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C10			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C11			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C12			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C13			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C14			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C15			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C16			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C17			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C18			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C19			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C20			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C21			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C22			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C23			1,00ug/L	0,20 ug/L

Parâmetro		Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
n-alcanos	n-C24	USEPA 3510C / USEPA 3535A/ USEPA 8015D	-	1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C25			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C26			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C27			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C28			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C29			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C30			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C31			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C32			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C33			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C34			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C35			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C36			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C37			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C38			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C39			1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C40			1,00ug/L	0,20 ug/L
	Fitano			1,00ug/L	0,20 ug/L
	Pristano			1,00ug/L	0,20 ug/L
	HRP - Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo			1,00ug/L	0,20 ug/L
	UCM - Mistura Complexa Não Resolvida			1,00ug/L	0,20 ug/L

Parâmetro	Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
HTP - Hidrocarbonetos totais de Petróleo			1,00ug/L	0,20 ug/L
Fenóis	Fenol	-	0,040 ug/L	0,002 ug/L
	o-Cresol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	m-Cresol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	p-Cresol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2-Clorofenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,3-Dimetilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,4-Dimetilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,5-Dimetilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,6-Dimetilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	3,4-Dimetilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	3,5-Dimetilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2-Etilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	4-Etilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2-Isopropilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
Fenóis	2,3,5-Trimetilfenol	-	0,040 ug/L	0,002 ug/L
	4-Cloro-3-Metilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,6-Diclorofenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,4-Diclorofenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2-Nitrofenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	4-Nitrofenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,4,5-Triclorofenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L

Parâmetro		Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
BTX	2,4,6-Triclorofenol	USEPA 5030C / USEPA 8260C	-	0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,3,4,6-Tetraclorofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	Pentaclorofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,3,6-Trimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,4,6-Trimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	3,4,5-Trimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	Tribromofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	Somatório de Fenóis			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	Benzeno			1 µg/L	0,100µg/L
	Tolueno			1 µg/L	0,100µg/L
BTX	Etilbenzeno	USEPA 5030C / USEPA 8260C	-	1 µg/L	0,100µg/L
	m,p-xileno			1 µg/L	0,100µg/L
	o-xileno			1 µg/L	0,100µg/L

IV.2.2 - Fitoplâncton

As amostras foram concentradas em laboratório através de processo de filtração reversa em malha de 20 μm (DODSON & THOMAS, 1978). Para o processo de sedimentação, foram utilizadas cubetas de sedimentação de 100 mL de acordo com o método de Utermöhl (1958) durante 72 h para amostras oceânicas (Sournia, 1991).

A amostra contida na câmara foi triada em sua totalidade com auxílio de microscópio óptico invertido e os indivíduos presentes na amostra foram identificados (organismos > 20 μm) e contabilizados em microscópio invertido equipado com objetivas com campo claro e contraste de fase, com aumento de 200 vezes ou aumento maior (400 x) para visualização de detalhes específicos de morfologia sempre que possível. Foram estimadas a abundância (número de indivíduos) e a composição específica de cada categoria taxonômica. A identificação ocorreu até ao menor nível taxonômico possível, com 30,9% da abundância total identificada até o nível de gênero e 44,14% até o nível de espécie.

IV.2.3 - Zooplâncton

O processo de triagem das amostras foi feito com o auxílio de um microscópio estereoscópico binocular. As amostras foram fracionadas com utilização de um sub-amostrador do tipo “FolsomPlankton Sample Splitter” (MCEWEN *et al.*, 1954). O número de alíquotas separadas e volume de amostra triado variaram conforme a abundância de cada táxon. Os organismos foram contados até um limite mínimo de 100 indivíduos por grupo, iniciando na menor fração (1/64). Quando a alíquota analisada não atingiu a quantidade mínima exigida, a próxima fração (1/32) foi analisada integralmente para aquele grupo. Os resultados foram registrados em planilhas.

Foi realizado o controle de qualidade das amostras triadas com o objetivo de detectar e identificar organismos que não foram contabilizados durante a triagem inicial das amostras. Para tal, a cada lote de no máximo dez amostras de cada

triador, uma das amostras triadas foi sorteada para conferência. A amostra verificada do lote foi DP-IRA-S_J1002_OBL_200. Caso o número de organismos contabilizados no reexame da amostra fosse maior que 20% do total de organismos contabilizados na primeira triagem, a amostra seria reprovada e então uma nova amostra do mesmo colaborador seria sorteada. Em caso de uma nova rejeição, todo o lote deveria ser reanalisado. Os organismos a mais encontrados na validação foram inseridos na amostra antes da análise taxonômica.

Foram estimadas a abundância (número de indivíduos) e a composição específica de cada categoria taxonômica. A identificação dos organismos ocorreu ao menor nível taxonômico possível (BOLTOVSKOY, 1981). Para o zooplâncton, 36,55% da abundância total foi identificada até o nível de ordem e 9,72% até o nível de espécie.

IV.2.4 - Ictioplâncton

As amostras foram triadas sob microscópio estereoscópico binocular, separando-se os ovos e larvas de peixes dos demais organismos zooplânctônicos. A identificação foi baseada nas características morfométricas morfológicas (formato do corpo e da cabeça, presença de vesícula gasosa, formato das nadadeiras, posição do ânus e das nadadeiras anal e dorsal) e merísticas (número de raios das nadadeiras dorsal, anal, caudal, peitoral e ventral e padrão de pigmentação).

Foi realizado o controle de qualidade das amostras com o objetivo de detectar e identificar organismos que não foram retirados e contabilizados. Para tal, a cada lote de dez amostras foi sorteada uma das amostras triadas por cada colaborador para conferência. Neste caso, a amostra validada para cada lote foi DP-IRA-S_M1000_OBL_300. A validação das amostras apresentou resultados inferiores a 20%, validando todo o lote triado. Todos os indivíduos encontrados na validação foram inseridos em suas respectivas amostras.

Foram estimadas a abundância (número de indivíduos) e a composição específica de cada categoria taxonômica. Para o ictioplâncton, 50,44% da abundância total foi identificada até o nível de família e 19,47% até o nível de espécie.

IV.3 - TRATAMENTO DOS DADOS

IV.3.1 - Qualidade da Água

Os dados referentes às concentrações dos parâmetros de qualidade da água obtidos através das análises laboratoriais foram compilados em matriz de dados em razão da estação e profundidade de coleta correspondentes.

A primeira etapa no tratamento dos dados consistiu na avaliação de sua qualidade, para verificação de erros de medição, contaminações amostrais e/ou analíticas evidentes, qualidade analítica, valores espúrios e outliers. A avaliação dos valores espúrios e outliers foi feita graficamente a partir dos *box-plots* para cada um dos parâmetros no *software* STATISTICA 10.0. Os valores atípicos identificados como resultados *outliers* na apresentação dos resultados, foram avaliados individualmente, sendo mantidos nas análises estatísticas e na interpretação dos dados posteriores, pois a variabilidade é inerente dentro de um conjunto de dados e pode conter informações relevantes sobre características e alterações do local.

A Tabela IV-5, a seguir, apresenta os resultados obtidos na etapa de avaliação de qualidade das análises laboratoriais. Para o compartimento água, todos os parâmetros analisados tiveram 100% dos resultados aprovados nos critérios de qualidade analíticos empregados, de modo que a totalidade dos resultados obtidos será utilizada sem ressalvas para um diagnóstico da qualidade ambiental da área.

Tabela IV-5 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a qualidade da água.

PARÂMETROS	Nº DE AMOSTRAS + BRANCOS	CONTROLES DE QUALIDADE (CQ)	CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS CONTROLES DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS APROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS REPROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS REPROVADAS	OBS.
QUALIDADE DA ÁGUA	Clorofila a	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36	0	-	-
		Material de referência certificado	Dentro da faixa do certificado	36	0	-	Controle substituído por padrão certificado
		Análises em triplicata	RSD < 10%	36	0	-	-
	COT	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36+1	0	-	-
		Branco de Frascaria	BF < LD	1			
		Branco de equipamento	BE < LD	36+1	0	-	-
		Branco do método	BM < LD	36+1	0	-	-
		Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	36+1	0		-
		Material de referência certificado	Recuperação de 86 - 114% (sobre concentração real de 2 mg/L)	36+1	0	-	
		Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R² > 0,99	36+1	0	-	
		Amostra fortificada	Recuperação de 80 - 120%	36+1	0	-	
		Duplicata da amostra fortificada	Recuperação de 80 - 120%	36+1	0	-	
		Diferença percentual relativa	DRP < 20%	36+1	0	-	-
		Análises em triplicata	RSD < 25%	36+1	0	-	-
		Incerteza do método	IM < 25% incerteza máx. aceitável	36+1	0	-	-
	MPS	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36	0	-	-

Tabela IV-5 (Continuação)

QUALIDADE DA ÁGUA	PARÂMETROS	Nº DE AMOSTRAS + BRANCOS	CONTROLES DE QUALIDADE (CQ)	CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS CONTROLES DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS APROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS REPROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS REPROVADAS	OBS.
QUALIDADE DA ÁGUA	Nitrato/ Nitrito / Fósforo Total/ Silicato	144+4 (36+1 amostras por parâmetro)	Validade da amostra	Validade > Data de análise	144+4	0		-
			Branco de Frascaria	BF < LD	4			
			Branco de equipamento	BE < LD	144+4	0	-	-
			Branco do método	BM < LD	144+4	0	-	-
			Branco de reagentes	BR < LD	144+4	0	-	-
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	144+4	0	-	-
			Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R ² > 0,99	144+4	0	-	-
			Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125% (sobre concentração real de 1,016 mg/L para nitrato; 0,152 mg/L para nitrito; 0,2 mg/L para fósforo total e 0,342 mg/L para silicato)	144+4	0	-	-
				RSD < 10%	144+4	0	-	-
				-	144+4	0	-	-
			Análises em triplicata					
			Incerteza do método					
			Validade da amostra	Validade > Data de análise	36+1	0	-	-
			Branco de Frascaria	BF < LD	1			
QUALIDADE DA ÁGUA	Nitrogênio Amoniacal	36+1	Branco de equipamento	BE < LD	36+1	0	-	-
			Branco do método	BM < LD	36+1	0	-	-
			Branco de reagentes	BR < LD	36+1	0	-	-
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 90 - 110%	36+1	0	-	-
			Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125% (sobre concentração real de 0,7 mg/L)	36+1	0	-	-
			Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R ² > 0,99	36+1	0	-	-
			Análises em triplicata	RSD < 10%	36+1	0	-	-
			Incerteza do método	IM < 10% incerteza máxima aceitável	36+1	0	-	-

(Continua)

Tabela IV-5 (Conclusão)

		PARÂMETROS	Nº DE AMOSTRAS + BRANCOS	CONTROLES DE QUALIDADE (CQ)	CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS CONTROLES DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS APROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS REPROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS REPROVADAS	OBS.
QUALIDADE DA ÁGUA	Sulfetos	36+1	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36+1	0	-	-	
			Branco de Frascaria	BF < LD	1		-	-	
			Branco de equipamento	BE < LD	36+1	0	-	-	
			Branco do método	BM < LD	36+1	0	-	-	
			Branco de reagentes	BR < LD	36+1	0	-	-	
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	36+1	0	-	-	
			Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R² > 0,99	36+1	0	-	-	
			Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125% (sobre concentração real de 0,5 mg/L)	36+1	0	-	-	
			Análises em triplicata	RSD < 10%	36+1	0	-	-	
			Incerteza do método	-	36+1	0	-	-	
	Fenóis/ HPAs/ HTP/ BTEX	133+4 (BTEX: 25+1, Fenóis: 36+1, HPA: 36+1 e HTP: 36+1)	Validade da amostra	Validade > Data de análise	133+4	0	-	-	
			Branco do sistema cromatográfico	Ausência de picos e flutuações na linha de base	133+4	0	-	-	
			Branco de Frascaria	BF < LD	4		-	-	
			Branco do método	BM < LD	133+4	0	-	-	
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	133+4	0	-	-	
			Solução padrão intermediária¹	Recuperação de 80 - 120%	133+4	0	-	-	
			Amostra fortificada	Recuperação de 60 - 120%	133+4	0	-	-	
			Duplicata da amostra fortificada	Recuperação de 60 - 120%	133+4	0	-	-	
			Diferença percentual relativa	DRP < 30%	133+4	0	-	-	
			Surrogates: HPA e fenóis: para-terfenil d-14 e 2-flúor-bifenila. HTP: triacontano d-62. BTEX: p-Bromofluorbenzeno, dibromofluorometano e tolueno-d8	Recuperação de 60 a 120%	133+4	0	-	-	
Incerteza do método	-	133+4	0	-	-				

(Conclusão)

Sempre que pertinente, os resultados foram comparados à literatura e à Resolução CONAMA nº 357/05, que trata da classificação dos corpos de água e dá as diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Conforme especificado nos art. 3º e art. 4º da Resolução CONAMA nº 393/07, águas salinas, na área em que se localizam as plataformas, enquanto não houver enquadramento específico, serão consideradas águas salinas de classe 1, que, segundo definição constante da Resolução CONAMA nº 357/05, são águas destinadas à recreação de contato primário, à proteção das comunidades aquáticas e à aquicultura e atividade de pesca. A Resolução CONAMA nº 393/07 também delimita um raio de 500 m do ponto de descarte das plataformas como área de zona de mistura dos efluentes.

Os principais estudos utilizados para comparação dos valores obtidos na presente campanha são apresentados no Quadro IV-2. Nestas comparações, sempre que possível, foram consideradas e avaliadas as diferenças nas metodologias analíticas, nos limites de detecção e quantificação dos métodos e nos tratamentos prévios dados as amostras, pontuando as devidas ressalvas para uma correta interpretação das análises comparativas.

Quadro IV-2 - Estudos anteriores realizados na região e utilizados para comparação com os resultados obtidos na DP-IRA-S_C9

Estudos	Data de realização	Referências
Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi, Bloco BM-S-11, Bacia de Santos	-	PETROBRAS/ICF, 2008
Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) para a Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré Sal da Bacia de Santos – Etapa 1	-	PETROBRAS/ICF, 2013
Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das treze primeiras campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, Bacia de Santos	janeiro de 2010, janeiro de 2011, dezembro de 2011, janeiro/fevereiro de 2013, fevereiro de 2014, fevereiro de 2015, dezembro de 2015, dezembro de 2016, dezembro de 2017, novembro de 2018, janeiro de 2020, fevereiro de 2021 e dezembro de 2021, respectivamente	PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2016b, 2017a, 2018c, 2018d, 2019c, 2020a; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b
Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das oito primeiras campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE	fevereiro de 2014, fevereiro de 2015, dezembro de 2015, novembro de 2016, dezembro de 2017, novembro de 2018, janeiro de 2020, janeiro e fevereiro de 2021, novembro de 2021, respectivamente	PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2016a, 2018a, 2018b, 2019a, 2019d, 2020b; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021b, 2022c

Estudos	Data de realização	Referências
Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das nove primeiras campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá	fevereiro de 2014, fevereiro de 2015, dezembro de 2015, dezembro de 2016, dezembro de 2017, novembro/dezembro de 2018, janeiro de 2020, janeiro de 2021, e dezembro de 2021 respectivamente	PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015c, 2015d, 2017b, 2018e, 2019b, 2019f, 2020c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021 ^a ; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022d
Relatório Técnico de Avaliação Ambiental das oito primeiras campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul	fevereiro de 2015, dezembro de 2015, novembro de 2016, dezembro de 2017/janeiro de 2018, novembro de 2018, janeiro de 2020, janeiro de 2021, e dezembro de 2021 respectivamente	PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016c, 2017c, 2018f, 2019e, 2019g, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021c, PETROBRAS/BIOCONSULT, 2023
Relatório de Caracterização Ambiental da Bacia de Santos	-	PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002
Relatório Final de Caracterização da Campanha de Caracterização dos Blocos BM-S-08, 09, 10, 11 e 21	-	PETROBRAS/HABTEC, 2003
Relatório Síntese Final da Caracterização Ambiental da Bacia de Santos – Fase I – Síntese dos dados ambientais pretéritos – Anexo II – Meio Biológico – Domínio Pelágico	-	CENPES/PEDS/AMA, 2013

O monitoramento do DP de Iracema Sul (FPSO-CMB) é realizado a partir de dados primários coletados a cerca de 76,1 km a nordeste da área onde está instalado o Piloto de Sapinhoá (FPSO Cidade de São Paulo), a 24 km ao norte do Piloto de Tupi NE (FPSO Cidade de Paraty) e a 37,4 km ao norte do Piloto de Tupi (FPSO Cidade de Angra dos Reis) (Figura IV-8). Apesar da distância entre os empreendimentos, estes foram usados nas comparações dos dados, uma vez que se situam na mesma faixa de profundidade. Além disso, por tratar-se de um ambiente oceânico, espera-se grande homogeneidade para o compartimento água. Também é importante destacar que, a exceção da primeira campanha do monitoramento do Piloto de Tupi (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010), todas as demais campanhas foram realizadas quando já havia um empreendimento instalado e operando na área, portanto, já havia uma fonte de impacto em potencial e os dados não podem ser considerados como representativos de um meio prístino. Apesar disso, destaca-se que todas as campanhas de monitoramento ambiental cujos resultados foram utilizados ocorreram enquanto ainda não havia geração e descarte de água produzida pelas respectivas unidades de produção, a exceção da sétima campanha do monitoramento do Piloto de Tupi em diante, da quarta campanha de monitoramento do Piloto de Tupi Nordeste em diante, da sexta campanha de monitoramento do Piloto de Sapinhoá em diante e da quarta campanha de monitoramento do DP de Iracema Sul em diante.

No presente Relatório Técnico são apresentadas diversas informações obtidas no estudo de caracterização ambiental da Área Geográfica da Bacia de Santos (AGBS), através do Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos – PCR-BS (Petrobras, 2022).

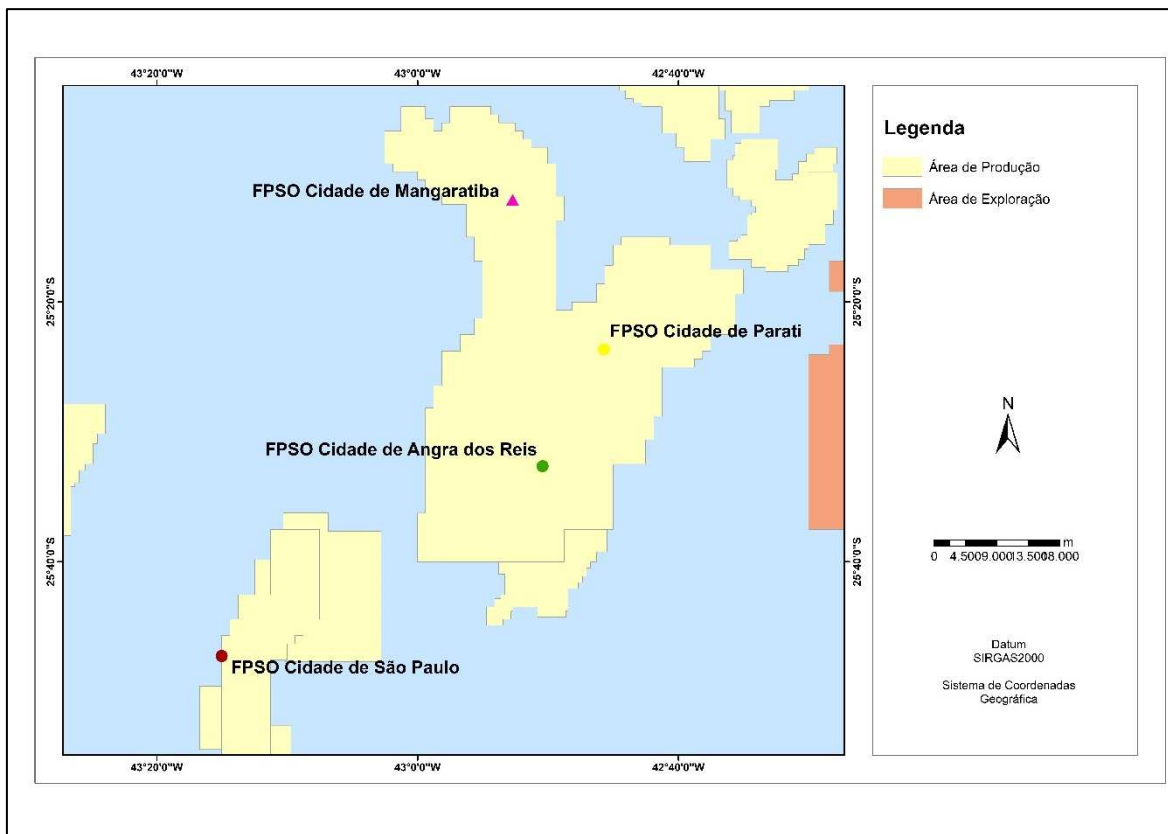


Figura IV-8 – Localização do FPSO-CMB, do FPSO Cidade de São Paulo, FPSO Cidade de Angra dos Reis (Piloto de Tupi) e FPSO Cidade de Paraty.

Para fins de cálculos e apresentações gráficas, valores não detectados e valores não quantificados, isto é, valores abaixo do limite de detecção do método de análise ($< LD$) e valores abaixo do limite de quantificação ($< LQ$), foram substituídos pela metade dos respectivos limites ($LD/2$ e $LQ/2$).

Com os dados de temperatura e salinidade obtidos durante a descida do CTD, foram confeccionados perfis verticais destes parâmetros para todas as estações amostradas. A partir destes, foi possível avaliar o comportamento vertical da temperatura e salinidade nas diferentes estações, bem como associá-lo às características geográficas e oceanográficas dos pontos de coleta.

Além disso, um diagrama TS também foi confeccionado através dos dados de temperatura e salinidade, utilizando-se o programa Microsoft Excel 2007. Este diagrama foi útil na identificação das massas d'água presentes na região de monitoramento. As classificações sugeridas por Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000) foram utilizadas para classificar as massas d'água observadas, uma vez que

fornece maior detalhamento dos valores de salinidade e temperatura (Tabela IV-6).

Tabela IV-6 – Limites de salinidade e temperatura das massas d'água segundo Tommasi (1994) e Silveira et al. (2000).

Massa d'água	Salinidade (S)	Temperatura (T)
Água Costeira (AC)	$S < 36$	$T \geq 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Água Tropical (AT)	$S > 36,4$	$T \geq 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Água Central do Atlântico Sul (ACAS)	$S < 36$	$T \leq 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Mistura da água Costeira e Água Tropical (AC/AT)	$36 \leq S \leq 36,4$	$T \geq 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Mistura da Água Costeira e Água Central do Atlântico Sul (AC/ACAS)	$S < 36$	$18 \leq T \leq 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Mistura da Água Tropical e Água Central do Atlântico Sul (AT/ACAS)	$36 \leq S \leq 36,4$	$18 \leq T \leq 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Água Intermediária Antártica (AIA)	$34,42 < S < 34,66$	$3,46 < T < 8,72$
Água Circumpolar Superior (ACS)	$34,42 < S < 34,59$	$3,31 < T < 3,46$
Água Profunda do Atlântico Norte (APAN)	$34,59 < S < 34,87$	$2,04 < T < 3,31$

Por fim, os dados foram ainda interpretados em relação às condições meteoceanográficas vigentes durante as coletas.

IV.3.2 - Plâncton

Inicialmente, foi feita uma avaliação do esforço amostral aplicado ao longo das oito campanhas de monitoramento do DP de Iracema Sul, através do gráfico do número cumulativo de taxa por amostra por campanha. Também foi utilizado o estimador de riqueza e a curva de Jackknife 1ª ordem, calculado a partir da fórmula abaixo:

$$S_{\text{Jack1}} = S_{\text{obs}} + L \left(\frac{a-1}{a} \right)$$

onde,

S_{Jack1} = estimador de riqueza Jackknife de 1ª ordem

S_{obs} = número total de espécies observadas em todas as amostras

L = número de espécies que ocorrem só em uma amostra (espécies únicas)

a = número de amostras (HELTSHE & FORRESTER, 1983).

A caracterização da biota aquática foi realizada através de análises qualitativas dos dados, ou seja, sua composição e riqueza de taxa (número de taxa). A riqueza de taxa foi utilizada em detrimento da riqueza de espécies dada a grande dificuldade na identificação desses indivíduos até este nível taxonômico. Esse impedimento ocorre devido à fragilidade desses exemplares em conjunto com a utilização de soluções com formol, que ajudam na conservação das amostras, mas também podem degradar estruturas dos organismos (GAETA & BRANDINI, 2006).

Os *taxa* foram avaliados quanto aos grandes grupos (filos/classes/ordens), bem como quanto as distribuições quali e quantitativa dentro desses grupos. Os grandes grupos considerados para fitoplâncton foram: Ochrophyta, Cyanobacteria, Haptophyta e Myxozoa. Os grupos Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Chaetognatha, Chordata, Cnidaria, Ctenophora, Echinodermata, Mollusca, Foraminifera e Platelminos foram considerados para as análises de zooplâncton. Já para o ictioplâncton, foram considerados os seguintes grandes grupos: Mulliformes, Scombriformes, Acanthuriformes, Myctophiformes, Perciformes, Pleuronectiformes, Stomiiformes, Carangiformes e Eupercaria. Assim, as comunidades planctônicas amostradas tiveram sua riqueza por *taxa* contabilizada através do número de taxa ou grupo taxonômico contido nas estações de amostragem. Para cada comunidade biológica foi produzida uma listagem taxonômica, com a identificação dos organismos até o grupo taxonômico mais específico possível.

Além da análise qualitativa, também foi feita avaliação quantitativa dos dados, utilizando para tanto, o parâmetro densidade de organismos, diversidade (H') e equitabilidade (J'). Eles foram calculados através do programa PRIMER v6 (Plymouth Routines In MultiEcologicalResearch). Esses índices complementam a avaliação das comunidades, pois revelam a complexidade da estrutura das mesmas em função do número de espécies e da distribuição das abundâncias (PIELOU, 1977; SHANNON, 1948; SIMPSON, 1949).

A densidade dos organismos foi estimada por grupos taxonômicos e por estações de amostragem. Para o fitoplâncton, a densidade foi calculada conforme fórmula abaixo e expressa em indivíduos por litro (ind/L).

$$\text{densidade fitoplanctônica} = \frac{\text{abundância}}{\text{volume de amostra triada (L)}}$$

Para o zooplâncton, a densidade foi calculada conforme fórmula abaixo e expressa em indivíduos por metro cúbico (ind/m³).

$$\text{densidade zooplanctônica} = \frac{\text{abundância} \times \text{fator de diluição}}{\text{volume de água filtrada (m}^3\text{)}}$$

No Anexo 5 consta uma ressalva sobre a fórmula de cálculo apresentada nos relatórios do PMPR dos ciclos de campanhas de 2020/2021 e 2021/2022.

Para o ictioplâncton, a densidade foi calculada conforme a fórmula abaixo e expressa em indivíduos por 100 m³ (ind/100 m³).

$$\text{densidade ictioplanctônica} = \frac{\text{abundância} \times 100}{\text{volume de água filtrada (m}^3\text{)}}$$

O índice de diversidade utilizado foi o de diversidade de Shannon-Wiener, apresentado na fórmula:

$$H' = - \sum p_i (\log p_i)$$

onde,

p_i = probabilidade de ocorrência de cada espécie em relação ao total, ou seja, o número de indivíduos (ou células) da espécie é dividido pelo número total de indivíduos (ou células) da amostra (SHANNON, 1948).

A equitabilidade corresponde à razão entre o índice de diversidade calculado e a diversidade máxima que a amostra poderia alcançar, tendo sido calculada a partir da diversidade de Shannon-Wiener. Este índice evidencia anomalias ligadas à ocorrência de amostras com um número baixo de espécies e foi calculado a partir da seguinte fórmula:

$$J' = H \cdot H_{\max}^{-1}$$

$$H_{\max} = \log S$$

onde,

H' = índice de diversidade de Shannon-Wiener

$H_{\max}$ = diversidade máxima que a amostra poderia alcançar para o número total de N indivíduos

S = número total de espécies (PIELOU, 1977).

A equitabilidade varia no intervalo de 0 a 1, sendo as comunidades mais homogêneas aquelas com valores mais próximos de 1. Este índice indica a homogeneidade das comunidades em termos de participação relativa de cada táxon (KREBS, 1999; PIELOU, 1977).

Os dados médios calculados são apresentados junto com seus respectivos desvios-padrão, os quais descrevem a dispersão dos dados em torno dessa média, indicando a variação dos valores encontrados (VIEIRA, 2008).

A biota aquática foi avaliada quanto às diferenças em sua distribuição ao longo das estações amostrais do presente trabalho. Para as comunidades fitoplanctônicas, também foram consideradas as quatro profundidades diferentes em que as amostras foram coletadas. Para as comunidades zooplanctônicas e ictioplanctônicas foram considerados os diferentes tipos de arrasto. Para o ictioplâncton, também foram feitas comparações adicionais em relação às duas malhas utilizadas para coleta: redes de 300 e 500 μm . Assim, os parâmetros biológicos foram comparados através de perfis de distribuição vertical, utilizando-se os dados médios, mínimos e máximos observados.

Os principais estudos utilizados para comparação dos valores obtidos na presente campanha foram os mesmos utilizados para a qualidade da água, conforme listado anteriormente. Nestas comparações, sempre que possível, foram consideradas e avaliadas as diferenças nas metodologias analíticas e nos tratamentos prévios dados às amostras, pontuando as devidas ressalvas para a correta interpretação das análises comparativas. Também foram utilizadas outras

bibliografias pertinentes, para avaliar as espécies indicadoras de qualidade ambiental, conforme a ocorrência destes organismos na campanha.

A Tabela IV-7, a seguir, apresenta os resultados obtidos na etapa de avaliação de qualidade das análises laboratoriais. Para a biota aquática, todos os parâmetros analisados tiveram 100% dos resultados aprovados nos critérios de qualidade analíticos empregados, de modo que a totalidade dos resultados obtidos será utilizada sem ressalvas para um diagnóstico da qualidade ambiental da área

Tabela IV-7 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a biota aquática.

PARÂMETROS	Nº DE AMOSTRAS + BRANCOS	CONTROLES DE QUALIDADE (CQ)	CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS CONTROLES DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS APROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS REPROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS REPROVADAS	OBS.
BIOTA ÁGUA	Fitoplâncton	Validade da amostra	Validade > Data de análise	8	0	-	-
		Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	8	0	-	-
	Zooplâncton	Validade da amostra	Validade > Data de análise	4	0	-	-
		Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	4	0	-	-
		Retriagem de no mínimo 20% amostras	Organismos esquecidos < 20%	4	0	-	Validação na amostra DP-IRA-S_C9_J1002_OBL_200
		Validade da amostra	Validade > Data de análise	8	0	-	-
	Ictioplâncton	Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	8	0	-	-
		Retriagem de no mínimo 20% amostras	Organismos esquecidos < 20%	8	0	-	Validação na amostra DP-IRA-S_C9_M1000_OBL_300

IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

IV.4.1 - Qualidade da Água

A estatística descritiva para os valores dos parâmetros da qualidade da água das oito campanhas de monitoramento já realizadas (Quadro I-1) foi feita utilizando Diagramas de Caixa (*Box-Plot*). Esse gráfico contém um valor central que descreve a tendência dos dados, que no caso foi a mediana das amostras. Além disso, esse tipo de diagrama contém dois valores de dispersão de dados, uma caixa (*Box*) e os fios de bigode (*Whiskers*). O *Box* representou o primeiro e terceiro quartis e os *Whiskers*, os valores mínimo e máximo observados. Todos os diagramas foram plotados usando o *software* STATISTICA 10.0.

Para avaliar se houve diferença significativa nos parâmetros da qualidade da água entre as campanhas foram realizadas análises de variância paramétricas (ANOVA - *oneway*), quando satisfeitos os pressupostos de normalidade e homocedasticidade e análises de variância não paramétricas (*Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*) quando não satisfeitos os pressupostos. Todas as análises de variância foram realizadas através do *software* SystatSigmaPlot 12.5.

Importante destacar que, conforme manual do SigmaPlot 12.5, o *software* testa automaticamente a normalidade (Shapiro Wilk`stest) e homoscedasticidade (*Hartleytest*) do conjunto de dados previamente à análise de variância. Caso os pressupostos sejam atendidos, procede-se a ANOVA - *oneway*. Caso contrário, o *software* retorna mensagem alertando o usuário e questionando se deve ser rodada a análise de variância não paramétrica correspondente (*Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*). Nos casos em que os dados não satisfizeram os requisitos necessários para aplicação de estatística paramétrica e considerando as divergências entre distribuição normal e não normal, optou-se por realizar testes não paramétricos. Para todos os testes aplicados, foi considerado um valor de significância de 95% ($p < 0,05$).

Quando pertinente, as análises de variância foram seguidas por testes *a posteriori* a fim de identificar qual das campanhas/amostras apresentou diferenças

quando testadas par a par. No caso da *ANOVA - oneway*, foi usado o teste *a posteriori* de *Tukey HSD*, e, no caso da *Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*, foi usado o teste de medianas.

Ressalta-se ainda que as comparações dos dados de qualidade da água entre estações e profundidades desta campanha foram realizadas de maneira descritiva apenas, uma vez que a estratégia amostral adotada não permite comparações estatísticas mais robustas.

IV.4.2 - Biota Aquática

Assim como na análise dos parâmetros de qualidade de água, a análise da estatística descritiva dos índices ecológicos (riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade) do plâncton entre as consecutivas campanhas foi realizada através de Diagramas de Caixa (Box-Plot), plotados através do software STATISTICA 10.0.

Para avaliar se houve diferença significativa nos índices biológicos do plâncton entre as campanhas, foram realizadas análises de variância paramétricas (*ANOVA - oneway*), quando satisfeitos os pressupostos de normalidade e homocedasticidade, e análises de variância não paramétricas (*Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*), quando não satisfeitos os pressupostos, conforme explicado no item anterior. Todas as análises de variância foram realizadas através do *software* SystatSigmaPlot 12.5. Para todos os testes aplicados foi considerado um valor de significância de 95% ($p < 0,05$).

Quando pertinente, as análises de variância foram seguidas por testes *a posteriori* a fim de identificar qual das campanhas/amostras apresentou diferenças quando testadas par a par. No caso da *ANOVA - oneway*, foi usado o teste *a posteriori* de *Tukey HSD*, e, no caso da *Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*, foi usado o teste de medianas.

Para completar a caracterização da biota aquática, foram empregados dois tipos de análises multivariadas: o escalonamento multidimensional – MDS (Multidimensional Scaling) e o dendrograma de agrupamento - *cluster*, no programa PRIMER v6 (Plymouth Routines In MultiEcologicalResearch).

O MDS foi executado utilizando matriz de similaridade *Bray-Curtis* com os dados brutos. Essa análise é uma ferramenta útil para comparar similaridades na composição de comunidades (CLARKE & WARWICK, 2001). Ela foi utilizada com intuito de comparar a estrutura das diferentes comunidades nas estações de coleta. O MDS gera um valor de *stress* (*STandardized Residual Sum of Squares*). Quanto menor o valor do *stress* melhor é o ajuste entre a matriz de dados reproduzidos e a matriz de dados observados. Valores de *stress* ideais são aqueles menores que 0,20, correspondendo a uma boa ordenação dos dados (CLARKE & WARWICK, *op. cit.*).

O *Cluster* também é utilizado para verificar a similaridade na estrutura de comunidades (VALENTIN, 2012) e também foi realizado para comparar as estações de amostragem, utilizando matriz de similaridade de *Bray-Curtis* com os dados brutos. Através dessa análise foram gerados dendogramas de agrupamento por similaridade das estações de coleta.

IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA

A análise integrada foi realizada para o ambiente pelágico das estações de coleta amostradas para a DP-IRA-S_C9. Essa análise objetiva integrar os dados biológicos e físico-químicos coletados na área de estudo para investigar possíveis respostas da biota às variações ambientais.

Para fins de comparação entre o ambiente abiótico e a porção biótica do ambiente pelágico (plâncton), foram utilizados apenas os dados das estações DP-IRA-S_M1000 e DP-IRA-S_J1002 para a aplicação de testes estatísticos de correlação e análises de ordenação e agrupamento, uma vez que a porção biótica foi amostrada apenas nessas estações. No caso da comparação utilizando-se dados de fitoplâncton, os dados de todas as profundidades foram considerados individualmente. Nos casos envolvendo zooplâncton e ictioplâncton foram considerados os arrastos horizontais de superfície (HOR) e dados integrados nas profundidades SUP, ACTC e TC, nos arrastos oblíquos (OBL).

Previamente à realização das análises de correlação e ordenação, todas as variáveis, exceto pH, foram transformadas em $\log(x+1)$, para padronização. Após

a transformação dos dados, foram realizadas correlações de Spearman, para avaliar a correlação entre os dados ambientais e biológicos. Para avaliar a variabilidade ambiental do ambiente pelágico, foi primeiramente realizada uma análise de componentes principais (ACP), considerando-se todas as amostras coletadas na 9ª campanha. Nessa ACP foram considerados os dados dos parâmetros ambientais como variáveis ativas, com posterior plotagem das estações sobre o plano para identificação da influência dos resultados das amostras na ordenação da ACP. Outra ACP foi realizada utilizando-se apenas as amostras em que ocorreram coletas de dados ambientais, concomitantemente à coleta de dados biológicos. Nessa segunda ACP, as variáveis abióticas foram consideradas variáveis ativas, enquanto as variáveis biológicas foram utilizadas como variáveis suplementares, sendo sobrepostas sobre o plano da ACP.

Foi realizada ainda uma análise de agrupamento (Cluster), utilizando-se distância euclidiana como medida de similaridade entre as amostras e a média do grupo, como medida de ligação dos grupos, para verificar a similaridade entre as estações de amostragem. Também foi realizada uma análise de escalonamento multidimensional (MDS), utilizando-se a distância euclidiana como medida de similaridade entre as amostras. Essa análise rearranja a distribuição das variáveis de estudo, visando detectar as menores dimensões significativas, explicando, assim, as similaridades ou dissimilaridades entre elas. Esta técnica não métrica representa, em um espaço reduzido, o escalonamento dos objetos (amostras), preservando as suas distâncias (MCCUNE & MEFFORD, 2011).

Com relação aos zooplâncton e ictioplâncton, foram realizadas comparações gráficas entre as variáveis abióticas e bióticas, respeitando-se as profundidades de realização dos arrastos, conforme já elucidado anteriormente.

Nas ACPs realizadas, as variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância d ao centro do plano (BOCARD *et al.*, 2011), que deve ser maior ou igual a $(2/m)^{0,5}$, onde m = número de variáveis.

As análises estatísticas de correlação de Spearman foram realizadas no software Past, as ACP e *Cluster* no PCord 6.19 (MCCUNE & MEFFORD, 2011) e as MDS no software Primer 6.1.6.

Ressalta-se que a análise de variação dos dados não é aplicável para parâmetros que não apresentam variação, como por exemplo, resultados constantes ou quando são iguais ou inferiores ao LD ou ao LQ. Na presente campanha, os parâmetros fenóis, BTEX, HTP, HPA, MCNR, n-alcanos, sulfetos, nitrato, nitrito, n-amoniaco e fósforo se enquadraram nessa condição e, portanto, não foram considerados, nem nas análises de correlação, nem nas análises de ordenação.

V - RESULTADOS E DISCUSSÃO

V.1 - QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água é influenciada por fatores físicos, químicos e bióticos, sendo muito importante avaliá-la, visto que variações nos seus parâmetros influenciam diretamente a sobrevivência, crescimento e reprodução da biota aquática (BOYD, 1990; GARCIA & BRUNE, 1991).

V.1.1 - Temperatura e Salinidade

A análise da temperatura da água é de extrema importância, pois esse parâmetro influencia diferentes processos físico-químicos, como, por exemplo, a solubilidade de gases e o aumento das trocas gasosas entre o sedimento e a coluna d'água, além de interferir na especiação de metais solúveis na água (BYRNE *et al.*, 1988). A temperatura tem ainda influência direta nos organismos aquáticos, reduzindo a tolerância a outros fatores de estresse, influenciando seu crescimento, a migração, desova, incubação de ovos e a sobrevivência, bem como a ocorrência de espécies (PHILIPPI *et al.*, 2004).

Assim como a temperatura, a salinidade tem forte influência sobre a biota, sendo um fator limitante na distribuição de diferentes espécies marinhas. A análise dos dados de temperatura e salinidade é importante também para o entendimento físico do ambiente e a análise conjunta destes dados permite a identificação das diferentes massas d'água presentes nas regiões (BOLTOVSKOY, 1981; CASTRO FILHO & MIRANDA, 1998; BRAGA & NIENCHESKI, 2006).

Na DP-IRA-S_C9, os maiores valores de temperatura foram registrados na superfície (SUP), média = $27,90 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$ e acima da termoclina (ACTC), média = $27,83 \pm 0,06^{\circ}\text{C}$, com valores de $27,96^{\circ}\text{C}$, na superfície da estação DP-IRA-S_J1003, e $27,89^{\circ}\text{C}$, na camada Acima da Termoclina (ACTC) da estação DP-IRA-S_J503. Os valores de temperatura encontrados na camada Abaixo da Termoclina (ABTC) variaram entre $22,01^{\circ}\text{C}$, na estação DP-IRA-S_J1001, e $25,32^{\circ}\text{C}$, na

estação DP-IRA-S_M1000, com média de $23,91 \pm 1,10$ °C. Na TC foi obtido um valor médio de $26,54 \pm 0,84$ °C, com valores entre 24,92°C na estação DP-IRA-S_J1001, e 27,27°C na estação DP-IRA-S_J501 (Tabela V-1).

Tabela V-1 – Valores de temperatura (°C) medidos nas quatro profundidades amostradas na atual campanha de monitoramento

Estrato	Estações									Média	DP
	DP-IRA-S_M1000	DP-IRA-S_J100	DP-IRA-S_J250	DP-IRA-S_J501	DP-IRA-S_J502	DP-IRA-S_J503	DP-IRA-S_J1001	DP-IRA-S_J1002	DP-IRA-S_J1003		
SUP	27,82	27,95	27,90	27,85	27,87	27,89	27,95	27,87	27,96	27,90	0,05
ACTC	27,82	27,84	27,86	27,85	27,84	27,89	27,84	27,83	27,68	27,83	0,06
TC	27,12	25,70	27,12	27,27	27,13	26,23	24,92	27,22	26,15	26,54	0,84
ABTC	25,32	23,86	25,17	23,92	24,74	23,73	22,01	23,91	22,57	23,91	1,10
Máx.	27,82	27,95	27,90	27,85	27,87	27,89	27,95	27,87	27,96		
Mín.	25,32	23,86	25,17	23,92	24,74	23,73	22,01	23,91	22,57		
Média	27,02	26,34	27,01	26,72	26,90	26,44	25,68	26,71	26,09		
DP	1,18	1,95	1,28	1,89	1,48	1,97	2,82	1,89	2,48		

Legenda: SUP: Superfície; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

Na Figura V-1, verifica-se o variação da temperatura nas estações a partir da interpolação dos dados coletados ao longo da coluna d'água nas quatro profundidades amostradas, onde é possível verificar que todas as estações apresentam uma variação de temperatura muito similar, em que há tendência na ocorrência de valores semelhantes entre SUP e ACTC e a diminuição entre ACTC e ABTC.

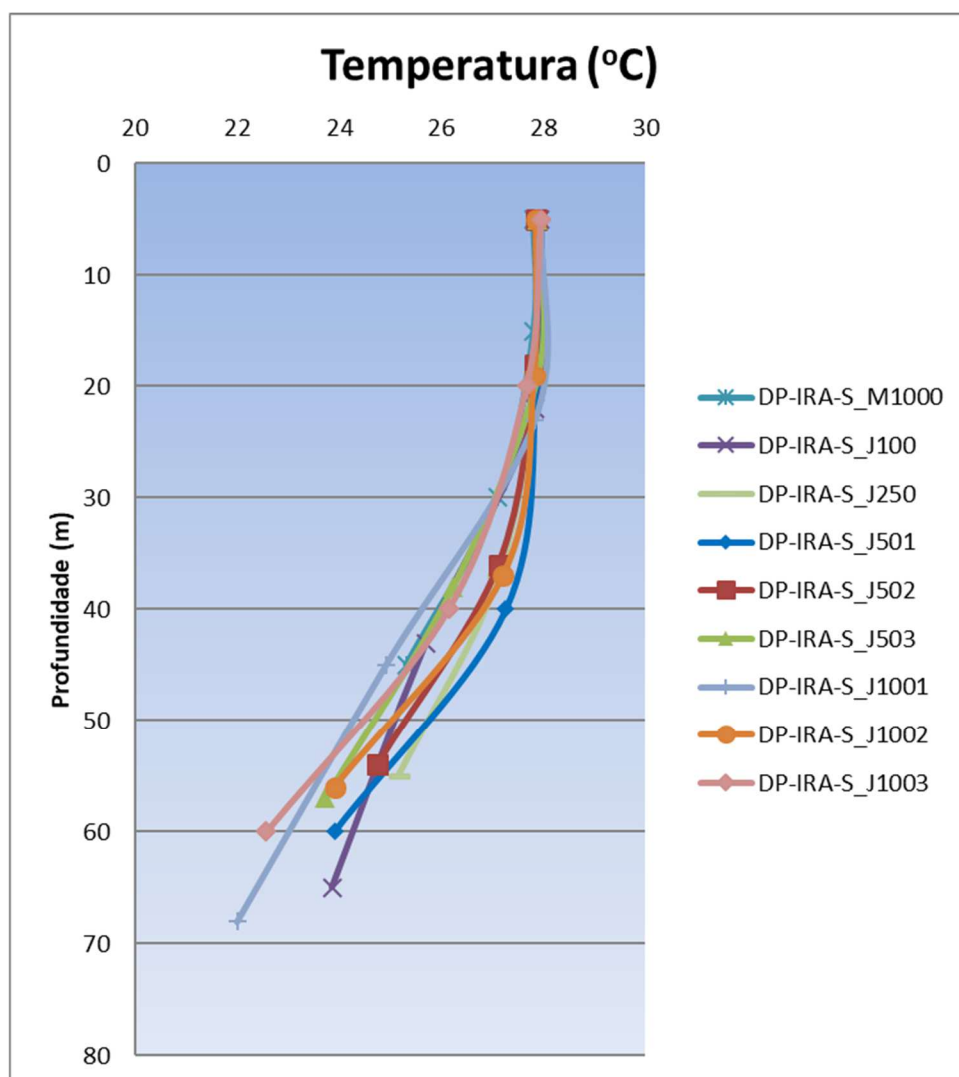


Figura V-1 – Temperatura (°C) da água na DP-IRA-S_C9.

Na Figura V-2, são apresentados os valores de temperatura da coluna d'água obtidos através da perfilagem com CTD. Na mesma, é possível verificar a ocorrência de uma termoclina permanente, a partir de 40 m até 800 m, sendo mais pronunciada entre 300 e 800 m

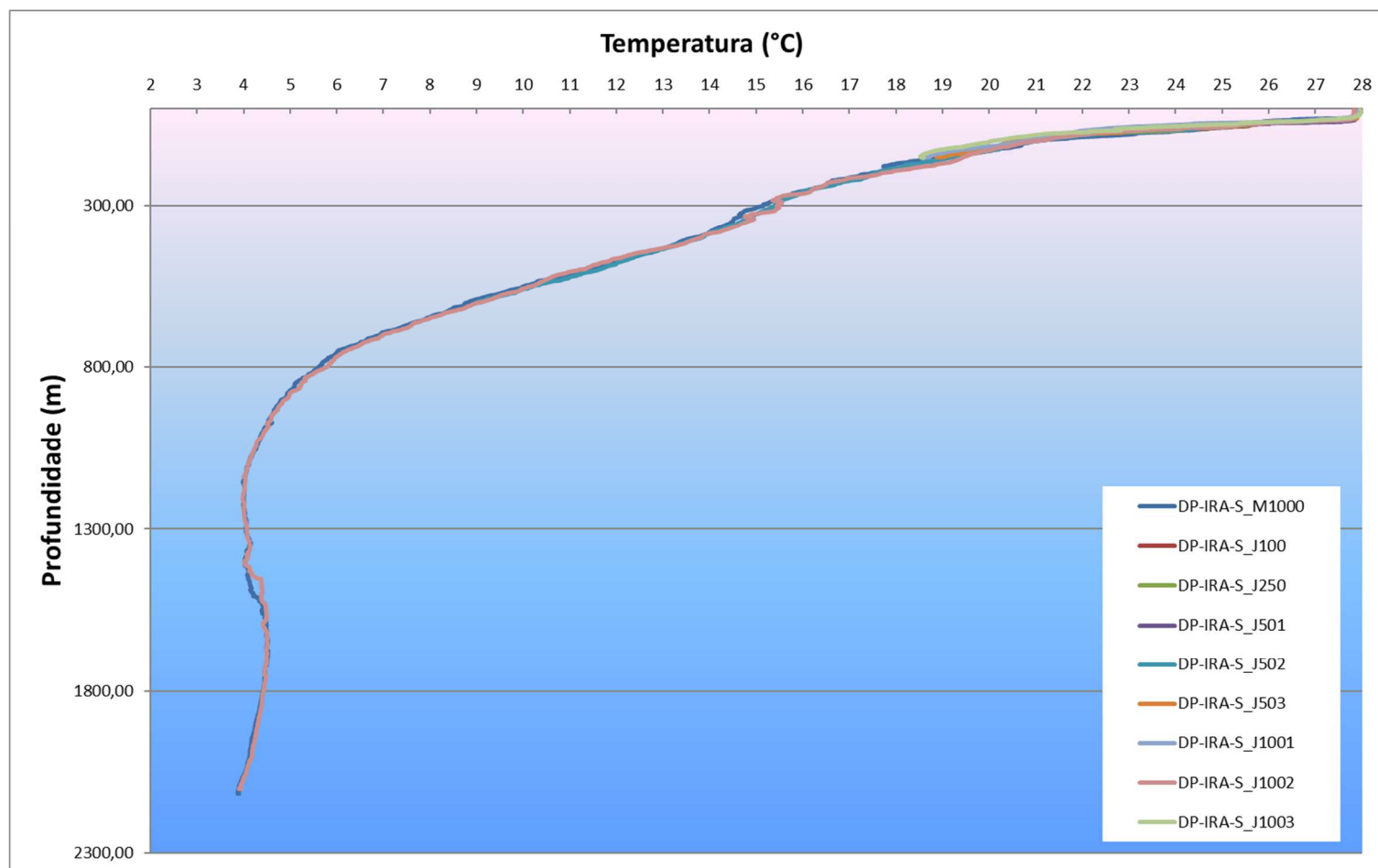


Figura V-2 – Perfis de temperatura (°C) obtidos com CTD da DP-IRA-S_C9.

Em relação à salinidade, o menor valor medido foi de 35,89, ABTC da estação DP-IRA-S_J1001, enquanto o maior valor de 36,50, ocorreu na TC das estações DP-IRA-S_J502 (Tabela V-2). Considerando todas as estações, a salinidade média variou entre $36,17 \pm 0,19$ na camada ABTC e $36,29 \pm 0,02$ na SUP.

Tabela V-2 – Valores de salinidade medidos na DP-IRA-S_C9.

Estrato	Estações									Média	DP
	DP-IRA-S_M1000	DP-IRA-S_J100	DP-IRA-S_J250	DP-IRA-S_J501	DP-IRA-S_J502	DP-IRA-S_J503	DP-IRA-S_J1001	DP-IRA-S_J1002	DP-IRA-S_J1003		
SUP	36,31	36,31	36,30	36,27	36,28	36,28	36,27	36,30	36,28	36,29	0,02
ACTC	36,31	36,32	36,30	36,27	36,28	36,28	36,25	36,30	36,23	36,28	0,03
TC	36,30	36,35	36,29	36,19	36,250	36,14	35,95	36,26	36,12	36,23	0,16
ABTC	36,26	36,26	36,45	36,08	36,43	36,08	35,89	36,13	35,99	36,17	0,19
Máx.	36,31	36,35	36,45	36,27	36,50	36,28	36,27	36,30	36,28		
Mín.	36,26	36,26	36,29	36,08	36,28	36,08	35,89	36,13	35,99		
Média	36,30	36,31	36,34	36,20	36,37	36,20	36,09	36,25	36,16		
DP	0,02	0,04	0,08	0,09	0,11	0,10	0,20	0,08	0,13		

Legenda: SUP: Superfície; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina

Na maioria das estações, a salinidade se manteve relativamente constante entre a SUP e a ABTC. Nas estações DP-IRA-S_J250, DP-IRA-S_J502 e DP-IRA-S_J1001, a salinidade foi semelhante entre a SUP e a camada ACTC, diminuiu da camada ACTC até a TC. Então, DP-IRA-S_J250 aumentou da TC até a camada ABTC, DP-IRA-S_J502 diminuiu da TC até ABTC e DP-IRA-S_J1001 se manteve constante da TC até ABTC (Figura V-3).

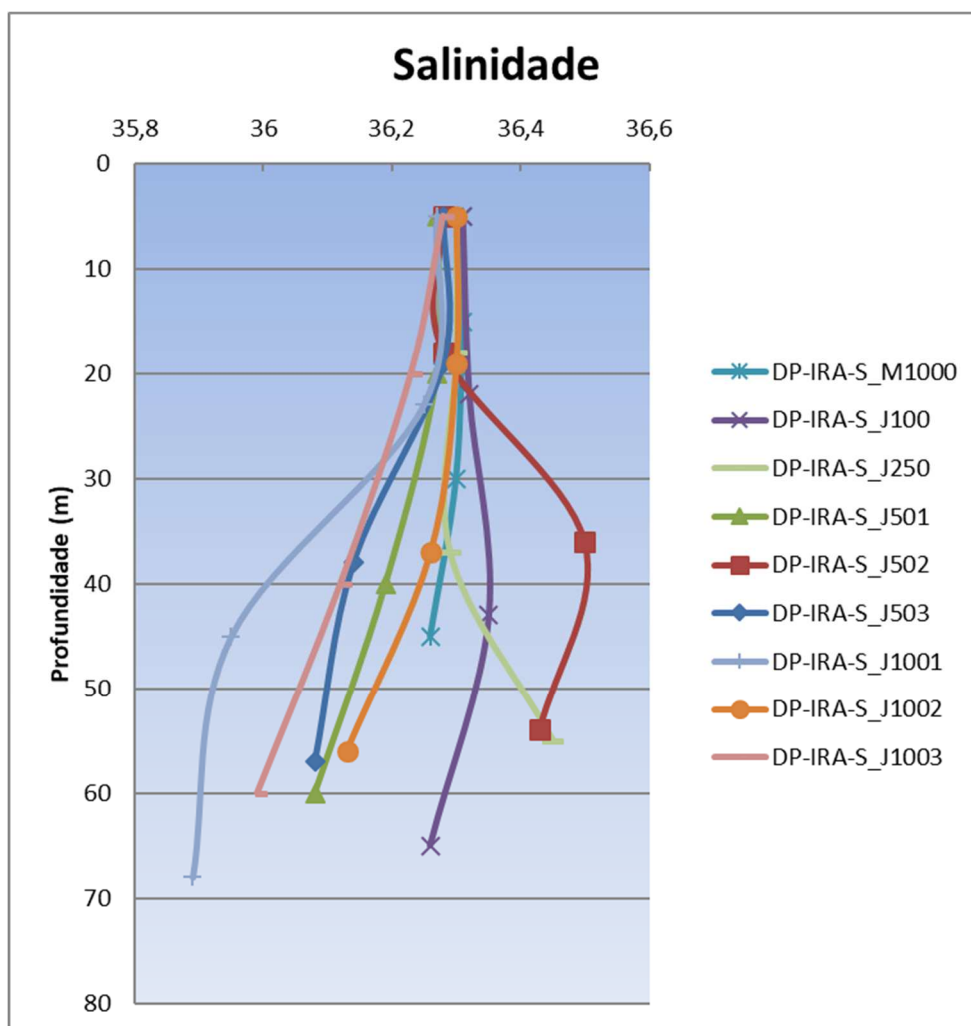


Figura V-3 – Valores de salinidade obtidos na DP-IRA-S_C9.

Na Figura V-4, são apresentados os valores de salinidade da coluna d'água obtidos através da perfilagem com CTD, na qual é possível constatar a presença da haloclina entre 30 e 800 m.

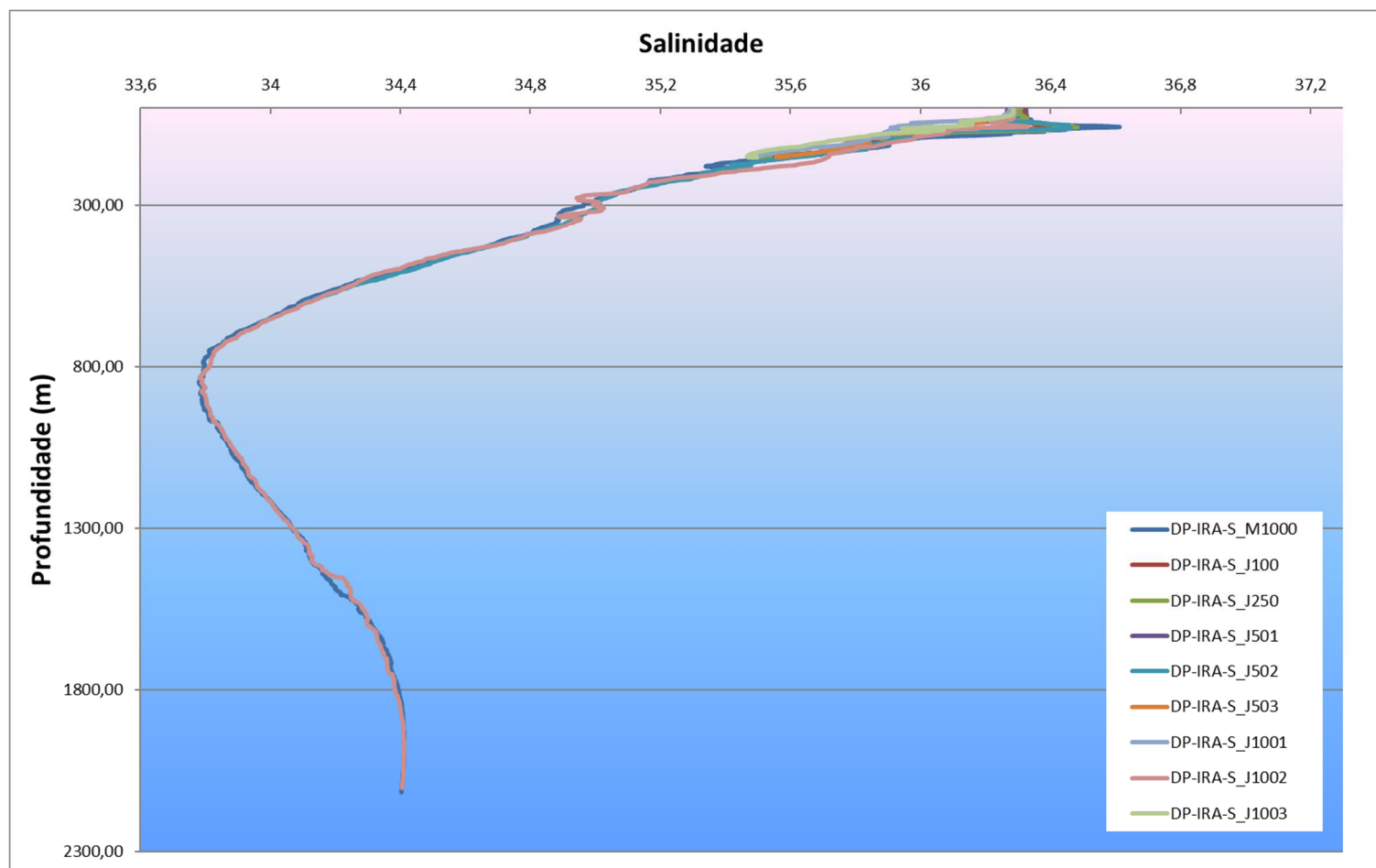


Figura V-4 – Perfis de salinidade (CTD) obtidos na DP-IRA-S_C9.

Segundo o monitoramento realizado durante o 1º semestre de 2023, houve o descarte diário médio de 2.674,16 m³/dia de água produzida, sendo medida uma temperatura para o efluente de 32,40 °C. Ao se avaliar a diferença de temperatura entre a estação a montante (DP-IRA-S_M1000) e a estação à jusante, mais próxima ao ponto de descarte (DP-IRA-S_J100), observou-se diferenças variadas não podendo traçar nenhuma relação com a temperatura da água descartada, tampouco desta com as demais estações mais afastadas.

Todas as temperaturas medidas estão dentro da faixa de valores característicos de águas oceânicas. Assim, apesar de ter ocorrido descarte de efluente no período de execução da campanha de DP-IRA-S_C9, entende-se que não há como correlacioná-lo com as temperaturas do efluente.

Na Tabela V-3, são apresentados os valores mínimos e máximos de temperatura e salinidade encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. As faixas de variação de temperatura e salinidade obtidas nos estudos anteriores estão condizentes com a faixa de oscilação dos resultados verificada na DP-IRA-S_C9.

Em comparação ao PCR-BS (Petrobras, 2022) as temperaturas variaram entre 17 e aproximadamente 28°C, no inverno, e entre 23 e 28°C no verão. Durante o inverno a distribuição vertical da temperatura foi consistente com a estrutura oceanográfica observada em estudos anteriores, com marcante presença da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) no assoalho da plataforma. Durante o verão houve maior gradiente térmico, devido influência da insolação e da maior penetração de ACAS (Petrobras, 2022). A salinidade variou entre 32,8 a 37,6, apresentando valores máximos na área oceânica, devido à insolação e evaporação da faixa subtropical, respectivamente.

Tabela V-3 - Valores de temperatura (°C) e salinidade encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse. * = dados não disponíveis.

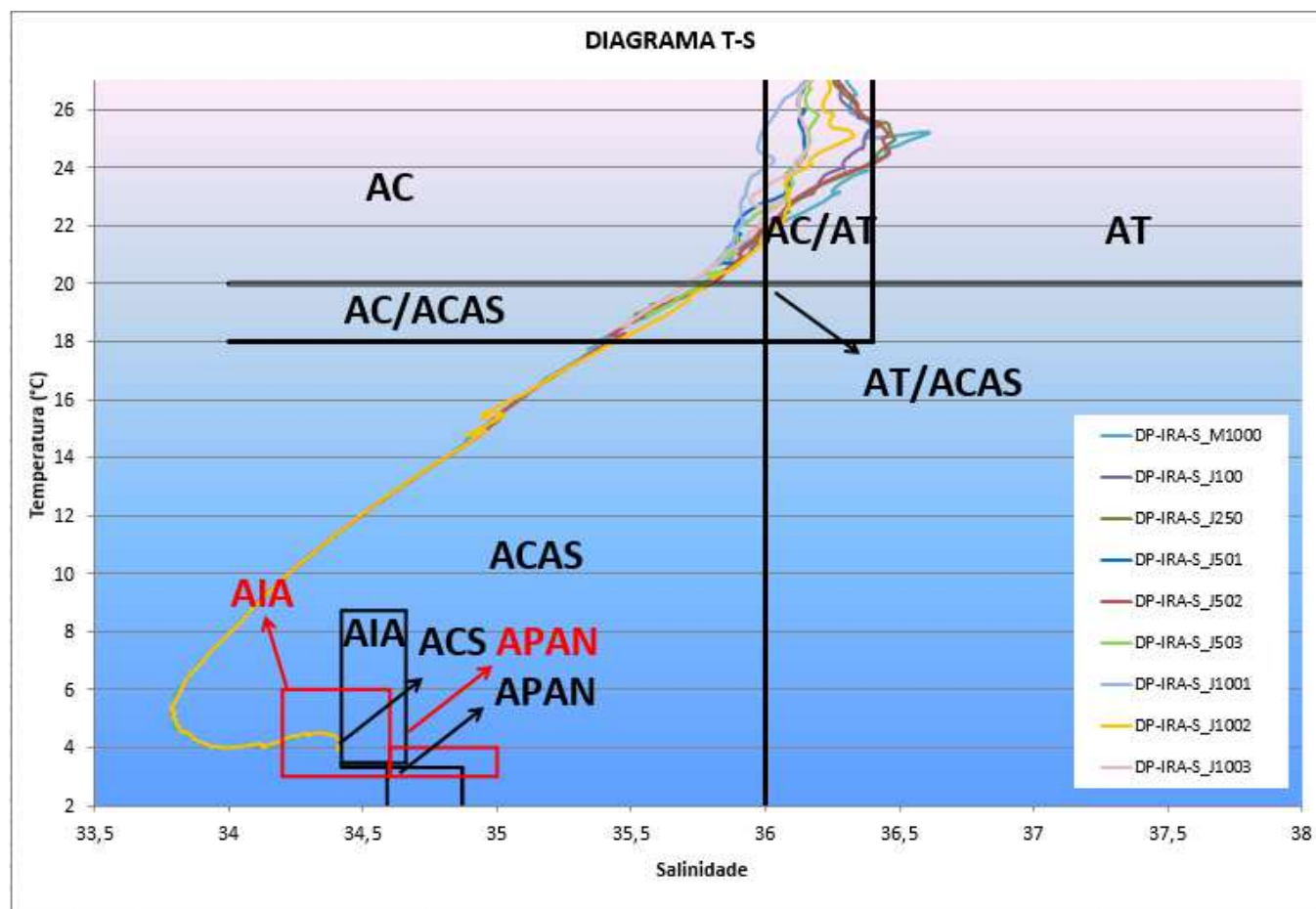
Campanha	Temperatura (°C)		Salinidade	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
PIL-LL_C1 ¹	18,54 (210 m)	27,49 (SUP)	36,04	36,72
PIL-LL_C2 ²	*	*	36,77	37,01
PIL-LL_C3 ³	13,96 (200 m)	24,95 (SUP)	35,35 (25 m)	36,89 (200 m)

Campanha	Temperatura (°C)		Salinidade	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
PIL-LL_C4 ⁴	23,57 (ABTC)	26,39 (SUP)	36,90 (SUP/ACTC)	37,14 (ABTC)
PIL-LL_C5 ⁵	17,85 (ABTC)	27,59 (SUP)	35,99 (ABTC)	37,03 (ACTC)
PIL-LL_C6 ⁶	22,74 (ABTC)	27,10 (SUP)	36,95 (ABTC)	37,18 (TC/ABTC)
PIL-LL_C7 ⁷	23,24 (ABTC)	24,54 (SUP)	36,97 (ABTC)	37,08 (SUP/ACTC)
PIL-LL_C8 ⁸	22,35 (ABTC)	24,12 (TC)	36,89 (ABTC)	37,13 (TC)
PIL-LL_C9 ⁹	20,48 (ABTC)	25,28 (SUP)	36,59 (ABTC)	36,99 (TC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	22,05 (ABTC)	23,45 (SUP/ACTC)	36,85 (ABTC)	37,02 (SUP)
PIL-LL_C11 ¹¹	25,20 (ABTC)	26,87 (SUP/ACTC)	37,22 (SUP/ACTC/TC)	37,33 (ABTC)
PIL-LL_C12 ¹²	23,78 (ABTC)	27,88 (SUP)	37,03 (ABTC)	37,29 (TC)
PIL-LL_C13 ¹³	19,70 (ABTC)	23,64 (SUP)	36,32 (ABTC)	37,00 (ACTC)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	20,32 (ABTC)	27,06 (SUP)	36,43 (ABTC)	37,12 (ACTC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	22,67 (ABTC)	27,24 (SUP)	36,99 (ABTC)	37,25 (TC)
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	22,64 (ABTC)	25,59 (SUP)	36,92 (ABTC)	37,18 (SUP)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	21,61 (ABTC)	24,51 (SUP)	36,76 (ABTC)	37,21 (ACTC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	22,60 (ABTC)	25,11 (SUP)	36,78 (TC)	37,12 (TC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	22,72 (ABTC)	23,76 (SUP)	36,95 (TC)	36,99 (SUP)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	24,72 (ABTC)	27,00 (SUP)	37,09 (ABTC)	37,30 (ABTC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	21,30 (ABTC)	26,99 (SUP)	36,56 (ACTC/ABTC)	37,22 (ABTC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	20,56 (ABTC)	23,54 (SUP)	36,54 (ABTC)	37,13 (SUP)
PIL-SAP_C1 ²³	14,51 (ABTC)	27,44 (SUP)	35,42 (ABTC)	36,94 (ACTC)
PIL-SAP_C2 ²⁴	22,58 (ABTC)	27,43 (SUP)	36,93 (ABTC)	37,17 (TC)
PIL-SAP_C3 ²⁵	22,60 (ABTC)	24,65 (SUP/ACTC)	36,90 (ABTC)	37,11 (SUP/ACTC)
PIL-SAP_C4 ²⁶	20,37 (ABTC)	23,40 (SUP)	36,33 (ABTC)	36,76 (SUP/ACTC)
PIL-SAP_C5 ²⁷	21,93 (ABTC)	25,36 (SUP)	36,64 (ABTC)	36,95 (TC)
PIL-SAP_C6 ²⁸	22,42 (ABTC)	24,75 (SUP)	36,88 (ABTC)	37,11 (TC)
PIL-SAP_C7 ²⁹	23,72 (ABTC)	26,48 (SUP)	36,73 (ABTC)	37,15 (ABTC)
PIL-SAP_C8 ³⁰	23,94 (ABTC)	26,17 (SUP)	37,12 (ABTC)	37,22 (TC)
PIL-SAP_C9 ³¹	21,60 (ABTC)	23,78 (SUP)	36,48 (TC)	36,81 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 ³²	20,99 (ABTC)	27,12 (SUP)	36,58 (ABTC)	37,21 (ACTC)
DP-IRA-S_C2 ³³	22,60 (ABTC)	25,54 (SUP)	36,91 (ABTC)	37,20 (SUP/ACTC)

Campanha	Temperatura (°C)		Salinidade	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
DP-IRA-S_C3 ³⁴	21,26 (ABTC)	23,85 (SUP)	36,66 (ABTC)	37,06 (TC)
DP-IRA-S_C4 ³⁵	23,57 (ABTC)	25,59 (SUP)	36,99 (SUP/ACTC)	37,29 (TC)
DP-IRA-S_C5 ³⁶	22,70 (ABTC)	23,61 (SUP)	36,96 (ABTC)	37,02 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁷	25,31 (ABTC)	26,90 (SUP)	37,27 (SUP/ACTC/TC/ABTC)	37,36 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁸	22,20 (ABTC)	26,76 (SUP)	36,69 (ABTC)	36,99 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C8 ³⁹	21,59 (ABTC)	24,91 (SUP)	36,64 (ABTC)	36,94 (SUP/TC)

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2021b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 23 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 26 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 29 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 30 = Petrobras/Bioconsult (2021a); 31 = Petrobras/Bioconsult (2022d); 32 = Petrobras/Bourscheid (2016c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 34 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 35 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 37 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 38 = Petrobras/Bioconsult (2021c); 39 = Petrobras/Bioconsult (2023).

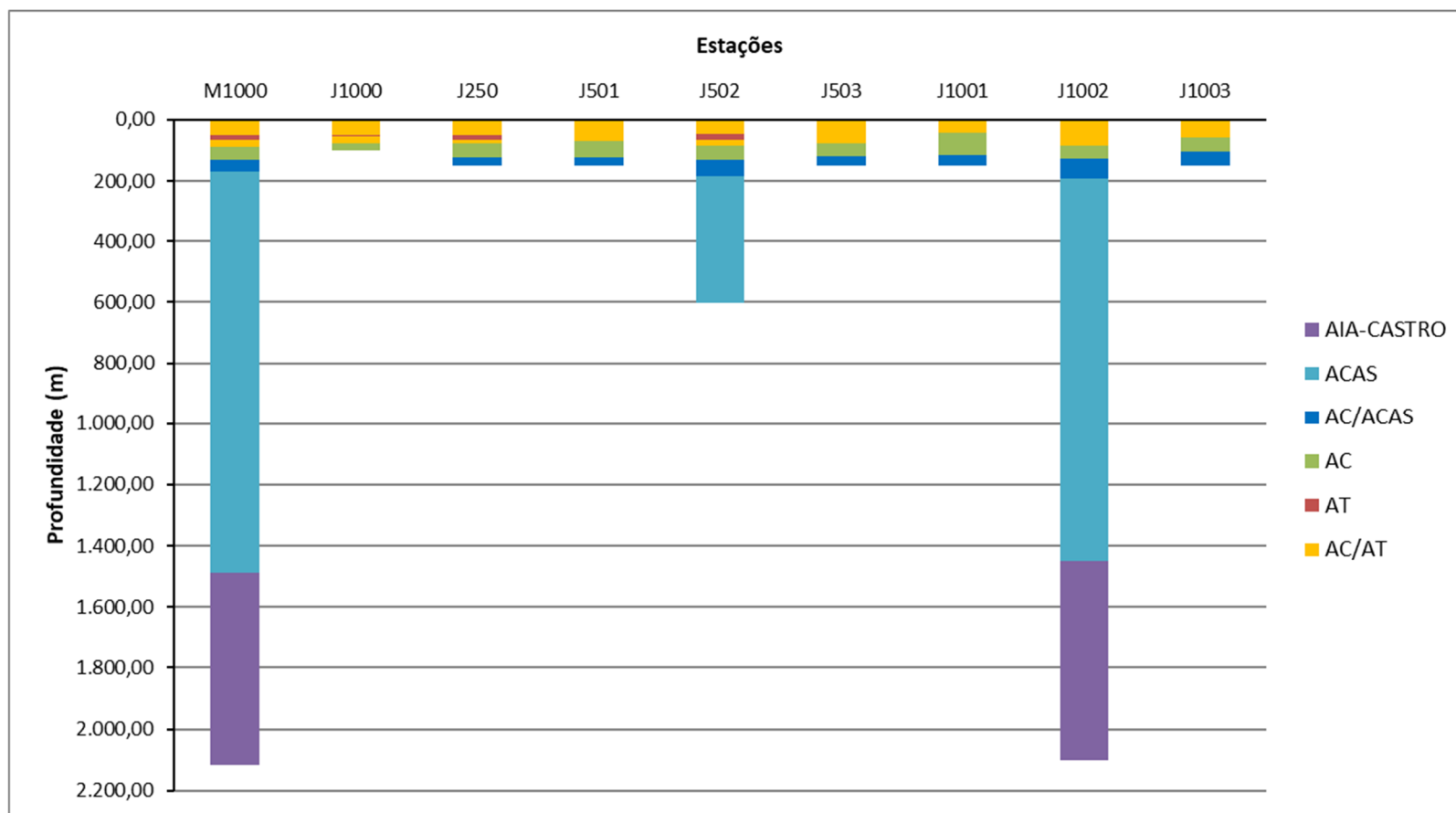
A partir dos dados de temperatura e salinidade coletados pelo CTD (Figura V-2 e Figura V-4), obteve-se o diagrama T-S, através do qual as massas de água foram classificadas conforme Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000) (Quadro V-1), conforme proposto na metodologia do presente relatório. Adicionalmente, optou-se por considerar também no diagrama as classificações propostas por Castro *et al.* (2006), que analisa a área compreendida entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS), englobando, portanto, a BS, que é uma área pouco estudada em relação a esse aspecto, com poucos dados e estudos que explorem as massas d'água e seus limites especificamente para o local. Assim, em vermelho, estão destacados os trechos classificados conforme Castro *et al.* (2006), que classifica AIA e APAN, conforme os seguintes limites: salinidade entre 34,2 e 34,6 e temperatura entre 3 e 6°C para AIA e entre 34,6 e 35,0 e 3 e 4°C para APAN. Cabe ressaltar que os limites de temperatura e salinidade das massas d'água podem sofrer alterações conforme o critério de classificação considerado por cada um dos autores e conforme características geográficas da região estudada.



Legenda: AC=Água Costeira; AT=Água Tropical; ACAS=Água Central do Atlântico Sul; AC/AT=mistura de AC e AT; AC/ACAS=mistura de AC e ACAS; AT/ACAS=mistura de AT e ACAS; AIA=Água Intermediária Antártica; ACS=Água Circumpolar Superior e APAN=Água Profunda do Atlântico Norte.

Figura V-5 – Diagrama T-S da DP-IRA-S_C9. Em vermelho, limites estabelecidos por Castro et al. (2006). Em preto Tommasi (1994) e Silveira et al. (2000).

A análise dos dados conforme a classificação de Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000) mostrou uma distribuição estratificada das massas d'água ao longo da coluna d'água, com a ocorrência de cinco massas: AT, AC, AT/ACAS, AC/ACAS e ACAS (Figura V-5 e Figura V-6). Considerando-se a classificação de Castro *et al.* (2006), em caráter complementar, verifica-se alteração das profundidades de ocorrência da AIA.



Legenda: AT=Água Tropical; ACAS=Água Central do Atlântico Sul; AT/ACAS=mistura de AT e ACAS; AIA=Água Intermediária Antártica; ACS=Água Circumpolar Superior e APAN=Água Profunda do Atlântico Norte.

Figura V-6 – Análise da distribuição vertical das massas d'água na DP-IRA-S_C9.

A mistura de Água Costeira com Água Tropical (AC/AT) ocupou, em todos os pontos amostrais (Quadro V 1), o intervalo entre as camadas de superfície até a profundidade superior da camada ABTC, atingindo o máximo de 90 m na estação DP-IRA-S_M1000. Na sequência, também ocorrendo na ABTC, foram registradas a Água Tropical (AT), Água Costeira (AC), a mistura de Água Costeira e da Água Central do Atlântico Sul (AC/ACAS), ACAS e AIA (classificação de Castro *et al.*, 2006). A AT atingiu profundidades de até 67 metros, retomando a mistura AC/AT até 90m. Em comparação aos resultados históricos, tanto a campanha DP-IRA-S_C7 como a atual DP-IRA-S_C9 apresentaram essa característica marcada pela presença atípica da mistura AC/AT na ABTC, sugerindo que a presença de água costeira contribuiu para o aprofundamento das demais camadas historicamente identificadas na área de estudo.

Quadro V-1 – Distribuição das massas d'água ao longo do DP-IRA-S

Estratos	Campanhas do PMAEpro-BS – E1 – DP-IRA-S								
	C1	C2	C3	C4*	C5	C6	C7	C8	C9
SUP	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AC/AT
ACTC	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AC/AT
TC	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AC AC/AT
ABTC	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AC/AT
	AT/ACAS	AT/ACAS	AT/ACAS	AT/ACAS	AT/ACAS	AT/ACAS	AC/AT AT/ACAS	AT/ACAS	AT
	ACAS	ACAS	ACAS	ACAS	ACAS	ACAS	S	ACAS	AC AC/ACAS
	AIA	AIA	AIA	AIA	AIA	AIA	ACAS	AIA	S
	ACS	ACS	ACS	ACS	ACS	APAN	AIA	ACS	ACAS
	APAN**	APAN**	APAN**	APAN**	APAN**		ACS	APAN**	AIA**
							APAN**		

Legenda: SUP: Superfície; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

* Perfilagem com CTD interrompida alguns metros após a identificação da termoclina na maioria das estações.

** Considerando a classificação de Castro *et al.* (2006).

Já a AC/ACAS ocupou porções mais profundas da coluna d'água, a partir de aproximadamente 103 metros, em DP-IRA-S_J1003 e até aproximadamente 131 m, nas estações DP-IRA-S_M1000 e DP-IRA-S_J502. As ocorrências de ACAS foram registradas apenas em algumas estações: em DP-IRA-S_M1000 a partir de 170 m até 1488 m, em DP-IRA-S_J502 a partir de 184 m até 601 m e em DP-IRA-

S_J1002 a partir de 191 m até 1450 m. A ACAS é formada pelo afundamento das águas na região da Convergência Subtropical e transportada pelas correntes através do giro Subtropical do Atlântico Sul até atingir a costa brasileira, onde sofre bifurcação aproximadamente em 22º S, na região do Cabo de São Tomé (SILVEIRA *et al.*, 2000). Considerando-se a classificação de Castro *et al.* (2006), o limite inferior da ACAS passa para aproximadamente 678 m de profundidade.

Conforme a classificação de Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000), a AIA ficou sem classificação, assim como a APAN.

Considerando-se, entretanto, a classificação de Castro *et al.* (2006), a AIA ocorreu apenas em DP-IRA-S_M1000, profundidade a partir de 1488 m e em DP-IRA-S_J1002, a partir de 1450 m, ocupando, portanto, profundidades superiores a 1.400 m, até a máxima profundidade perfilada nessas estações.

Diferentemente das demais campanhas em que AT e ACAS foram as massas que ocorreram de forma mais recorrentes, na atual campanha, a mistura AC/AT ocorreu em todas as estações. Considerando as treze campanhas de monitoramento do Piloto de Tupi, nas nove primeiras campanhas de monitoramento do Piloto de Tupi NE e nas nove primeiras campanhas de monitoramento do Piloto de Sapinhoá (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019f, 2020a, 2020b, 2020c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021b, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2023), AT e ACAS também foram mais recorrentes.

Nas quatro primeiras campanhas de monitoramento deste projeto, a distribuição das massas d'água foi exatamente a mesma verificada em C7 e C8, considerando as estações amostradas até o fundo (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016c, 2017c, 2018f, 2019e, 2019g, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021c) (Quadro V-1). A C7 e C9 se diferenciaram das demais pela ocorrência da mistura AC/AT. Em C9 não houve classificação de ACS e, ainda, segundo a classificação de Castro *et al.*, 2006, na C9 não ocorreu APAN, mas ocorreu AIA.

V.1.2 - Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido é um dos gases mais importantes presentes nos ecossistemas aquáticos. Seus níveis indicam a capacidade que o ambiente tem em manter os organismos vivos, sendo ele um elemento vital para o metabolismo dos organismos aeróbicos (LALLI & PARSONS, 1995). As principais fontes para o ambiente aquático são a atmosfera e a fotossíntese; enquanto as perdas estão relacionadas, como por exemplo, ao consumo, à decomposição da matéria orgânica (oxidação), à liberação para a atmosfera, nitrificação e oxidação química abiótica de substâncias como íons metálicos – ferro (II) e manganês (II) (HILL *et al.*, 1993).

A quantidade de oxigênio dissolvido depende da temperatura da água, bem como da pressão atmosférica e da salinidade. Quanto maior a pressão, maior a dissolução, e quanto maior a temperatura, menor a dissolução desse gás (LALLI & PARSONS, 1995). O teor de oxigênio em corpos d'água naturais apresenta concentrações próximas, porém menores, a 10 mg/L em águas não poluídas. Além disso, a concentração de oxigênio dissolvido pode auxiliar na detecção de impactos ambientais (ex. eutrofização e poluição orgânica).

Na presente campanha de monitoramento, os valores de oxigênio dissolvido registrados nas estações variaram entre 6,08 mg/L, na camada ACTC da estação DP-IRA-S_J250, e 7,78 mg/L, na TC da mesma estação (Tabela V-4 e Figura V-7).

Tabela V-4 – Concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) na DP-IRA-S_C9.

Estrato	Estações									Média	DP
	DP-IRA-S_M1000	DP-IRA-S_J100	DP-IRA-S_J250	DP-IRA-S_J501	DP-IRA-S_J502	DP-IRA-S_J503	DP-IRA-S_J1001	DP-IRA-S_J1002	DP-IRA-S_J1003		
SUP	6,46	6,50	7,01	6,34	6,52	6,25	6,41	6,50	7,30	6,59	0,34
ACTC	6,66	6,58	6,08	7,06	7,48	7,20	6,43	6,53	6,58	6,73	0,43
TC	6,79	6,83	7,78	6,55	6,49	6,78	6,86	6,71	6,67	6,83	0,38
ABTC	7,06	7,22	6,85	7,20	6,64	7,14	7,37	6,92	7,37	7,09	0,24
Máx.	7,06	7,22	7,78	7,20	7,48	7,20	7,37	6,92	7,37		
Mín.	6,46	6,50	6,08	6,34	6,49	6,25	6,41	6,50	6,58		
Média	6,74	6,78	6,93	6,79	6,78	6,84	6,77	6,67	6,98		
DP	0,25	0,32	0,70	0,41	0,47	0,44	0,45	0,19	0,41		

Legenda: SUP: Superfície; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

Conforme observado na Tabela V-4, de maneira geral, os menores valores médios de oxigênio dissolvido ocorreram na camada de superfície (SUP, média = $6,59 \pm 0,34$ mg/L). Já os maiores valores médios de OD, de maneira geral, são apresentados na camada abaixo da termoclina (ABTC, média = $7,09 \pm 0,24$ mg/L). De acordo com os padrões CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, todos os valores medidos na DP-IRA-S_C9 estavam acima do limite mínimo estabelecido para águas salinas de classe 1, ou seja, acima de 6,0 mg/L.

A distribuição vertical e individual das concentrações de OD na coluna d'água amostrada apresentou um padrão relativamente constante das concentrações entre SUP e ABTC, exceto, principalmente nas estações DP-IRA-S_J250, em que os valores diminuíram de SUP a ACTC, aumentaram de ACTC a TC e voltaram a diminuir entre TC e ABTC (Figura V-7). O perfil vertical das concentrações de OD na coluna d'água obtidos com CTD revelou certa estabilidade das concentrações de oxigênio entre 150 e 600 m, um aumento das concentrações entre aproximadamente 700 m até 900m e um padrão de oscilações na termoclina resultando em diminuição das concentrações, com mínimo registrado a 1.200 m, com posterior aumento das concentrações a partir dessa profundidade (Figura V-8).

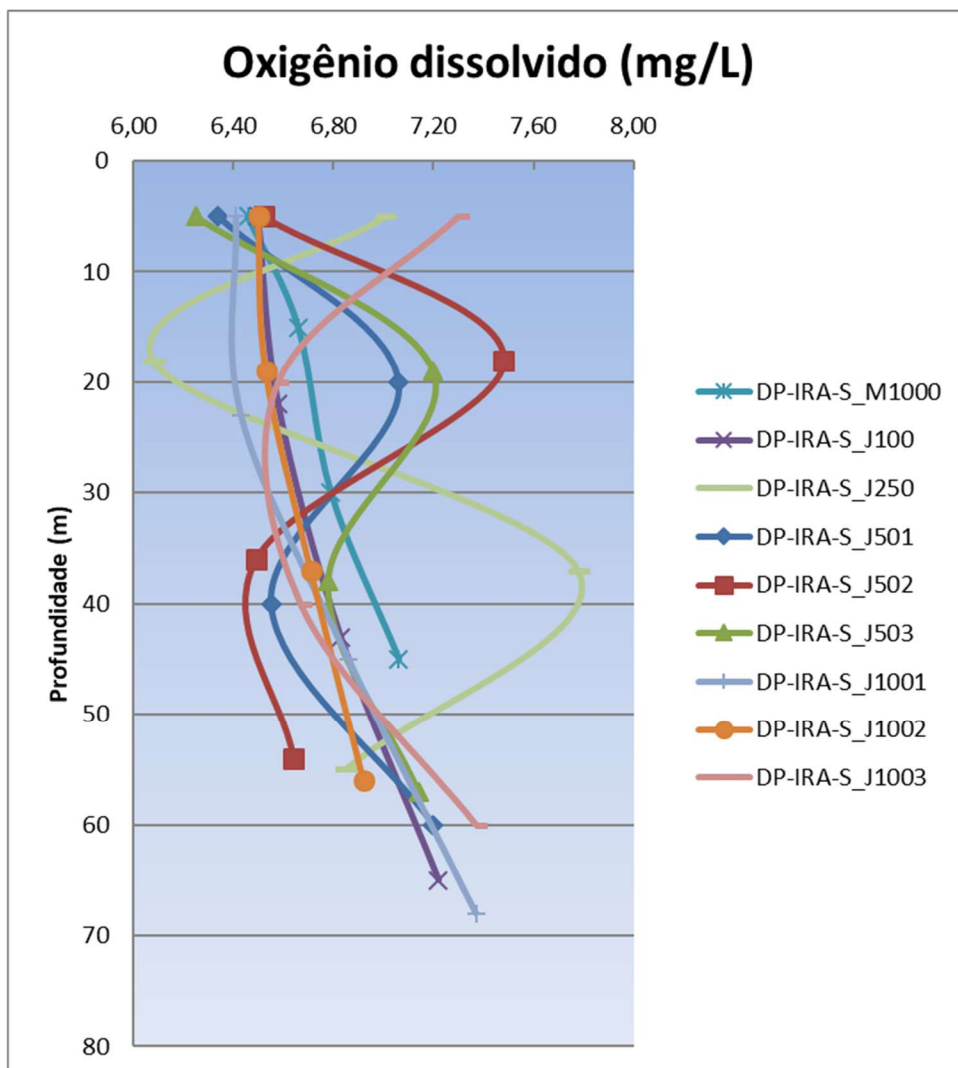


Figura V-7 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos na DP-IRA-S_C9.

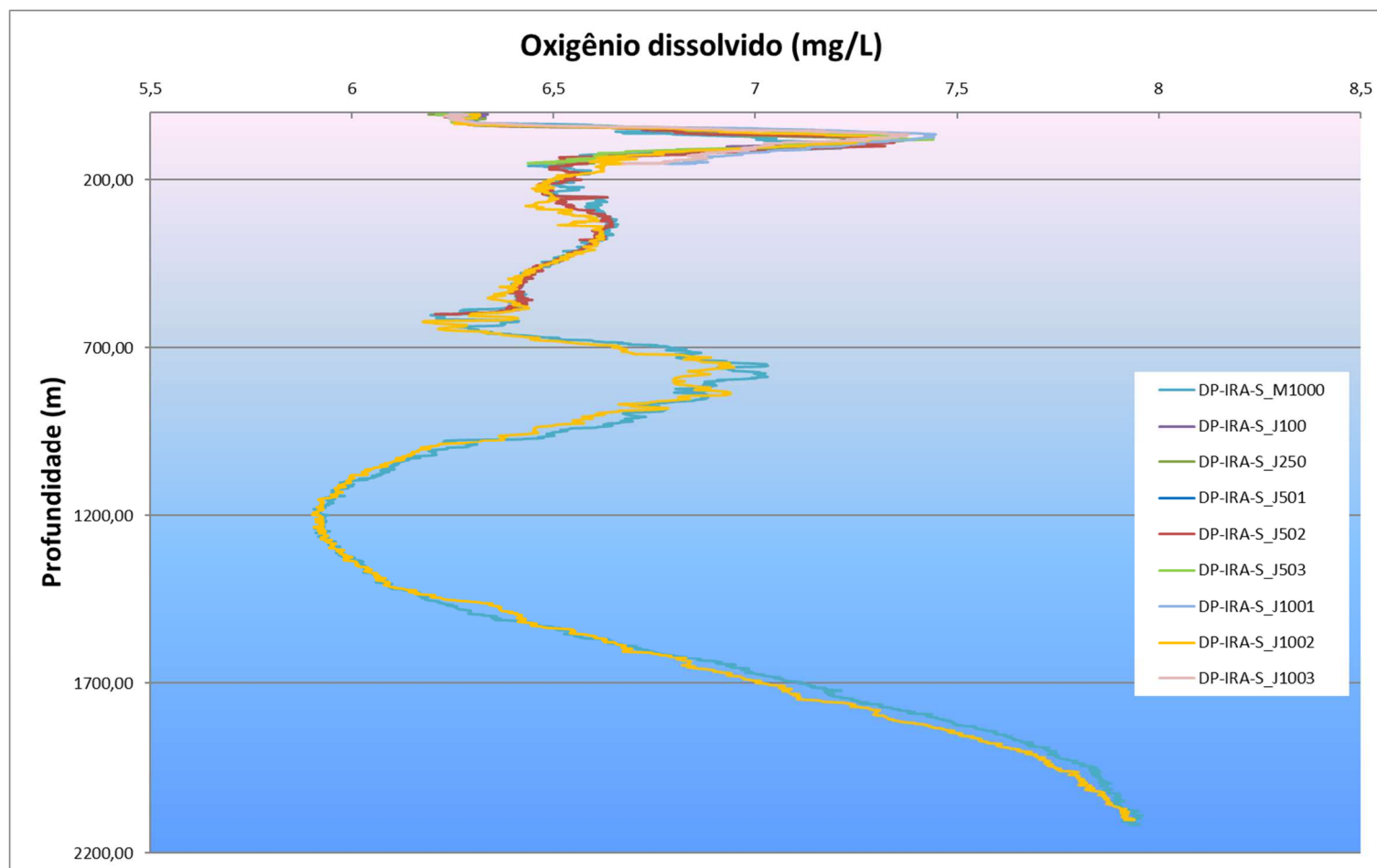


Figura V-8 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) (CTD) obtidos na DP-IRA-S_C9.

Segundo Petrobras/AnalyticalSolutions (2002), na região da BS, foram encontradas médias de oxigênio dissolvido iguais a $6,59 \pm 0,26$ mg/L. No PCR-BS, os valores de OD observados variaram entre 6,2 mg/L a 7,2 mg/L, na área próxima de FPSO-CMB, durante o período de verão (Petrobras, 2022).

Na Tabela V-5, são apresentados os valores mínimo e máximo de oxigênio dissolvido encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Os valores da atual campanha apresentaram-se dentro da faixa dos dados obtidos pelos estudos anteriores.

Tabela V-5 - Valores de oxigênio dissolvido (mg/L) encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse.

Campanha	OD (mg/L)	
	Mín.	Máx.
PIL-LL_C1 ¹	5,67 (ACTC)	9,60 (TC)
PIL-LL_C2 ²	5,80 (ACTC)	10,40 (ABTC)
PIL-LL_C3 ³	5,99 (ACTC)	7,25 (TC)
PIL-LL_C4 ⁴	6,65 (ACTC)	7,40 (TC)
PIL-LL_C5 ⁵	5,79 (SUP)	7,92 (TC)
PIL-LL_C6 ⁶	6,40 (SUP)	7,32 (ABTC)
PIL-LL_C7 ⁷	6,32 (ACTC)	6,79 (ABTC)
PIL-LL_C8 ⁸	6,25 (SUP)	7,05 (ACTC)
PIL-LL_C9 ⁹	7,47 (ABTC)	8,16 (ABTC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	6,06 (SUP/TC)	6,56 (SUP)
PIL-LL_C11 ¹¹	6,40 (SUP/TC)	7,31 (TC)
PIL-LL_C12 ¹²	6,51 (SUP)	7,02 (ABTC)
PIL-LL_C13 ¹³	6,10 (SUP)	6,54 (ABTC)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	5,91 (SUP)	8,01 (ABTC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	6,22 (ACTC)	6,80 (TC)
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	6,14 (SUP)	6,78 (TC)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	6,44 (ABTC)	7,13 (TC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	7,63 (SUP)	8,13 (ABTC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	6,00 (ACTC)	6,69 (ABTC)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	6,43 (ACTC)	6,98 (ABTC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	6,54 (SUP)	7,48 (ABTC)

Campanha	OD (mg/L)	
	Mín.	Máx.
PIL-LL-NE_C9 ²²	6,45 (ACTC)	6,58 (TC/ABTC)
PIL-SAP_C1 ²³	5,64 (SUP)	7,52 (TC)
PIL-SAP_C2 ²⁴	6,38 (SUP)	7,34 (ABTC)
PIL-SAP_C3 ²⁵	6,38 (TC)	7,14 (SUP)
PIL-SAP_C4 ²⁶	6,48 (SUP)	7,27 (ABTC)
PIL-SAP_C5 ²⁷	5,25 (SUP)	6,01 (SUP)
PIL-SAP_C6 ²⁸	6,19 (TC)	6,69 (SUP)
PIL-SAP_C7 ²⁹	6,18 (SUP)	7,15 (TC)
PIL-SAP_C8 ³⁰	6,10 (ABTC)	6,98 (ABTC)
PIL-SAP_C9 ³¹	6,52 (SUP)	7,16 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 ³²	6,26 (ACTC)	6,88 (ABTC)
DP-IRA-S_C2 ³³	6,18 (SUP)	6,75 (TC/ABTC)
DP-IRA-S_C3 ³⁴	6,60 (SUP)	7,19 (SUP)
DP-IRA-S_C4 ³⁵	6,29 (SUP)	6,70 (ABTC)
DP-IRA-S_C5 ³⁶	5,90 (TC)	6,50 (ABTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁷	6,39 (ACTC)	7,00 (ACTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁸	6,58 (TC)	7,42 (ABTC)
DP-IRA-S_C8 ³⁹	6,57 (SUP)	7,59 (TC)

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2021b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 23 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 26 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 29 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 30 = Petrobras/Bioconsult (2021a); 31 = Petrobras/Bioconsult (2022d); 32 = Petrobras/Bourscheid (2016c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 34 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 35 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 37 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 38 = Petrobras/Bioconsult (2021c); 39 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Na Figura V-9, são apresentadas as faixas de concentrações de oxigênio dissolvido (OD) obtidas em cada profundidade das nove campanhas de PMAEpro-BS – E1 – DP-IRA-S. É possível verificar que a 3ª e a 9ª campanha ficaram marcadas pela ocorrência de maiores concentrações de OD nas camadas de SUP e ACTC. A 9ª campanha ainda apresentou maior concentração em TC. Já para a

camada ABTC, as maiores concentrações foram observadas na 7ª campanha. A campanha C5 se destacou, por sua vez, por apresentar as concentrações mais baixas em todas as profundidades. A concentração mais elevada de OD, verificada nas quatro profundidades, foi 7,78 mg/L (TC), na C9, enquanto a menor foi 5,90 mg/L (TC), na C5.

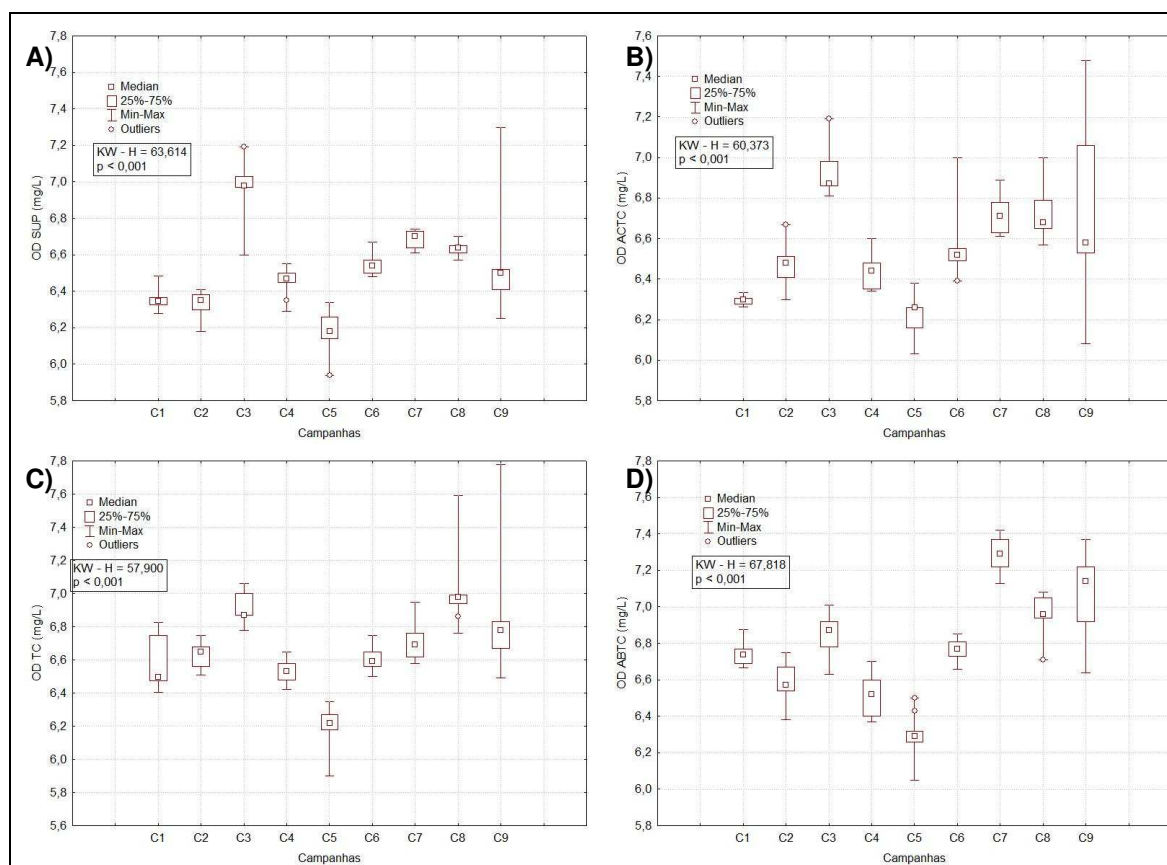


Figura V-9 – Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Na comparação dos resultados de concentração de OD obtidos em cada um dos níveis de profundidade, foram detectadas diferenças significativas para todos os estratos (*Kruskal-Wallis* para SUP, ACTC e TC e ANOVA para ABTC, $p < 0,001$). Na SUP, a terceira campanha diferiu significativamente da primeira, segunda, quarta e quinta campanha, a sétima e a oitava campanha diferiram da primeira, segunda e quinta campanha, sendo que esta última também diferiu da sexta campanha (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC, a terceira diferiu da primeira, segunda, quarta e quinta, a sétima e a oitava diferiram da primeira e quinta, a sétima, a oitava

e a nova diferiram da primeira e quinta (Tukey, $p < 0,05$). Na TC, a terceira e a oitava campanha diferiram significativamente da primeira, quarta, quinta e sexta, e a quinta campanha diferiu da sétima e nona campanha (Tukey, $p < 0,05$). Na ABTC foram a sétima campanha diferiu da primeira, segunda, quarta e quinta, a oitava e nona campanha diferiram da segunda, quarta e quinta campanha, e a terceira campanha diferiu da quinta (Tukey, $p < 0,05$).

V.1.3 - **Potencial Hidrogeniônico**

Os valores de pH na água do mar podem apresentar variações significativas naturalmente, visto que o potencial hidrogeniônico é condicionado por diversos fatores físico-químicos e biológicos (NIENCHESKI *et al.*, 1999), impossibilitando a caracterização de um ecossistema somente em função desse parâmetro (NIENCHESKI *et al.*, 1999).

Na maioria das águas naturais, o pH é influenciado pela concentração de H^+ , originada da dissociação do ácido carbônico por processos como respiração e decomposição (BOYD, 2001), o que gera valores baixos de pH. Uma pequena diminuição no pH pode estar associada ao aumento no teor de matéria orgânica que leva a consequente queda da quantidade de oxigênio dissolvido (MAIER, 1987). No sistema oceânico, os valores de pH apresentam pequenas variações, devido ao mecanismo tampão associado à água do mar. No entanto, variações na ordem de 7,8 a 8,2 podem ser observadas, associadas, sobretudo, aos fenômenos de oxidação de matéria orgânica, produção primária e incorporação de CO_2 atmosférico pelo sistema marinho. Variações mais amplas no pH acontecem, geralmente, onde existem importantes aportes terrestres (BRAGA & NIENCHESKI, 2006).

O pH influencia também a solubilidade de diversas substâncias, na forma em que estas se apresentam na água e em sua toxicidade. Byrne *et al.* (1988) observaram que a complexação de metais hidrolizados, além de estar associada à temperatura, é fortemente influenciada pelo valor do pH.

Os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade e, em consequência, alterações bruscas do pH da água podem

resultar no desaparecimento dos organismos, como também estresse (MACEDO, 2007). Já as reações de íons carbonato e bicarbonato com a molécula de água elevam os valores de pH para a faixa alcalina (ESTEVES, 1988), ocasionando estresse ou morte de peixes (MACEDO, 2007).

Na presente campanha de monitoramento, o pH permaneceu alcalino em todas as amostras, variando entre 7,96, nas estações DP-IRA-S_J250 (SUP) e DP-IRA-S_J 501 (ACTC), a 8,07 na estação DP-IRA-S_J1001 (ABTC) (Tabela V-6 e Figura V-10).

Tabela V-6 – Valores de pH medidos na DP-IRA-S_C9.

Estrato	Estações									Média	DP
	DP-IRA-S_M1000	DP-IRA-S_J100	DP-IRA-S_J250	DP-IRA-S_J501	DP-IRA-S_J502	DP-IRA-S_J503	DP-IRA-S_J1001	DP-IRA-S_J1002	DP-IRA-S_J1003		
SUP	7,97	7,98	7,96	8,01	8,00	7,97	8,00	8,01	7,98	7,99	0,02
ACTC	8,02	8,03	7,99	7,96	8,00	7,99	8,04	7,99	7,98	8,00	0,03
TC	8,00	8,01	8,00	8,00	8,02	8,00	8,03	8,04	8,00	8,01	0,02
ABTC	8,00	8,04	8,00	7,99	8,01	8,02	8,07	8,03	7,99	8,02	0,03
Máx.	8,02	8,04	8,00	8,01	8,02	8,02	8,07	8,04	8,00		
Mín.	7,97	7,98	7,96	7,96	8,00	7,97	8,00	7,99	7,98		
Média	8,00	8,02	7,99	7,99	8,01	8,00	8,04	8,02	7,99		
DP	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01		

Legenda: SUP: Superfície; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina

A média das estações variou de $7,99 \pm 0,02$ (estações DP-IRA-S_J250, DP-IRA-S_J501 e DP-IRA-S_J1003) a $8,04 \pm 0,03$ (DP-IRA-S_J1001). Na superfície foi observado o menor valor médio de pH (média = $7,99 \pm 0,02$), enquanto a maior concentração média ocorreu na ABTC, sendo obtido um valor médio ligeiramente maior (média = $8,02 \pm 0,03$). De maneira geral, os valores foram bastante homogêneos, com baixos valores de desvio padrão, o que provavelmente está relacionado ao efeito tampão da água do mar sobre este parâmetro. Além disso, todos os valores de pH obtidos na DP-IRA-S_C9 se encontram entre os limites estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas classe 1, ou seja, entre 6,5 e 8,5.

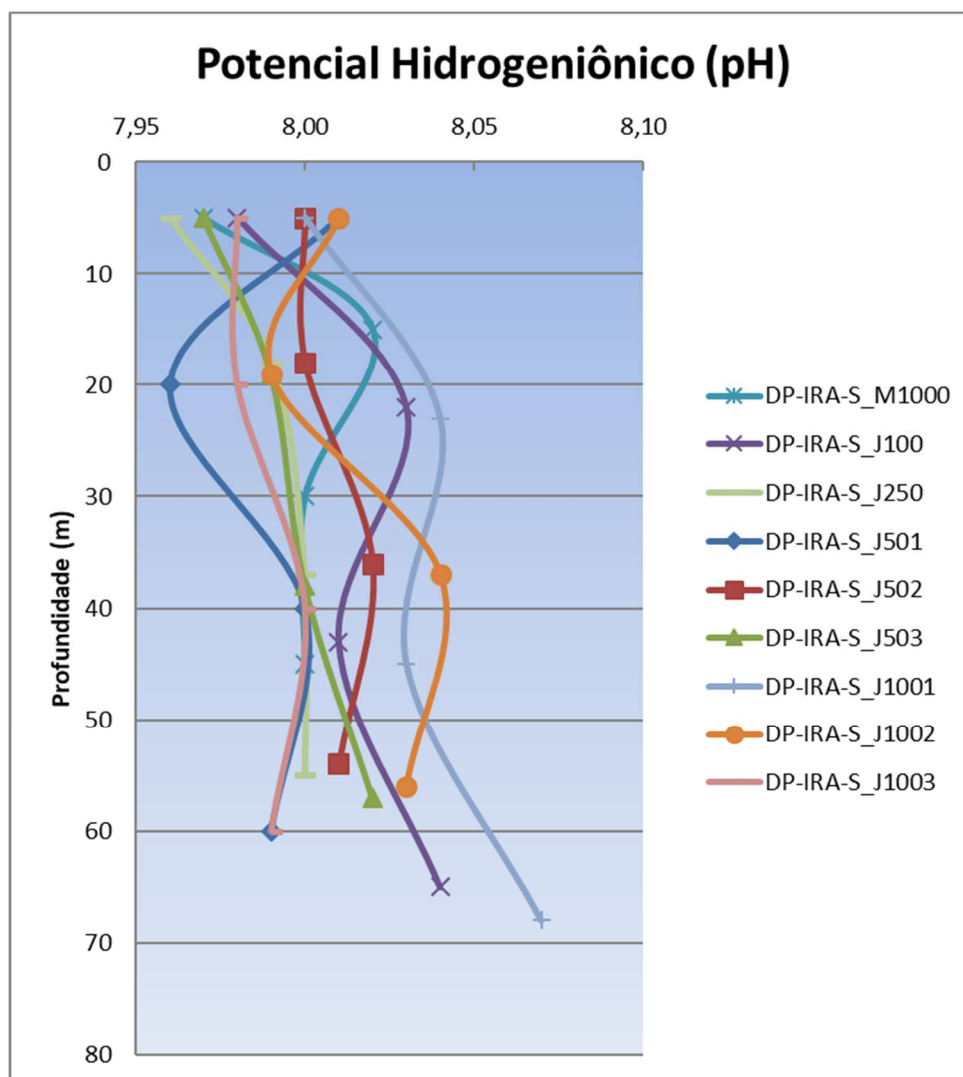


Figura V-10 – Perfis de pH obtidos na DP-IRA-S_C9.

Em um estudo realizado por Niencheski *et al.* (1999), os valores de pH encontrados para a costa brasileira apresentam-se em torno de 8,2. No relatório de caracterização ambiental da BS (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002), o pH médio encontrado para a região da BS foi de $8,05 \pm 0,12$, na superfície. Na Tabela V-7, são apresentados os valores mínimo e máximo de pH encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Os valores da atual campanha monitoramento (DP-IRA-S_C9) apresentaram-se próximos aos registrados nas campanhas realizadas anteriormente na região, sendo que, o valor mínimo (7,96) da DP-IRA-S_C9 foi superior em relação aos valores mínimos obtidos em campanhas anteriores de PIL-LL (C2 e C7) e de PIL-SAP (C3). Em comparação ao PCR-BS (Petrobras, 2022) o pH médio encontrado para a região da Bacia de

Santos foi entre 7,8 e 8,2, na camada de mistura superficial, no verão, sendo valores mais consistentes com os valores normalmente obtidos na superfície de regiões da plataforma e áreas oceânicas.

Tabela V-7 - Valores de pH encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse.

Campanha	pH	
	Mín.	Máx.
PIL-LL_C1 ¹	8,19 (SUP)	8,36 (SUP/ABTC)
PIL-LL_C2 ²	7,86 (SUP)	8,00 (TC/ABTC)
PIL-LL_C3 ³	8,10 (SUP)	8,31 (TC)
PIL-LL_C4 ⁴	8,37 (SUP)	8,55 (ABTC)
PIL-LL_C5 ⁵	8,09 (ABTC)	8,70 (SUP)
PIL-LL_C6 ⁶	8,01 (SUP/TC)	8,29 (TC)
PIL-LL_C7 ⁷	7,85 (SUP)	8,10 (ACTC)
PIL-LL_C8 ⁸	8,30 (SUP)	8,37 (SUP/TC/ABTC)
PIL-LL_C9 ⁹	8,10 (ACTC)	8,29 (SUP/ACTC/ABTC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	8,09 (SUP)	8,29 (SUP)
PIL-LL_C11 ¹¹	8,00 (ABTC)	8,22 (TC)
PIL-LL_C12 ¹²	8,06 (ABTC)	8,16 (ACTC/TC)
PIL-LL_C13 ¹³	8,08 (ACTC)	8,18 (SUP/ACTC)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	8,11 (ABTC)	8,22 (TC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	8,14 (ACTC)	8,30 (ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	7,93 (ABTC)	8,10 (ACTC)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	8,05 (SUP/ACTC)	8,35 (ACTC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	8,04 (ABTC)	8,30 (ABTC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	8,06 (SUP)	8,27 (TC)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	8,02 (SUP)	8,16 (ACTC/TC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	8,03 (TC/ABTC)	8,18 (ACTC/TC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	7,95 (SUP)	8,17 (ACTC)
PIL-SAP_C1 ²³	7,90 (ABTC)	8,18 (SUP)
PIL-SAP_C2 ²⁴	8,01 (TC)	8,25 (TC)
PIL-SAP_C3 ²⁵	7,62 (SUP)	8,22 (SUP)
PIL-SAP_C4 ²⁶	8,31 (SUP)	8,36 (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C5 ²⁷	8,23 (ABTC)	8,37 (ACTC)
PIL-SAP_C6 ²⁸	8,04 (ABTC)	8,32 (ABTC)
PIL-SAP_C7 ²⁹	8,00 (SUP)	8,18 (ABTC)
PIL-SAP_C8 ³⁰	8,10 (SUP)	8,28 (TC)
PIL-SAP_C9 ³¹	7,82 (SUP)	8,19 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 ³²	8,18 (ACTC)	8,30 (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C2 ³³	7,91 (TC)	8,09 (TC)
DP-IRA-S_C3 ³⁴	8,07 (TC)	8,35 (ACTC/TC)

Campanha	pH	
	Mín.	Máx.
DP-IRA-S_C4 ³⁵	8,22 (ABTC)	8,32 (ACTC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 ³⁶	8,07 (ACTC)	8,25 (ACTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁷	8,03 (SUP)	8,15 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁸	7,98 (ABTC)	8,15 (ABTC)
DP-IRA-S_C8 ³⁹	7,89 (ABTC)	8,18 (TC)

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2021b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 23 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 26 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 29 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 30 = Petrobras/Bioconsult (2021a); 31 = Petrobras/Bioconsult (2022d); 32 = Petrobras/Bourscheid (2016c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 34 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 35 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 37 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 38 = Petrobras/Bioconsult (2021c); 39 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Na Figura V-11, são apresentadas as faixas de concentrações de pH obtidas em cada profundidade nas nove campanhas do DP Iracema Sul. Observa-se que a DP-IRA-S_C9 se destacou por apresentar as menores medianas e os menores valores mínimos de pH medidos nas camadas SUP e ACTC. Na camada TC a segunda campanha apresentou o menor valor (7,91, em DP-IRA-S_J1003) e na camada ABTC a oitava campanha apresentou o menor valor, com 7,89 na amostra DP-IRA-S_J1001.

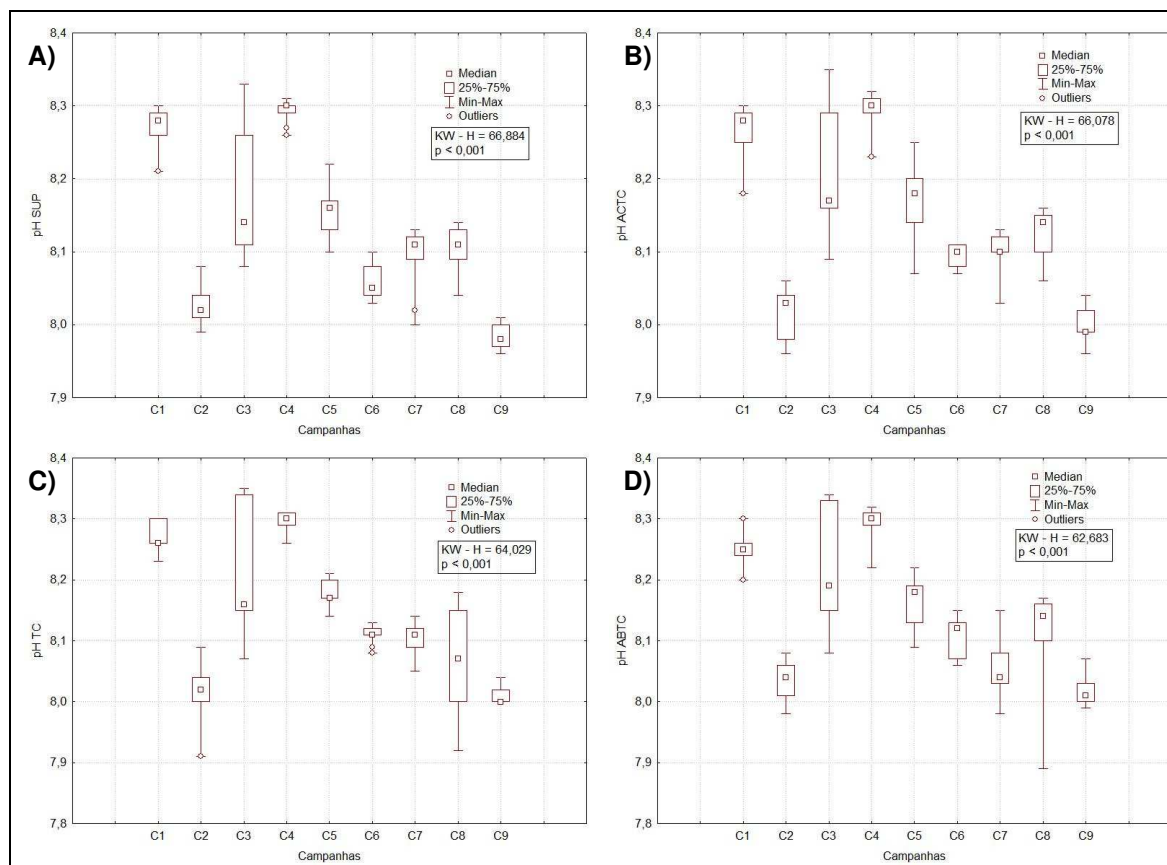


Figura V-11 – Concentrações de pH observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades, foi verificada diferença significativa ($p < 0,001$) entre os dados das nove campanhas para todos os estratos. Nas camadas SUP e TC, a quarta campanha diferiu da segunda, sexta, sétima, oitava e nona. Na SUP e ACTC, a primeira diferiu da segunda, da sexta e da nona. Na SUP, ACTC e TC a terceira diferiu da segunda e da nona. Nas camadas ACTC e ABTC, a quarta diferiu da segunda, sexta, sétima e nona. Na TC a primeira diferiu da segunda, oitava e nona e a quinta diferiu da segunda e nona, enquanto na ABTC, a primeira e a terceira campanhas diferiram da segunda, sétima e nona e a quinta campanha diferiu da nona (Tukey, $p < 0,05$).

V.1.4 - *Clorofila-a*

A clorofila-a é um pigmento com função fotossintética presente em todos os organismos fotoautotróficos, como o fitoplâncton, tornando-a assim um indicador da biomassa fitoplanctônica (JEFFREY *et al.*, 1997).

O fitoplâncton está na base das cadeias alimentares marinhas e é um bom indicador de suas condições ambientais (NEVEUX *et al.*, 1989; FIALA *et al.*, 2002). Representa a base do sistema pelágico, realizando as trocas de carbono entre o oceano e a atmosfera. Durante o processo fotossintético, estes organismos convertem os materiais inorgânicos em novos compostos orgânicos, o ponto de partida do fluxo do carbono na cadeia trófica (LALLI & PARSONS, 1995).

A absorção seletiva dos comprimentos de onda do azul e verde-azulado pelos pigmentos fotossintéticos, especialmente a clorofila-a, permite a quantificação da biomassa fitoplanctônica com base em medidas da cor do oceano derivadas de sensores satelitários. As concentrações de clorofila e a composição taxonômica das comunidades fitoplanctônicas são qualitativamente correlacionadas à circulação oceânica e aos processos físicos de mesoescala que, por sua vez, influenciam o fluxo de nutrientes essenciais a partir do reservatório das águas subsuperficiais em direção à zona eufótica (GAETA & BRANDINI, 2006).

Na porção central dos giros oceânicos, esses fluxos a partir das águas profundas são relativamente fracos, e a concentração de clorofila na camada superior da zona eufótica alcança valores médios próximos de 2 µg/L (YODER *et al.*, 1993). Em regiões de ressurgência costeira, regiões de mares temperados e boreais com forte mistura sazonal, e em divergências de giros subpolares ou feições de mesoescala com bombeamento induzido por vórtices ciclônicos, fluxos verticais de nutrientes podem gerar acúmulo transitório de clorofila em concentrações superiores a 50 µg/L (FALKOWSKI *et al.*, 2001).

Na presente campanha de monitoramento, a clorofila-a variou entre 0,027 µg/L, nas estações DP-IRA-S_J1002 (SUP) e DP-IRA-S_J1003 (ACTC) e 0,085 µg/L na estação DP-IRA-S_J250 (ABTC) (Tabela V-8 e Figura V-10). A estação DP-IRA-S_J250 apresentou maior valor médio de clorofila-a em relação às demais estações. De maneira geral, os valores de clorofila-a foram mais elevados na camada ABTC, com exceção das estações DP-IRA-S_J100 e DP-IRA-S_J502, em que o maior valor foi observado na termoclina.

Na camada ABTC foi observado o maior valor médio de clorofila-a ($0,066 \pm 0,11 \mu\text{g/L}$) e na SUP foi observado o menor valor médio ($0,034 \pm 0,005 \mu\text{g/L}$).

Tabela V-8 – Valores de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) medidos na DP-IRA-S_C9.

Estrato	Estações									Média	DP
	DP-IRA-S_M1000	DP-IRA-S_J100	DP-IRA-S_J250	DP-IRA-S_J501	DP-IRA-S_J502	DP-IRA-S_J503	DP-IRA-S_J1001	DP-IRA-S_J1002	DP-IRA-S_J1003		
SUP	0,038	0,030	0,038	0,036	0,031	0,040	0,039	0,027	0,031	0,034	0,005
ACTC	0,045	0,039	0,045	0,035	0,036	0,040	0,032	0,035	0,027	0,037	0,006
TC	0,048	0,067	0,051	0,040	0,054	0,041	0,048	0,040	0,048	0,049	0,009
ABTC	0,059	0,057	0,085	0,069	0,051	0,071	0,057	0,064	0,080	0,066	0,011
Máx.	0,059	0,067	0,085	0,069	0,054	0,071	0,057	0,064	0,080		
Mín.	0,038	0,030	0,038	0,035	0,031	0,040	0,032	0,027	0,027		
Média	0,048	0,048	0,055	0,045	0,043	0,048	0,044	0,042	0,047		
DP	0,009	0,017	0,021	0,016	0,011	0,015	0,011	0,016	0,024		

Legenda: SUP: Superfície; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

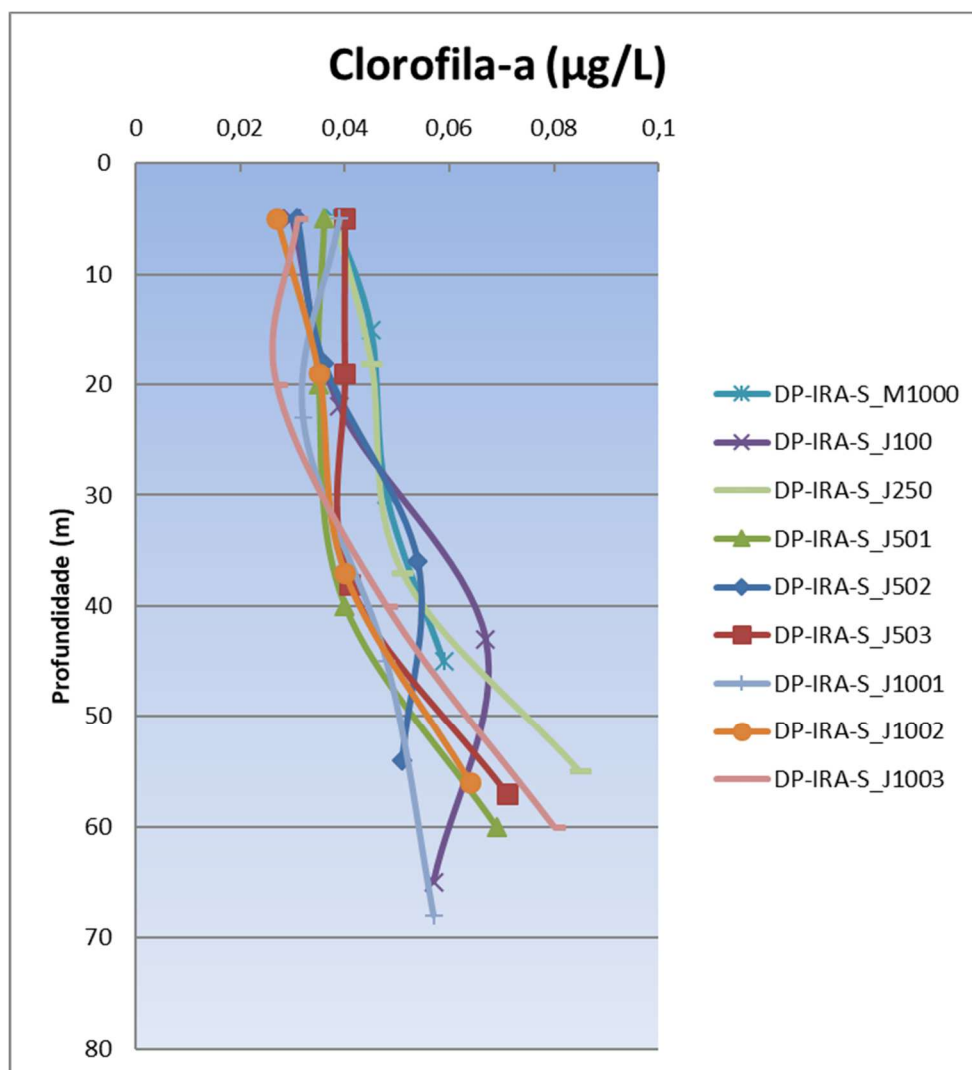


Figura V-12 – Perfis de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) obtidos na DP-IRA-S_C9.

Petrobras/Habtec (2003) verificaram concentrações de clorofila-a variando entre não detectado (abaixo do limite de detecção) e $3,13 \mu\text{g/L}$, também na BS. Na Tabela V-9, são apresentados os valores mínimo e máximo de clorofila-a encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Apesar das concentrações de clorofila já terem sido quantificadas para a área em diversas ocasiões, concentrações não detectáveis foram frequentes, nos estudos anteriores, em diferentes profundidades. Os resultados verificados para a presente campanha estão dentro da faixa de concentração observada para a região. Em comparação ao PCR-BS (Petrobras, 2022) foram observados valores de clorofila-a, variando entre $1,52$ e $49,62 \text{ mg/m}^2$ no inverno e $0,07$ a $50,48 \text{ mg/m}^2$, no verão.

Tabela V-9 - Valores de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse. nd = não detectado e nq = não quantificado.

Campanha	Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)	
	Mín.	Máx.
PIL-LL C1 ¹	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,87 (SUP)
PIL-LL C2 ²	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,07 (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL C3 ³	nq (SUP/ACTC/TC/ABTC)	nq (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL C4 ⁴	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	nq (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL C5 ⁵	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	nq (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL C6 ⁶	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,70 (SUP)
PIL-LL C7 ⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,80 (ACTC)
PIL-LL C8 ⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC)
PIL-LL C9 ⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (TC/ABTC)
PIL-LL C10 ¹⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ABTC)
PIL-LL C11 ¹¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,53 (ABTC)
PIL-LL C12 ¹²	0,05 (SUP)	0,42 (ABTC)
PIL-LL C13 ¹³	0,04 (SUP)	0,25 (TC)
PIL-LL-NE C1 ¹⁴	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,50 (SUP/ACTC)
PIL-LL-NE C2 ¹⁵	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,70 (ABTC)
PIL-LL-NE C3 ¹⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE C4 ¹⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ABTC)
PIL-LL-NE C5 ¹⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ACTC)
PIL-LL-NE C6 ¹⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE C7 ²⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC)
PIL-LL-NE C8 ²¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE C9 ²²	0,03 (SUP)	0,26 (ABTC)
PIL-SAP C1 ²³	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,60 (SUP)
PIL-SAP C2 ²⁴	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,30 (ACTC/ABTC)
PIL-SAP C3 ²⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,20 (SUP)
PIL-SAP C4 ²⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP C5 ²⁷	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	nq (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP C6 ²⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP C7 ²⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,87 (TC)
PIL-SAP C8 ³⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP C9 ³¹	0,015 (ACTC)	0,109 (ABTC)
DP-IRA-S C1 ³²	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,10 (ACTC)
DP-IRA-S C2 ³³	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S C3 ³⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S C4 ³⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S C5 ³⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ACTC)
DP-IRA-S C6 ³⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ACTC)
DP-IRA-S C7 ³⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S C8 ³⁹	0,045 (SUP)	0,188 (ACTC)

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2021b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 23 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 26 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 29 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 30 = Petrobras/Bioconsult (2021a); 31 = Petrobras/Bioconsult (2022d); 32 = Petrobras/Bourscheid (2016c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 34 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 35 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 37 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 38 = Petrobras/Bioconsult (2021c); 39 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Na Figura V-11, são apresentadas as faixas de concentrações de clorofila-a obtidas em cada estrato profundidade do PMAEpro-BS – E1 – DP-IRA-S. Observa-

se que a primeira campanha apresentou maiores valores máximos de clorofila-a e maior amplitude de valores.

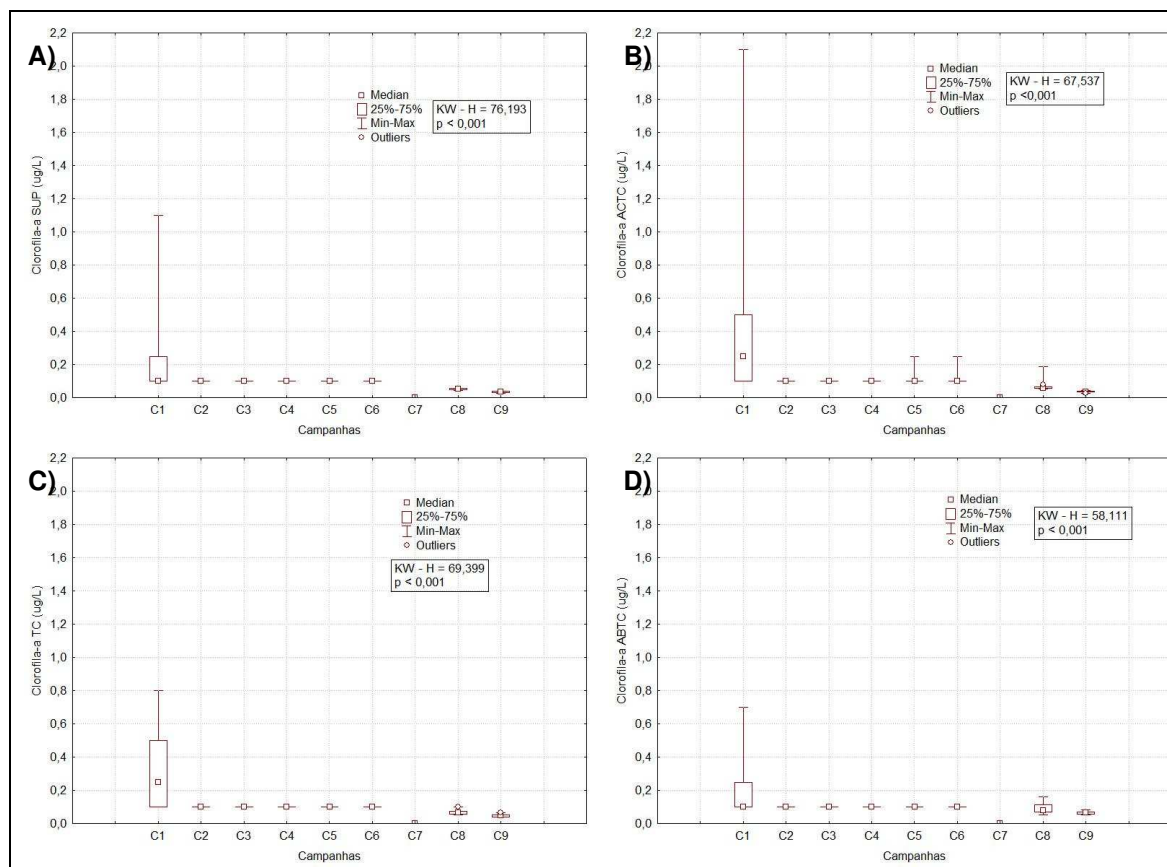


Figura V-13 – Concentrações de clorofila-a (µg/L) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades, foi verificada diferença significativa ($p < 0,001$) entre os dados das nove campanhas para todos os estratos. Na SUP, ACTC e TC, a primeira campanha diferiu da sétima, oitava e nona; a sexta diferiu da sétima e nona; a segunda, terceira, quarta, quinta e sexta campanhas diferiram da sétima e nona. Na ABTC, a primeira diferiu da sétima e nona, enquanto a segunda, a terceira, a quarta, a quinta e a sexta campanhas diferiram apenas da sétima (Tukey, $p < 0,05$). Cabe ressaltar que o método empregado foi igual ao longo das campanhas, exceto em C8 e C9 (fluorimetria). Houve alteração de limites de quantificação (LQ C1, C3, C4, C5 e C6 = 0,5 µg/L, LQ C2 = 0,2 µg/L, LQ C7 = 0,010 µg/L e LQ C8 e C9 =

0,012 µg/L) e mudanças de laboratório entre a primeira e segunda campanha, entre a segunda e terceira campanha, e entre a sexta e a sétima campanha.

V.1.5 - Nutrientes

O nitrogênio, o fósforo e a sílica são nutrientes necessários às funções metabólicas do fitoplâncton. Comportam-se, portanto, de forma não conservativa, na dependência direta dos processos de demanda biológica pela biomassa fitoplanctônica na zona eufótica e dos aportes devidos a processos físicos (advecção, intrusão de águas mais ricas), biológicos (regeneração), climáticos (chuvas e ventos) e drenagem continental (AIDAR *et al.*, 1993).

Os nutrientes (N, P, Si) se apresentam em suas formas minerais em solução na água do mar. O nitrogênio forma quatro compostos, de acordo com seu grau de oxidação: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), íon amônio (NH_4^+) e amônia (NH_3) (os dois últimos representados juntos como nitrogênio amoniacal), sendo o nitrito um composto intermediário no processo de nitrificação, um composto bastante instável e sem um padrão bem definido. Para o fósforo, utiliza-se normalmente o termo fosfato (PO_4^{3-}), que engloba todas as formas de ortofosfatos presentes em uma amostra. O silicato (SiO_3^{2-}) representa quase a totalidade das formas de silício encontradas na água do mar (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983).

Os nutrientes e em especial o nitrogênio, no meio marinho, são fatores que limitam o crescimento da biomassa fitoplanctônica. As razões entre as concentrações molares do nitrogênio, fósforo e silício na camada eufótica das águas marinhas e os processos determinantes do seu enriquecimento por esses elementos são capazes de induzir não somente alterações na densidade das comunidades fitoplanctônicas, como também dar subsídios para explicar a composição qualitativa dessas comunidades, a competição e a exclusão de algumas espécies (DUGDALE & GOERING, 1967; RYTHER & DUNSTAN, 1971).

Normalmente, os nutrientes em regiões oceânicas apresentam menores concentrações nas camadas superficiais, seguidos de um aumento gradativo em direção as camadas mais profundas (MOSER & GALVÃO, 1997; NIENCHESKI *et al.*, 1999). Essa dinâmica pode ser explicada pelo consumo dos nutrientes pelo

fitoplâncton na zona fótica e pela presença da termoclina que impede o afloramento dos nutrientes das camadas mais profundas para as mais superficiais, funcionando como uma barreira (THURMAN & BURTON, 2001).

O nitrogênio amoniacal ou amônia é uma substância tóxica, não persistente e não cumulativa. Entretanto, nas águas oceânicas, a forma de nitrogênio amoniacal predominante é o íon amônio, pois em meio básico, a amônia é convertida em íon amônio. De fato, com pH do mar de pH 8,1 cerca de 95% do nitrogênio amoniacal está sob a forma de íon amônio e 5% de amônia. Desse modo, em águas marinhas não prevalece a amônia em sua forma mais tóxica para os organismos (BAUMGARTEN *et al.*, 1996; MILLERO, 2013). De acordo com Braga & Niencheski (2006), as informações sobre nitrogênio amoniacal possuem importância na caracterização do potencial trófico das massas de água.

No PCR-BS (Petrobras, 2022), observou-se que o hidrodinamismo e o cenário biogeoquímico no setor oceânico da Bacia de Santos, típico de ambiente pelágico predominantemente oligotrófico dominado pela Água Tropical, são forçantes ambientais que causam limitação da produção na coluna de água por conta da existência de uma limitação por nutrientes, sobretudo nitrogênio. Segundo os dados do PCR-BS, somado aos dados históricos, a quebra da limitação por nutrientes na Bacia de Santos pode ocorrer em setores onde processos físicos fertilizam a zona eufótica como ocorre nas ressurgências de Cabo Frio ou nas intrusões da ACAS na plataforma média durante o verão (Petrobras, 2022). Nesse estudo, foram verificadas concentrações de nitrogênio amoniacal durante o verão usualmente abaixo de 0,3 μM , com exceção de pontos isolados da plataforma média onde é mais frequente a influência de movimentos ascendentes da ACAS.

Na DP-IRA-S_C9, não foram quantificadas concentrações de nitrogênio amoniacal em nenhuma das amostras (LQ = 0,01 mg/L N). Devido a isso, não foi possível verificar um padrão de distribuição das concentrações para esse parâmetro. A Tabela V-10 apresenta resultados obtidos para este parâmetro em estudos anteriores na região de interesse. Todas as concentrações obtidas nos estudos anteriores, assim como nas amostras da DP-IRA-S_C9, foram inferiores a 0,40 mg/L N, limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1.

No monitoramento da água produzida realizado no 1º semestre de 2023 a concentração obtida de nitrogênio amoniacal foi 48,90 mg/L N. Mesmo considerando o descarte desse efluente durante a execução da campanha de DP-IRA-S_C9, não foi possível identificar concentrações similares de nitrogênio amoniacal nas estações monitoradas à jusante da plataforma (DP-IRA-S_J100, DP-IRA-S_J250 e DP-IRA-S_J502).

Na água do mar, os principais processos consumidores de nitrogênio amoniacal são a oxidação microbiológica (via bactérias nitrificadoras), a assimilação pelo fitoplâncton e bactérias, e a transferência para a atmosfera como NH_3 . Em função dessa dinâmica, frequentemente as concentrações de nitrogênio amoniacal encontram-se na faixa de nanomolar ($1 \text{ nmol L}^{-1} = 10^{-9} \text{ mol L}^{-1}$), normalmente inferiores 100 nmol L^{-1} , enquanto as concentrações mais elevadas usualmente ocorrem nas regiões costeiras, após as florações de fitoplâncton (QUINN *et al.*, 1996).

Na Figura V-14, são apresentadas as faixas de concentrações de nitrogênio amoniacal obtidas em cada profundidade durante as nove campanhas de PMAEpro-BS – E1 – DP-IRA-S. Observa-se que a terceira campanha apresentou maior amplitude de valores e maiores concentrações máximas e médias, exceto na ACTC, em que a C4 apresentou maior amplitude e maior valor máximo. Cabe ressaltar que não estão apresentados os resultados obtidos para esse parâmetro durante a C2, uma vez que as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos. Além da exclusão da C2, cabe apontar que houve alteração de laboratório entre a C2 e a C3e entre a C7 e C9, o que pode ter influenciado em parte, as variações dos resultados observadas entre as campanhas.

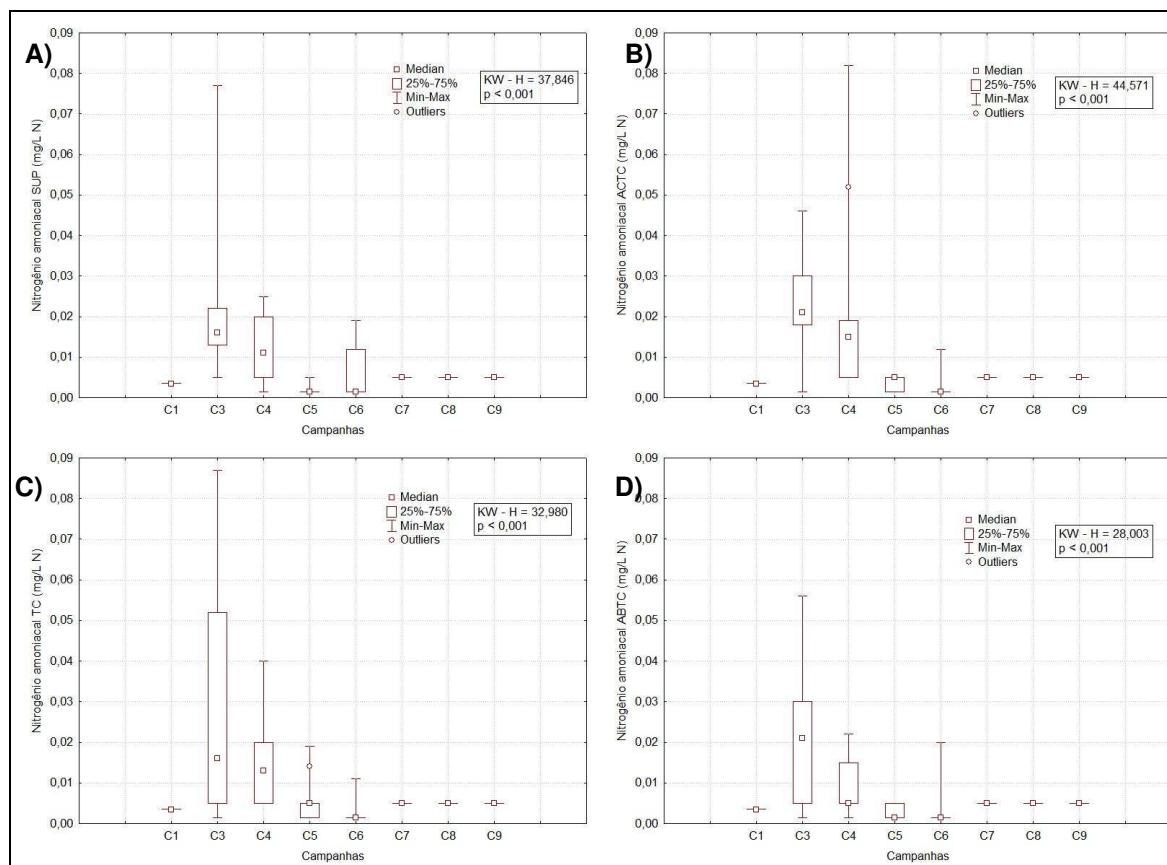


Figura V-14 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades foram encontradas diferenças significativas para todas as camadas ($p < 0,001$). Na superfície, a terceira e a quarta campanha diferiram da primeira e da quinta (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC, a C3 e a C4 diferiram da primeira, quinta e sexta (Tukey, $p < 0,05$). Na TC, a primeira e a sexta campanha diferiram da terceira e quarta (Tukey, $p < 0,05$). Na ABTC, a terceira campanha diferiu da primeira (Tukey, $p < 0,05$). Cabe ressaltar que o método empregado foi sempre o mesmo, exceto durante C7, C8 e C9 (EPA 350.1), mas houve alteração de limites de detecção (LD C1 = 0,007 mg/L N, LD C3, C4, C5, C6, C7, C8 e C9 = 0,003 mg/LN), bem como mudanças de laboratório entre a primeira e terceira campanha e entre a sexta e sétima campanha.

Na DP-IRA-S_C9 não foram quantificadas concentrações de nitrito em nenhuma das amostras (LQ = 0,002 mg/L N). Com isso, não foi possível verificar um padrão de distribuição vertical nem horizontal das concentrações.

Todos os resultados de nitrito foram inferiores à concentração limite definida pela CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1 (0,07 mg/L N para nitrito).

A Tabela V-10 apresenta resultados obtidos para estes parâmetros em estudos anteriores na região de interesse, onde é possível observar que concentrações não detectadas, não quantificadas e inferiores ao limite definido pela CONAMA nº 357/05, são observadas de forma recorrente. As concentrações de nitrito verificadas em campanhas de monitoramento realizadas na região do Polo Pré-Sal em data anterior a atual campanha, variaram entre não detectado, mínimo detectado de 0,0014 mg/L N e máximo de 0,2310 mg/L N, contemplando a faixa de variação encontrada na atual campanha de DP-IRA-S_C9.

Não são realizadas análises de nitrito na água produzida descartada pelo FPSO CMB. Entretanto, sabe-se que o nitrogênio amoniacal tende a ser oxidado até nitrato na presença de oxigênio dissolvido, o qual é rapidamente consumido pela produção primária, sendo o nitrito um composto intermediário neste processo de oxidação. Assim, caso tivesse ocorrido um incremento de nitrogênio amoniacal em função do descarte de efluentes, seria esperado que, com o oxigênio dissolvido presente na água do mar, houvesse um aumento nos valores de nitrito nas imediações da plataforma. Mas, de fato, não foi verificado em nenhuma amostra, a presença de nitrito ou mesmo de nitrogênio amoniacal. Portanto, é possível afirmar que o descarte de água produzida não ocasionou efeitos notáveis nas concentrações de nitrito dos pontos amostrados durante a atual campanha. É preciso destacar ainda a baixa estabilidade deste composto, que tende a ser rapidamente oxidado a nitrato, forma mais estável.

O histórico de monitoramento de nitrito no PMAEpro-BS – E1 – DP-IRA-S indicou uma tendência a ausência desse parâmetro, exceto no intervalo de campanhas C3 a C6, sendo os valores de nitrito obtidos nas amostras da quarta campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foram superiores em relação as demais campanhas (Figura V-15). Importante ressaltar que o limite de detecção e os métodos analíticos variaram entre as campanhas (0,002 mg/L N para a primeira e C3, C4, C5 e C6, 0,0001 mg/L N para a segunda campanha e 0,001 mg/L N para C7, C8 e C9 / MAOQ – FURG (1996) para a terceira campanha e SMEWW 4500 B para as demais campanhas) e houve troca de laboratórios entre

a primeira e segunda campanha, entre a segunda e terceira e entre a sexta e sétima campanha, o que pode ter influenciado em partes os resultados encontrados.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis*, para todas as profundidades, foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os dados das oito campanhas, para todas as profundidades consideradas. Na superfície, termoclina e abaixo da termoclina, a quarta campanha diferiu da primeira, segunda, quinta, sétima, oitava e nona campanha. Ainda na superfície, e a terceira e a sexta diferiram da primeira, da sétima, da oitava e da nona campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a terceira e a quarta campanha diferiram da primeira, quinta, sétima, oitava e nona campanha (*Tukey*, $p < 0,05$).

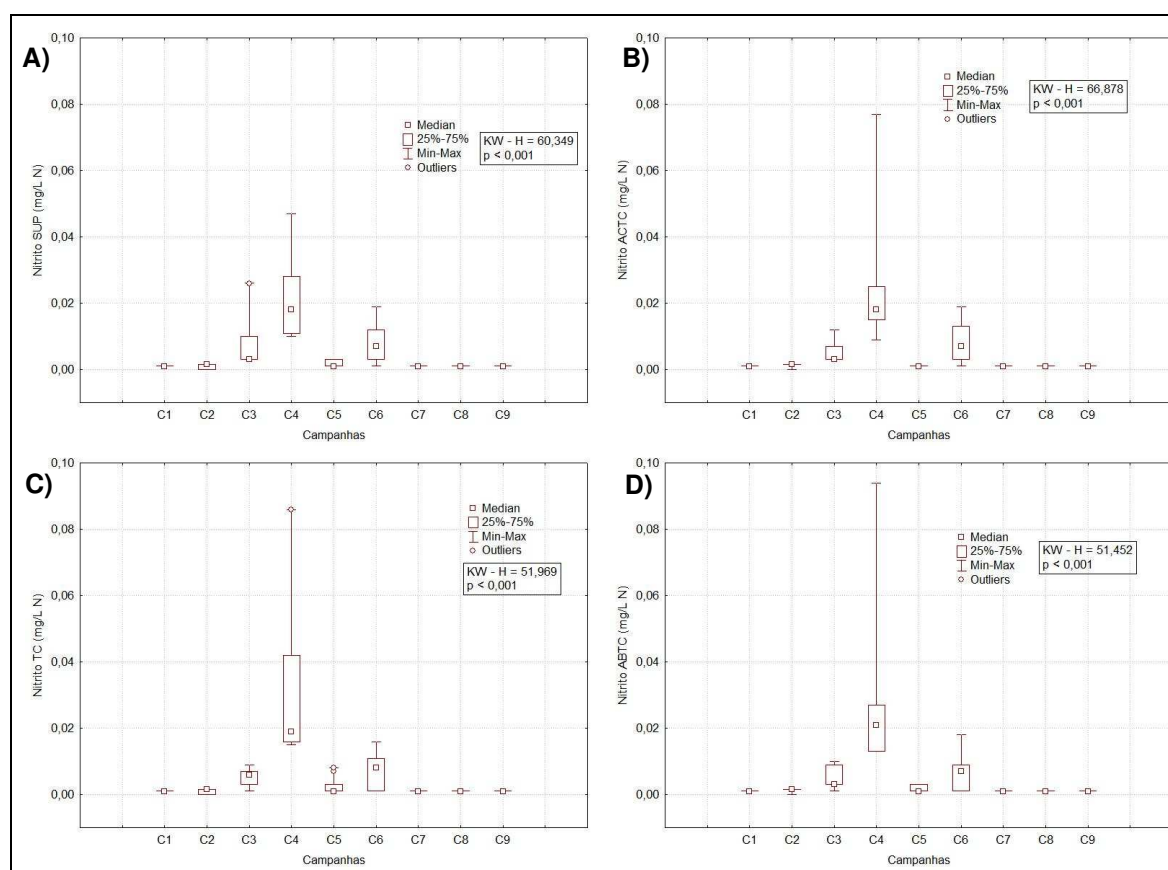


Figura V-15 – Concentrações de nitrito (mg/L N) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Para o nitrato, não foram quantificadas (LQ = 0,2 mg/L N) concentrações em nenhuma das amostras. Consequentemente, todas as amostras da presente

campanha apresentaram concentrações inferiores a 0,4 mg/L N, limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1.

Não são realizadas análises de nitrato na água produzida descartada pelo FPSO CMB. Entretanto, mediante a tendência de oxidação do nitrogênio amoniacal da água produzida a nitrato, quando ocorresse o descarte deste efluente na água do mar, rica em oxigênio dissolvido, seria esperado um aumento dos valores de nitrato nas imediações da plataforma. Como, de fato, não foi identificado em nenhuma das amostras resultados quantificados de nitrato, não é possível fazer qualquer associação entre esse composto e o descarte de água produzida nos pontos amostrados durante a atual campanha.

A Tabela V-10 apresenta resultados obtidos para este parâmetro em estudos anteriores na região de interesse. Através desta, é possível verificar que as concentrações de nitrato verificadas anteriormente em campanhas de monitoramento realizadas na região do Polo Pré-Sal variaram entre não detectado, mínimo detectado de 0,0058 mg/L N e máximo de 1,70 mg/L N. Os resultados obtidos para a DP-IRA-S_C9, com concentrações não quantificadas em nenhuma das amostras, encontram-se dentro da faixa de variação apresentada pela literatura para o local.

Tabela V-10– Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N), nitrito (mg/L N), nitrato (mg/L N), silicato (mg/L) e fósforo total (mg/LP) encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse (nd = não detectado e nq = não quantificado).

Campanha	N amoniacal (mg/L N)		Nitrito (mg/L N)		Nitrato (mg/L N)		Silicato (mg/L)		Fósforo total (mg/L P)	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Bacia de Santos ¹	0,0084	0,0089	0,0076	0,0080	0,0156	0,0301	0,0150	0,0460	n.d.	0,0032
PIL-LL C1 ²	0,0016	0,0045	0,0015	0,0055	0,0058	0,0480	0,0096	0,0554	n.d.	0,0113
PIL-LL C2 ³	n.d.	0,0684	n.d.	n.d.	0,0126	0,0450	n.d.	0,9289	n.d.	0,0079
PIL-LL C3 ⁴	n.d.	0,0040	0,0070	0,0260	0,0120	0,0960	0,0170	0,0440	0,0110	0,0510
PIL-LL C4 ⁵	n.d.	0,0400	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,5900	n.d.	n.d.
PIL-LL C5 ⁶	n.d.	0,0410	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,5555	n.d.	0,0230
PIL-LL C6 ⁷	n.d.	0,0115	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0750	1,5600	n.d.	0,0080
PIL-LL C7 ^{* 8}	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,0040	0,014	0,0270	n.q.	0,1000
PIL-LL C8 ⁹	n.d.	0,0580	n.d.	0,2310	n.d.	1,6500	n.d.	0,8500	n.d.	0,0580
PIL-LL C9 ¹⁰	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,3200	n.d.	0,5300	n.q.	0,0310
PIL-LL C10 ¹¹	n.d.	0,0180	n.d.	0,0090	n.d.	0,2100	n.q.	0,1800	n.d.	n.d.
PIL-LL C11 ¹²	n.d.	0,0190	n.d.	0,0240	n.d.	0,2000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PIL-LL C12 ¹³	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.
PIL-LL C13 ¹⁴	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	2,8900	n.q.	n.q.
PIL-LL-NE C1 ¹⁵	n.d.	0,0280	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0750	1,2350	n.d.	0,0260
PIL-LL-NE C2 ¹⁶	n.d.	0,0115	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,8990	n.d.	0,0080
PIL-LL-NE C3 ^{* 17}	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,004	0,018	0,025	n.q.	0,020
PIL-LL-NE C4 ¹⁸	n.d.	0,0540	n.d.	0,0150	n.d.	1,700	n.d.	0,180	n.d.	n.q.

PIL-LL-NE C5 ¹⁹	n.d.	0,0260	n.d.	n.d.	n.d.	0,2600	n.d.	0,2200	n.d.	0,0190
PIL-LL-NE C6 ²⁰	n.d.	n.q.	n.d.	0,0070	n.d.	n.q.	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
PIL-LL-NE C7 ²¹	n.d.	0,0300	n.d.	0,0180	n.d.	0,1000	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
PIL-LL-NE C8 ²²	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,070	n.q.	n.q.
PIL-LL-NE C9 ²³	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,565	n.q.	n.q.
PIL-SAP C1 ²⁴	n.d.	0,0420	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,2370	1,1030	n.d.	0,0270
PIL-SAP C2 ²⁵	n.d.	0,0115	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,3230	n.d.	0,0080
PIL-SAP C3 ²⁶	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,0040	0,0200	0,0410	n.q.	0,0300
PIL-SAP C4 ²⁷	n.d.	0,0570	n.d.	0,1350	n.d.	0,5600	n.d.	0,7000	n.d.	0,0860
PIL-SAP C5 ²⁸	n.d.	0,0790	n.d.	0,0610	n.d.	0,1000	n.d.	0,1800	n.q.	n.q.
PIL-SAP C6 ²⁹	n.d.	0,0330	n.q.	0,0160	n.d.	0,1900	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
PIL-SAP C7 ³⁰	n.d.	0,0200	n.d.	0,0150	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PIL-SAP C8 ³¹	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,1100	n.q.	n.q.
PIL-SAP C9 ³²	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	-	-	-	-
Bloco BMS-11 ³³	0,0080	0,0143	0,0014	0,1415	0,0155	0,1414	1,3969	6,9406	0,0067	0,4095
DP-IRA-S C1 ³⁴	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,6130	n.d.	0,0080
DP-IRA-S C2 ³⁵	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,0040	n.q.	0,0210	n.d.	0,0100
DP-IRA-S C3 ³⁶	n.d.	0,0870	n.d.	0,0260	0,1500	1,2000	n.d.	0,5300	n.d.	0,0170
DP-IRA-S C4 ³⁷	n.d.	0,0820	0,0090	0,0940	n.d.	0,1600	n.d.	0,2400	n.d.	0,0540
DP-IRA-S C5 ³⁸	n.d.	0,0190	n.d.	0,0080	n.d.	0,1300	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
DP-IRA-S C6 ³⁹	n.d.	0,0200	n.d.	0,0190	n.d.	n.q.	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
DP-IRA-S C7 ³⁹	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,7470	n.q.	n.q.
DP-IRA-S C8 ³⁹	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	-	-	-	-

* Não são apresentados resultados de nitrogênio amoniacal para essas campanhas, pois as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos.

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2021b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 23 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 26 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 29 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 30 = Petrobras/Bioconsult (2021a); 31 = Petrobras/Bioconsult (2022d); 32 = Petrobras/Bourscheid (2016c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 34 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 35 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 37 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 38 = Petrobras/Bioconsult (2021c); 39 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Na primeira campanha deste projeto (Figura V-16), assim como observado nas campanhas C2, C7, C8 e C9, os valores de nitrato não foram detectados em nenhuma das estações. Adicionalmente, cabe pontuar a ampla variação no limite de detecção utilizado nas diferentes campanhas de monitoramento (LD_C1 = 0,1 mg/L N, LD_C2 = 0,0001 mg/L N, LD_C3, C4, C5e C6 = 0,03 mg/L N e LD_C7, C8 e C9 = 0,05 mg/L N). A terceira campanha se destacou por apresentar concentrações, em todos os estratos, bem superiores em comparação as demais campanhas. Cabe ressaltar que houve alteração de laboratório entre a segunda e a terceira campanha e entre a sexta e sétima campanha, o que pode ter influenciado em parte, as variações dos resultados observadas entre as campanhas.

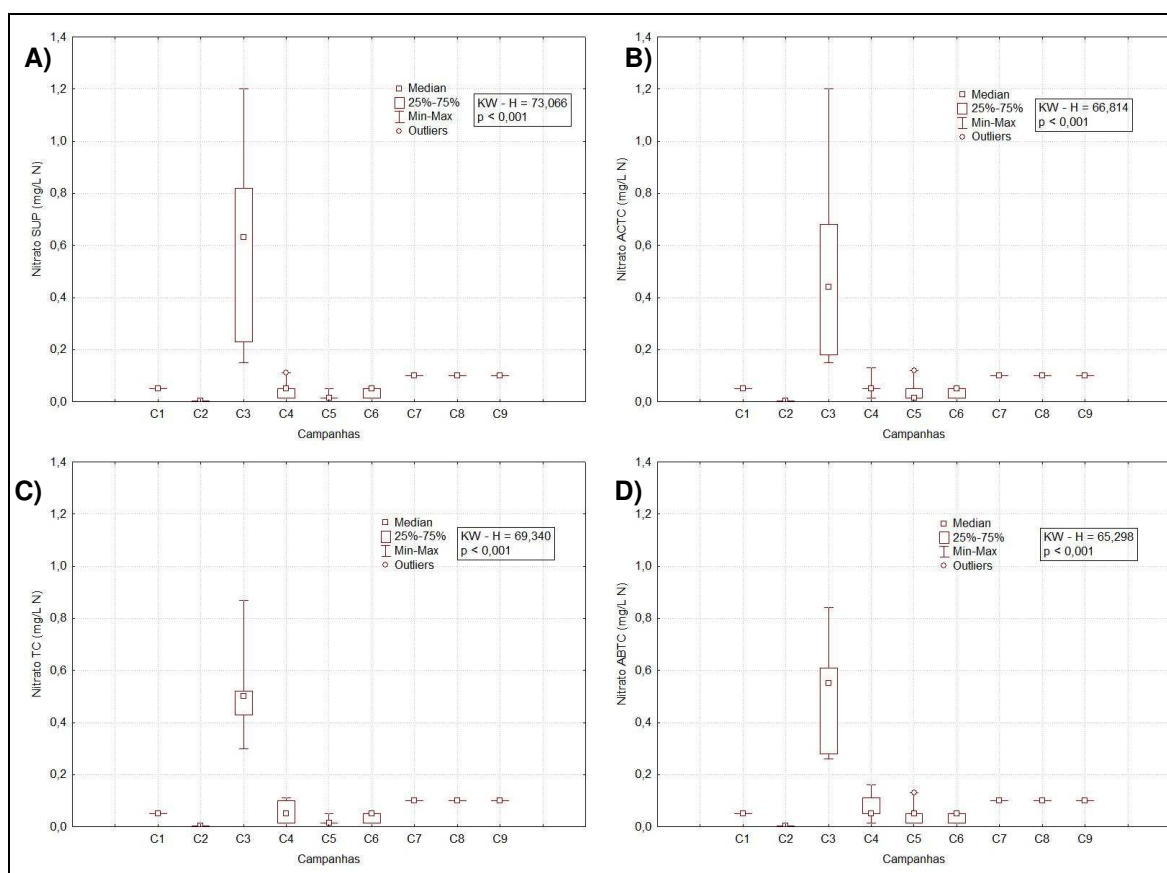


Figura V-16 – Concentrações de nitrato (mg/L) observadas ao longo do DP-IRA-S, A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis*, foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das nove campanhas para todos os estratos. Em todos os estratos de profundidade, a terceira campanha diferiu da primeira, segunda, quarta, quinta e sexta. Na superfície e na TC, a segunda e quinta campanhas diferiram da sétima, oitava e nona (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC e ABTC, a segunda campanha diferiu da sétima, oitava e nona, e por fim na ABTC, a segunda campanha ainda diferiu da quarta (Tukey, $p < 0,05$) (Figura V-). Parte dessas diferenças refletem a quantificação dos valores de nitrato, o que só foi possível a partir da 2ª campanha, devido aos menores limites de detecção e quantificação empregados, e as mudanças de laboratório entre a primeira e segunda campanha, entre a segunda e terceira campanha e entre a sexta e sétima campanha.

Os valores de silicato registrados na presente campanha variaram entre não quantificado (LQ = 0,05 mg/L), na SUP da estação DP-IRA-S_J1003 a 1,323 mg/L, na ACTC da estação DP-IRA-S_J250 (Tabela V-11) Entre as diferentes profundidades, a maior concentração média de silicato esteve associada à camada ACTC, média = $0,44 \pm 0,40$ mg/L, enquanto as menores concentrações médias estiveram associadas à ABTC, média = $0,27 \pm 0,19$ mg/L.

Tabela V-11 – Concentração de silicato (mg/L) na DP-IRA-S_C9.

Estrat o	Estações									Médi a	DP
	DP-IRA- S_M100 0	DP- IRA- S_J10 0	DP- IRA- S_J25 0	DP- IRA- S_J50 1	DP- IRA- S_J50 2	DP- IRA- S_J50 3	DP-IRA- S_J100 1	DP-IRA- S_J100 2	DP-IRA- S_J100 3		
SUP	0,309	0,105	0,859	0,317	0,620	<0,05	0,376	0,158	0,145	0,32	0,2 7
ACTC	0,260	0,284	1,323	0,262	0,854	0,079	0,478	0,191	0,245	0,44	0,4 0
TC	0,312	0,201	0,195	0,109	0,546	0,214	0,831	0,098	0,108	0,29	0,2 5
ABTC	0,431	0,172	0,235	0,104	0,319	0,409	0,636	0,060	0,077	0,27	0,1 9
Máx.	0,431	0,284	1,323	0,317	0,854	0,409	0,831	0,191	0,245		
Mín.	0,26	0,105	0,195	0,104	0,319	<0,05	0,376	0,06	0,077		
Média	0,33	0,19	0,65	0,20	0,58	0,18	0,58	0,13	0,14		
DP	0,07	0,07	0,54	0,11	0,22	0,17	0,20	0,06	0,07		

Legenda: SUP: Superior; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

Estes valores são semelhantes aos valores encontrados nas campanhas de monitoramento realizadas na região do Polo Pré-Sal em data anterior a atual campanha, nas quais também não houve detecção nem quantificação de silicato em algumas amostras. A Tabela V-12 apresenta resultados obtidos para este parâmetro em estudos anteriores na região de interesse. Em comparação ao PCR-BS (Petrobras, 2022) as concentrações de silicato foram superiores a 7,5µM na porção Sudoeste da plataforma dominada pela pluma do rio da Prata, durante o inverno, e foram limitantes no restante da bacia, principalmente na região oceânica oligotrófica. A Resolução CONAMA nº 357/2005 não apresenta valor máximo de concentração de silicato para águas salinas classe 1.

Os perfis verticais de distribuição das concentrações de silicato na coluna d'água das estações da DP-IRA-S_C9 são mostrados na Figura V-16. Através deles, observa-se que as estações DP-IRA_S_J250 e DP-IRA_S_J502 tenderam a

apresentar maiores valores na ACTC, diminuindo para TC e ABTC, e a estação DP-IRA_S_J1001 também de setaca com maior valor na TC, diminuindo para ABTC

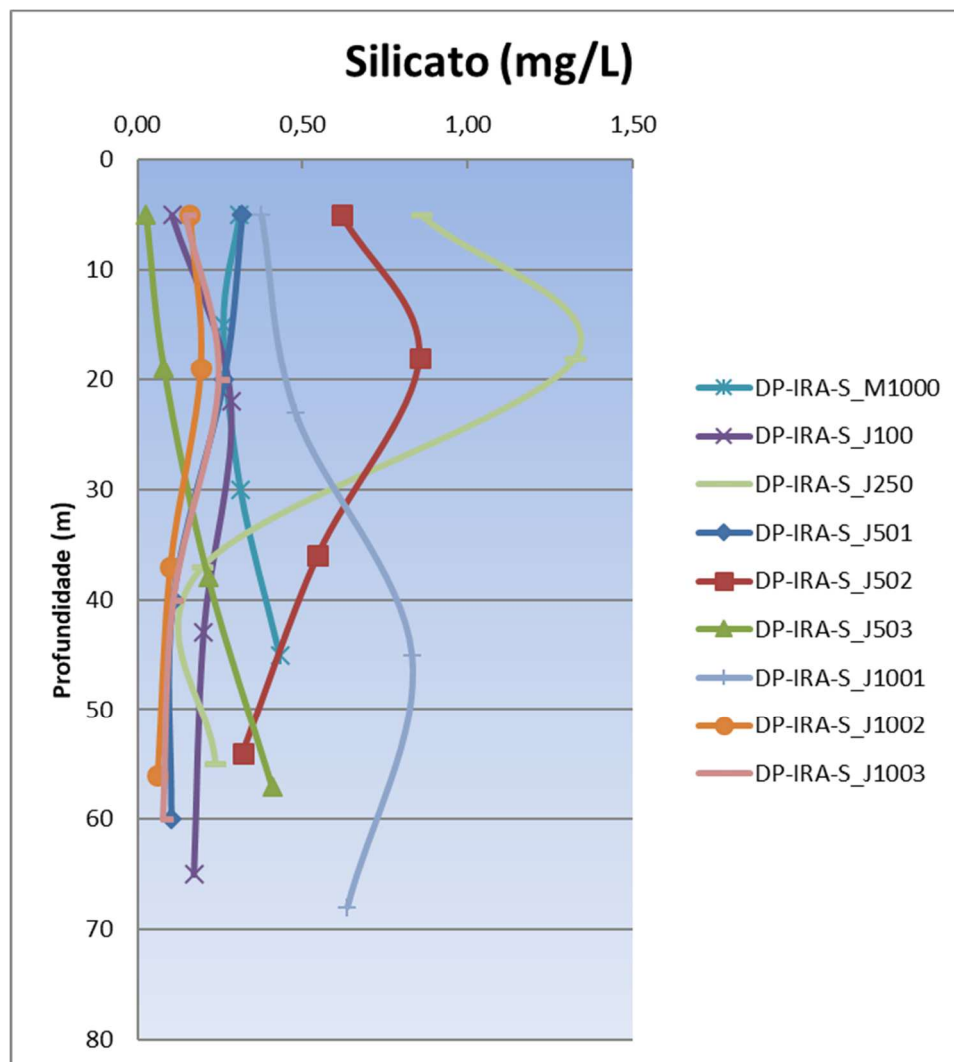


Figura V-17 – Perfis das concentrações de silicato obtidos na DP-IRA-S_C9.

Os valores máximos de silicato total encontrados nas amostras da oitava campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foram superiores aos valores encontrados nas demais campanhas, exceto na ACTC (onde C9 foi superior), assim como os valores médios (Figura V-8).

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades, foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das nove campanhas, para todas as profundidades consideradas. Em todos os estratos, a segunda diferiu da quarta e quinta campanha e ainda na superfície a segunda diferiu da terceira. Na superfície e na ABTC, a primeira e a oitava campanha

diferiram da segunda, sexta e sétima. Na ACTC, a primeira e oitava campanha diferiram da segunda e sexta e a nona campanha diferiu da segunda, da terceira, sexta e sétima (Tukey, $p < 0,05$). Na TC, a primeira e nona campanhas diferiram da segunda e sexta, e a oitava campanha diferiu da segunda, terceira, sexta e sétima (Tukey, $p < 0,05$). Por fim, na ABTC, a nona diferiu da segunda, sexta e sétima campanha (Tukey, $p < 0,05$).

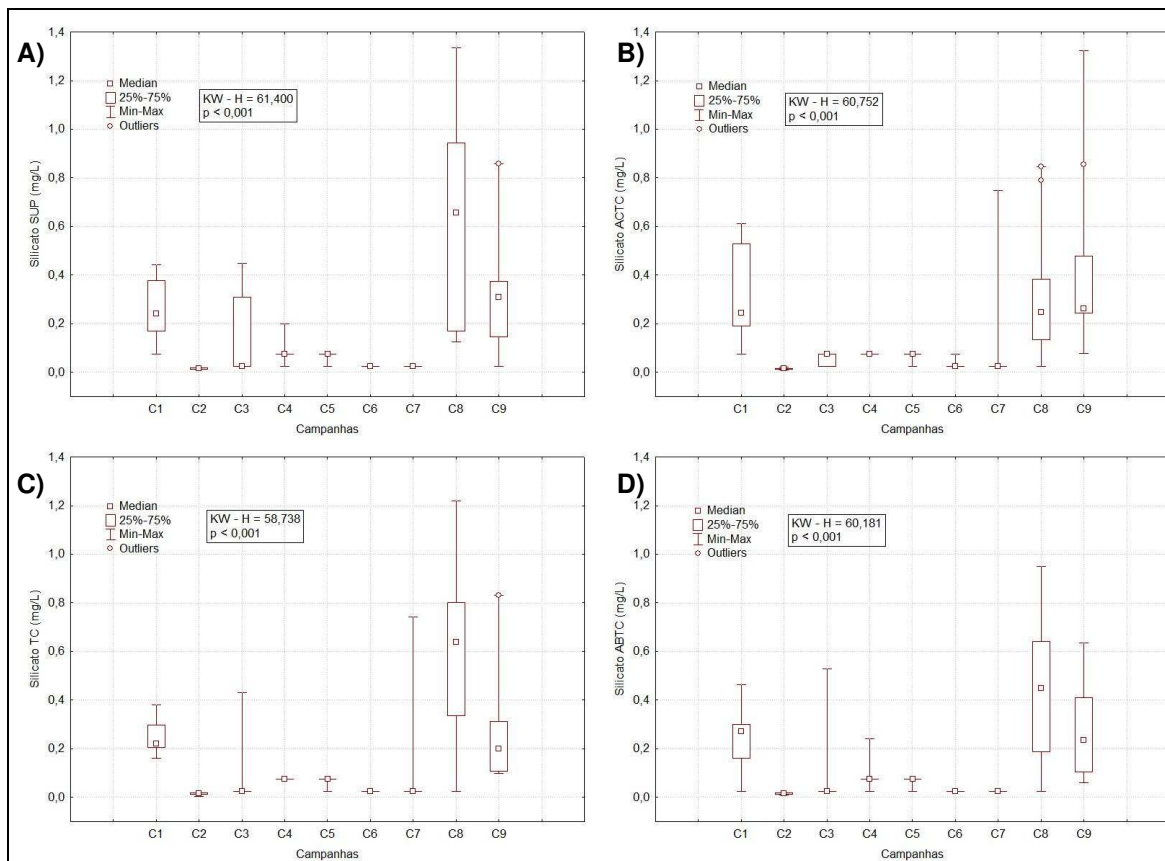


Figura V-18 – Concentrações de silicato total (mg/L) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

É importante ressaltar que houve diferença nos limites de detecção empregados nas nove campanhas (0,05 mg/L para a primeira, terceira, quarta, quinta e sexta campanha, 0,001 mg/L para a segunda campanha e 0,02 mg/L para a sétima, oitava e nona campanha), além da troca de laboratórios ocorrida entre a primeira e segunda campanha, entre a segunda e terceira campanha e entre a sexta e sétima campanha, que utilizaram diferentes métodos de análise (SMEWW 4500 na C1, C3, C4, C5, C7, C8 e C9 e MAOQ – FURG (1996) na C2). Assim, é

possível que as diferenças verificadas decorram, ao menos em parte, das mudanças analíticas relatadas.

Os ortofosfatos são biodisponíveis e, uma vez assimilados, são convertidos em fosfato orgânico e em fosfato condensado. Após a morte de um organismo, os fosfatos condensados são liberados na água. Entretanto, eles não estão disponíveis para absorção biológica até que sejam hidrolisados para ortofosfatos por bactérias (CETESB, 2008). Conforme o PCR-BS (Petrobras, 2022) há fontes potenciais de fosfato na área costeira da Bacia de Santos, sob a influência da pluma do rio da Prata, e em alguns pontos na plataforma média ou na plataforma interna, ao largo das baías da Ilha Grande e Sepetiba e no Sudoeste onde os sistemas estuarino-lagunares, da Lagoa dos Patos, Baía de São Francisco, Paranaguá e Cananéia e Iguape. No restante da bacia as concentrações dos macronutrientes foram limitantes principalmente na área oceânica oligotrófica.

Na DP-IRA-S_C9, não foram quantificadas concentrações de fósforo total em nenhuma das amostras (LQ = 0,005 mg/L P). Conforme a resolução CONAMA nº 357/05, para águas salinas classe 1, o valor máximo para o parâmetro fósforo total é de 0,062 mg/L P, o qual não foi excedido em nenhuma amostra da presente campanha.

A Figura V-19 apresenta concentrações de fósforo total obtidas em estudos anteriores na BS. Através desta, é possível verificar que as concentrações de fósforo total verificadas anteriormente em campanhas de monitoramento realizadas na região do Polo Pré-Sal variaram entre não detectado, mínimo detectado de 0,0067 mg/L P e máximo de 0,4095 mg/L P. Já Petrobras/AnalyticalSolutions (2002) encontraram concentrações de fósforo total na BS variando entre não detectado e 0,0032 mg/L P.

Os valores de fósforo total encontrados nas amostras da quarta campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foram superiores aos valores encontrados nas demais campanhas (Figura V-).

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades, foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das oito campanhas. Em todas as camadas a quarta campanha diferiu da quinta, sexta, sétima, oitava e nona e apenas na TC também difere da terceira. Na superfície, a segunda campanha diferiu da quinta, da sexta, da sétima, da oitava e da nona

(Tukey, $p < 0,05$). É importante ressaltar que houve diferença nos limites de detecção empregados nas oito campanhas (0,005 mg/L P para a primeira, terceira, quarta, quinta e sexta campanha e 0,002 mg/L P para a segunda, sétima, oitava e nona campanha), além da troca de laboratórios ocorrida entre a primeira e segunda campanha, entre a segunda e terceira campanha e entre a sexta e sétima campanha, que utilizaram diferentes métodos de análise (SMEWW 4500 na C1, C3, C4, C5, C6, C7, C8 e C9 e EPA 356.2 (1983) na C2).

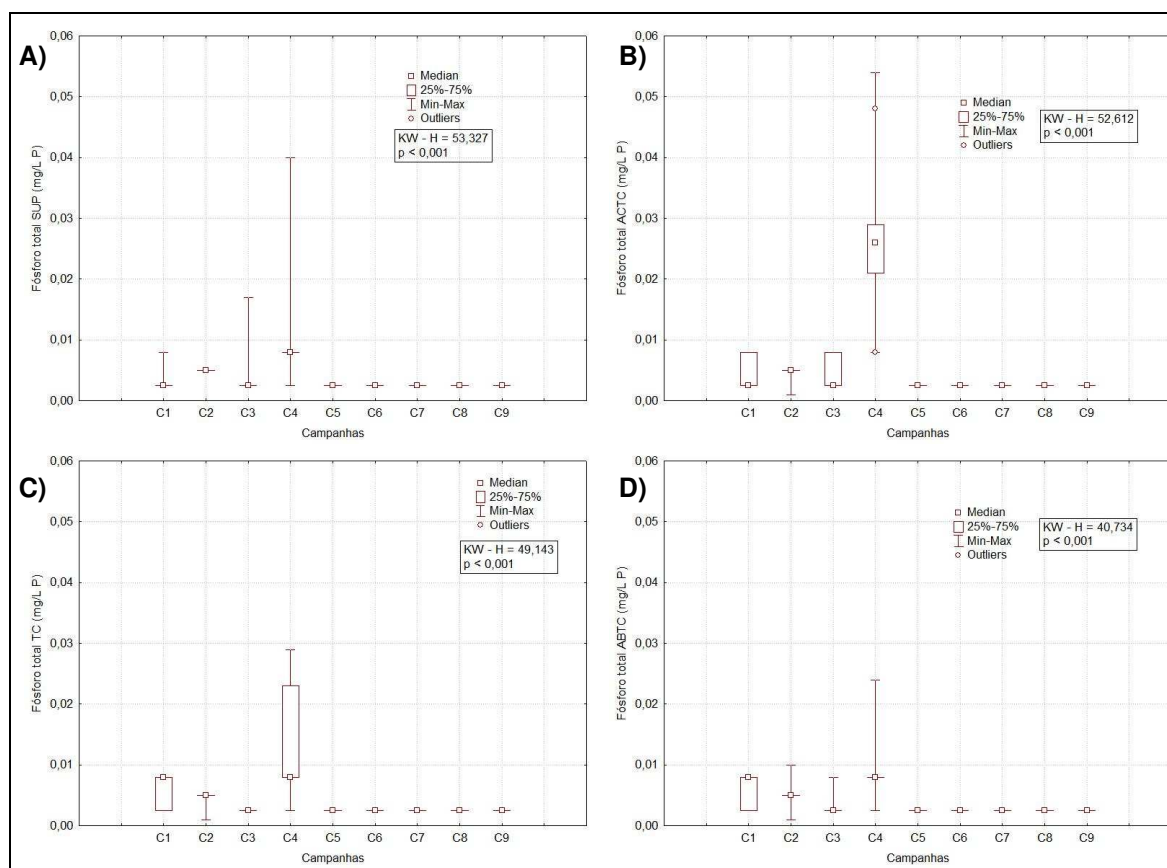


Figura V-19 – Concentrações de fósforo total (mg/L P) observadas ao longo do DP-IRA-S.
A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

V.1.6 - Material Particulado em Suspensão (MPS) e Carbono Orgânico Total (COT)

O material particulado em suspensão (MPS) diminui a transparência da água, podendo reduzir a produção primária fotossintética. Em regiões oceânicas, as

concentrações de MPS na superfície estão geralmente entre 0,5 e 1 mg/L. Tais concentrações, principalmente em regiões não muito afastadas da costa, estão sujeitas a variações, como variações sazonais, biológicas, aportes terrígenos e tempestades.

As concentrações de MPS na campanha atual variaram entre não quantificado (LQ = 0,1 mg/L), na superfície da estação DP-IRA-S_J250, a 18,84 mg/L, na camada acima da termoclina da estação DP-IRA-S_J100 (Tabela V-12). Entre as diferentes profundidades, a maior concentração média de MPS esteve associada à camada ABTC, média = $4,65 \pm 5,49$ mg/L, enquanto a menor concentração média esteve associadas à camada ACTC, média = $3,60 \pm 5,88$ mg/L).

Tabela V-12 – Concentração de MPS (mg/L) da DP-IRA-S_C9.

Estrato	Estações									Média	DP
	DP-IRA-S_M1000	DP-IRA-S_J100	DP-IRA-S_J250	DP-IRA-S_J501	DP-IRA-S_J502	DP-IRA-S_J503	DP-IRA-S_J1001	DP-IRA-S_J1002	DP-IRA-S_J1003		
SUP	1,84	16,56	<0,1	1,38	1,20	0,44	2,48	8,68	1,26	3,77	5,44
ACTC	0,78	18,84	0,98	0,90	1,06	0,96	4,56	3,56	0,72	3,60	5,88
TC	1,62	4,04	0,96	6,88	0,72	1,56	18,68	4,66	0,94	4,45	5,74
ABTC	1,18	2,94	1,48	6,48	1,36	1,48	17,52	8,30	1,08	4,65	5,49
Máx.	1,84	18,84	1,48	6,88	1,36	1,56	18,68	8,68	1,26		
Mín.	0,78	2,94	<0,1	0,90	0,72	0,44	2,48	3,56	0,72		
Média	1,36	10,60	0,87	3,91	1,09	1,11	10,81	6,30	1,00		
DP	0,47	8,27	0,60	3,21	0,27	0,52	8,47	2,57	0,23		

Legenda: SUP: Superior; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

Os perfis verticais de distribuição das concentrações de MPS na coluna d'água das estações da DP-IRA-S_C9 são mostrados na Figura V-20. Através deles, é possível observar um padrão de distribuição das concentrações de MPS, com valores semelhantes entre a maioria das estações ao longo das camadas de profundidade, contudo, destacam-se as estações DP-IRA-S_J100 com o maior valor da em SUP que tende a diminuir para as camadas inferiores e DP-IRA-S_J1001, que mostra padrão inverso aumentando de SUP para TC.

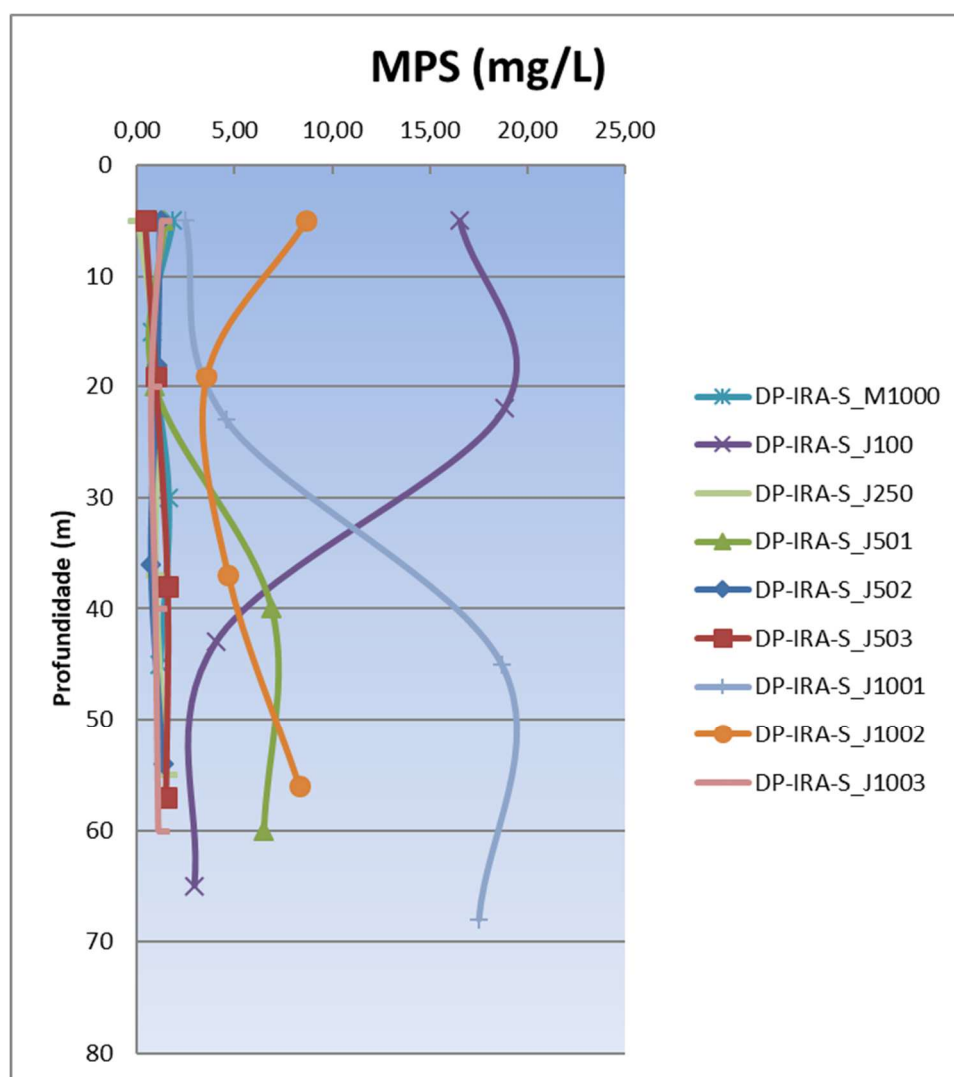


Figura V-20 – Perfis das concentrações de MPS obtidos na DP-IRA-S_C9.

Na Tabela V-13, são apresentados os valores mínimo e máximo de MPS encontrados nas campanhas realizadas na região em data anterior a atual campanha, nas quais é possível verificar concentrações variando de não

detectadas, mínimo quantificado de 0,14 mg/L e concentração máxima de 30,73 mg/L. Em comparação ao PCR-BS (Petrobras, 2022), a variação dos valores de MPS na Bacia de Santos ocorreram entre <0,1 e 19,4 mg/L na zona epipelágica, durante o inverno de 2019 e entre <0,1 e 21mg/L, durante o verão de 2021-2022. Os resultados da DP-IRA-S_C9 encontram-se dentro da faixa de variação em relação às campanhas realizadas anteriormente na região.

Tabela V-13 - Valores de MPS (mg/L) encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse. nd = não detectado e nq = não quantificado.

Campanha	MPS (mg/L)	
	Mín.	Máx.
PIL-LL_C1 ¹	0,14 (SUP)	2,40 (ACTC)
PIL-LL_C2 ²	0,58 (TC)	3,68 (ABTC)
PIL-LL_C3 ³	nd (SUP/ABTC)	3,88 (ABTC)
PIL-LL_C4 ⁴	3,00 (ACTC)	7,00 (ACTC)
PIL-LL_C5 ⁵	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	5,00 (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C6 ⁶	1,40 (SUP/ACTC)	6,90 (ACTC)
PIL-LL_C7 ⁷	0,25 (ABTC)	8,55 (TC)
PIL-LL_C8 ⁸	n.d. (ABTC)	6,62 (SUP)
PIL-LL_C9 ⁹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,60 (TC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	3,90 (ABTC)	6,65 (ABTC)
PIL-LL_C11 ¹¹	2,65 (ACTC)	7,48 (ABTC)
PIL-LL_C12 ¹²	0,20 (ABTC)	6,65 (SUP)
PIL-LL_C13 ¹³	0,63 (SUP)	19,83 (ABTC)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	5,00 (SUP/ACTC/TC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	nd (ABTC)	4,60 (SUP)
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	1,74 (SUP)	7,53 (ACTC)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	6,95 (SUP/TC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	n.q. (ACTC/TC)	3,45 (ACTC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	1,08 (SUP)	8,20 (ACTC)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	2,00 (ABTC)	7,75 (SUP)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	0,05 (SUP)	8,00 (TC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	0,65 (TC)	21,83 (TC)
PIL-SAP_C1 ²³	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	5,50 (TC)
PIL-SAP_C2 ²⁴	1,40 (ABTC)	5,30 (ACTC)
PIL-SAP_C3 ²⁵	0,46 (SUP)	7,51 (SUP)
PIL-SAP_C4 ²⁶	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	6,92 (ABTC)
PIL-SAP_C5 ²⁷	n.q. (SUP/TC)	4,03 (TC)
PIL-SAP_C6 ²⁸	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	10,43 (ACTC)
PIL-SAP_C7 ²⁹	2,10 (SUP)	8,45 (TC)
PIL-SAP_C8 ³⁰	n.q. (ABTC)	9,73 (ACTC)

Campanha	MPS (mg/L)	
	Mín.	Máx.
PIL-SAP_C9 ³¹	7,13 (SUP)	23,25 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 ³²	nd (SUP/TC/ABTC)	4,40 (ABTC)
DP-IRA-S_C2 ³³	n.q. (SUP/ACTC)	9,67 (TC)
DP-IRA-S_C3 ³⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	6,55 (ACTC)
DP-IRA-S_C4 ³⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	4,88 (TC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 ³⁶	1,75 (ACTC)	6,95 (SUP)
DP-IRA-S_C6 ³⁷	1,55 (SUP)	7,83 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁸	0,50 (SUP)	13,58 (SUP)
DP-IRA-S_C8 ³⁹	13,93 (TC)	30,73 (ABTC)

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2021b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 23 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 26 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 29 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 30 = Petrobras/Bioconsult (2021a); 31 = Petrobras/Bioconsult (2022d); 32 = Petrobras/Bourscheid (2016c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 34 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 35 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 37 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 38 = Petrobras/Bioconsult (2021c); 39 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Os valores médios e máximos de MPS encontrados nas amostras da oitava campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foram maiores em relação às demais campanhas (Figura V-17).

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os dados das nove campanhas. Na SUP, TC e ABTC a oitava campanha diferiu da primeira, segunda, terceira, quarta e nona (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC, a oitava campanha diferiu da primeira, terceira, quarta e nona (Tukey, $p < 0,05$). É possível que parte dessas diferenças encontradas estejam relacionadas com os diferentes métodos de análise empregados em cada uma das nove campanhas (SMEWW 2540 B/C na C1, C7, C8 e C9, MAOQ-FURG (2006) na C2 e SMEWW 2540 D na C3, C4, C5 e C6) e com as trocas de laboratório ocorridas entre a primeira e segunda campanha, entre a segunda e terceira e entre a sexta e sétima campanha.

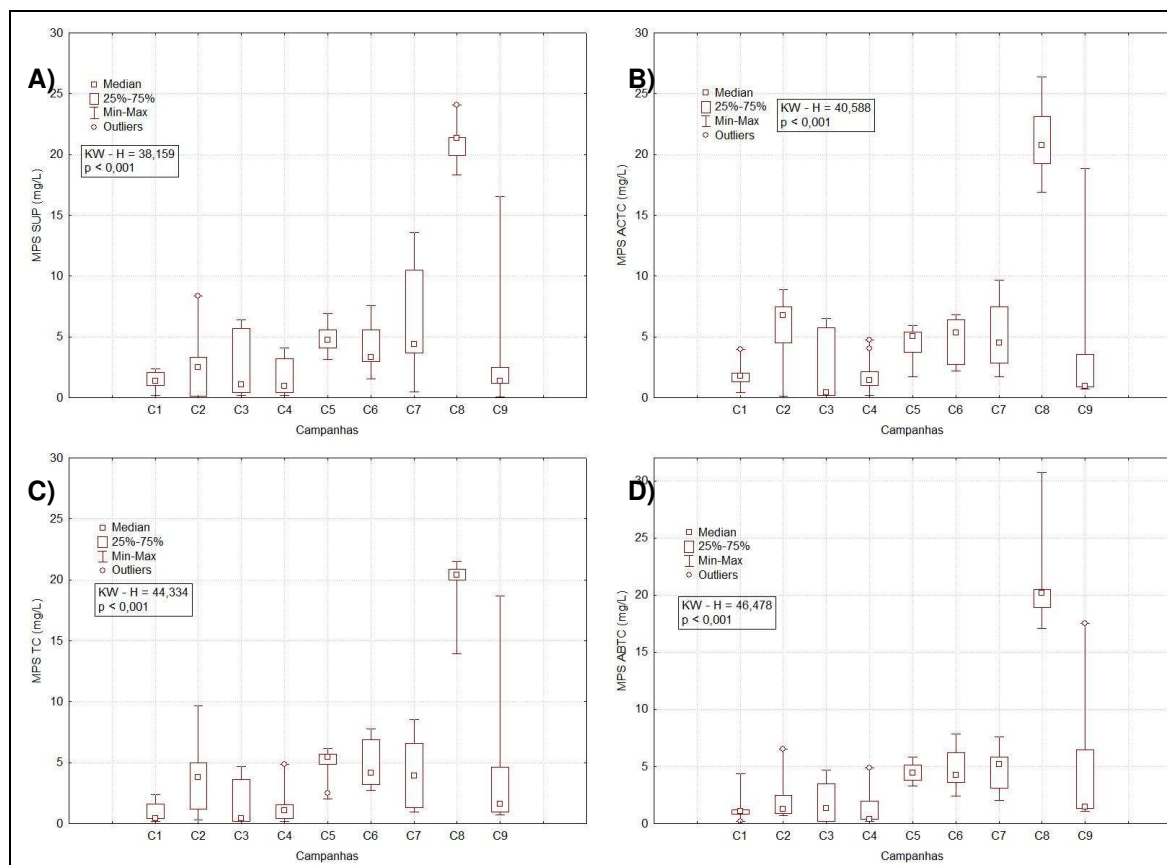


Figura V-21 – Concentrações de MPS (mg/L) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

O principal agente responsável na produção de carbono orgânico (CO) anualmente nos oceanos, em escala global, é a produção primária fitoplanctônica, produzindo aproximadamente 2×10^{16} g de C (CHESTER, 2003; MILLERO, 2002). Outro fato interessante é que cerca de 80% dessa produção ocorre em mar aberto e cerca de 20% em regiões costeiras (CHESTER, 2003). Contudo, as margens continentais são apontadas como os principais reservatórios de CO no ambiente marinho, recebendo um aporte de aproximadamente $1,3 \times 10^{14}$ g de CO por ano, levando-se em conta nessa estimativa material tanto de origem terrestre quanto marinha (PRAHL *et al.*, 1994).

Ao longo das estações, o carbono orgânico total (COT) variou entre 0,92mg/LC, na sup da estação DP-IRA-S_J51001, a 1,40 mg/L C, na camada ACTC da estação DP-IRA-S_M1000 (Tabela V-14). Entre as diferentes profundidades, a maior concentração média de COT esteve associada à camada acima da termoclina (ABTC, média = $1,17 \pm 0,15$ mg/L C), enquanto a menor concentração média esteve

associada à termoclina (TC, média = $1,10 \pm 0,06$ mg/L C). Conforme a resolução CONAMA nº 357/05, para águas salinas classe 1, o valor máximo para o parâmetro COT é de 3,0 mg/L C, o qual não foi excedido em nenhuma amostra da presente campanha.

Tabela V-14 – Concentração de COT (mg/L C) da DP-IRA-S_C9.

Estrat o	Estações									Médi a	DP
	DP-IRA- S_M100 0	DP- IRA- S_J10 0	DP- IRA- S_J25 0	DP- IRA- S_J50 1	DP- IRA- S_J50 2	DP- IRA- S_J50 3	DP-IRA- S_J100 1	DP-IRA- S_J100 2	DP-IRA- S_J100 3		
SUP	1,23	1,31	1,01	1,20	1,22	1,02	0,92	1,18	0,98	1,12	0,1 4
ACTC	1,40	1,14	1,34	1,10	0,95	1,03	1,12	1,32	1,12	1,17	0,1 5
TC	1,13	1,03	1,13	1,01	1,17	1,06	1,08	1,17	1,13	1,10	0,0 6
ABTC	1,08	1,32	1,18	1,09	1,17	1,05	1,07	1,34	1,03	1,15	0,1 2
Máx.	1,40	1,32	1,34	1,20	1,22	1,06	1,12	1,34	1,13		
Mín.	1,08	1,03	1,01	1,01	0,95	1,02	0,92	1,17	0,98		
Média	1,21	1,20	1,16	1,10	1,13	1,04	1,05	1,25	1,06		
DP	0,14	0,14	0,14	0,08	0,12	0,02	0,09	0,09	0,07		

Legenda: SUP: Superior; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina

Na água produzida pelo FPSO CMB, a concentração de COT observada para o 1º semestre de 2023 foi de 369,00 mg/L C. Considerando as maiores concentrações encontradas na água produzida em relação a água do corpo receptor, era de se esperar que sua interação com a água do entorno aumentasse os valores de COT no alinhamento central das estações à jusante da plataforma (DP-IRA-S_J100, DP-IRA-S_J250 e DP-IRA-S_J502), em relação a estação imediatamente anterior, o que foi verificado na SUP e ABTC da estação DP-IRA-S_J100, na ACTC e TC da estação DP-IRA-S_J250 e na SUP, TC e ABTC da estação DP-IRA-S_J502. No entanto, algumas das variações foram inferiores aos valores de desvio padrão e todos os resultados obtidos são característicos de águas oceânicas oligotróficas e encontram-se enquadrados conforme legislação aplicável. Também cabe ressaltar que o maior valor para o parâmetro foi encontrado na amostra DP-IRA-S_M1000_SUP (1,44 mg/L C).

Os perfis verticais de distribuição das concentrações de COT na coluna d'água das estações da atual campanha de monitoramento são mostrados na Figura V-22. Através deles, observa-se o padrão geral de valores próximos entre as camadas de profundidade, uma vez que foram encontradas concentrações semelhantes entre as estações e profundidades, variando entre 0,92 a 1,40 mg/L C.

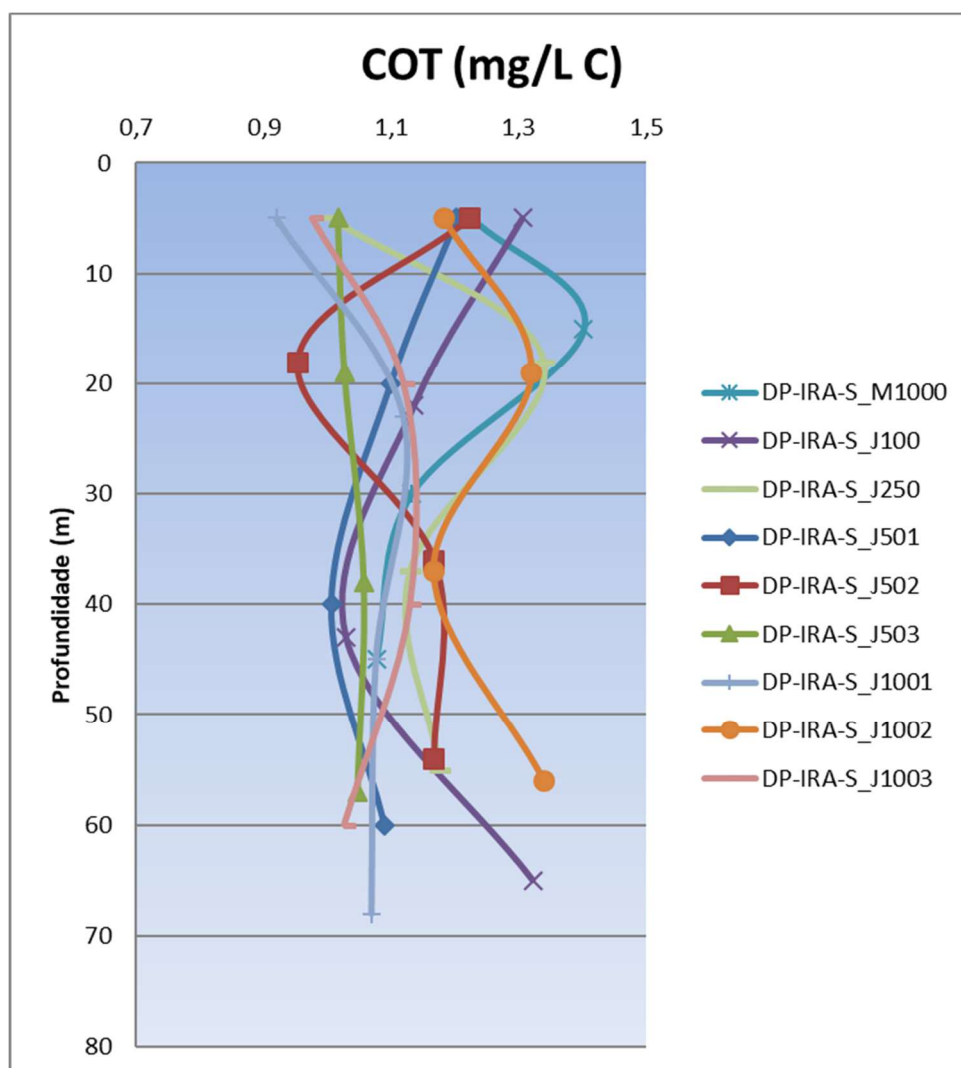


Figura V-22 – Perfis das concentrações de COT obtidos na DP-IRA-S_C9.

Na Tabela V-15, são apresentados os valores mínimo e máximo de COT, encontrados nas campanhas realizadas na região em data anterior a atual campanha. De maneira geral, as concentrações encontradas na atual campanha de monitoramento estão dentro da faixa de variação verificada em outros estudos realizados na região.

Tabela V-15 - Valores de COT (mg/L C) encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.

Campanha	COT (mg/L C)	
	Min	Máx
PIL-LL_C1 ¹	0,96 (TC/ABTC)	1,14 (SUP)
PIL-LL_C2 ²	1,30 (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,20 (ACTC/ABTC)
PIL-LL_C3 ³	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C4 ⁴	1,11 (ACTC)	2,20 (TC)
PIL-LL_C5 ⁵	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,90 (ACTC)
PIL-LL_C6 ⁶	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,48 (ACTC)
PIL-LL_C7* ⁷	-	-
PIL-LL_C8 ⁸	1,25 (TC)	2,26 (ACTC)
PIL-LL_C9 ⁹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,12 (TC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,35 (SUP)
PIL-LL_C11 ¹¹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,37 (ACTC)
PIL-LL_C12 ¹²	1,50 (SUP)	4,28 (TC)
PIL-LL_C13 ¹³	1,00 (ABTC)	2,02 (SUP)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,70 (TC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	n.q. (SUP)	1,69 (TC)
PIL-LL-NE_C3* ¹⁶	-	-
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,56 (SUP/ABTC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	n.d. (TC/ABTC)	1,47 (SUP)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	1,07 (SUP)	1,83 (ABTC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	1,20 (ABTC)	1,99 (ABTC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	0,60 (ABTC)	1,06 (TC)
PIL-SAP_C1 ²³	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,20 (TC)
PIL-SAP_C2 ²⁴	1,02 (TC)	1,65 (TC)
PIL-SAP_C3 * ²⁵	-	-
PIL-SAP_C4 ²⁶	1,00 (ABTC)	1,65 (ABTC)
PIL-SAP_C5 ²⁷	n.q. (SUP/ACTC/TC)	2,02 (TC)
PIL-SAP_C6 ²⁸	n.q. (SUP/ACTC/ABTC)	2,34 (SUP)
PIL-SAP_C7 ²⁹	n.q. (SUP/TC/ABTC)	2,76 (ACTC)
PIL-SAP_C8 ³⁰	0,90 (SUP)	1,46 (ABTC)
PIL-SAP_C9 ³¹	1,24 (SUP)	2,32 (TC)
DP-IRA-S_C1 ³²	n.q. (ACTC/TC/ABTC)	2,00 (SUP)
DP-IRA-S_C2* ³³	-	-
DP-IRA-S_C3 ³⁴	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,00 (TC)
DP-IRA-S_C4 ³⁵	n.d. (SUP/ACTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 ³⁶	n.q. (ACTC/TC/ABTC)	1,48 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁷	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,81 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁸	1,26 (ACTC)	1,64 (ABTC)
DP-IRA-S_C8 ³⁹	1,08 (TC)	2,50 (ABTC)

* Não são apresentados resultados de COT para essas campanhas, pois as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos.

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2021b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 23 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 26 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 29 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 30 = Petrobras/Bioconsult (2021a); 31 = Petrobras/Bioconsult (2022d); 32 = Petrobras/Bourscheid (2016c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 34 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 35 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 37 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 38 = Petrobras/Bioconsult (2021c); 39 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Na Figura V-23, são apresentadas as faixas de concentrações de COT obtidas em cada profundidade durante a primeira, terceira, quarta, quinta, sexta, sétima, oitava e nona campanha de monitoramento. Cabe ressaltar que não são apresentados os resultados obtidos para esse parâmetro durante a segunda campanha, uma vez que as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos. Observa-se que a primeira, a quinta, a sexta e a oitava campanha apresentaram maior amplitude de valores e maiores concentrações.

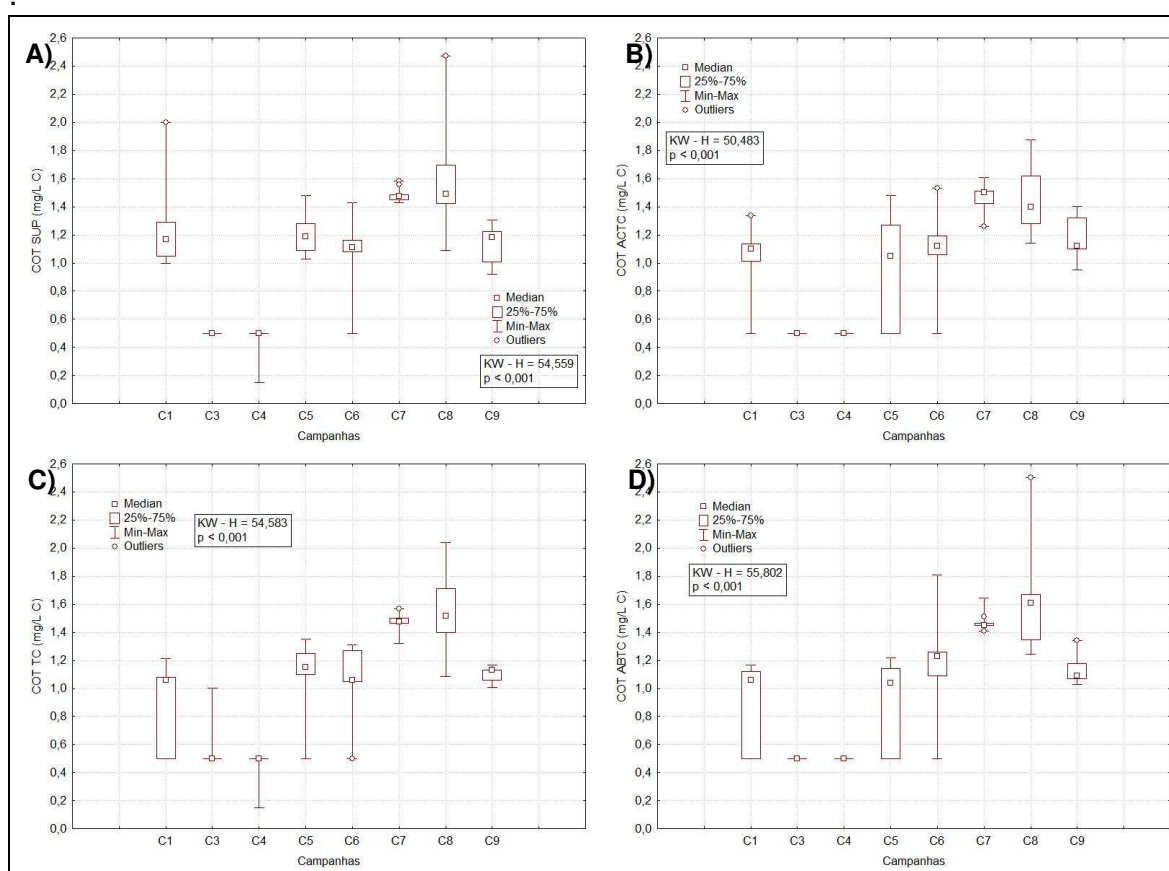


Figura V-23 – Concentrações de COT (mg/L C) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades, foram verificadas diferenças significativas entre as campanhas ($p > 0,05$). Na SUP e na ACTC, a sétima e a oitava campanha diferiram da terceira e da quarta. Na SUP ainda a primeira diferiu da quarta e a quinta diferiu da terceira e da quarta. Na TC, a sétima e a oitava diferiram da primeira, terceira e quarta, e a quinta diferiu da quarta (Tukey, $p < 0,05$). Na ABTC, a sétima e a oitava diferiram da primeira, terceira, quarta e quinta e a sexta diferiu da terceira e da quarta (Tukey, $p < 0,05$). Cabe ressaltar que os métodos utilizados foram iguais, mas os limites de detecção e laboratórios foram diferentes entre as campanhas (LD C1 = 0,5 mg/L C, LD C3, C4, C5 e C6 = 0,3 mg/L C e LD C7, C8 e C9 = 0,10 mg/L C). Houve troca de laboratório entre a primeira e terceira e entre a sexta e sétima campanha

V.1.7 - Sulfetos

Os sulfetos são encontrados amplamente na natureza, provenientes dos campos de petróleo e gás natural, das águas subterrâneas, das zonas pantanosas, das jazidas de sal, de carvão, de minérios sulfetados e da emissão de vulcões (MAINIER & VIOLA, 2005), ou seja, são originários de processos geológicos baseados em diversos mecanismos físico-químicos ou microbiológicos.

O oxigênio dissolvido na água do mar é utilizado por bactérias para oxidar a matéria orgânica transformando-a em CO_2 , água e íons inorgânicos. Em águas profundas de bacias estagnadas e em áreas marinhas onde a troca de água é muito lenta ou há alta carga de matéria orgânica, todo o oxigênio é utilizado no processo de oxidação. Nesse tipo de águas anóxicas, forma-se o sulfeto, através da redução de íons sulfato por bactérias redutoras (FONSELIUS, 1983).

Os sulfetos podem originar-se também a partir de atividades industriais, através de processos de remoção química e/ou lavagens de gases ácidos, de sistemas de tratamento de efluentes, de fermentação, de decapagens ácidas, etc. (MAINIER &

VIOLA, 2005), apresentando considerável representatividade em esgotos sanitários e outros.

Em ambientes pelágicos, com alta oxigenação, não é esperada a presença de altos teores de sulfetos. A presença desses compostos nas águas onde há atividade de produção de petróleo pode indicar uma possível contaminação do ambiente por esta atividade, sendo assim, é de grande importância a sua análise em programas de monitoramento das áreas de produção e exploração petrolífera. Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, para águas salinas de classe 1, o valor máximo estabelecido para sulfetos é de 0,002 mg/L S.

Nesta campanha de monitoramento, as concentrações de sulfetos não foram quantificadas (LQ = 0,002 mg/L S) em nenhuma das amostras. Todos os resultados estiveram abaixo das especificações da CONAMA.

Na Tabela V-16, são apresentados os valores mínimo e máximo de sulfetos, encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Assim como ocorreu na DP-IRA-S_C9, baixos teores de sulfetos são esperados para ambientes pelágicos, conforme os resultados obtidos na maioria das campanhas. Dentre os 5 estudos realizados na região, todos apresentaram ao menos uma amostra com presença de sulfeto, identificados em diferentes profundidades, totalizando nove campanhas identificadas com concentrações de sulfetos acima do limite de quantificação.

Tabela V-16 - Valores de sulfetos (mg/L S) encontrados na água em estudos anteriores na região de interesse. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.

Campanha	Sulfetos (mg/L S)	
	Min	Máx
PIL-LL C1 ¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL C2 ²	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,2160 (TC)
PIL-LL C3 ³	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL C4 ⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL C5 ⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL C6 ⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL C7 ⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL C8 ⁸	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,0290 (ABTC)
PIL-LL C9 ⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC)
PIL-LL C10 ¹⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL C11 ¹¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL C12 ¹²	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL C13 ¹³	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE C1 ¹⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE C2 ¹⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE C3 ¹⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE C4 ¹⁷	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,0200 (ACTC)
PIL-LL-NE C5 ¹⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,049 (ACTC)
PIL-LL-NE C6 ¹⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE C7 ²⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE C8 ²¹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE C9 ²²	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP C1 ²³	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP C2 ²⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP C3 ²⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP C4 ²⁶	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,0360 (ABTC)
PIL-SAP C5 ²⁷	n.d. (SUP/TC)	0,020 (SUP)
PIL-SAP C6 ²⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/ABTC)
PIL-SAP C7 ²⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP C8 ³⁰	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP C8 ³¹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S C1 ³²	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S C2* ³³	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S C3 ³⁴	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,0170 (SUP/ABTC)
DP-IRA-S C4 ³⁵	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,030 (SUP)
DP-IRA-S C5 ³⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S C6 ³⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S C7 ³⁸	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S C8 ³⁹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
Bloco BM-S-11 ⁴⁰	n.d.	0,0316

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2021b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 23 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 26 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 29 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 30 = Petrobras/Bioconsult (2021a); 31 = Petrobras/Bioconsult (2022d); 32 = Petrobras/Bourscheid (2016c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 34 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 35 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 37 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 38 = Petrobras/Bioconsult (2021c); 39 = Petrobras/Bioconsult (2023); 40 = Petrobras/Habtec (2003).

Na Figura V-24 são apresentadas as faixas de concentrações de sulfetos obtidas em cada profundidade durante as nove campanhas de monitoramento de DP-IRA-S, com resultados quantificados somente em C3 e C4. Observa-se que a quarta campanha apresentou maior amplitude de valores e maiores concentrações máximas, sendo observada ainda uma tendência ao incremento das concentrações até a quarta campanha.

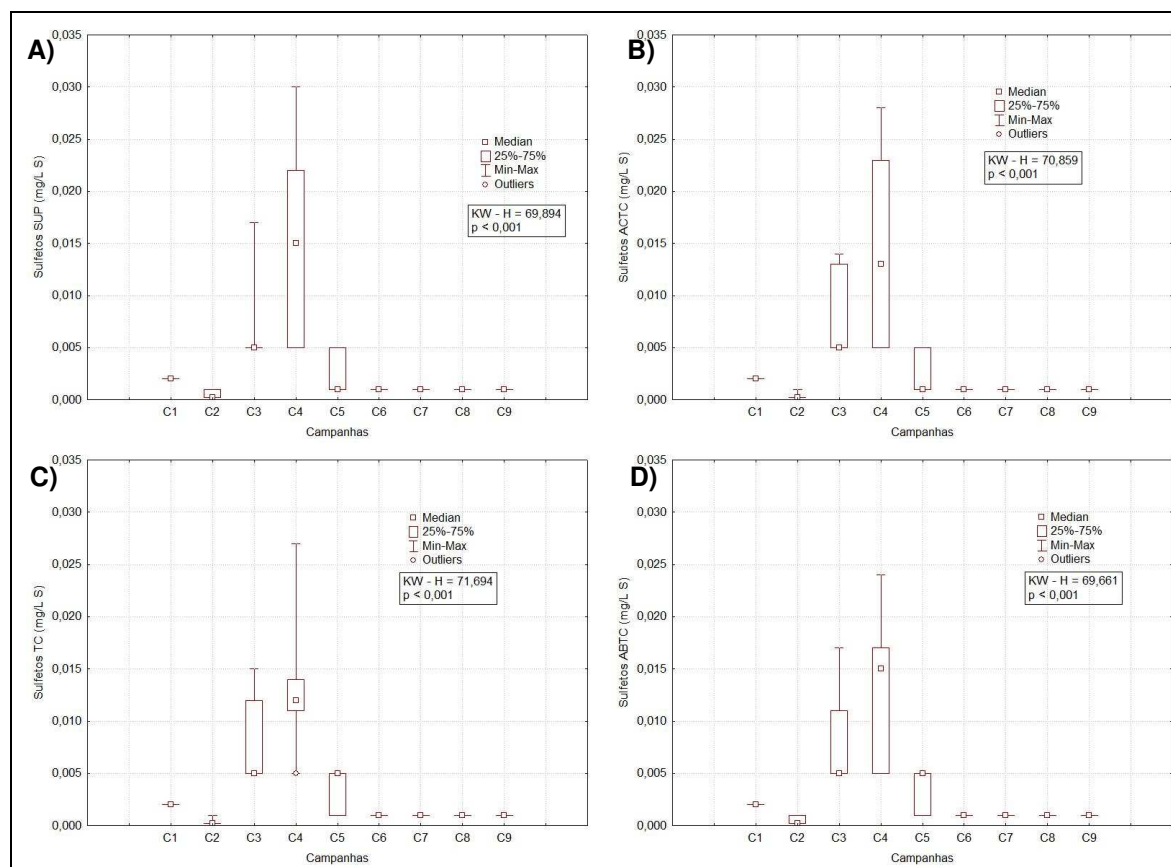


Figura V-24 – Concentrações de sulfetos (mg/L S) observadas ao longo do DP-IRA-S. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades, foram verificadas diferenças significativas ($p > 0,05$) para todos os estratos. Entre todas as camadas de profundidade a primeira campanha diferiu da segunda, e a quarta campanha diferiu da segunda, da sexta, da sétima, da oitava e da nona (Tukey, $p < 0,05$). Cabe ressaltar que o método empregado foi igual ao longo das campanhas, mas houve alteração de limites de quantificação e detecção (LQ C1, C3, C4, C5 e C6 = 0,01 mg/L, LQ C2, C7e C8 = 0,002, LD C1 = 0,004 mg/L,

LD C2 = 0,0005 mg/L, LD C3, C4, C5 e C6 = 0,002 mg/L e LD C7, C8 e C9 = 0,001 mg/L) e mudanças de laboratório entre a primeira e segunda campanha, entre a segunda e terceira campanha, e entre a sexta e sétima campanha.

V.1.8 - Fenóis

Os fenóis e seus derivados aparecem nas águas naturais através das descargas de efluentes industriais. São compostos pouco solúveis ou insolúveis em água, ligeiramente ácidos, obtidos principalmente através de extração de óleos. Os fenóis são tóxicos ao homem, aos organismos aquáticos, e aos microrganismos que tomam parte dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes industriais. Segundo informações da CETESB (2008), indústrias de processamento de borracha, colas, adesivos, resinas impregnantes, componentes elétricos (plásticos) e siderúrgicas, entre outras, são responsáveis pela presença de fenóis nas águas naturais.

Para as águas salinas de Classe 1, a Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece como limite máximo o valor de 60 µg/L. Na DP-IRA-S_C9, não foram quantificados teores de fenóis em nenhuma das estações amostradas, sendo o limite de quantificação do método de 0,04µg/L.

Importante destacar que a ausência de concentrações detectáveis de fenóis na água é usual para a área de estudo, uma vez que em todas as campanhas de monitoramento ambiental realizadas na região do polo Pré-Sal, em data anterior a atual campanha, não foram encontradas concentrações detectáveis de fenóis (PETROBRAS/ ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2016a, 2016b, 2016c, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021b, 2021c, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2023). Na caracterização do Bloco BM-S-11, foram encontradas concentrações de fenóis variando de não detectado a 0,012 mg/L (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

Na água produzida pelo FPSO CMB, as concentrações de fenóis observadas para o 1º semestre de 2023 foram iguais a 208,97 µg/L. O descarte deste efluente

não resultou em alterações perceptíveis nas estações do entorno no que tange a este parâmetro, uma vez que não foram quantificadas concentrações de fenóis nas amostras de água do mar.

Como também não foram detectadas concentrações de fenóis nas campanhas anteriores deste projeto, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

V.1.9 - Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos presentes no ambiente marinho consistem em misturas complexas de compostos derivados de múltiplas fontes, que incluem não só a contribuição resultante do uso do petróleo como fonte de energia e matéria-prima, mas também a combustão de biomassa, a biossíntese e a transformação diagenética recente de produtos naturais contendo heteroátomos em hidrocarbonetos. Em função de sua solubilidade limitada na água e de sua natureza hidrofóbica, evidenciadas pelos coeficientes de partição octanol-água (K_{ow}) e carbono orgânico-água (K_{oc}), a concentração dos hidrocarbonetos dissolvidos na água é muito baixa (Petrobras, 2022).

O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos formados por átomos de carbono e hidrogênio, além de pequenas quantidades de enxofre, nitrogênio e oxigênio em proporções variáveis. Os hidrocarbonetos de petróleo podem ser agrupados em quatro classes principais, baseadas na composição molecular: aromáticos, n-alcanos, n-alcenos e cicloalcanos (KOLESNIKOVAS *et al.*, 2009).

Os aromáticos são hidrocarbonetos de cadeia benzênica que estão presentes em praticamente todos os tipos de petróleo, embora em pequenas quantidades na maioria deles. São os que apresentam maior toxicidade e biodegradação lenta e estão associados a efeitos crônicos e carcinogênicos.

N-alcanos, também chamados de parafinas ou alifáticos saturados, são hidrocarbonetos de cadeias normais e ramificadas que compreendem a maior fração da maioria dos petróleos. São incolores, relativamente inodoros e pouco reativos. A toxicidade geralmente é baixa e são facilmente biodegradados.

Os n-alcenos (olefinas) são hidrocarbonetos de cadeia aberta, similar aos n-alcanos, diferindo apenas pela presença de ligação dupla entre os átomos de

carbono. Geralmente estão ausentes ou aparecem em pequenas quantidades no petróleo, mas são abundantes em produtos de refino como a gasolina.

Já os cicloalcanos (naftas) são hidrocarbonetos de cadeias fechadas (cíclicas) e saturadas, e que compreendem a segunda maior fração da maioria dos petróleos.

A mistura complexa não resolvida (MCNR) é uma importante feição na fração dos hidrocarbonetos alifáticos. Ela representa uma mistura de centenas de compostos que não pode ser resolvida cromatograficamente, e é composta por isômeros e homólogos de hidrocarbonetos ramificados e cíclicos (BOULOUBASSI & SALIOT, 1993).

A MCNR pode ser unimodal ou bimodal. A primeira, em geral, localiza-se entre $n\text{-C}_{18}$ e $n\text{-C}_{35}$ e está relacionada à presença de resíduos de óleo bruto degradado por micro-organismos (FARRINGTON & TRIPP, 1977; BOULOUBASSI, 1990). Já na bimodal, pode ocorrer uma segunda ondulação entre $n\text{-C}_{16}$ e $n\text{-C}_{22}$ que pode ser atribuída à degradação bacteriana da matéria orgânica (VENKATESAN & KAPLAN, 1982).

Alguns autores utilizam a relação da MCNR com os resolvidos, que são todos os compostos que se encontram na fração alifática e são resolvidos pela coluna capilar, para avaliar a origem da contaminação. Valores de MCNR/Resolvidos maiores que quatro são indicativos de contaminação petrogênica (SIMONEIT & MAZUREK, 1982; SIMONEIT, 1984).

Avaliações de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), n -alcanos e MCNR são comuns em monitoramentos ambientais quando se pretende verificar se há vazamentos de tanques de armazenamento de óleos combustíveis e outros.

Já no que tange à origem destes compostos, existem duas formas de hidrocarbonetos encontrados nos oceanos, os autóctones e os alóctones. Os hidrocarbonetos autóctones são derivados de algas, do zooplâncton ou de bactérias; já os alóctones são provenientes de detritos naturais ou fósseis – produtos de exsudações naturais do fundo oceânico ou poluição. A análise detalhada da distribuição dos hidrocarbonetos em amostras coletadas nas águas e nos sedimentos dos oceanos permite traçar sua origem e diferenciá-los entre as suas duas formas (SHELL/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2004).

V.1.9.1 - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs)

Os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) são uma classe de compostos orgânicos, semi-voláteis, formados por anéis benzênicos ligados de forma linear, angular ou agrupados, contendo na sua estrutura somente carbono e hidrogênio. Dentre o conjunto de compostos HPAs, 16 são indicados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos como sendo poluentes prioritários, devida sua toxicidade, persistência e predominância no meio ambiente. São eles: acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)fluoranteno, benzo(a)pireno, benzo(k)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno e pireno (CETESB, 2008).

A presença de HPAs no ambiente oceânico pode ser decorrente e processos naturais, como por exemplo, exsudações naturais de petróleo, erupções vulcânicas, produção biológica e fumarolas submarinas (NASCIMENTO, 2015). Os hidrocarbonetos podem também ser introduzidos no ambiente a partir de fontes antropogênicas como: vazamentos durante a etapa de exploração e transporte de petróleo, queima de combustíveis fósseis em motores de exaustão a gasolina e a diesel, o alcatrão da fumaça do cigarro, superfície dos alimentos chamuscados ou queimados, fumaça de queima de carvão ou madeira, além de outros processos de combustão parcial em que o carbono ou combustível não são convertidos em CO (óxido de carbono) ou CO₂ (dióxido de carbono) (BAIRD, 2002).

As atividades de exploração e produção de petróleo nos oceanos também podem ocasionar o aumento da liberação de hidrocarbonetos para os oceanos, sendo indispensável o estudo desse parâmetro para o monitoramento ambiental da produção de petróleo.

Nesta campanha de monitoramento não foram quantificadas concentrações de HPAs em nenhuma das estações amostrais pelo método de análise aplicado (LQ = 0,005µg/L). Da mesma maneira, destaca-se a ausência de concentrações detectáveis de HPAs em quase todas as campanhas de monitoramento anteriormente realizadas na região do polo Pré-Sal, que também não observaram concentrações detectáveis (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012b; PETROBRAS/BOUSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e,

2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018c, 2018d, 2018e, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021b, 2021c, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2023), evidenciando-se que não detecções são usuais na região. Na segunda campanha de monitoramento do Piloto de Tupi foram detectadas concentrações em apenas uma única amostra, com concentração de 5,25 µg/L (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012a), na quarta campanha de monitoramento do Piloto de Tupi NE foram encontradas concentrações variando entre não detectado (SUP/ACTC/TC/ABTC) e 0,19 µg/L (ACTC/ABTC) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2018b) e na terceira campanha de monitoramento do DP de Iracema Sul, as concentrações variaram entre não detectado (ACTC/ABTC) e 0,341 µg/L (ABTC) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2018f). No PCR-BS (Petrobras, 2022), 15% das estações amostradas no inverno apresentaram valores acima do limite de quantificação para os 16 compostos de HPA, no verão aumentou para 33,9% o número de estações com quantificações de HPA.

A análise de HPA's na água produzida mostrou concentrações acima do limite de quantificação para os parâmetros: naftaleno (3,16 µg/L), acenaftaleno (0,019 µg/L) antraceno (0,031 µg/L), fenantreno (0,198 µg/L) fluoreno (0,062 µg/L), benzo(a)antraceno (0,008 µg/L) e criseno (0,013 µg/L). Entretanto, devido à ausência de concentrações quantificadas de HPA's nas estações, pode-se inferir que o descarte destes efluentes não resultou em alterações perceptíveis ao meio marinho do entorno, no tange aos parâmetros acima citados.

Como só foram detectadas concentrações de HPAs na terceira campanha, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

V.1.9.2 - Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTPs), N-Alcanos, Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)

Na atual campanha de monitoramento não foram quantificadas concentrações para HTP, n-alcanos e MCNR (LQ = 1,0 µg/L).

Nas campanhas anteriores realizadas na região e entorno, foram encontradas concentrações detectáveis de HTP nas três primeiras campanhas do Piloto de Tupi (PIL-LL), com valores variando desde 0,03 µg/L (SUP) até 174.152,30 µg/L (ABTC) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b) e na primeira e terceira campanha de monitoramento do DP Iracema Sul também foram encontradas concentrações variando entre 126,00 µg/L e 478,00 µg/L (ABTC), e uma única detecção de 1,10 µg/L (ACTC), respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016c, 2018f). No PCR-BS (Petrobras, 2022), a análise de HTP resultou em concentrações superiores ao limite de quantificação para 43,3% e 55,9% das estações do verão e inverno, respectivamente, com valores variando entre <0,025 e 28,73 µg L⁻¹ no inverno e entre <0,025 e 155,23 µg L⁻¹ no verão.

No que tange aos n-alcanos, foram detectadas concentrações na segunda campanha do Piloto de Tupi, com valores entre 1,10 µg/L (ACTC) e 183,08 µg/L (SUP), enquanto na quarta campanha do mesmo projeto somente uma amostra mostrou concentração quantificável de n-alcanos, de 6,8 µg/L (ACTC) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012a; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). Já na primeira campanha de PMAEpro-BS – E1 – DP-IRA-S, as concentrações de n-alcanos variaram entre não detectado e 72,47 µg/L (ABTC) e na C3 as concentrações variaram entre não detectado (LD = 0,2 µg/L) e 1,10 µg/L (ACTC) (PETROBRAS, BOURSCHEID, 2016c, 2018f).

O parâmetro mistura complexa não resolvida (MCNR) apresentou concentrações detectáveis somente na segunda e terceira campanhas do Piloto de Tupi, variando entre não detectado, mínimo detectado de 171 µg/L (ABTC) e máximo de 94.211 µg/L (ABTC) e na primeira campanha PMAEpro-BS – E1 – DP-IRA-S, com valores entre não detectado e 440 µg/L (ABTC) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012a, 2012b, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016b). No PCR-BS (Petrobras, 2022), a análise de MCNR, registrou a presença desse composto em 26,7% das estações no inverno e 42,4% das estações no verão. No inverno e verão, as concentrações variaram entre <0,025 e 19,87 µg/L e <0,025 e 38,14 µg/L, respectivamente.

Os valores de n-alcanos, HTPs e MCNR encontrados nas amostras da DP-IRA-S_C9 considerando cada uma das quatro profundidades, foram inferiores em

relação à primeira e à terceira campanha deste projeto de monitoramento, uma vez que não foram quantificadas concentrações para esses parâmetros nas amostras da atual campanha. Como somente cinco resultados de HTP, n-alcanos e MCNR foram quantificados durante a realização de todo o projeto, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas. É importante ressaltar que foram empregados limites de detecção diferentes entre as campanhas (0,2µg/L na primeira, terceira, quarta, quinta e sexta, sétima, oitava e nona campanha, 0,03 µg/L na segunda campanha, 0,05 µg/L para HTP e n-alcanos e 0,12 µg/L para MCNR na sétima e oitava campanha e 0,2 µg/L para a nona campanha) e houve alteração de laboratório entre a primeira e segunda campanha, entre a segunda e terceira campanha e entre a sexta e sétima campanha.

V.1.10 - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (BTEX)

A gasolina, líquido composto por uma mistura de hidrocarbonetos de petróleo, é comumente representada em avaliações ambientais pelos hidrocarbonetos aromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, conjuntamente denominados BTEX (KOLESNIKOVAS *et al.*, 2009)

A avaliação do BTEX é comum em monitoramentos ambientais quando se pretende verificar se há vazamentos de tanques de armazenamento de óleos combustíveis e outros.

Na DP-IRA-S_C9 não foram quantificadas concentrações acima dos limites de quantificação (LQ = 1,0µg/L) para BTEX. Os valores encontrados foram inferiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05 (benzeno = 700 µg/L; tolueno = 215 µg/L; etilbenzeno = 25 µg/L). As concentrações também foram inferiores ao limite de detecção do método em todas as campanhas de monitoramento ambiental anteriormente realizadas na região do Pré-Sal da BS (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012b, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2016a, 2016b, 2016c, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020D,

PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021b, 2021c, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2023), exceto na segunda campanha do Piloto de Tupi (PIL-LL_C2), na qual foram identificadas concentrações de BTEX de até 1.313,69 µg/L (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012a).

Os resultados obtidos na análise de BTEX na água produzida mostrou concentrações acima do limite de quantificação para os parâmetros benzeno (1.911,40 µg/L), tolueno (1.319,15 µg/L), etilbenzeno (114,10 µg/L), o-xilenos (216,80 µg/L) e m,p-xilenos (494,60 µg/L). Entretanto, devido à ausência de concentrações quantificadas de BTEX nas estações, pode-se inferir que o descarte deste efluente não resultou em alterações perceptíveis ao meio marinho do entorno no que tange aos parâmetros acima citados.

Como também não foram detectadas concentrações de BTEX nas campanhas anteriores deste projeto, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

V.2 - PLÂNCTON

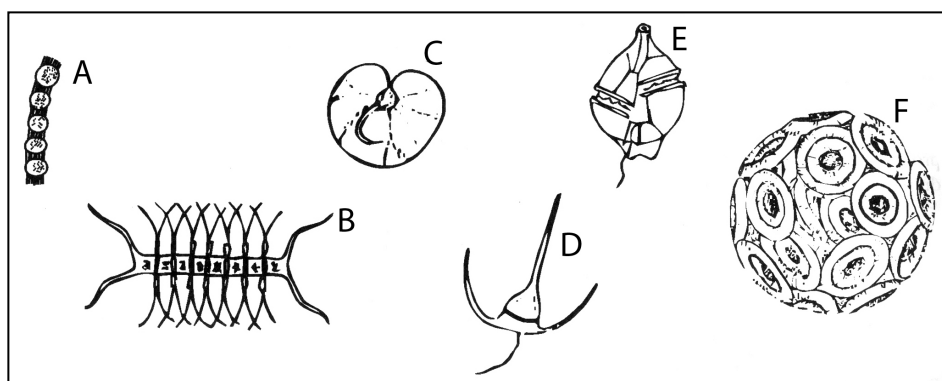
As comunidades planctônicas são formadas por uma grande diversidade de espécies de diminutos organismos uni e multicelulares, autotróficos e heterotróficos, representantes de diversos grupos taxonômicos (NYBAKKEN & BERTNESS, 2005).

A categorização dos organismos planctônicos se baseia em inúmeros critérios como dimensão corpórea, habitat, tempo de residência no domínio planctônico e grupo taxonômico. A classificação do plâncton por grupos taxonômicos insere estes organismos marinhos nas categorias bacterioplâncton (bactérias), viroplâncton (vírus), fitoplâncton (algas e demais organismos unicelulares autotróficos), zooplâncton (metazoários e protistas heterotróficos) e ictioplâncton (ovos e larvas de peixes).

V.2.1 - Fitoplâncton

O fitoplâncton é representado por procariotos e eucariotos, pluricelulares ou unicelulares, que podem ou não formar colônias. No entanto, a grande maioria é unicelular. São microrganismos autotróficos que pertencem a várias classes. Microalgas é um termo genérico, pois este grupo é constituído por diversos organismos nos mais variados tamanhos pertencentes às seguintes classes: Bacillariophyceae (diatomáceas); Dinophyceae (dinoflagelados); Chlorophyceae (clorofíceas); Haptophyceae (cocolitoforídeos); Classe Crysiophyceae (silicoflagelados); Cryptophyceae (criptofíceas) (BONECKER *et al.*, 2009; LALLI & PARSONS, 1995) (Figura V-25).

A comunidade fitoplanctônica possui grande importância nos ecossistemas, pois contribui com aproximadamente 90% da produção orgânica anual dos oceanos, formando a base da teia alimentar marinha (GAETA & BRANDINI, 2006). Portanto, oscilações em sua estrutura podem acarretar modificações em todos os níveis tróficos do ecossistema marinho.



Fonte: Bonecker, Bonecker e Bassani (2009).

Figura V-25– Representação esquemática de alguns gêneros do fitoplâncton. Diatomáceas: (A) *Skeletonema*; (B) *Chaetoceros*; (C) *Pleurosigma*. Dinoflagelados: (D) *Noctiluca*; (E) *Ceratium*. Primnesiófita: (F) *Coccolithus*.

O crescimento das populações fitoplanctônicas possui sazonalidade devido a diferenças na incidência luminosa, além de outras variáveis físico-químicas da água como temperatura, efeitos hidrodinâmicos das correntes, ventos e turbidez. A concentração de nutrientes e as interações ecológicas, tais como herbivoria, parasitismo e competição, também são fatores reguladores do tamanho populacional das espécies de fitoplâncton (SOUZA, 2008). Devido ao seu curto

ciclo de vida e as elevadas taxas de reprodução de suas espécies, a comunidade fitoplanctônica responde rapidamente às alterações do meio aquático, seja por variações no regime meteorológico ou por impactos antropogênicos (GAETA & BRANDINI, 2006). Desta forma, este componente do plâncton é uma útil ferramenta para avaliação e para monitoramento das condições ambientais do meio aquático.

Densidades elevadas de microalgas indicam alta produtividade biológica (centenas de milhares de organismos por litro), sendo mais comumente observadas em áreas costeiras com reflexos geralmente positivos em ambientes naturais. De acordo com Sournia *et al.* (1991), são estimadas cerca de 5.000 espécies que constituem o fitoplâncton, das quais aproximadamente 300 podem ocorrer em grandes densidades na água do mar. No entanto, em certas situações, algumas espécies podem ser nocivas ao produzirem toxinas ou por causar impactos negativos ao ecossistema. Dentre as 5.000 espécies estimadas, aproximadamente 40 produzem toxinas (HALLEGRAEFF, 1995). Essas espécies podem se reproduzir de forma assexuada, por divisão celular, e intensivamente em espaço de tempo relativamente curto, aumentando consideravelmente a sua biomassa e/ou densidade celular, originando as chamadas florações ou *blooms*.

Na comunidade fitoplanctônica, os organismos presentes estabelecem relações intra e interespecíficas complexas, gerando uma intensa competição por espaço e recursos orgânicos e inorgânicos (BRANDINI *et al.*, 1997). A ecologia e composição do fitoplâncton são frequentemente utilizadas como ferramenta em estudos de caracterização de qualidade de água (TUNDISI & TUNDISI, 2008). Isso ocorre devido ao fato de serem organismos indicadores de alterações ambientais, pois a degradação dos ambientes aquáticos pode influenciar na distribuição espacial e temporal dos mesmos (BARBOSA, 2002).

V.2.1.1 - Avaliação da Amostragem

Ao todo, considerando as nove campanhas de monitoramento da fase de operação, foram coletadas 72 amostras de fitoplâncton.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das campanhas contabilizou 148 taxa, com acréscimo de 21 novas taxas durante a C9 (Figura V-).

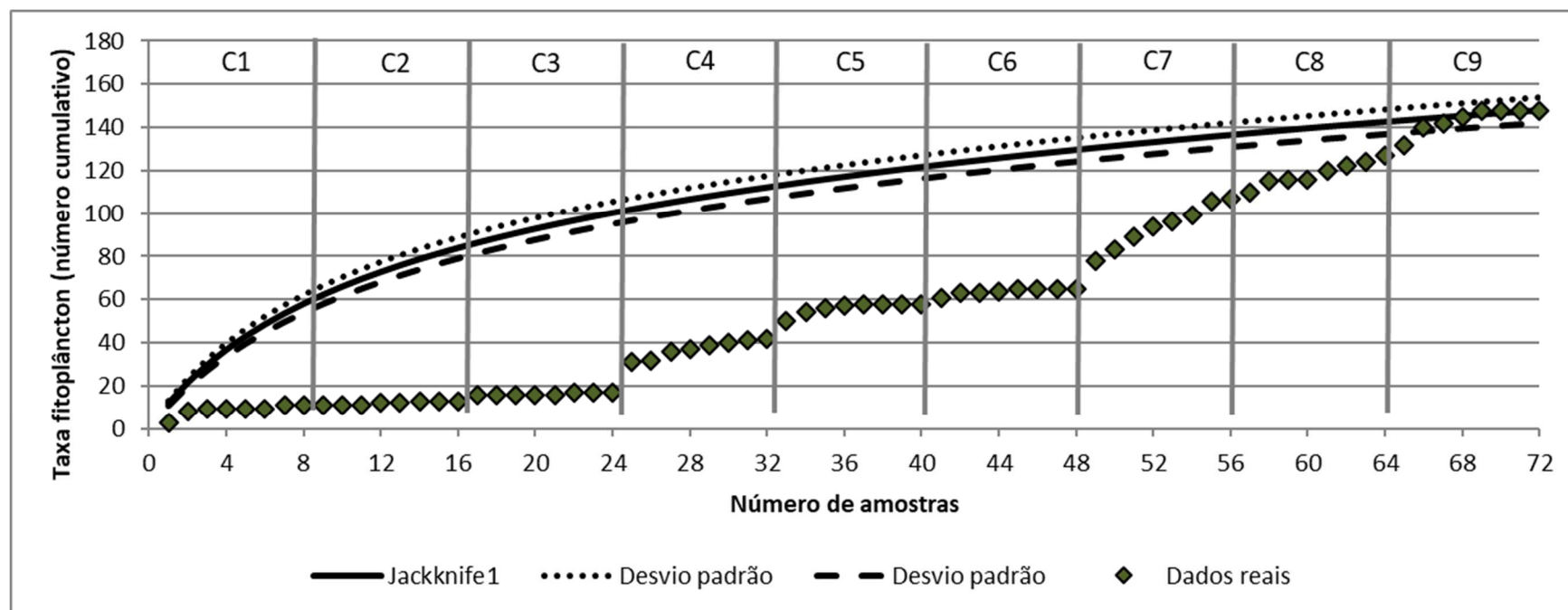


Figura V-26 – Taxa fitoplânctonica (número cumulativo) encontrados ao do DP-IRA-S. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

Ao longo das três primeiras campanhas, podem ser observados poucos incrementos de taxa e uma leve tendência à estabilização da curva, que contabiliza 17 amostras ao término da terceira campanha, isto é, menos de 14% do total de taxa observado para o projeto.

Nas demais campanhas, foram registrados incrementos que resultaram em 131 novos taxa. Para a C5 e a C6 é possível observar também que há uma tendência a estabilização da curva, principalmente nas amostras finais, com novo incremento nas réplicas iniciais da sétima campanha e nova tendência de estabilização nas amostras da oitava e nona campanha.

É possível que parte das diferenças verificadas no número de taxa entre as campanhas esteja associada a diferenças na identificação de alguns organismos em decorrência da mudança do laboratório executor das análises taxonômicas, ocorrida entre a primeira e a segunda e entre a sexta e a sétima campanha, e principalmente a alteração do método analítico a partir da quarta campanha (filtração reversa e sedimentação por 72 horas). Ressalta-se que tais diferenças são aceitáveis, tendo em conta a subjetividade inerente destas análises, que dependem da experiência e conhecimento dos especialistas, bem como da integridade dos organismos coletados, e considerando também a melhoria contínua dos procedimentos analíticos.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada na maioria das amostras. A partir da quarta amostra da nona campanha, a distribuição real foi mais semelhante a distribuição esperada, com os resultados obtidos recaindo dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife.

A feição da curva dos dados reais indica uma sutil tendência de estabilização nas amostras finais, evidenciando a importância do esforço amostral realizado ao longo do projeto, com diminuição do incremento dos taxa na medida em que aumenta o esforço de amostragem (realização de mais campanhas).

V.2.1.2 - Análise Qualitativa

Na presente campanha, foram registrados organismos pertencentes a quatro filos: Ochrophyta, Cyanobacteria, Haptophyta e Myzozoa. Em comparação ao histórico, observa-se a ausência na DP-IRA-S_C9 dos taxa identificados como Pyrrophytocyphyta, Bigyra, Chrysophyta e Chromista, seja por ausência do grupo, seja por alterações de nomenclatura e taxonomia (p. ex. Pyrrophytocyphyta X Myzozoa). O filo Myzozoa apresentou riqueza total de 26 taxa, enquanto Ochrophyta registrou 23 taxa, Haptophyta 8 taxa e Cyanobacteria registrou 3 taxa (Figura V-27).

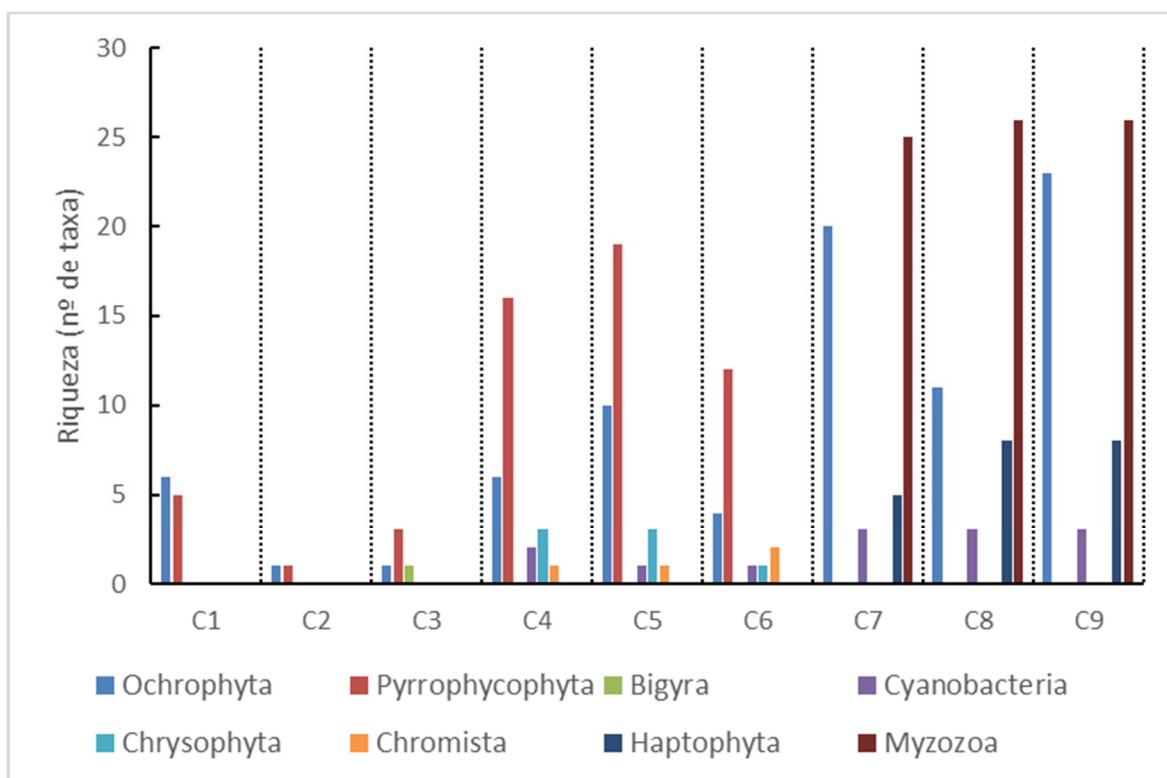


Figura V-27 – Riqueza fitoplanctônica (nº de taxa) ao longo do DP-IRA-S

Vale ressaltar que o nível taxonômico das identificações foi variável, e que podem existir mais espécies dentro dos taxa identificados em níveis superiores, como ordem e gênero. Apenas Ochrophyta foi registrada em todas as campanhas da fase de operação anteriores (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016c, 2017c,

2018f, 2019e, 2019g, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021c). A listagem das espécies fitoplanctônicas coletadas na DP-IRA-S_C9 está contida no Anexo X-3.

Ao longo da plataforma continental brasileira, a comunidade fitoplanctônica é composta principalmente por diatomáceas e células flageladas do nanoplâncton e do microplâncton pertencentes às classes Dinophyceae, Prymnesiophyceae, Cryptophyceae, Prasinophyceae e Chlorophyceae (BRANDINI *et al.*, 1997).

Segundo o Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos – PCR-BS (Petrobras, 2022), estudo executado no período de 2019 a 2022, o nanoplâncton (1,8-20,0 µm) é importante para a composição da comunidade localizada na plataforma externa e oceânica, apresentando uma maior contribuição, tanto em termos de densidade (99%) quanto de biomassa (47-90%), na região de talude como oceânica onde predominam condições oligotróficas.

Tanto os dinoflagelados (Divisão Pyrrophytophyta, atual Myzozoa) quanto as diatomáceas (Divisão Ochrophyta) são organismos de grande importância para as comunidades fitoplanctônicas, pois constituem a base da teia alimentar aquática e possuem alta diversidade de espécies (BONECKER *et al.*, 2009; BRANDINI *et al.*, 1997; RAVEN *et al.*, 2001).

O grupo das diatomáceas necessita de maiores concentrações de nutrientes para sobreviver, e conseqüentemente é mais escasso em águas oligotróficas afetadas pela Água Tropical (AT) (BRANDINI *et al.*, 1997). Ochrophyta é uma classe cosmopolita que habita ambientes aquático, terrestre ou subaéreo (fixada em macroalgas e fanerógamas) e no sedimento (BOLD & WYNNE, 1985).

Em áreas com maior concentração de nutrientes as diatomáceas têm maior sucesso de colonização, já os dinoflagelados são um grupo oportunista, devido ao fato de serem melhores competidores em condições mais instáveis como, por exemplo, concentrações irregulares de nutrientes (HALLEGRAEFF, 1995).

As cianobactérias (filo Cyanobacteria) são bactérias fotossintetizantes encontradas em diversos tipos de ambientes como ambientes terrestres, de água doce, salobra ou marinha, além de habitats extremos como fontes termais, neve ou deserto. Cianofíceas podem ocorrer no plâncton e no bentos. Apesar de sua ampla distribuição, o maior número de espécies desse grupo é registrado em ambientes dulcícolas, sendo um grupo menos rico nos sistemas marinhos (BONECKER *et al.*, 2009; BRANCO *et al.*, 2003). As cianofíceas vêm sendo retiradas do grupo das

algas, por serem microrganismos. No entanto, as cianobactérias possuem um sistema fotossintetizante semelhante ao das algas e de vegetais eucariontes sendo, portanto, bactérias fotossintetizantes (BRANDINI *et al.*, 1997; ESTEVES & SUZUKI, 2011; LOURENÇO & MARQUES-JR, 2009).

Algumas espécies de algas são capazes ainda de produzir toxinas, nocivas ao homem e ao meio ambiente. No entanto, as mesmas são consideradas nocivas quando ocorrem em altas concentrações, acima de 10^6 ind/L (BRANDINI *et al.*, 1997; VILLAC, 1990). Por este motivo, o monitoramento das comunidades fitoplanctônicas representa uma ferramenta importante para análise de qualidade da água e avaliação do equilíbrio ecológico nos sistemas aquáticos.

V.2.1.3 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-17, são apresentados os valores de riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade para a comunidade fitoplânctônica encontrada na DP-IRA-S_C9.

Tabela V-17 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/L), diversidade (bits/ind) e equitabilidade fitoplanctônicas encontrados na DP-IRA-S_C9.

Estação	Estratos	Riqueza (número de taxa)	Densidade (ind/L)	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
DP-IRA-S_M1000	SUP	27	391,40	2,84	0,86
	ACTC	32	332,82	2,84	0,82
	TC	29	420,49	2,78	0,83
	ABTC	29	405,54	2,92	0,87
DP-IRA-S_J1002	SUP	27	406,15	2,82	0,85
	ACTC	21	342,86	2,58	0,85
	TC	18	294,74	2,57	0,89
	ABTC	23	278,26	2,69	0,86
mínimo		18	278,26	2,57	0,82
máximo		32	420,49	2,92	0,89
média		25,75	359,03	2,76	0,85
desvio padrão		4,68	54,53	0,13	0,02

A análise da comunidade fitoplanctônica registrou um total de 60 taxa, dentre os quais dois foram identificados a nível de ordem, 10 a nível de gênero e 48 a nível

de espécie. O número de taxa variou entre 18 e 32 entre as amostras (média $25,75 \pm 4,68$ taxa).

A densidade média dos organismos fitoplanctônicos foi de $359,03 \pm 54,53$ ind/L, variando de 278,26 ind/L, na amostra DP-IRA-S_J1002_ABTC, a $420,49$ ind/L, na amostra DP-IRA-S_M1000_TC.

A diversidade média dos organismos fitoplanctônicos na DP-IRA-S_C9 foi de $2,76 \pm 0,13$ bits/ind, variando entre 2,57 na TC da estação DP-IRA-S_J1002 e 2,92 bits/ind, na ABTC da estação DP-IRA-S_M1000.

A equitabilidade média dos organismos fitoplanctônicos foi de $0,85 \pm 0,02$, variando de 0,82 a 0,89 na ACTC da estação DP-IRA-S_M1000 e na TC da estação DP-IRA-S_J1002, respectivamente.

Já na Tabela V-18, são apresentados os resultados mínimo e máximo dos dados ecológicos do fitoplâncton obtidos nas campanhas de monitoramento ambiental realizadas em data anterior a DP-IRA-S_C9, assim como em campanhas executadas para outros projetos de monitoramento realizados na região

Tabela V-18 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade fitoplanctônica em campanhas de monitoramento ambiental na região do monitoramento do DP-IRA-S.

	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/L)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-LL_C1 ¹	12	14	134.190	227.209	0,37	0,49	0,33	0,44
PIL-LL_C2 ²	14	19	176.418	589.248	0,45	0,61	0,39	0,51
PIL-LL_C3 ³	17	27	1.206.845	2.440.892	0,01	0,07	0,01	0,05
PIL-LL_C4 ⁴	3	8	1.000	39.000	1,10	1,94	0,81	1
PIL-LL_C5 ⁵	0	4	0	31.000	0	1,33	0	0,96
PIL-LL_C6 ⁶	1	6	100	800	0	1,67	0	1
PIL-LL_C7 ⁷	0	3	0	60	0	1,10	0	1,00
PIL-LL_C8 ⁸	1	2	20	80	0	0,69	0	1,00
PIL-LL_C9 ⁹	6	21	46,89	126,08	1,24	2,79	0,50	1,00
PIL-LL_C10 ¹⁰	7	17	32,09	94,78	1,85	2,63	0,92	0,97
PIL-LL_C11 ¹¹	9	13	41,86	268,05	0,85	2,23	0,37	0,93
PIL-LL_C12 ¹²	14	22	427,50	511,24	1,79	2,22	0,68	0,79
PIL-LL_C13 ¹³	11	26	355,79	539,13	1,54	2,43	0,64	0,76
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	0	5	0	8.0000	0	0,50	0	0,45
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	2	5	200	500	0,69	1,61	0,95	1
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	0	3	0	100	0,00	1,10	0,00	1,00
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	0	6	0	380	0	1,70	0	1,00
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	8	15	43,68	89,01	1,81	2,62	0,83	0,97
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	7	13	21,69	183,24	1,83	2,25	0,86	0,97
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	6	11	49,19	160,54	1,13	2,16	0,57	0,90
PIL-LL-NE_C8 ²¹	15	23	455,87	819,51	2,09	2,33	0,73	0,78
PIL-LL-NE_C9 ²²	18	27	335,14	602,08	1,90	2,56	0,66	0,81

	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/L)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-SAP_C1 ²³	0	1	0	1.000	0	0	0	0
PIL-SAP_C2 ²⁴	0	4	0	400	0	1,38	0	1
PIL-SAP_C3 ²⁵	0	2	0	80	0	0,56	0,00	0,81
PIL-SAP_C4 ²⁶	0	3	0	80	0	1,04	0	1,00
PIL-SAP_C5 ²⁷	6	20	25,39	183,47	1,68	2,64	0,79	0,84
PIL-SAP_C6 ²⁸	10	19	61,45	231,33	2,00	2,60	0,78	0,93
PIL-SAP_C7 ²⁹	5	12	134,47	806,20	0,37	1,40	0,16	0,61
PIL-SAP_C8 ³⁰	19	24	298,85	548,07	2,02	2,58	0,66	0,81
PIL-SAP_C9 ³¹	21	30	335,03	656,68	2,06	2,61	0,67	0,80
DP-IRA-S_C1 ³²	0	6	0	900	0,00	1,68	0,00	0,96
DP-IRA-S_C2 ³³	0	1	0	40	0,00	0,00	0,00	0,00
DP-IRA-S_C3 ³⁴	0	4	0	140	0	1,15	0	0,83
DP-IRA-S_C4 ³⁵	4	15	22,73	52,20	1,28	2,64	0,78	0,97
DP-IRA-S_C5 ³⁶	10	20	74,79	171,22	1,92	2,71	0,83	0,94
DP-IRA-S_C6 ³⁷	7	12	30,04	421,98	1,44	2,20	0,65	0,96
DP-IRA-S_C7 ³⁸	18	24	465,54	705,59	2,08	2,31	0,69	0,80
DP-IRA-S_C8 ³⁹	17	27	392,00	500,50	1,96	2,50	0,69	0,78

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2021b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 23 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 26 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 29 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 30 = Petrobras/Bioconsult (2021a); 31 = Petrobras/Bioconsult (2022d); 32 = Petrobras/Bourscheid (2016c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 34 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 35 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 37 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 38 = Petrobras/Bioconsult (2021c); 39 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Os dados de riqueza total da DP-IRA-S_C9 estão na faixa de variação dos valores registrados na região, com valores ligeiramente superiores aos mínimos e máximos registrados na maioria das campanhas anteriores, e com valores semelhantes à nona campanha de monitoramento do Piloto de Tupi NE.

Em comparação aos dados de densidade já verificados para a região (Tabela V-18), pode-se observar que os dados de densidade variaram bastante entre as campanhas e os resultados obtidos na região, em sua maioria, são ligeiramente inferiores aos valores máximos obtidos na DP-IRA-S_C9. A lista completa com os valores quantitativos dos taxa é apresentada no. Anexo X-3

Conforme apresentado na Tabela V-18, pode-se observar que os valores de diversidade variaram muito entre as campanhas analisadas, e a maioria dos valores obtidos anteriormente são ligeiramente inferiores aos obtidos na presente campanha.

Os valores de equitabilidade são bastante variáveis na região, sendo os dados obtidos na DP-IRA-S_C9 mais elevados em comparação a grande maioria das demais campanhas, que apresentaram alta frequência de valores nulos de equitatividade (Tabela V-18).

As três últimas campanhas apresentaram maiores resultados de riqueza, enquanto C4, C5 e C6 apresentaram valores intermediários e as três primeiras campanhas, os menores valores.

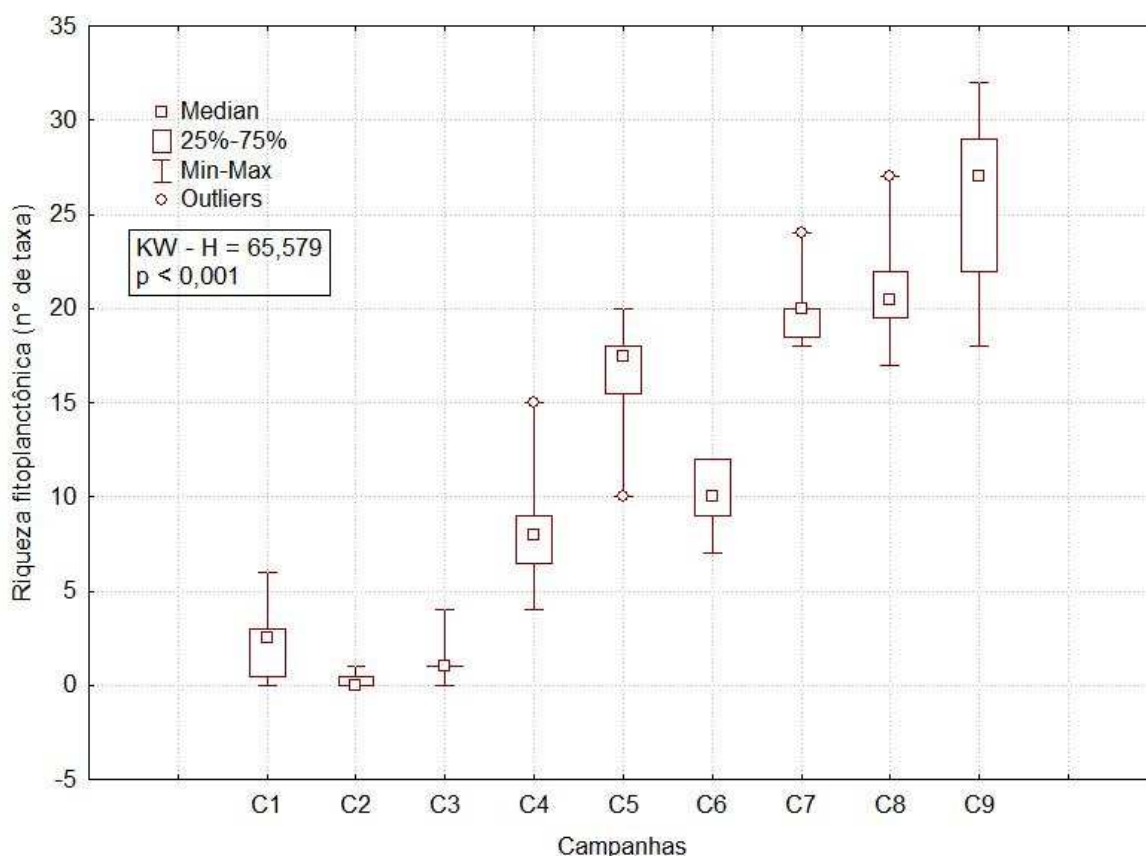


Figura V-28 – Box plots representativos dos valores de riqueza fitoplanctônica (n° de taxa) do DP-IRA-S.

Foram encontradas diferenças significativas entre os valores de riqueza de taxa das nove campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,001$). A sétima, a oitava e a nova diferiram significativamente da primeira, segunda e terceira campanha, apresentando maiores valores em relação às demais (Figura V-28). A Nona também diferiu da quarta; e a quinta diferiu da segunda, sendo que essa última apresentou os menores valores e variação de riqueza de taxa (*Tukey*, $p < 0,05$).

A primeira campanha apresentou a maior variação de valores para a densidade (Figura V-29). Foram encontradas diferenças significativas entre os valores de densidade entre as nove campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A sétima e a oitava campanha diferiram da segunda, terceira e quarta, e a segunda campanha diferiu significativamente da primeira e da nona (*Tukey*, $p < 0,05$).

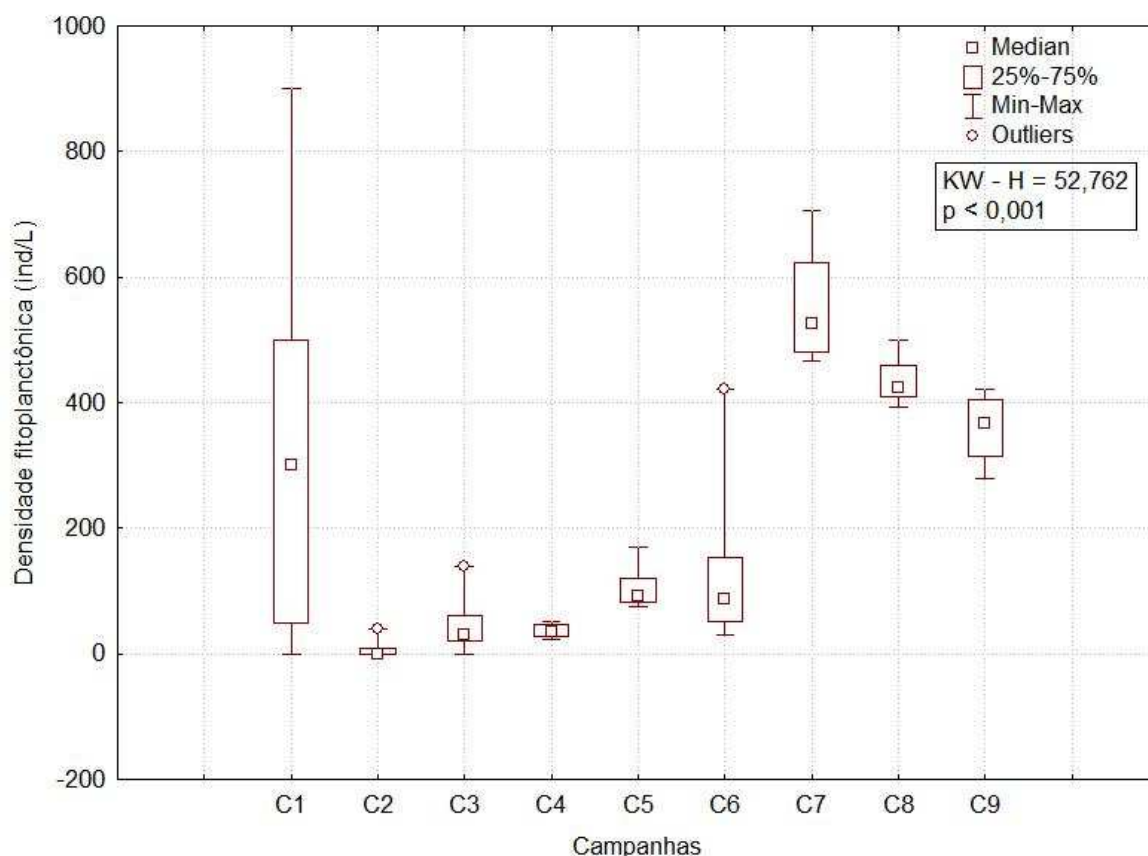


Figura V-29 – Box plots representativos dos valores de densidade (ind/L) do DP-IRA-S.

Nas áreas oceânicas do Brasil, a densidade fitoplanctônica varia de 50.000a 200.000 ind/L (KOENING & MACEDO, 1999; MEDEIROS *et al.*, 1999). No entanto, altas densidades podem ser encontradas devido a florações de espécies de algas oportunistas, a condições adversas no ambiente ou fenômenos de ressurgência (CASTRO & MOSER, 2012).

Na Bacia de Santos as densidades celulares médias obtidas entre todas as estações oceanográficas monitoradas no projeto do PCR-BS (Petrobras, 2022) variaram significativamente entre cada classe de tamanho considerada. A média global da densidade do microplâncton na superfície, na Bacia de Santos, foi de até 1.026×10^3 cels/L, enquanto a densidade do nanoplancton foi de $52,4 \times 10^5$ cels/L, para o verão. No inverno, esses valores foram menores, $385,9 \times 10^3$ cel/L e $38,1 \times 10^5$ cel/L, respectivamente.

Na nona campanha do DP-IRA-S, o filo Ochrophyta alcançou a maior densidade média, com valor de $160,11 \pm 24,90$ ind/L, seguido pelo filo

Cyanobacteria, com $92,58 \pm 15,93$ ind/L, Myzozoa, com $79,27 \pm 20,07$ e Haptophyta, com densidade de $27,07 \pm 6,85$ ind/L (Figura V-30).

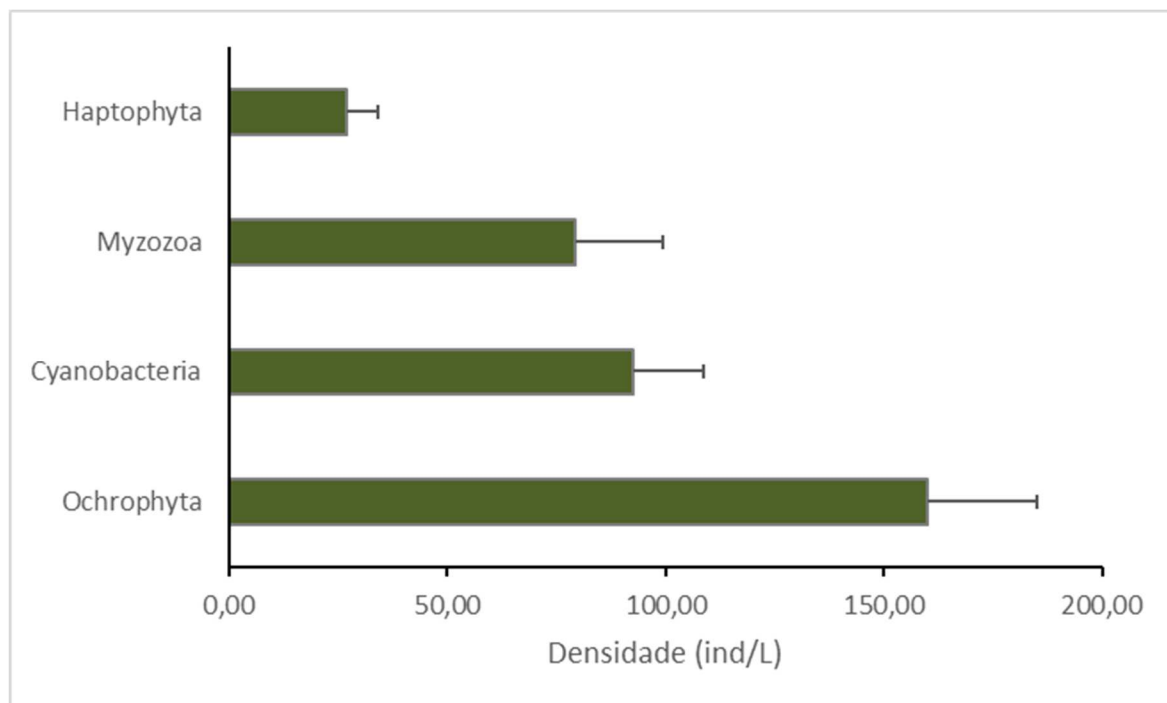


Figura V-30 – Densidade fitoplanctônicas média (ind/L) da DP-IRA-S_C9. A barra verde representa a densidade média dos grupos $\pm$ desvio-padrão.

Nas três primeiras campanhas do DP de Iracema Sul, a divisão Ochrophyta apresentou a maior densidade média (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016c, 2017c, 2018f), enquanto na quarta, assim como na quinta campanha, a predominância foi de Pyrrophytophyta (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2019e, 2019g), do reino Chromista na sexta campanha (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020d), de Myzozoa na sétima (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021c) e de Cyanobacteria na oitava (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2023b).

Na Figura V-31 são apresentados os valores de diversidade de fitoplâncton obtidos ao longo do PMAEpro-BS-E1-DP-IRA-S. A nona campanha apresentou a maior diversidade média, enquanto a primeira campanha apresentou a maior variação dos valores. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,001$). A quinta, a sétima, a oitava e a nona campanhas diferiram significativamente da segunda e terceira campanha, e ainda

a quinta e a nona diferiram significativamente da primeira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$).

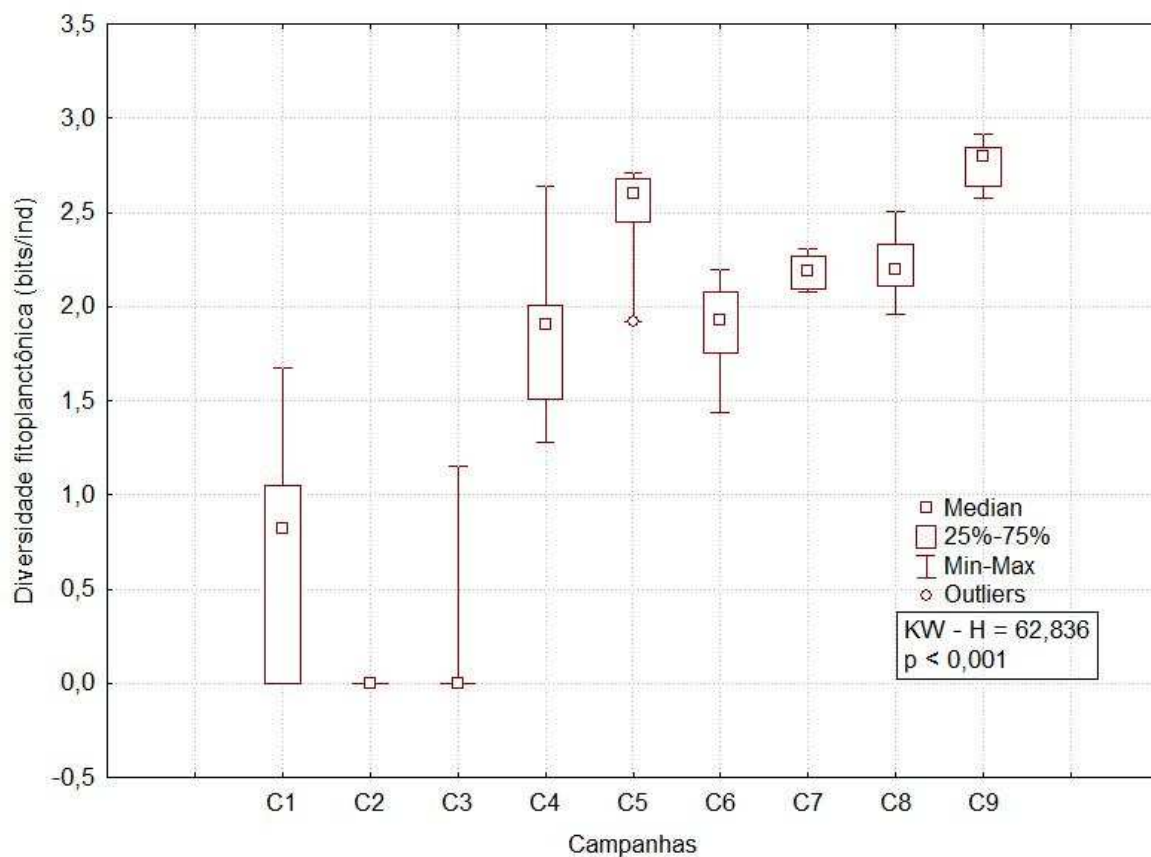


Figura V-31 - Box plots representativos dos valores de diversidade fitoplanctônica (bits/ind) DP-IRA-S.

Na Figura V-32 são apresentados os valores de equitabilidade de fitoplâncton obtidos no PMAEpro-BS-E1-DP-IRA-S. Pode-se observar que as medianas da primeira, da quarta, da quinta e da sexta campanhas foram bastante próximas, e que a primeira campanha apresentou também a maior variação para esse índice.

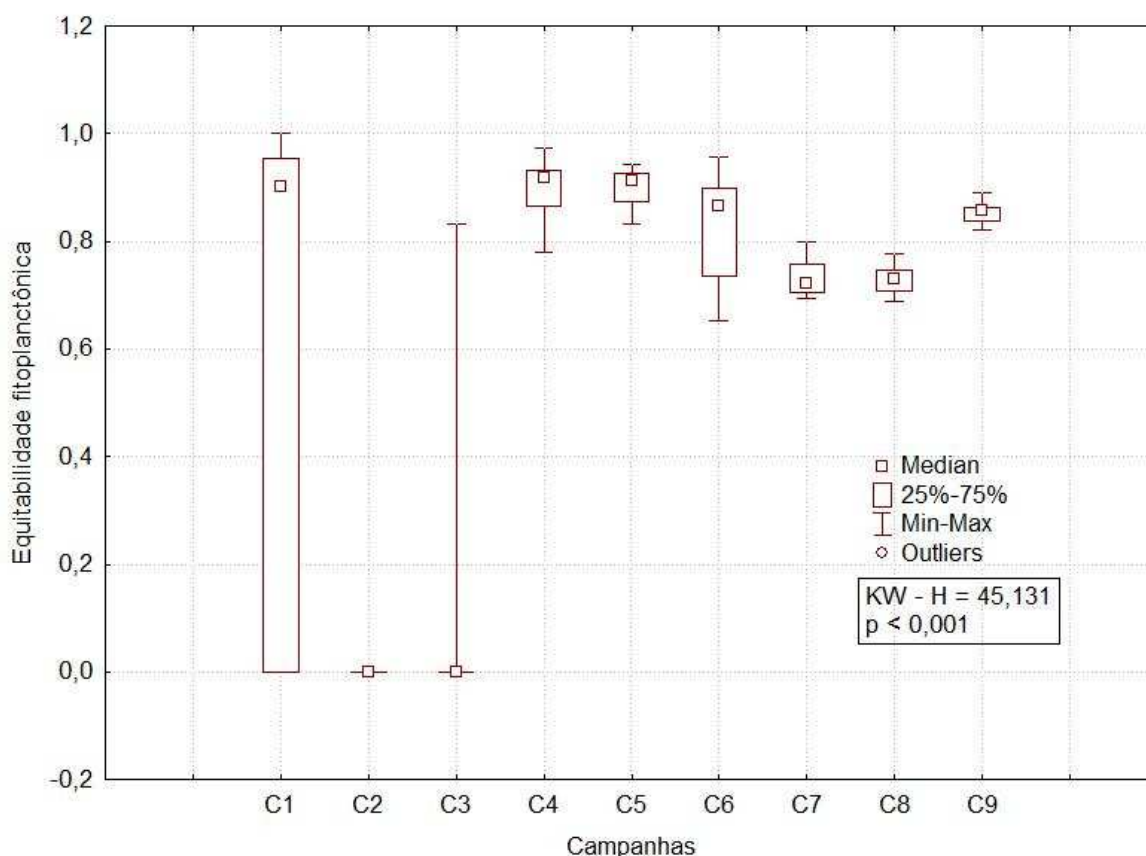


Figura V-32 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade fitoplanctônica do DP-IRA-S.

Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento do DP de Iracema Sul (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$), sendo que a quarta e a quinta campanhas diferiram significativamente da segunda e da terceira, e a segunda diferiu da primeira, da sexta e da nona (*Tukey*, $p < 0,05$).

Por fim, é importante salientar que, embora todas as campanhas tenham utilizado os mesmos critérios de identificação (até o menor nível taxonômico possível) e de contabilização dos organismos, bem como as mesmas fórmulas de cálculo para os índices ecológicos, conforme explicado na metodologia deste relatório, é possível que existam diferenças oriundas das subjetividades inerentes do método analítico. Isto porque, o menor nível taxonômico encontrado em cada uma das campanhas, pode variar em função das condições diversas de integridade dos organismos e dos variados graus de experiência dos analistas envolvidos nas identificações. Neste contexto, também é possível que as trocas de laboratório ocorridas entre a primeira e a segunda e entre a sexta e a sétima campanhas

tenham influenciado os resultados gerados e, conseqüentemente, nas diferenças encontradas entre as campanhas.

As alterações analíticas adotadas a partir da quarta campanha, com o emprego de filtração reversa e tempo de sedimentação mínima de 72 horas, também parecem ter influenciado nos resultados obtidos. Desta forma, não é possível ser conclusivo acerca das diferenças estatísticas verificadas entre a quarta, a quinta, a sexta, a sétima, a oitava e a nona campanha e a maioria das demais campanhas, podendo tais diferenças estar associadas não apenas às alterações na ocorrência do fitoplâncton no meio, mas também à otimização da metodologia analítica. A influência do método poderá ser melhor avaliada posteriormente, com a continuidade das campanhas e obtenção de novos dados conforme metodologia otimizada.

V.2.1.4 - *Análise da Distribuição Espacial do Fitoplâncton*

A riqueza total acumulada em cada estação foi de 55 taxa em DP-IRA-S_M1000 e 37 taxa em DP-IRA-S_J1002 (Figura V-33).

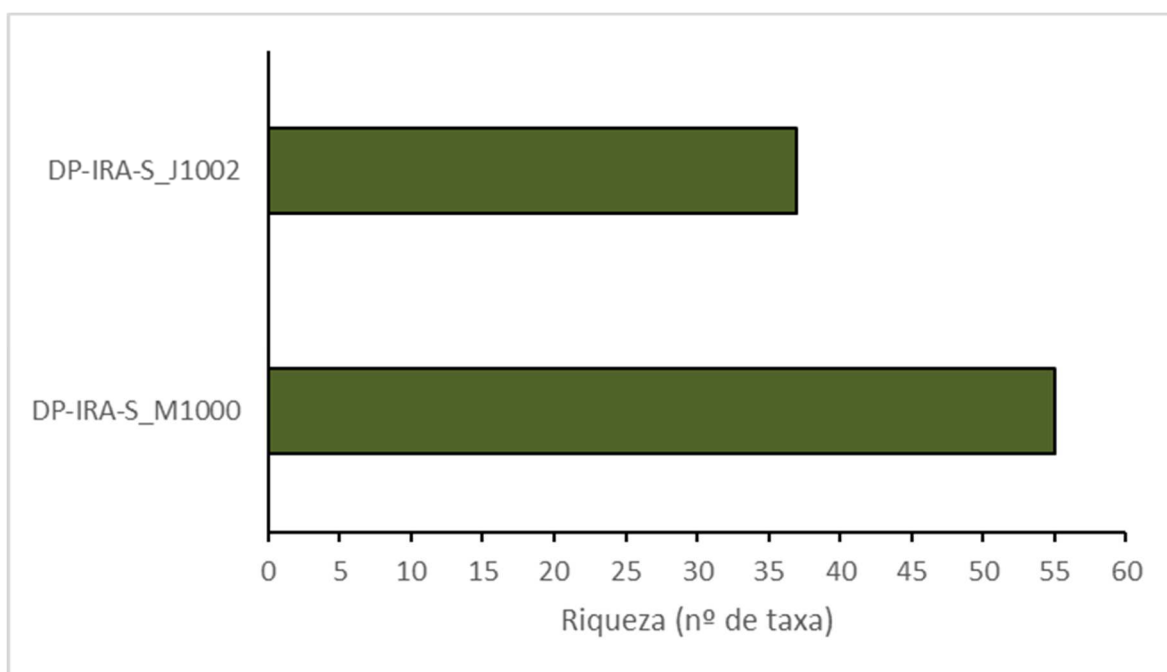
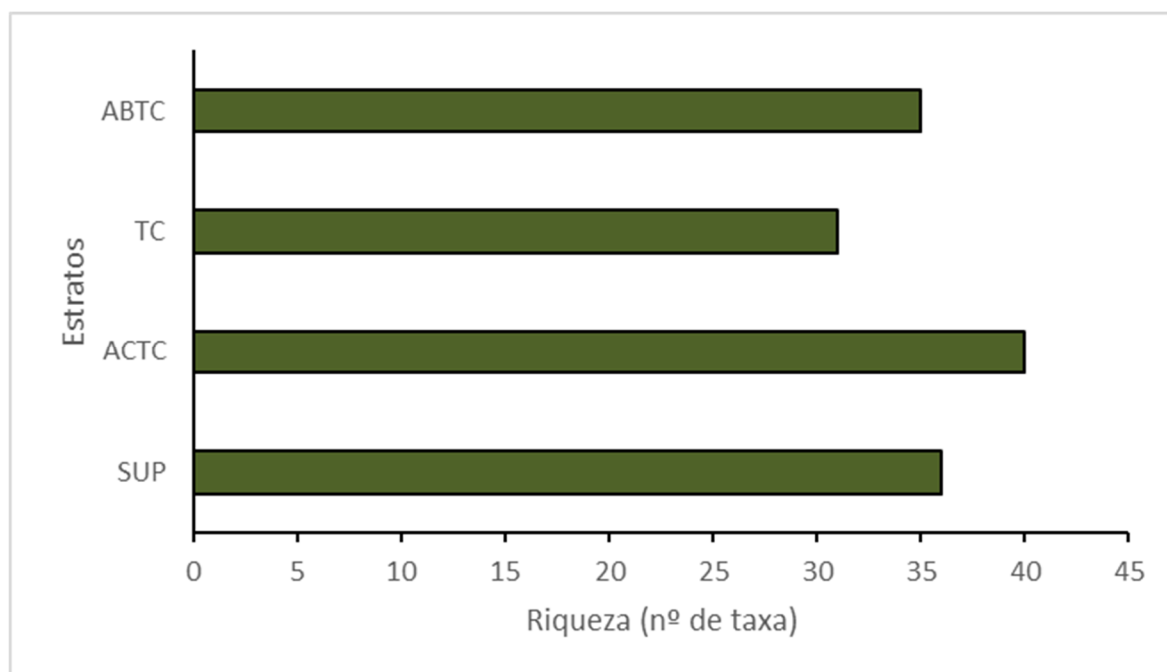


Figura V-33 – Riqueza fitoplanctônica (Número de taxa) da DP-IRA-S_C9.

A riqueza total nas diferentes profundidades variou de 31 a 40 taxa, sendo que a menor riqueza foi observada na termoclina e na camada abaixo da termoclina e a maior riqueza foi registrada na camada acima da termoclina (Figura V-34).

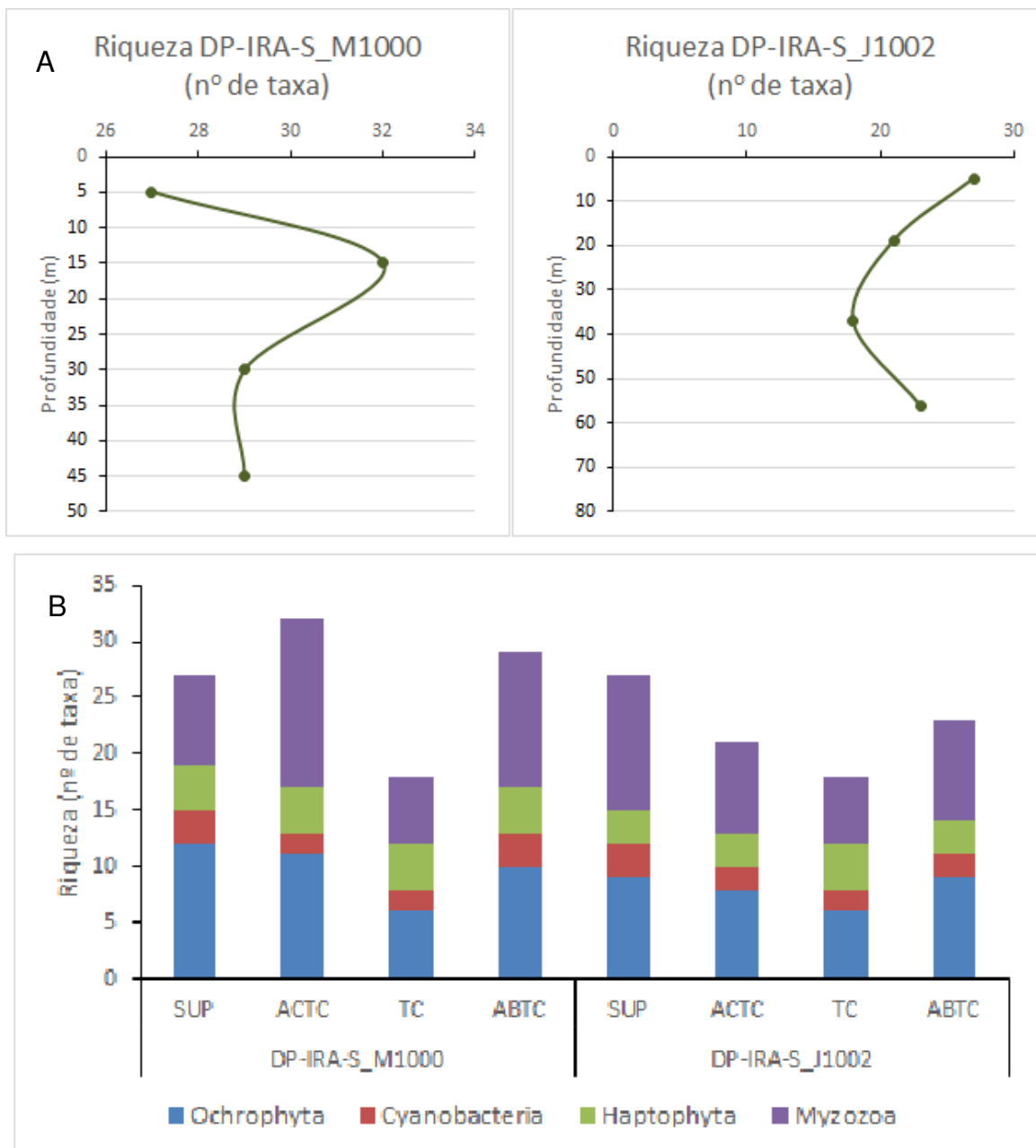


Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-34 – Riqueza fitoplanctônica (número de taxa) da DP-IRA-S_C9. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as estações).

Avaliando todas as amostras com relação à riqueza de taxa, as duas estações apresentaram distribuição vertical diferentes entre si. Foram observados maiores valores de riqueza na ACTC da estação DP-IRA-S_M1000 e na TC da estação DP-IRA-S_J1002 (Figura V-35).

A partir da análise da riqueza de taxa de ambas as estações e profundidades de coleta, foi possível observar que todos os filos ocorreram em todas as amostras, com o registro de, no mínimo, 2 táxon em cada. Myzozoa e Ochrophyta dominaram a riqueza na maioria das profundidades (Figura V-35). Myzozoa foi mais dominante em ACTC e ABTC de DP-IRA-S_M1000 e SUP de DP-IRA-S_J1002, enquanto Ochrophyta foi dominante em SUP de DP-IRA-S_M1000.



Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-35 – Riqueza fitoplanctônica (número de taxa) da DP-IRA-S_C9. A) Perfis de variação da riqueza na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras, número de taxa das divisões fitoplanctônicas; a linha cinza representa a média de todas as amostras.

Com relação ao parâmetro densidade média nas duas estações, a estação DP-IRA-S_M1000 apresentou a maior densidade média, com $387,56 \pm 38,38$ ind/L,

enquanto a estação DP-IRA-S_J1002 apresentou densidade média de $330,50 \pm 57,40$ ind/L (Figura V-36).

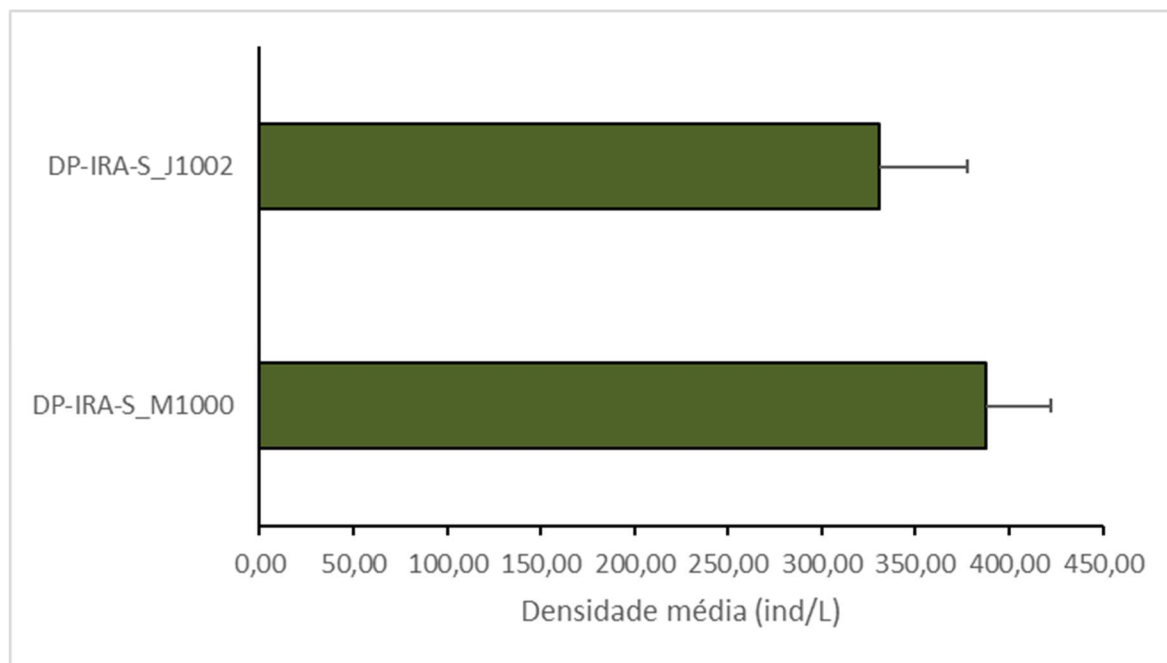
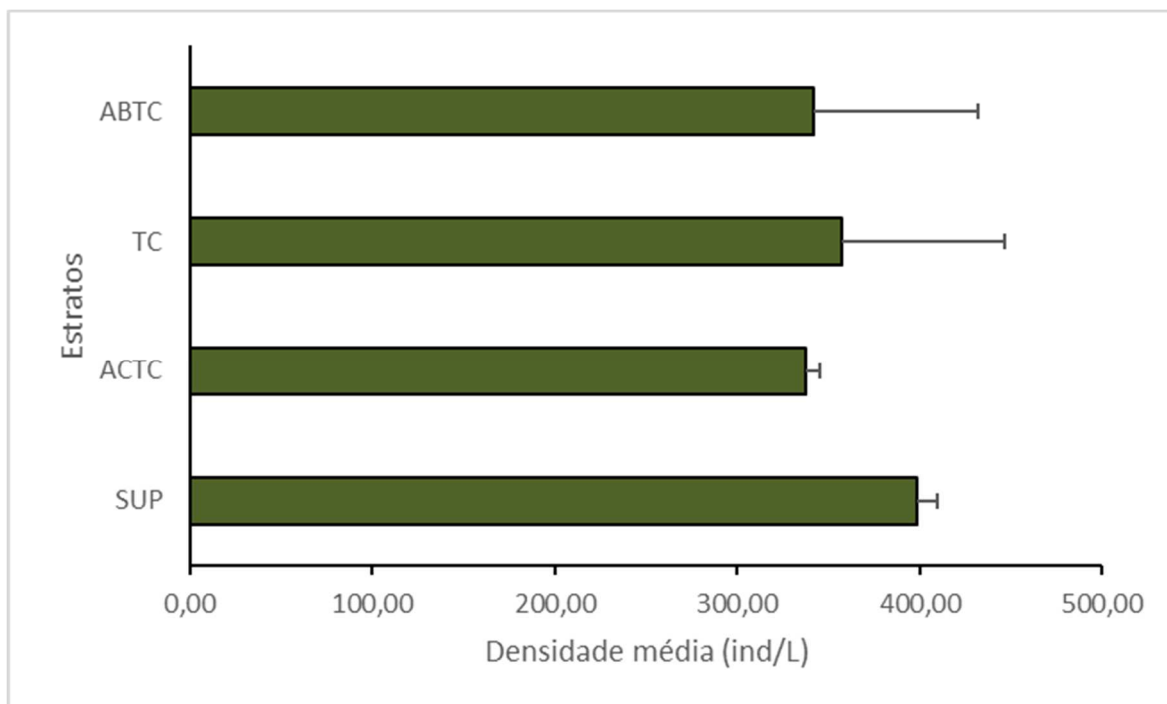


Figura V-36 – Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind/L) da DP-IRA-S_C9. A barra verde representa a densidade média das estações $\pm$ desvio-padrão.

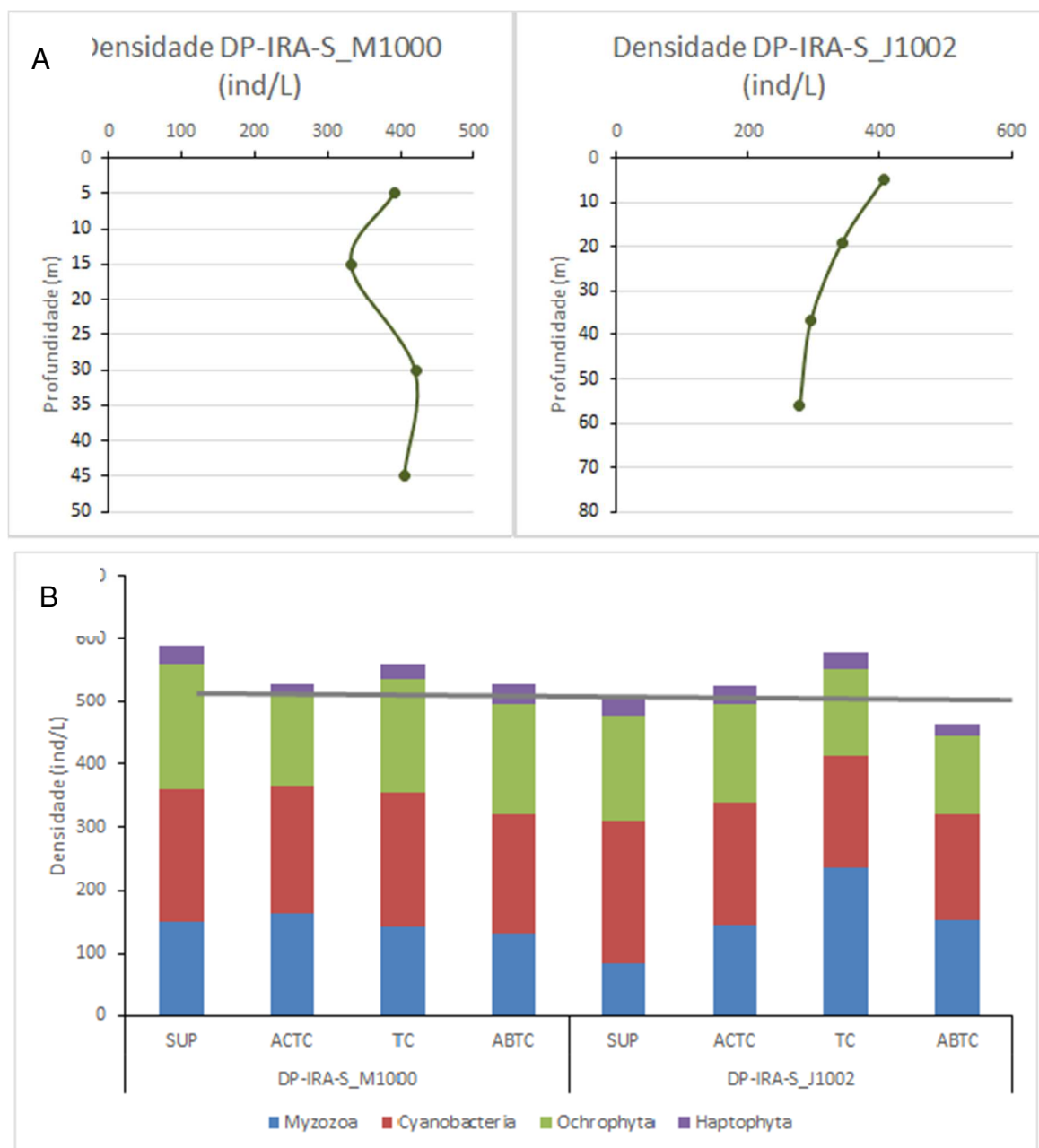
Já na análise por estratos, a densidade média variou de $337,84 \pm 7,10$ ind/L, na ACTC, a $398,78 \pm 10,43$ ind/L, na SUP. A TC apresentou densidade média de $357,61 \pm 88,92$ ind/L, enquanto a ABTC registrou densidade média de $341,90 \pm 90,00$ ind/L (Figura V-37).



Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-37 – Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind/L) da DP-IRA-S_C9. A barra verde representa a densidade média das profundidades $\pm$ desvio-padrão.

Não houve um padrão de distribuição da densidade entre as estações. Na estação DP-IRA-S_M1000, a densidade foi maior na TC, enquanto na estação DP-IRA-S_J1002 foi maior na SUP. Ochrophyta apresentou as maiores densidades em todas as amostras durante a DP-IRA-S_C9, seguida de Cyanobactaria que apresentou a segunda maior densidade na maioria das amostras, exceto em DP-IRA-S_M1000_ACTC e DP-IRA-S_M1000_ABTC. Os demais registros contribuíram com menores valores de densidade em cada amostra (Figura V-38).



Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-38 – Densidade fitoplantônica (ind/L) da DP-IRA-S_C9. Perfis de variação da densidade na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras com densidade das divisões fitoplantônicas; linha cinza representa a média de todas as amostras.

Para a distribuição vertical da diversidade de Shannon, observou-se menores valores em TC e maiores valores em ABTC de DP-IRA-S_M1000, enquanto em DP-IRA-S_J1002, SUP apresentou o maior valor e as camadas ACTC e TC os menores valores (Figura V-39 superior). Para a equitabilidade (Figura V-39

inferior)., o padrão de distribuição vertical de DP-IRA-S_M1000 foi semelhante ao observado para a diversidade em DP-IRA-S_J1002. Para a equitabilidade em DP-IRA-S_J1002, os valores em geral não variaram muito, mas a camada TC apresentou maior equitabilidade, e a ACTC a menor

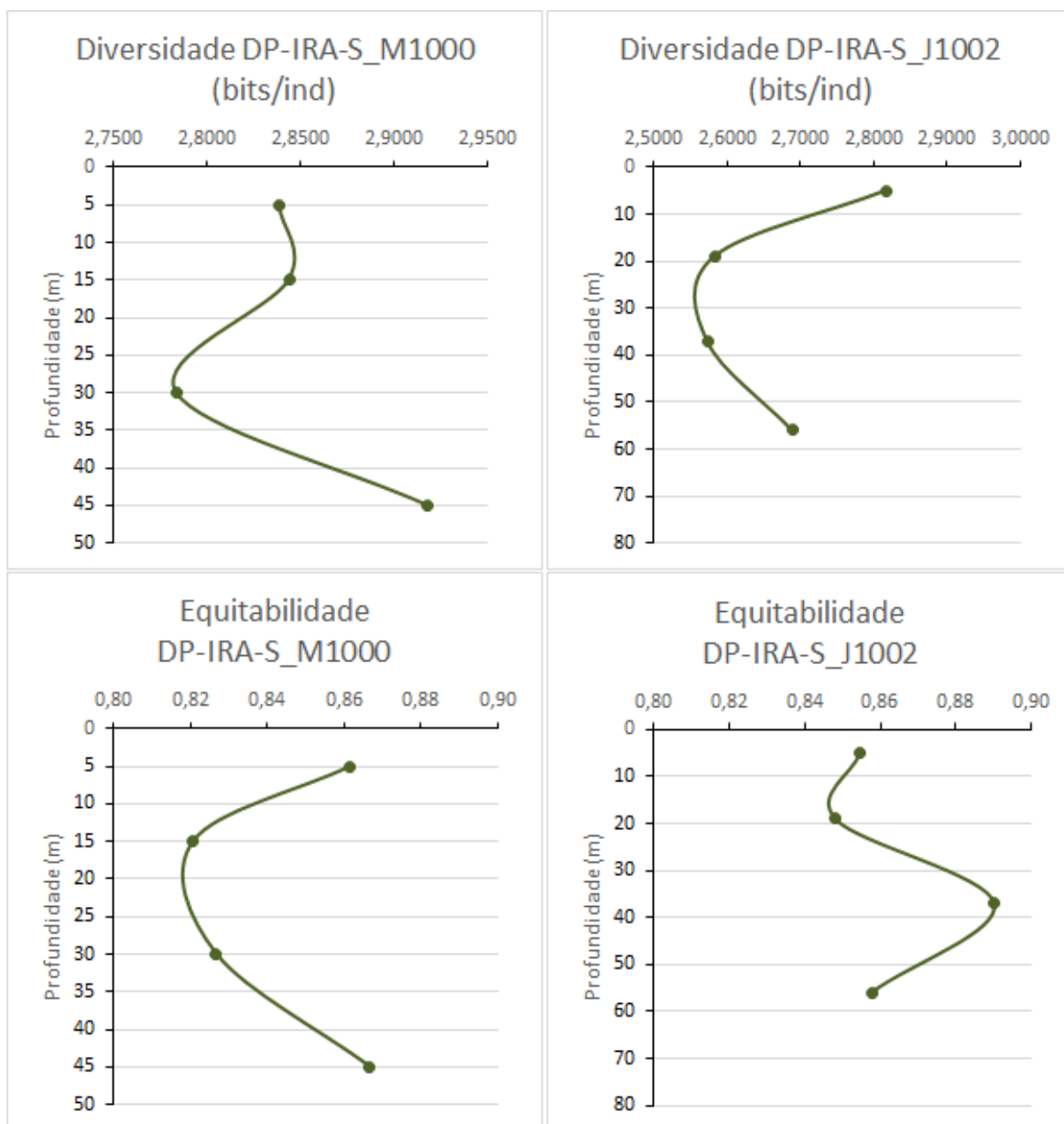


Figura V-39 – Diversidade e equitabilidade da comunidade fitoplanctônica da DP-IRA-S_C9.

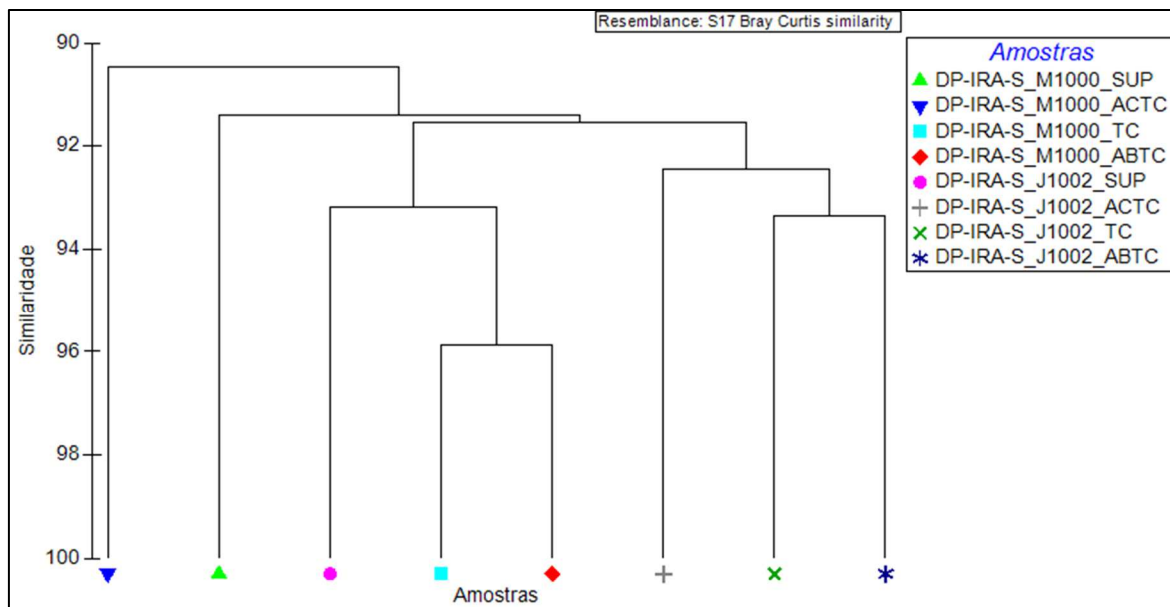
A distribuição da comunidade fitoplanctônica no sistema marinho é diretamente influenciada por fatores físicos, químicos e biológicos, como intensidade de luz, temperatura, disponibilidade de nutrientes e predação. A termoclina, nas regiões tropicais, pode funcionar como uma barreira natural impedindo que águas mais profundas ricas em nutrientes alcancem a camada superficial, onde há maior disponibilidade de luz (MANN & LAZIER, 2006). Assim, variações nas densidades fitoplanctônicas podem ocorrer naturalmente nas regiões oceânicas em função da variação dos diferentes parâmetros limitadores da produção primária (MANN & LAZIER, 2006), tanto ao longo do eixo costa-oceano, como ao longo da coluna d'água, principalmente em locais com relevante turbulência e correntes ascendentes, como áreas de ressurgência e de convergência e divergência (BONECKER *et al.*, 2009). No PCR-BS, os resultados apontam que na região oceânica da Bacia de Santos (Petrobras, 2022), há uma comunidade planctônica limitada pela oligotrofia típica da Água Tropical, assim como a presença de uma termoclina permanente e abaixo da zona eufótica, com indícios de regulação do crescimento da comunidade pelágica.

Embora espera-se maior riqueza e densidade nas camadas mais superficiais por esses organismos serem diretamente influenciados pela incidência luminosa na coluna d'água (LOURENÇO & MARQUES-JR, 2009; REBELLO *et al.*, 1988), na presente campanha observou-se variação dos valores dos índices ecológicos entre as diferentes camadas, sem um padrão evidente de zonação vertical. Provavelmente esse resultado está relacionado ao fato de todas as amostras terem sido coletadas em profundidades inferiores a 75 m, estando, portanto, dentro da zona fótica.

V.2.1.5 - Análise de Cluster e MDS

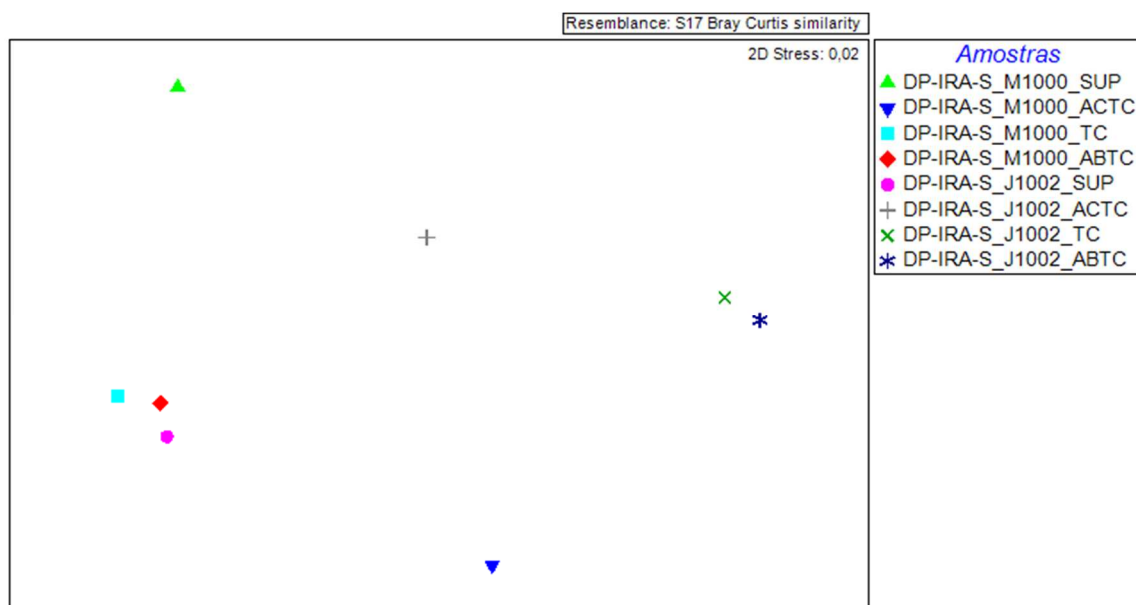
A análise de *Cluster* apresentou similaridade variando de 90% a 96%, demonstrando grande similaridade entre as amostras (Figura V-40). Com aproximadamente 92% de similaridade, ocorreu a separação em dois grupos, em que DP-IRA-S_M1000_ACTC se separou das demais amostras, provavelmente por apresentar as menores densidades de taxa de Haptophyta, em relação às demais amostras. A maior similaridade (96%) foi observada entre as amostras DP-IRA-

S_M1000_TC e DP-IRA-S_M1000_ABTC. Esta condição também foi observada na análise de MDS, onde foi verificado o agrupamento mais próximo dessas amostras, mas juntamente com DP-IRA-S_J1002_SUP (Figura V-41).



Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-40 – Dendrograma de agrupamento (Cluster) da comunidade fitoplanctônica na atual campanha de monitoramento ambiental.



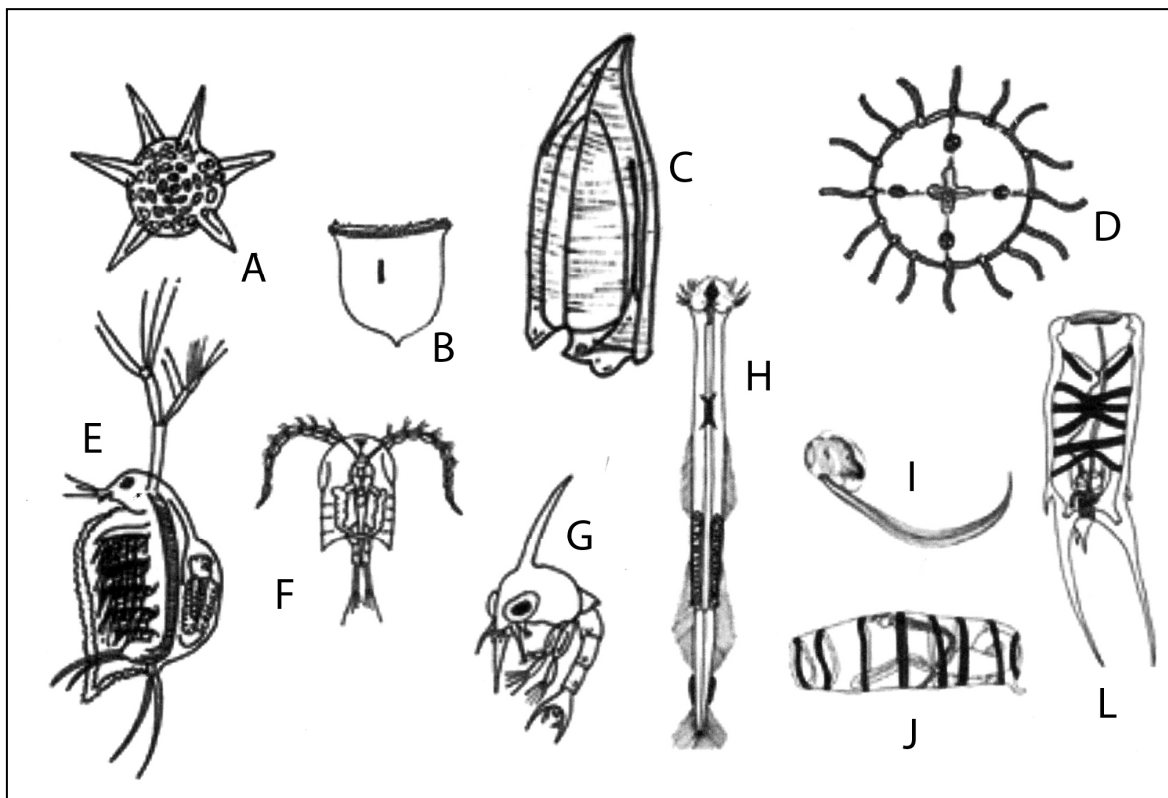
Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-41 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade fitoplanctônica na atual campanha de monitoramento ambiental.

V.2.2 - Zooplâncton

A comunidade zooplanctônica é representada pelo conjunto de organismos heterotróficos microscópicos que possuem hábito de vida na coluna d'água. Os organismos dessa comunidade podem ser classificados segundo seu tempo de permanência na coluna d'água durante seu ciclo de vida. De acordo com essa classificação, o holoplâncton é representado pelos organismos que passam todo o seu ciclo de vida associados à coluna d'água e o meroplâncton são aqueles que passam apenas parte de sua vida neste habitat (BONECKER *et al.*, 2009; ESTEVES, 2011; TUNDISI & TUNDISI, 2008).

Em contraste com o fitoplâncton, que consiste em uma variedade relativamente pequena de organismos, o zooplâncton é extremamente diverso, abrangendo uma série de formas, que compreendem uma grande variedade de grupos de animais e protistas. Os principais representantes dessa comunidade são crustáceos, cladóceros e copépodes. Além disso, também estão presentes diversos grupos de protistas (foraminíferos, radiolários, acantários, flagelados e tintinídeos), cnidários, ctenóforos, moluscos, poliquetas e quetognatos e cordados (Appendicularia), sendo menos frequentes nessa comunidade (BONECKER *et al.*, 2009; BRANDINI *et al.*, 1997). A Figura V-42 mostra diversos exemplos dos principais componentes do zooplâncton no ambiente marinho.



Fonte: Bonecker *et al.* (2009).

Figura V-42 – Esquema demonstrando alguns dos principais componentes da comunidade zooplanctônica no ambiente marinho: Radiolaria (A) Tintinnina (B) Siphonophora (C) Hydromedusae (D) Cladocera (E) Copepoda (F) Larva de Crustacea (G) Chaetognatha (H) Appendicularia (I) Doliolida (J) Salpida (L).

Os organismos que compõem o zooplâncton representam um dos elos mais importantes no ecossistema marinho por serem responsáveis por realizar a transferência de energia a partir dos produtores primários (fitoplâncton) para os níveis superiores (TUNDISI & TUNDISI, 2008; VEGA-PÈRES, 1993). Portanto, possuem papel significativo na dinâmica dos sistemas aquáticos, principalmente com relação à ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia, sendo diretamente influenciado pelo estrato autotrófico (fitoplâncton) (HUTCHINSON, 1967).

Diversos fatores físicos e químicos são responsáveis por determinar a estrutura das comunidades zooplanctônicas. Podemos citar como exemplo, a concentração de oxigênio dissolvido e de nutrientes (compostos fosfatados e nitrogenados) (ESTEVES *et al.*, 2012; GANNON & STEMBERGER, 1978; HARDY *et al.*, 1984).

Os indivíduos do zooplâncton podem ser susceptíveis a processos de bioacumulação e biomagnificação de substâncias tóxicas e de metais pesados. A

bioacumulação é o processo em que os organismos acumulam, ao longo de sua vida, quantidades progressivamente maiores de substância tóxicas, que são absorvidas diretamente do meio ambiente. Já a biomagnificação é o acúmulo de certas substâncias tóxicas ao longo da cadeia alimentar (RAND & PETROCELLI, 1985).

A comunidade zooplanctônica é considerada indicadora das condições tróficas de água, sendo utilizada na caracterização da qualidade ambiental (GANNON & STEMBERGER, 1978). O acompanhamento dessas comunidades é considerado um método eficiente na avaliação dos impactos oriundos de atividades antrópicas nos ambiente aquáticos (ESTEVES *et al.*, 2012).

Segundo o PCR-BS (Petrobras, 2022), foi identificado que a distribuição dos organismos zooplanctônicos, e em especial das espécies de Copepoda, estão diretamente relacionadas às variáveis ambientais. Segundo o estudo tanto no inverno quanto no verão a comunidade zooplanctônica na região mais próxima à costa, onde se observa uma associação entre organismos filtradores e onívoros/herbívoros, difere do zooplâncton encontrado na plataforma média e na zona oceânica, com associação constatada entre organismos onívoros/detrítívoros e carnívoros.

V.2.2.1 - Avaliação da Amostragem

Ao todo, considerando as oito campanhas de monitoramento, foram coletadas 36 amostras para esse grupo. Durante a DP-IRA-S_C9, houve um acréscimo de 5 novos taxa.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das campanhas evidencia um incremento maior de taxa entre a 1ª e 5ª amostra, que contabilizaram 76 taxa. Assim, 52,78% do total de taxa obtido foi coletado até o início da segunda campanha realizada. A partir da sexta amostra, ocorrem pequenos acréscimos de taxa e o comportamento da curva evidencia uma tendência à estabilização, que se mantém ao longo das demais campanhas, com novo incremento nas primeiras amostras da sétima campanha (Figura V-43). Estes dados apontam para um adequado esforço amostral, evidenciando que grande parte dos taxa presentes na comunidade local foi amostrada durante a realização

de poucas campanhas, enquanto a estabilização da curva indica que, mesmo com o aumento do esforço amostral, não é esperado um incremento significativo no número de espécies. O grande incremento verificado entre a 4ª e a 5ª amostra e entre a 24ª e 25ª amostra pode estar associado a uma mudança na composição dos taxa da comunidade local, ou ainda a mudança no laboratório executor das análises taxonômicas, o que pode ter ocasionado diferenças na identificação de alguns organismos. Essas diferenças são aceitáveis, tendo em conta a subjetividade inerente destas análises, que dependem da experiência e conhecimento dos especialistas, bem como da integridade dos organismos coletados.

Ao avaliar a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, é possível observar que os resultados da maioria das campanhas (distribuição real) estiveram abaixo do esperado, enquanto, na primeira campanha e na oitava campanha, alguns dos pontos estiveram dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife, sendo que agora na nona campanha todos os dados da distribuição real estiveram sobre a curva de Jackknife, dentro do intervalo do desvio padrão da curva.

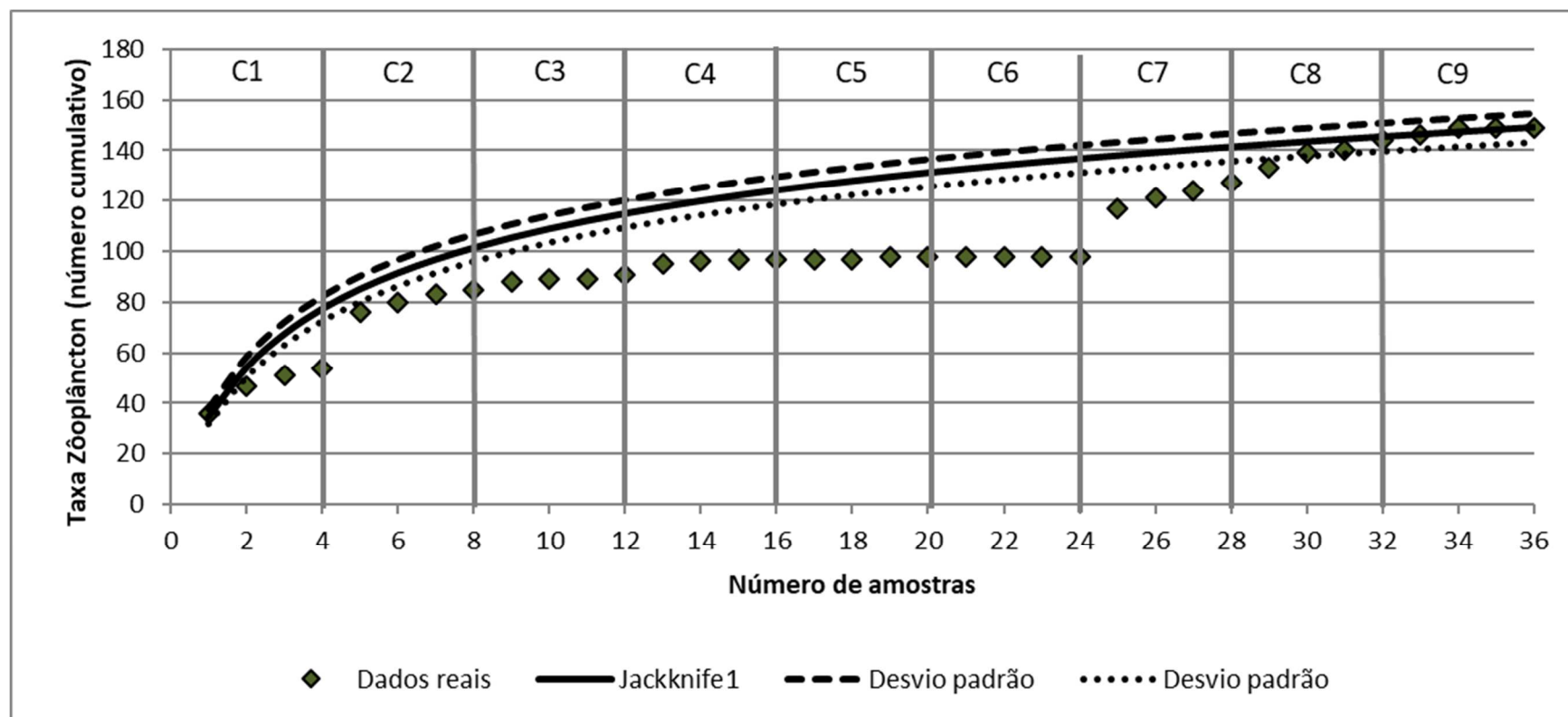


Figura V-43 – Taxa zoolâncton (número cumulativo) encontrados ao longo do DP-IRA-S. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

V.2.2.2 - *Análise Qualitativa*

Foram identificados organismos pertencentes a 11 filos: Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Chaetognatha, Chordata, Cnidaria, Ctenophora, Echinodermata, Mollusca, Foraminifera e Platelmintos. A maioria desses filos foi registrada nas campanhas de monitoramento realizadas anteriormente na região do entorno (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2016a, 2016c, 2017c, 2018f, 2019e, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021b, 2021c, 2022a, 2022b, 2022c, 2023^a, 2023b).

O filo com maior riqueza foi Arthropoda, com 26 *taxa*. Esse grupo se destacou em relação aos demais, que tiveram riqueza de 4 *taxa* (Mollusca), 3 *taxa* (Chordata), 2 *taxa* (Cnidaria) e 1 *táxon* (Annelida, Bryozoa, Chaetognatha, Ctenophora, Echinodermata, Foraminifera e Platelmintos) (Figura V-44). A lista completa com os *taxa* encontrados é apresentada no Anexo X-3.

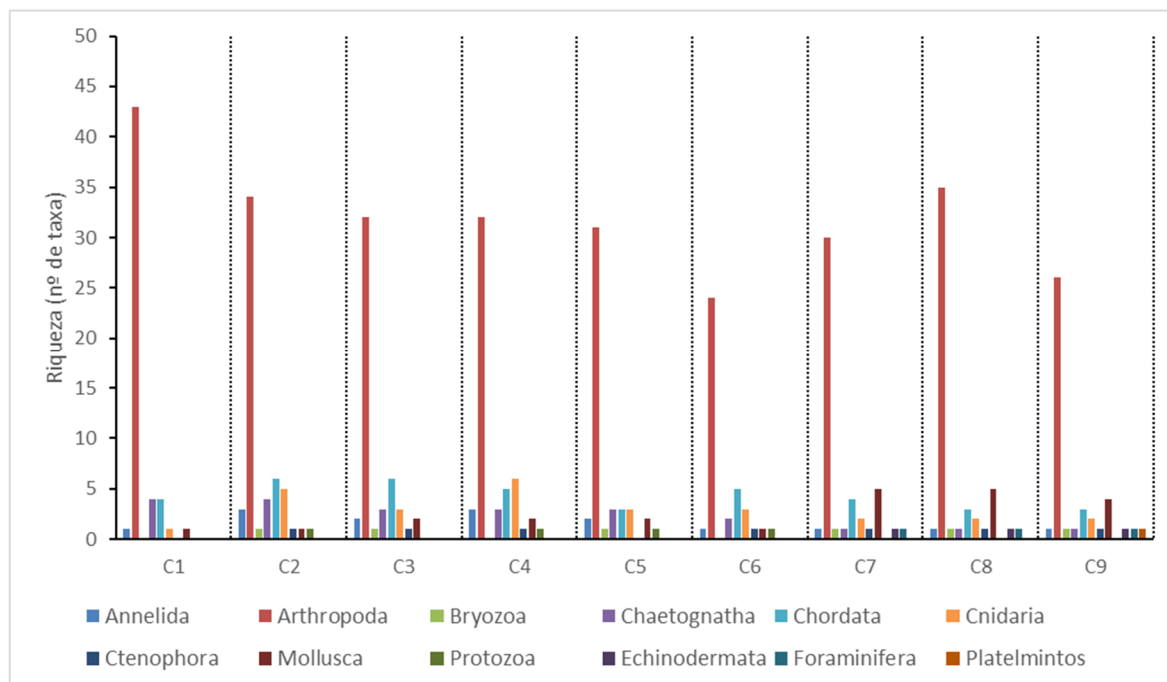


Figura V-44 – Riqueza zooplancônica (nº de taxa) ao longo do DP-IRA-S.

Os artrópodes são comumente dominantes nas comunidades zooplancônicas (BRANDINI *et al.*, 1997) e a dominância de Arthropoda verificada na DP-IRA-S_C9 corrobora os dados das campanhas de monitoramento no local, em que representaram de 60 a 80% da riqueza observada (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016c, 2017c, 2018f, 2019e, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021c). No presente trabalho, 62% dos taxa encontrados era desse filo (26 taxa pertencentes a Arthropoda em relação aos 42 taxa encontrados na campanha de DP-IRA-S_C9).

A forte dominância, em número de taxa, dos artrópodes foi devido a ocorrência de diversos taxa de Copepoda. Os copépodes são geralmente os representantes mais numerosos do holoplâncton marinho. Esses pequenos crustáceos possuem um papel central na teia alimentar pelágica. Eles possuem tamanhos que variam de menos de um a vários milímetros de comprimento e apresentam uma variada gama de hábitos alimentares, com a ocorrência de espécies herbívoras, onívoras e carnívoras. Copepoda constitui um dos principais alimentos de peixes planctófagos e os estágios larvais dos copépodes (náuplios e copepoditos) representam uma fonte de alimentos fundamental para as larvas e juvenis do ictioplâncton (BRANDINI *et al.*, 1997; CUSHING, 1977; ESKINAZI-SANT'ANNA & BJÖRNBERG, 2000).

Na literatura, muitos trabalhos demonstram que os Copepoda são dominantes na comunidade zooplancônica, chegando a representar 98% do total de densidade das amostras (COELHO-BOTELHO *et al.*, 1999). Este grupo é reconhecidamente dominante na BS (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021c), bem como na plataforma continental brasileira de maneira geral (BRANDINI *et al.*, 1997; NOGUEIRA *et al.*, 1999). Na área do talude, mais especificamente nos blocos BMS-08, 09, 10, 11 e 21, esse grupo também é dominante nas amostras (PETROBRAS/HABTEC, 2003). As espécies de Copepoda do gênero *Paracalanus* estão amplamente distribuídas nas águas da plataforma continental, ocorrendo em ambientes subtropicais e temperados. Além disso, estudos descrevem a maior ocorrência do gênero no verão (JANG *et al.*, 2013; MILOSLAVIĆ *et al.*, 2012).

No PCR-BS (Petrobras, 2022), estudo realizado de 2019 a 2022, os copépodes também representaram o grupo zooplancônico predominante, tanto na campanha de inverno, como de verão. O zooplâncton da Bacia de Santos (Petrobras, 2022) mostrou características semelhantes às comunidades zooplancônicas de outras bacias sedimentares da costa brasileira com maiores concentrações nas camadas superficiais, sobretudo de copépodos que dominaram a comunidade da plataforma continental.

A composição e estrutura da comunidade zooplancônica podem trazer importantes informações sobre as características ambientais, como por exemplo, a presença de espécies indicadoras de massas d'água. *T. turbinata*, registrada na atual campanha de monitoramento e nas anteriores, é um Copepoda introduzido na costa leste brasileira que divide espaço com a espécie nativa *T. stylifera*, também registrada na campanha de DP-IRA-S_C9 (ARAÚJO & MONTÚ, 1993). No PCR-BS (Petrobras, 2002b) a presença de *T. turbinata* foi avaliada como indicadora de Água Costeira (AC), sendo dominante em ambiente costeiro e estuarino.

Na campanha de DP-IRA-S_C9 também foram registrados, embora com menor riqueza, outros taxa, tais como os poliquetas, que são representantes do filo Annelida; o filo Chaetognatha, que representa um pequeno grupo de animais encontrados em todos os habitats marinhos, desde águas costeiras até oceanos abertos e zonas abissais (NUNES, 2012), e os gastrópodos e bivalves, representantes do filo Mollusca.

A classe Thaliacea e Appendicularia, pertencentes ao filo Chordata, são componentes frequentes do zooplâncton, e ambas foram registradas na presente campanha, e normalmente essas classes não são abundantes em biomassa (VEGA-PÉREZ *et al.*, 2011). Pertencente ao filo Cnidaria, foi registrada a classe Hydrozoa. Essa última faz parte do zooplâncton gelatinoso, tem corpo flexível, transparente ou semitransparente e consistência gelatinosa. Os indivíduos pertencentes a essa classe ocupam o nicho de predadores da carionofauna e ictioplâncton em ambientes pelágicos e tem grande importância ecológica em cadeias tróficas do ecossistema pelágico (NASCIMENTO & OLIVEIRA, 2010).

V.2.2.3 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-19, são apresentados os valores de riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade para a comunidade zooplânctônica encontrada na DP-IRA-S_C9.

Tabela V-19 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade zooplânctônica da DP-IRA-S_C9.

Estação	Arrasto	Riqueza (número de taxa)	Densidade (ind/m ³)	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
DP-IRA-S_M1000	Horizontal	32,00	146,18	3,69	0,74
	Oblíquo	32,00	219,90	3,77	0,75
DP-IRA-S_J1002	Horizontal	33,00	180,84	3,57	0,71
	Oblíquo	31,00	103,18	3,69	0,74
	mínimo	31,00	103,18	3,57	0,71
	máximo	33,00	219,90	3,77	0,75
	média	32,00	162,53	3,68	0,74
	desvio padrão	0,82	49,72	0,08	0,02

Na comunidade zooplânctônica, foram registrados 42 taxa, dentre os quais, 6 foram identificados em nível de filo, 1 em nível de subfilos, 6 em nível de classe, 1 em nível de infraclasse, 8 em nível de ordem, 1 em nível de família, 4 em nível de gênero e 15 foram identificados em nível de espécie. As comunidades foram descritas qualitativamente pelo número de taxa e não pelo número de espécies. A lista completa com os taxa encontrados é apresentada no Anexo X-3

Já os valores de riqueza total nas diferentes amostras variaram de 31 a 33 taxa, com valor mínimo no arrasto oblíquo da estação DP-IRA-S_J1002 e valor máximo no arrasto horizontal da estação DP-IRA-S_J1002, apresentando média de $32,00 \pm 0,82$ taxa, portanto, com baixa variação em torno da média (2,56%).

Os dados de riqueza total observados na DP-IRA-S_C9 estão dentro da variação de riqueza dos resultados registrados nas campanhas anteriormente e de outros projetos realizados para a região (Tabela V-19).

A densidade média de organismos zooplanctônicos na DP-IRA-S_C9 foi de $162,53 \pm 49,72$ ind/m³, variando entre 103,18 ind/m³, no arrasto oblíquo da estação DP-IRA-S_J1002 a 219,90 ind/m³, no arrasto oblíquo da estação DP-IRA-S_M1000 (Tabela V-19).

Os valores de densidade registrados para a região variaram bastante entre os estudos e os resultados obtidos na atual campanha estão na faixa de variação dos resultados já encontrados (Tabela V-19). A lista completa com os valores quantitativos dos taxa da atual campanha é apresentada no Anexo X-3

A diversidade da presente campanha foi elevada, com média de $3,68 \pm 0,08$ bits/ind, variando entre 3,57 bits/ind no arrasto horizontal da estação DP-IRA-S_J1002 a 3,77 bit/ind no arrasto oblíquo da estação DP-IRA-S_M1000 (Tabela V-19). Esses resultados encontram-se na faixa de variação dos resultados obtidos na região, com valores máximos maiores em relação a maioria dos valores obtidos para o local (Tabela V-20).

A equitabilidade média na DP-IRA-S_C9 foi de $0,74 \pm 0,02$, variando entre 0,71 no arrasto horizontal da estação DP-IRA-S_J1002 e 0,75 no arrasto oblíquo da estação DP-IRA-S_M1000. Esse resultado, encontra-se na faixa de variação da maioria dos valores já registrados anteriormente na região (Tabela V-20).

Já na Tabela V-20, são apresentados os valores mínimo e máximo dos resultados dos índices ecológicos das campanhas anteriores de monitoramento do DP de Iracema Sul, assim como de campanhas de outros projetos realizadas na região

Tabela V-20 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade zooplanctônica em campanhas de monitoramento ambiental na região do monitoramento do DP-IRA-S.

	Riqueza total (número de taxa)		Densidade (ind/m³)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-LL_C1 ¹	31	32	345,07	1.509,44	2,09	2,64	0,61	0,76
PIL-LL_C2 ^{2*}	29	33	300,10	301,40	1,23	1,26	0,81	0,86
PIL-LL_C3 ³	25	32	522,80	1.519,30	0,94	1,17	0,67	0,81
PIL-LL_C4 ⁴	36	52	36.739	54.035	2,32	3,03	0,65	0,80
PIL-LL_C5 ⁵	32	41	1.088	4.777	2,24	2,88	0,63	0,82
PIL-LL_C6 ⁶	30	35	245	310	2,70	3,04	0,79	0,86
PIL-LL_C7 ⁷	37	41	215,73	381,60	2,93	3,24	0,81	0,87
PIL-LL_C8 ⁸	34	40	738,67	995,43	3,14	3,42	0,89	0,93
PIL-LL_C9 ⁹	26	39	1.271,05	2.621,72	2,41	3,15	0,74	0,86
PIL-LL_C10 ¹⁰	26	32	198,44	473,17	2,82	3,09	0,86	0,91
PIL-LL_C11 ¹¹	35	38	96,55	1211,90	3,25	3,31	0,89	0,92
PIL-LL_C12 ¹²	36	40	207,38	282,52	3,31	3,82	0,62	0,74
PIL-LL_C13 ¹³	34	39	340,47	7.941,96	3,15	3,55	0,62	0,67
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	31	45	1.757	3.443	2,66	3,12	0,75	0,82
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	37	40	206	583	2,43	3,01	0,66	0,82
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	29	39	100,27	483,88	2,74	2,92	0,77	0,81
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	30	42	499,88	1.136,04	2,94	3,15	0,80	0,86
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	30	41	1.092,39	1.731,90	2,48	3,02	0,72	0,89
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	26	38	565,78	4.217,16	2,74	2,95	0,78	0,84
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	24	33	109,80	673,21	2,92	3,13	0,85	0,94
PIL-LL-NE_C8 ²¹	37	43	171,11	286,46	3,78	4,01	0,70	0,76
PIL-LL-NE_C9 ²²	35	38	136,75	465,49	3,78	4,15	0,74	0,79

	Riqueza total (número de taxa)		Densidade (ind/m ³)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-SAP_C1 ²³	25	43	2.142	3.443	2,40	2,88	0,74	0,77
PIL-SAP_C2 ²⁴	35	41	316	578	2,69	3,02	0,76	0,85
PIL-SAP_C3 ²⁵	35	44	141,77	345,35	2,99	3,24	0,79	0,88
PIL-SAP_C4 ²⁶	35	39	375,75	474,00	2,93	3,25	0,80	0,91
PIL-SAP_C5 ²⁷	33	36	1.274,85	3.212,44	3,03	3,13	0,86	0,89
PIL-SAP_C6 ²⁸	28	34	453,65	1.067,23	2,73	3,12	0,81	0,91
PIL-SAP_C7 ²⁹	27	36	399,34	2.622,46	2,99	3,26	0,87	0,92
PIL-SAP_C8 ³⁰	37	48	125,81	192,30	3,78	4,09	0,71	0,75
PIL-SAP_C9 ³¹	30	37	149,80	297,02	3,18	3,81	0,64	0,77
DP-IRA-S_C1 ³²	30	38	53,04	294,08	2,79	3,27	0,82	0,91
DP-IRA-S_C2 ³³	35	41	739,21	2.220,53	2,78	3,17	0,78	0,85
DP-IRA-S_C3 ³⁴	34	41	526,64	1.482,32	2,93	3,34	0,83	0,90
DP-IRA-S_C4 ³⁵	27	32	245,30	493,71	2,88	3,15	0,87	0,91
DP-IRA-S_C5 ³⁶	30	38	53,04	294,08	2,79	3,27	0,82	0,91
DP-IRA-S_C6 ³⁷	20	30	307,34	1.027,77	2,57	2,69	0,79	0,86
DP-IRA-S_C7 ³⁸	35	36	194,55	370,27	3,53	4,09	0,69	0,79
DP-IRA-S_C8 ³⁹	34	37	157,24	223,19	3,59	4,12	0,71	0,79

*Somente dados verticais

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2021b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 23 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 26 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 29 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 30 = Petrobras/Bioconsult (2021a); 31 = Petrobras/Bioconsult (2022d); 32 = Petrobras/Bourscheid (2016c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 34 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 35 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 37 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 38 = Petrobras/Bioconsult (2021c); 39 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Os valores de riqueza obtidos nas amostras das nove campanhas do DP de Iracema Sul são apresentados na Figura V-45. Pode-se observar que a primeira e a sexta campanha apresentaram a maior variação nos resultados de riqueza; a primeira campanha também registrou o maior valor máximo e a maior mediana registrada entre as campanhas. A riqueza aumentou de C2 a C4, diminuiu em C5 e C6 e apresentou valores semelhantes em C7 e C8, voltando a diminuir em C9.

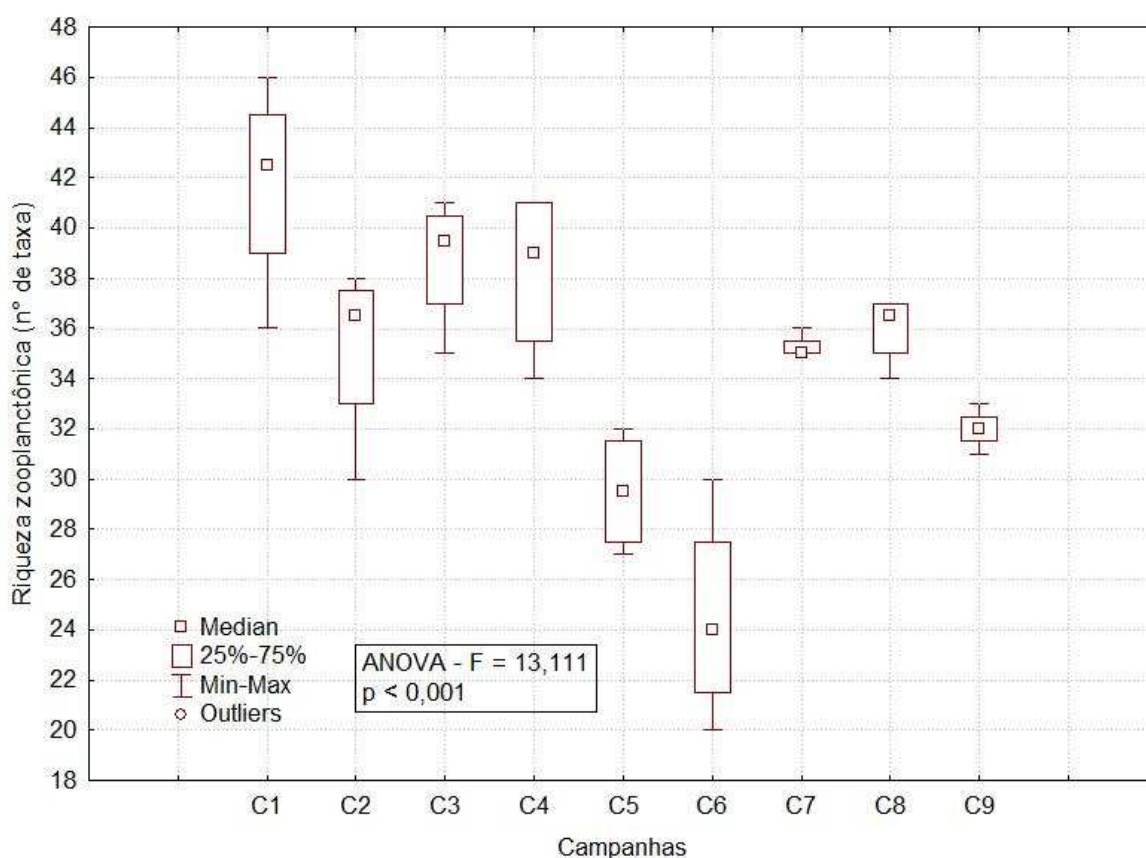


Figura V-45 – Box plots representativos dos valores de riqueza zooplanctônicas (número de taxa) encontradas ao longo do DP-IRA-S.

Foram observadas diferenças significativas entre os valores de riqueza das nove campanhas da fase de operação (ANOVA, $p < 0,001$). A quinta campanha diferiu significativamente da primeira, terceira e quarta, enquanto a sexta diferiu de todas as campanhas, exceto da quinta. E a primeira diferiu da nona (Tukey, $p < 0,05$).

Bassani *et al.* (1999) realizou levantamento de trabalhos que estudaram a densidade de zooplâncton na plataforma continental do sudeste do Brasil. Nesse

trabalho, a autora descreve uma densidade anual média desses organismos de 30.000 ind/m³. Esse trabalho também afirma que 46% dos valores observados na literatura situam-se entre 1 e 2 x 10⁴ ind/m³ e que os valores comumente flutuam entre 10.000 e 20.000 ind/m³, apresentando variação sazonal. Na região oceânica, mais especificamente nos blocos BMS-08, 09, 10, 11 e 21, a densidade variou entre aproximadamente 4.000 ind/m³ e 35.003 ind/m³ (PETROBRAS/HABTEC, 2003), enquanto nos estudos do PMA (Tabela V-19) variaram entre 53,04 ind/m³ (DP-IRA-S_C1 e DP-IRA-S_C5) e 7.941,66 ind/m³ (PIL-LL-C13). A abundância do zooplâncton na Bacia de Santos (Petrobras, 2022), próximo ao sistema de DP-BUZ-1, apresentou diferenças entre verão e inverno, tanto na camada mais superficial (0-25 m) (verão = 100,01 a 20.000,00 ind/m³; inverno = 100,01 a 10.000,00 ind/m³), quanto na camada mais profunda (25-50 m), (inverno = 100,01 a 10.000,00 ind/m³; verão = 100,01 a 1.000,00 ind/m³).

A terceira e a quarta campanha registraram os maiores valores de densidade em comparação com as demais campanhas de monitoramento de DP-IRA-S (Figura V-46), enquanto estas diferiram significativamente da oitava e nona campanha (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,001$; *Tukey*, $p < 0,05$).

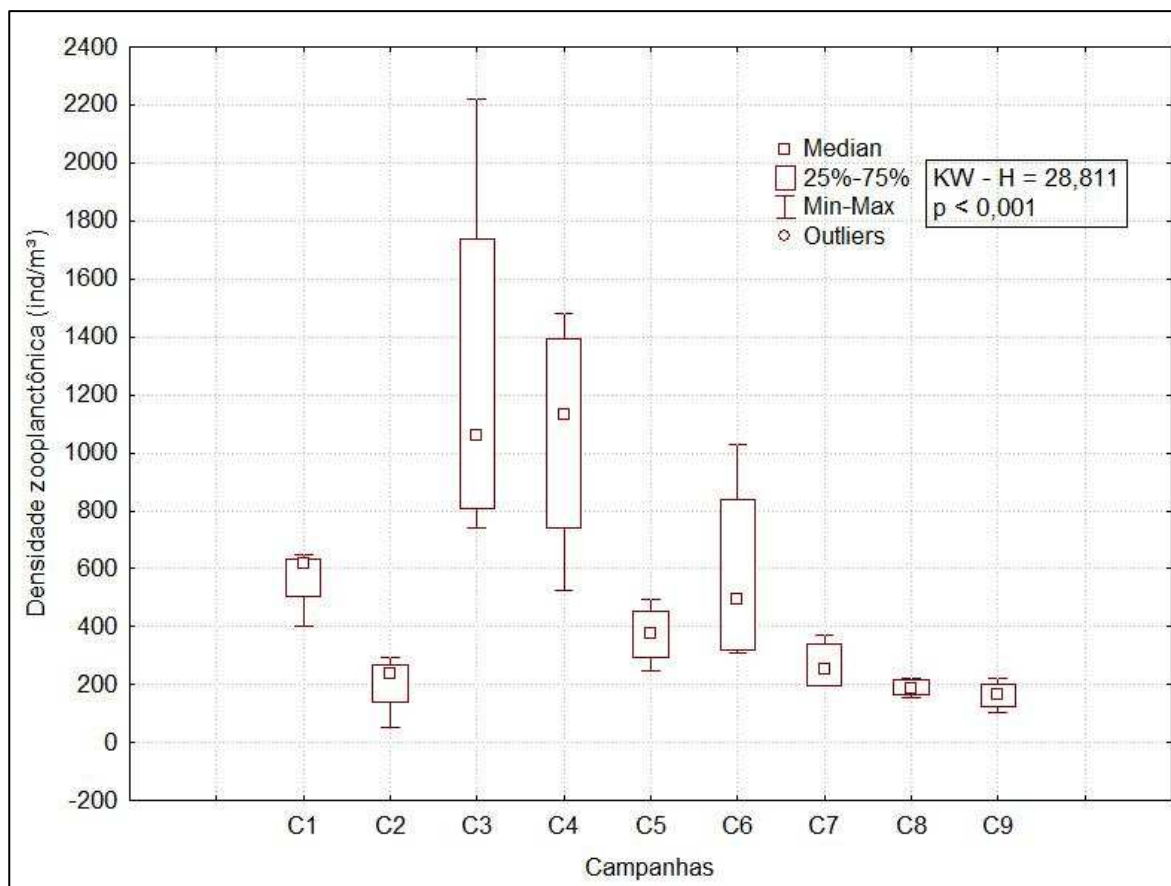


Figura V-46 – Box plots representativos dos valores de densidade zooplancônica (ind/m³) encontradas ao longo do DP-IRA-S.

Além de ter registrado o maior número de taxa (Anexo X-3), Arthropoda também apresentou a maior densidade de organismos nas comunidades do local, registrando média de $93,14 \pm 42,62$ ind/m³, correspondendo a cerca de 57% dos organismos, seguido por Foraminifera, com média de $19,52 \pm 7,95$ ind/m³, e Chaetognatha, com média de $17,96 \pm 5,18$ ind/m³, representando 12% e 11% dos organismos, respectivamente. Os demais grupos somados totalizam aproximadamente 19,6% dos organismos. O quarto filo com maior densidade foi Chordata ($14,11 \pm 12,91$ ind/m³), seguido de Mollusca ($10,54 \pm 6,06$ ind/m³), Cnidaria ($5,31 \pm 2,55$ ind/m³), Echinodermata ($1,59 \pm 1,36$ ind/m³), Annelida ($0,37 \pm 0,12$ ind/m³). Bryozoa, Ctenophora e Platemintos apresentaram média de $0,01 \pm 0,01$ e $\pm 0,02$ ind/m³) (Figura V-47). Nas campanhas anteriores do DP de Iracema Sul (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016c, 2017c, 2018f, 2019e, 2019g, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021c, 2023) também foram registradas altas densidades de artrópodes, sendo o grupo com maior densidade média em todas as

campanhas, variando entre 55% (C7) e 88,88% (C3), corroborando os dados do presente trabalho. Esses resultados estão atribuídos às altas densidades de copépodes, que é um grupo reconhecidamente muito abundante nessas comunidades na plataforma continental brasileira (BRANDINI et al., 1997) e no talude, onde representam de 70 a 90% do total de organismos (PETROBRAS/HABTEC, 2003; CENPES/PDEDS/AMA, 2013).

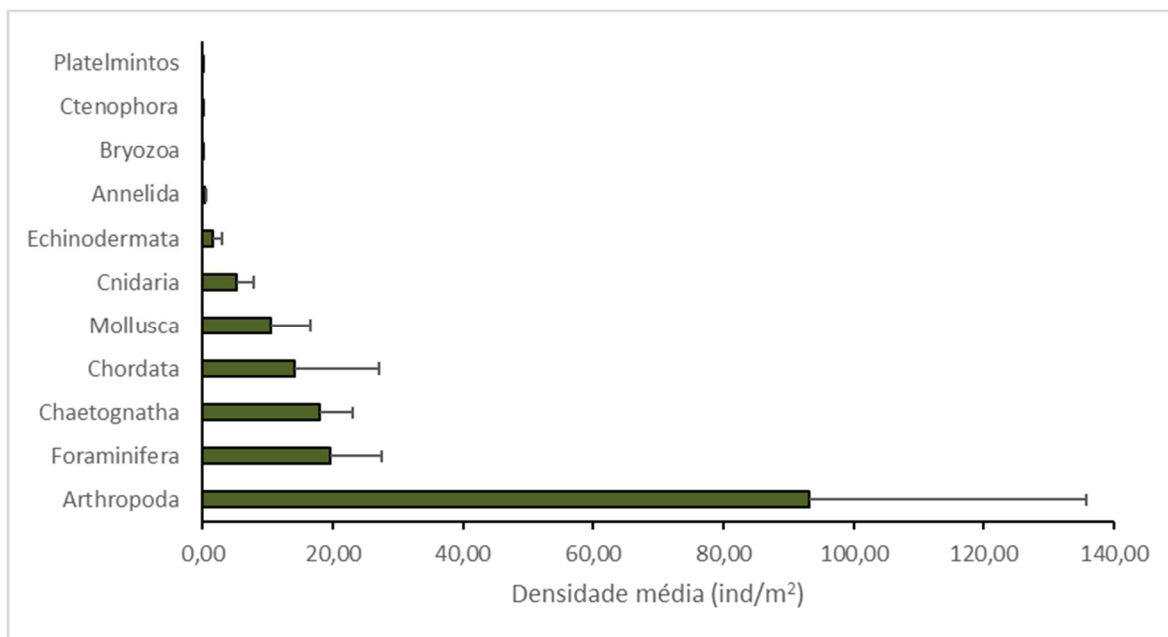


Figura V-47 – Densidade zooplancônica (ind/m³) da DP-IRA-S_C9. A barra verde representa a densidade média das amostras $\pm$ desvio-padrão.

No atual projeto, a sétima e a oitava campanha de monitoramento (DP-IRA-S_C9) se destacaram por apresentar os maiores valores de mediana e de valor máximo, enquanto a sexta campanha apresentou menores valores de diversidade. Foram observadas diferenças significativas entre a diversidade das campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,001$). A sétima, oitava e nona campanhas diferiram da sexta (*Tukey*, $p < 0,05$).

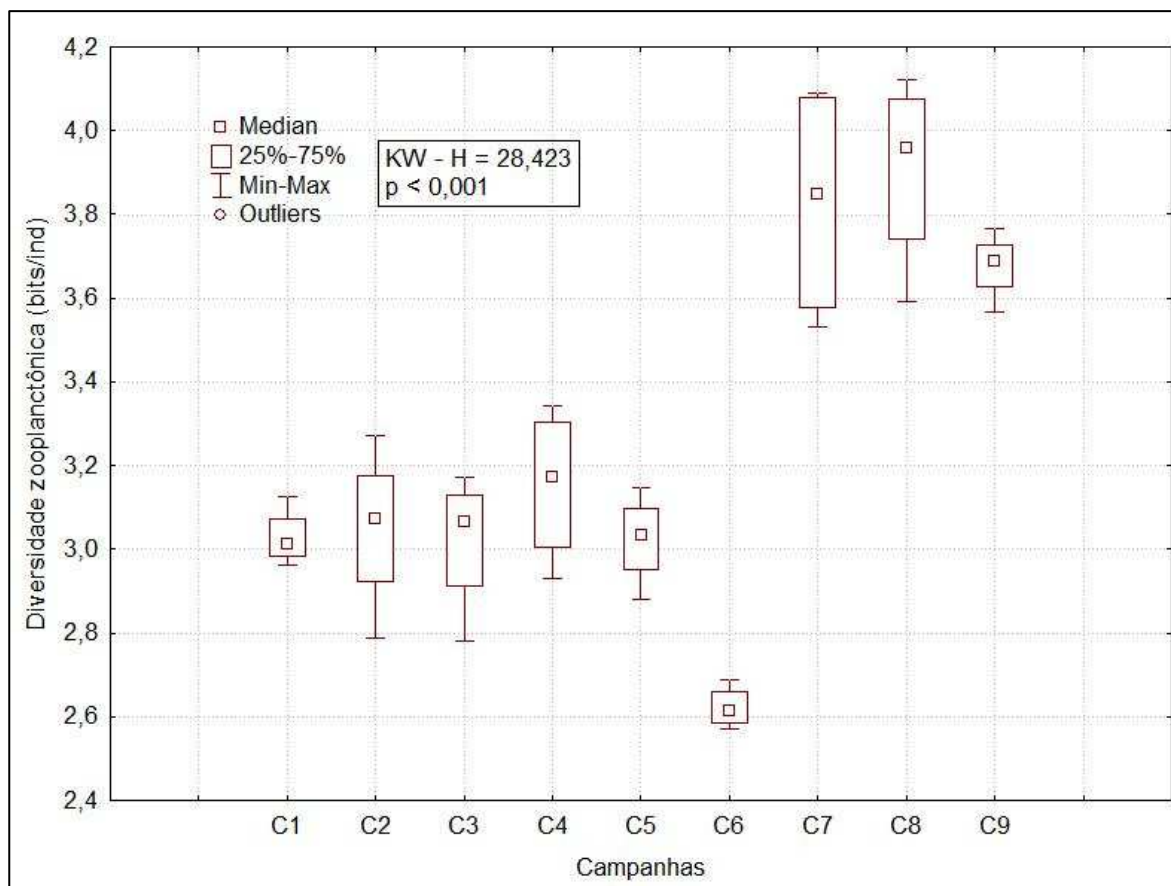


Figura V-48 – Box plots representativos dos valores de diversidade zooplancônica (bits/ind) encontradas ao longo do DP-IRA-S.

A quinta campanha registrou maiores valores de equitabilidade média em comparação às demais campanhas, enquanto a sétima apresentou maior variação nos resultados (Figura V-48). Foram observadas diferenças significativas entre as campanhas do DP de Iracema Sul (ANOVA, $p < 0,001$). A quinta campanha diferiu significativamente da primeira, sétima, oitava e nona; a segunda e a quarta diferiram da sétima, oitava e nona; e terceira e a sexta diferiram da sétima e nona (Tukey, $p < 0,05$).

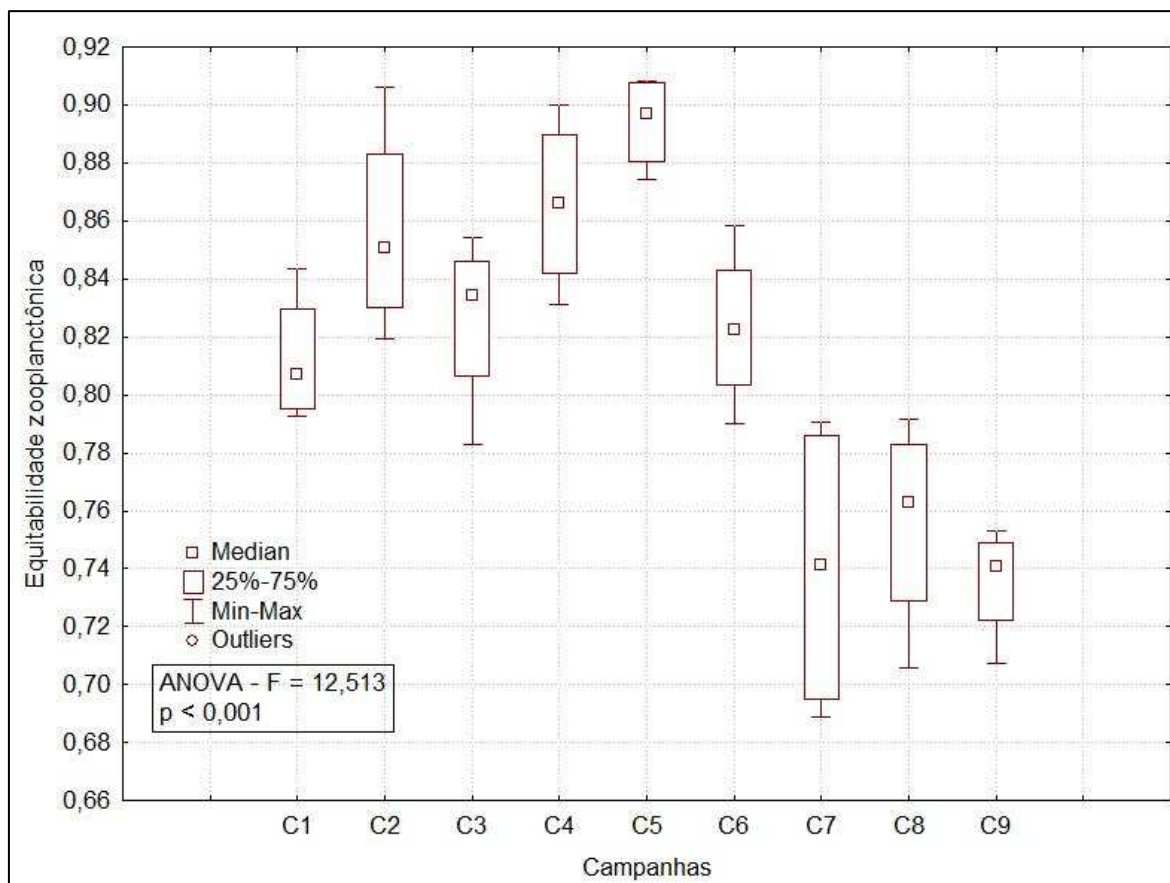


Figura V-49 – Box plots representativos dos valores de equitabilidade zooplancônica encontradas ao longo do DP-IRA-S.

Finalmente, é importante ressaltar que todas as campanhas utilizaram os mesmos critérios de identificação (até o menor nível taxonômico possível) e contabilização dos organismos, bem como as mesmas fórmulas de cálculo para os índices ecológicos, conforme explicado na metodologia deste relatório. Entretanto, é possível que as diferenças identificadas sejam oriundas das subjetividades inerentes do método analítico. Isto porque, o menor nível taxonômico encontrado em cada uma das campanhas pode variar, devido às diferentes condições de integridade dos organismos e aos distintos graus de experiência dos analistas envolvidos nas identificações. Neste sentido, também é possível que a troca de laboratório ocorrida entre a primeira e a segunda e entre a sexta e a sétima campanhas tenha influenciado nos resultados gerados.

V.2.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Zooplâncton

Os valores de riqueza total variaram de 32 a 33 nos arrastos horizontais e variaram de 31 a 32 taxa nos arrastos oblíquos.

A contribuição relativa dos filos nas amostras foi semelhante entre as estações. A maioria dos filos foram encontrados em todas as amostras, exceto Bryozoa, que não ocorrem ambos os arrastos da estação DP-IRA-S_J1002, Ctenophora, que apenas ocorreu no arrasto oblíquo de DP-IRA-S_J1002 e Platelmintos que não ocorreu nos arrastos oblíquos de ambas as estações. Arthropoda contribuiu com maiores valores de riqueza, seguido por Mollusca, que contribuiu com, no mínimo, 3 taxa em cada amostra, e Chordata, com 3 taxa em cada amostra. Os demais filos, quando presentes, contribuíram com até 2 taxa. As pequenas diferenças não representaram distinção marcante, revelando, provavelmente, uma variação natural da distribuição espacial dessas comunidades. A maior parte dos filos contribuiu com poucos taxa nas amostras (Figura V-50).

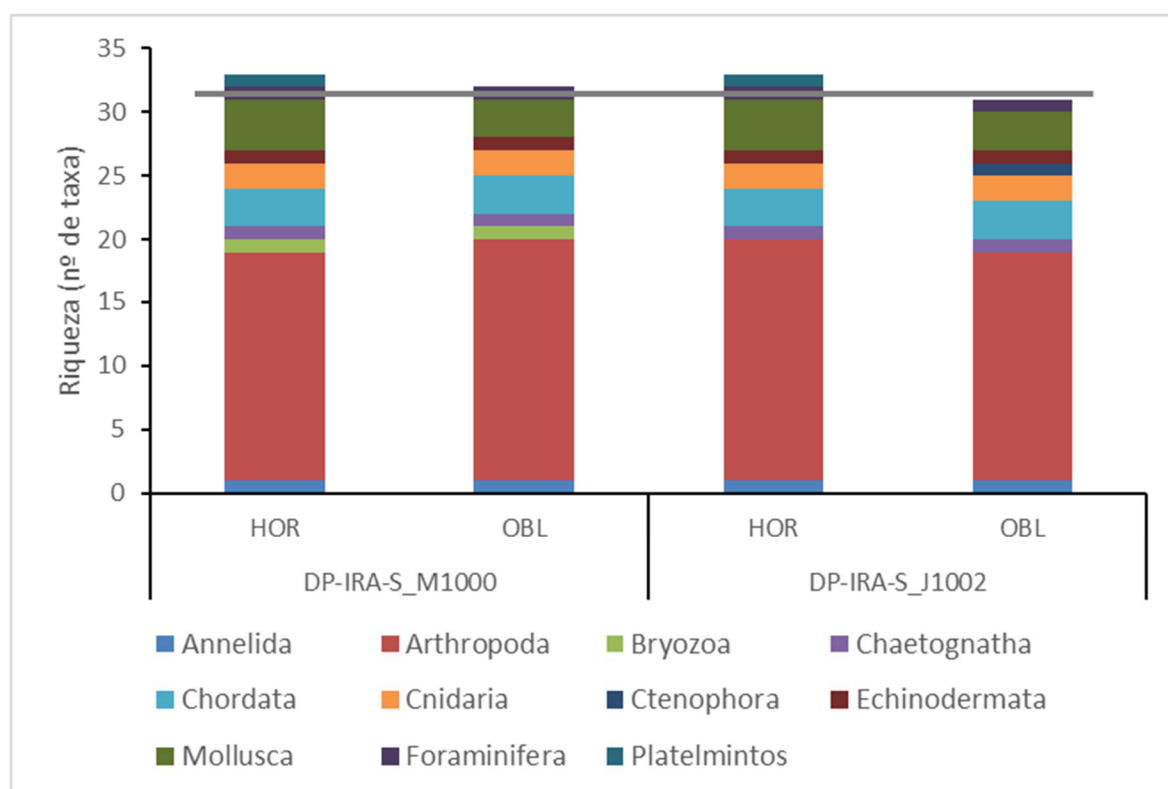


Figura V-50 – Riqueza zooplancônica (número de taxa) da DP-IRA-S_C9. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

Com relação à densidade de organismos entre as quatro amostras, foi observada maior densidade no arrasto oblíquo da estação DP-IRA-S_M1000. O filo

Arthropoda foi dominante, representando acima de 40% das densidades em cada uma das amostras da campanha DP-IRA-S_C9 (Figura V-51).

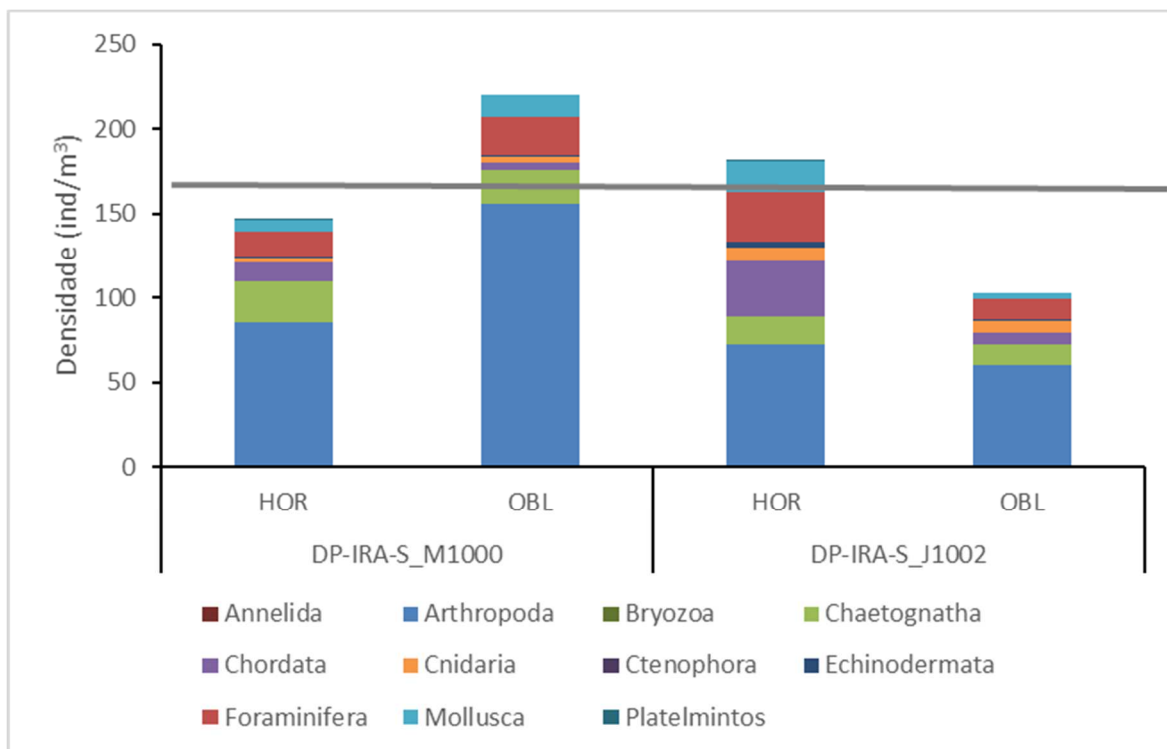


Figura V-51 – Densidade zooplânctônica (ind/m³) da DP-IRA-S_C9. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

Os índices de diversidade e equitabilidade apresentaram valores muito semelhantes entre as amostras, com valores maiores para ambos os parâmetros no arrasto oblíquo da estação DP-IRA-S_M1000 e menor valor no arrasto horizontal de DP-IRA-S_J1002. Todas as amostras apresentaram bons valores de diversidade e de equitabilidade, indicando uma composição específica local diversa e bem distribuída (Figura V-52).

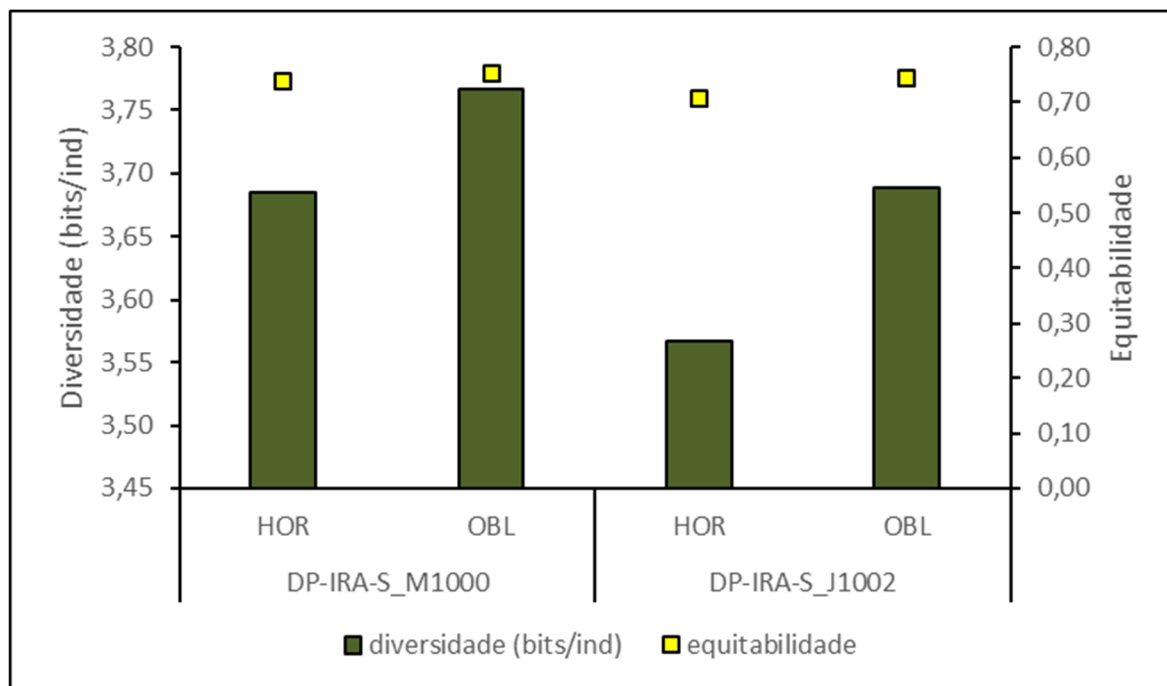
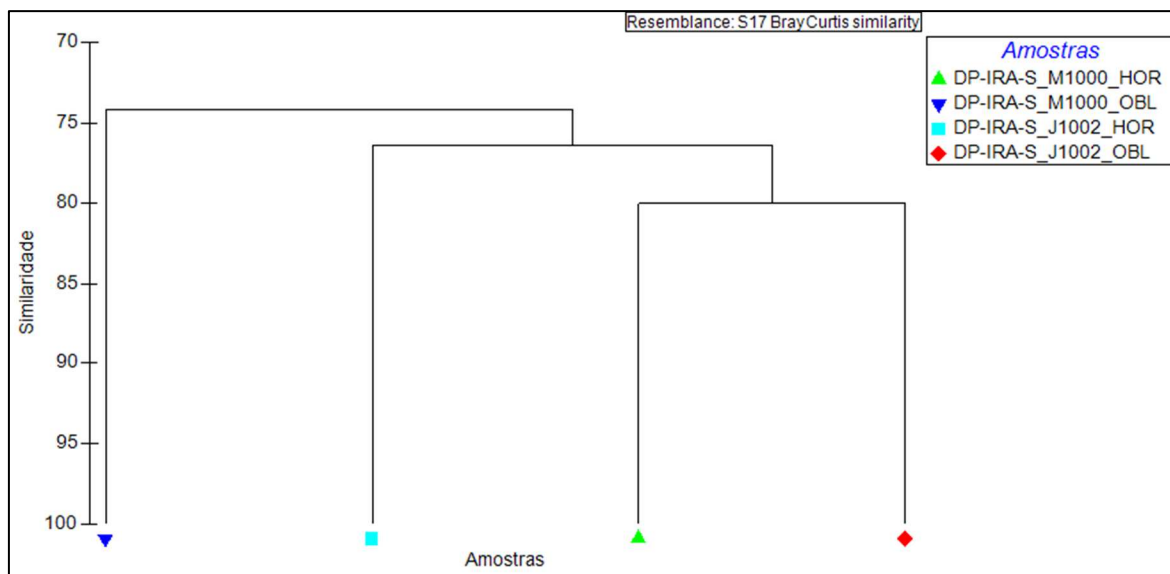


Figura V-52 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade zooplanctônica da DP-IRA-S_C9.

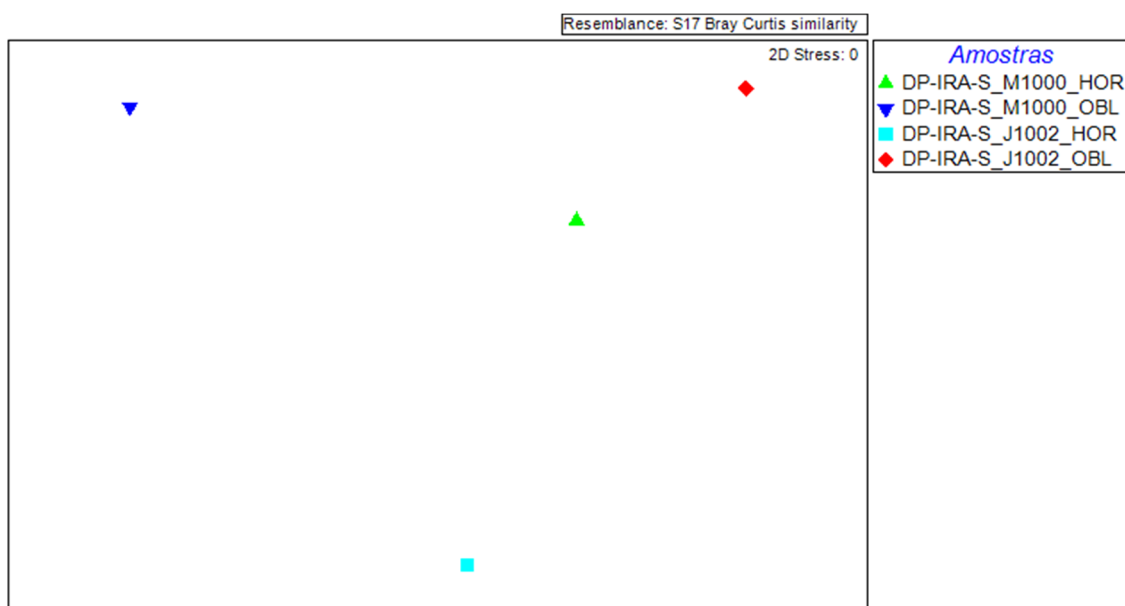
V.2.2.5 - Análise de Cluster e MDS

A análise *Cluster* mostrou similaridades variando entre 75 e 80% (Figura V-53). As amostras do arrasto horizontal da estação DP-IRA-S_M1000 e do arrasto oblíquo da estação DP-IRA-S_J1002 foram as mais similares, com 80%, provavelmente devido aos menores valores de densidade de Mollusca, semelhante densidade de Annelida e Echinodermata, entre essas amostras. Esta condição de agrupamento verificada no cluster também foi observada na análise de MDS (Figura V-54). O MDS apresentou *stress* nulo, representando uma boa ordenação dos dados.



Legenda: OBL = arrasto oblíquo e HOR = arrasto horizontal.

Figura V-53 – Dendrograma de agrupamento (Cluster) da comunidade zooplanctônica da DP-IRA-S_C9.



Legenda: OBL = arrasto oblíquo e HOR = arrasto horizontal.

Figura V-54 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade zooplanctônica da DP-IRA-S_C9.

V.2.3 - Ictioplâncton

O grupo dos peixes é formado por vertebrados aquáticos que possuem respiração branquial, extremidades adaptadas à natação, tegumento lubrificado por secreção mucosa e corpo recoberto por escamas de origem dérmica (WOOTTON,

1990). Eles possuem diferentes fases de vida, sendo elas resumidamente: ovo, larva, juvenil e adulto. A saber:

- Ovo - fase compreendida entre a fecundação e a eclosão (período embrionário), muitas vezes de hábito planctônico, também podendo ser bentônico.
- Larva - fase compreendida entre a eclosão e a metamorfose (período larvar). Nessa fase de vida os peixes possuem hábito planctônico. A metamorfose é coincidente com o final da vida planctônica.
- Juvenil - fase compreendida entre a metamorfose e a primeira maturação sexual, sendo em sua grande maioria de hábito de vida nectônico, no entanto, também existem espécies bentônicas e demersais.

O ictioplâncton é constituído pelos ovos e larvas de peixes (Chordata – Vertebrata). A Figura V-55 demonstra um exemplo esquemático do aspecto de ovos e larvas dessa comunidade. A maioria dos Osteichthyes (peixes ósseos) marinhos possui ovos planctônicos de tamanho reduzidos, com cerca de 1 mm. Os mesmos, geralmente, são transparentes com forma esférica. Alguns organismos em estados larvares mais avançados desenvolvem características transitórias, também utilizadas na sua identificação, como por exemplo, padrões pigmentares, espinhos e cristas. Já as larvas possuem uma grande variedade de formas (BONECKER *et al.*, 2009; MOSER, 1984).

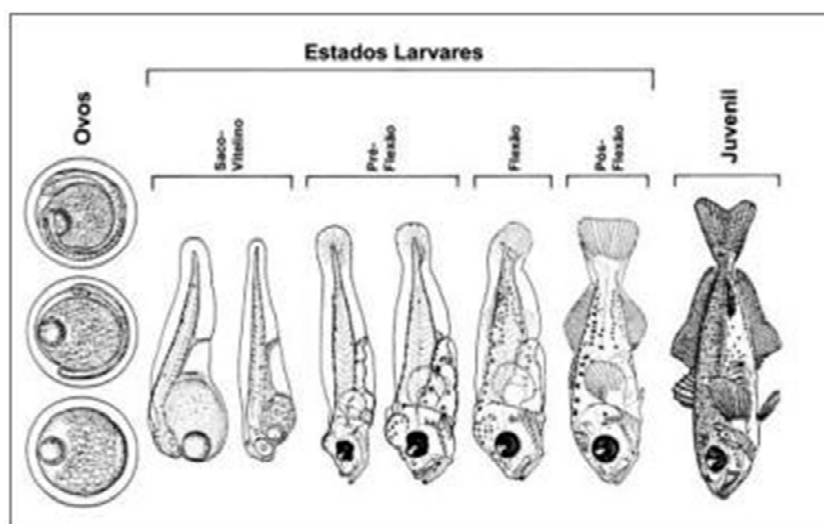


Figura V-55 – Esquema dos primeiros estados de desenvolvimento de *Trachurus symmetricus*. Adaptado de Moser (1984).

Os estudos dos organismos desse grupo estão muito relacionados com a dinâmica das populações e recursos pesqueiros. A distribuição e ocorrência do ictioplâncton vão determinar características do período reprodutivo, como época de desova, locais de recrutamento e até mesmo relações com o estoque pesqueiro (BONECKER *et al.*, 2009; NAKATANI *et al.*, 2001; PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009).

V.2.3.1 - Avaliação de Amostragem

Ao todo, considerando as nove campanhas de monitoramento, foram coletadas 72 amostras para esse grupo.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das campanhas realizadas evidencia um incremento maior até o final da terceira campanha, contabilizando 41 taxa, o que representa 39,8% da riqueza total encontrada nas nove campanhas. A partir de então, o comportamento da curva evidencia uma tendência à estabilização, com poucos taxa adicionados ao longo das demais campanhas (Figura V-56). Na segunda, na sétima e na oitava campanhas houve um maior incremento do número de taxa, que pode estar associado a uma mudança na composição dos taxa da comunidade local, e/ou ainda a mudança no laboratório executor das análises taxonômicas, o que pode ter ocasionado diferenças na identificação de alguns organismos. Ressalta-se que tais diferenças são aceitáveis, tendo em conta a subjetividade inerente destas análises, que dependem da experiência e conhecimento dos especialistas, bem como da integridade dos organismos coletados.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, observa-se que a partir da 61ª amostra (8ª campanha) em diante, a distribuição real aproxima-se da distribuição esperada, pois os pontos encontram-se dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife. Já na nona campanha, todos os pontos da distribuição real ficam sobre a curva Jackknife, demonstrando a estabilização do esforço amostral. Nas coletas das campanhas anteriores, a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada.

Os resultados obtidos evidenciam a importância e adequação do esforço amostral realizado durante as campanhas de monitoramento do DP de Iracema Sul, uma vez que se garantiu a caracterização de grande parte da comunidade local com a realização de poucas campanhas e que a estabilização da curva indica que, mesmo com o aumento do esforço amostral, não é esperado um incremento significativo no número de espécies.

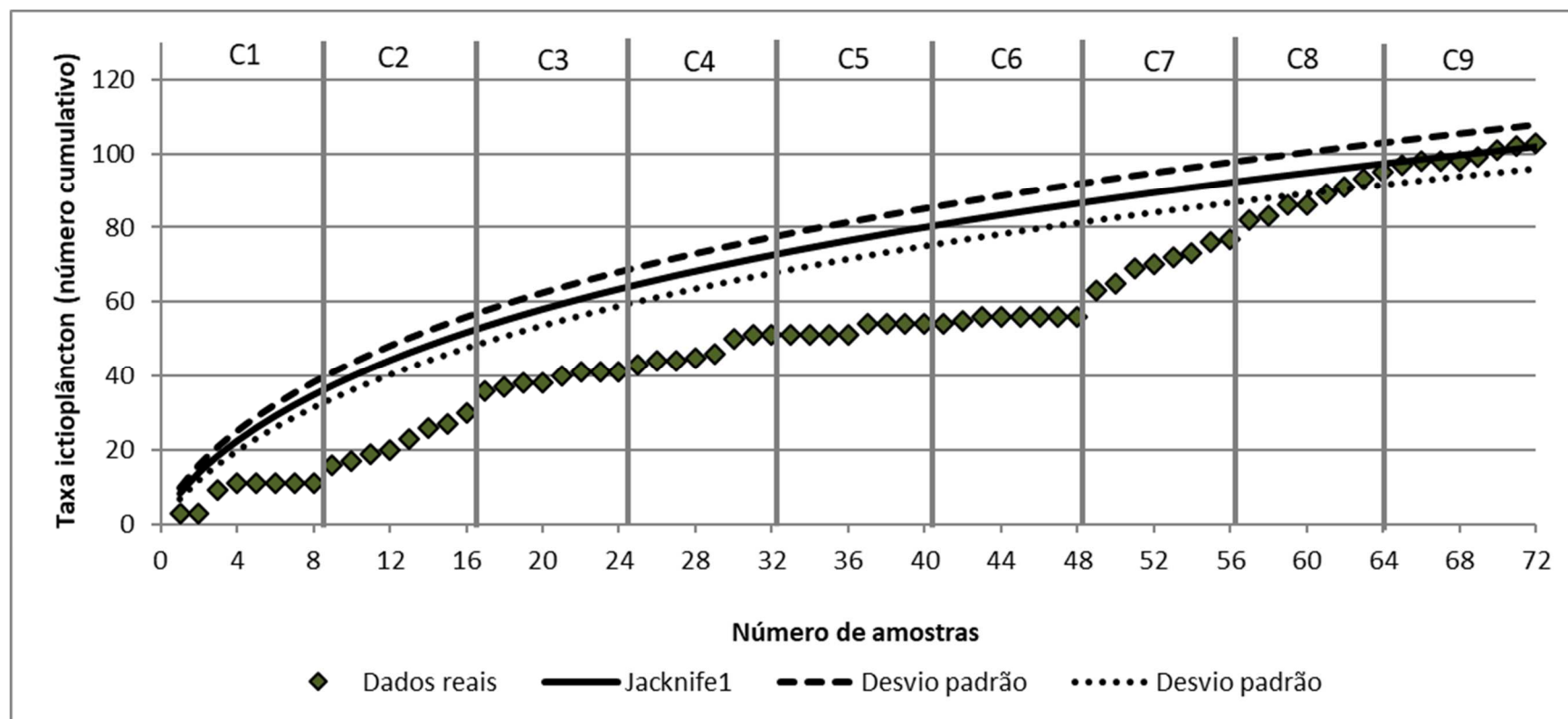


Figura V-56 – Taxa ictioplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo do DP-IRA-S. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

V.2.3.2 - Avaliação Qualitativa

As larvas e ovos encontrados na campanha DP-IRA-S_C9 pertenciam a 10 ordens de peixe: Gadiformes (família Bregmacerotidae), Mulliformes (família Mullidae), Scombriformes (famílias Chiasmodontidae, Gempylidae, Scombridae, Nomeidae e Bramidae), Acanthuriformes (famílias Ephippidae, Chaetodontidae, Caproidae, Pomacanthidae e Pomacentridae), Myctophiformes (família Myctophidae), Perciformes (famílias Scorpaenidae e Serranidae), Pleuronectiformes (família Bothidae) Stomiiformes (famílias Stomiidae, Gonostomatidae, Phosichthyidae, Sternoptychidae), Carangiformes (famílias Carangidae, Coryphaenidae e Istiophoridae) e Eupercaria (famílias Gerreidae, Lutjanidae, Scaridae, Labridae e Priacanthidae). Ainda na campanha DP-IRA-S_C9, a riqueza de taxa foi relativamente baixa, e as ordens Scombriformes e Myctophiformes e Stomiiformes se destacaram por serem dominantes em riqueza em relação as demais (Figura V-57).

Esse predomínio destoa das campanhas deste projeto realizadas na região, em data anterior a DP-IRA-S_C9, nas quais a ordem Perciformes foi dominante (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016c, 2017c, 2018f, 2019e; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021c). As larvas coletadas foram identificadas ao menor grupo taxonômico possível e resultou na listagem de taxa apresentada no Anexo X-3

A ordem Stomiiformes é composta por espécies marinhas e a maioria das espécies ocorre em grandes profundidades. A presença de fotóforos é a principal característica das larvas em transformação e dos adultos (BONECKER *et al.*, 2014).

Os indivíduos ictioplânctônicos da ordem Myctophiformes possuem fotóforos, que auxiliam na identificação das espécies. A família Myctophidae, encontrada na atual campanha de monitoramento (DP-IRA-S_C8), é marinha e é composta por 32 gêneros com 240 espécies. São peixes mesopelágicos, que alcançam 35 cm de comprimento na fase adulta (BONECKER *et al.*, 2014).

Para as demais ordens, não foram encontradas informações específicas sobre ictioplâncton para esses grupos.

V.2.3.3 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-21 são apresentados os valores de riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade para a comunidade ictioplânctônica encontrada na DP-IRA-S_C9.

Tabela V-21 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/100m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade ictioplanctônica encontrados na DP-IRA-S_C9.

Estação	Arrasto	Malha	Riqueza (número de taxa)	Densidade (ind/100m ³)	Diversidad e (bits/ind)	Equitabilidade
DP-IRA-S_M1000	HOR	300 µm	4	9,52	0,00	0,90
	HOR	500 µm	3	3,48	0,69	0,97
	OBL	300 µm	11	76,87	1,98	0,00
	OBL	500 µm	6	24,37	1,56	1,00
DP-IRA-S_J1002	HOR	300 µm	7	24,44	1,48	0,92
	HOR	500 µm	8	12,34	1,33	0,96
	OBL	300 µm	9	36,00	1,47	0,91
	OBL	500 µm	6	14,97	1,33	0,96
mínimo			3	3,48	0	0
máximo			11	76,87	1,97	1
média			6,75	25,25	1,23	0,83
desvio padrão			2,60	23,22	0,61	0,34

Um total de 25 taxa de larvas de peixes foi coletado, sendo que seis foram identificadas a nível de família, sete a nível de gênero e 12 a nível de espécie.

A riqueza total variou entre 3 taxa, registrados na amostra DP-IRA-S_M1000_HOR_500, e 11 taxa, registrados na amostra DP-IRA-S_M1000_OBL_300, registrando média de $6,75 \pm 2,60$ taxa. Valores baixos, em número de taxa, em comunidades ictioplanctônicas são considerados comuns, visto que existe um menor número desses organismos na coluna d'água. As larvas coletadas foram identificadas ao menor grupo taxonômico possível e resultou na listagem de taxa apresentada no Anexo X-3

Já na Tabela V-22, são apresentados os valores mínimo e máximo dos resultados dos índices ecológicos das campanhas anteriores de monitoramento do DP de Iracema Sul, assim como das campanhas de outros projetos de monitoramento ambiental realizadas na região.

Tabela V-22 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade ictioplanctônica em campanhas de monitoramento ambiental na região do DP-IRA-S.

	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/m³)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-LL_C1 ¹	6	19	24,72	304,60	0,52	0,86	0,55	0,93
PIL-LL_C2 ^{2*}	5	7	50,60	122,19	0,47	0,68	0,68	0,88
PIL-LL_C3 ³	4	11	98,93	1.340,15	0,09	0,57	0,11	0,68
PIL-LL_C4 ⁴	7	12	43,00	1060	0,18	1,60	0,08	0,69
PIL-LL_C5 ⁵	3	8	6,00	30,00	0,95	1,58	0,49	0,96
PIL-LL_C6 ⁶	3	7	3,00	49,00	0,96	1,59	0,59	1,00
PIL-LL_C7 ⁷	4	8	46,83	129,55	1,05	1,66	0,53	0,73
PIL-LL_C8 ⁸	3	10	26,54	192,55	0,64	1,66	0,36	0,80
PIL-LL_C9 ⁹	9	20	46,89	126,08	0,82	2,10	0,38	0,73
PIL-LL_C10 ¹⁰	4	8	35,66	77,84	1,13	1,34	0,64	0,82
PIL-LL_C11 ¹¹	6	11	53,67	159,63	1,10	1,51	0,48	0,69
PIL-LL_C12 ¹²	6	16	6,82	69,64	1,24	1,71	0,65	0,90
PIL-LL_C13 ¹³	7	12	30,60	74,95	1,47	2,11	0,79	0,96
PIL-LL-NE_C ¹⁴	2	10	3,00	42,00	0,63	2,08	0,80	0,96
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	3	10	8,00	66,00	1,04	2,00	0,71	0,96
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	6	13	34,47	323,84	0,84	1,45	0,39	0,71
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	5	13	39,36	123,86	0,99	1,44	0,43	0,64
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	5	18	30,78	124,65	0,50	2,08	0,24	0,76
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	1	8	9,87	84,20	0,00	1,59	0,00	1,00
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	4	11	29,87	144,87	0,34	1,11	0,19	0,57
PIL-LL-NE_C8 ²¹	9	31	12,11	374,61	1,57	2,04	0,63	0,90
PIL-LL-NE_C9 ²²	4	12	14,03	86,95	1,04	2,04	0,84	0,97

	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/m ³)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-SAP_C1 ²³	3	9	9,00	60,00	0,33	1,96	0,25	0,89
PIL-SAP_C2 ²⁴	0	6	0,00	40,00	0,00	1,55	0,00	0,98
PIL-SAP_C3 ²⁵	8	16	100,15	252,75	1,10	1,59	0,43	0,66
PIL-SAP_C4 ²⁶	5	12	130,66	1.280,39	0,61	1,32	0,27	0,53
PIL-SAP_C5 ²⁷	5	10	36,14	88,72	0,87	1,84	0,45	0,82
PIL-SAP_C6 ²⁸	3	10	37,06	84,18	1,00	1,58	0,62	0,91
PIL-SAP_C7 ²⁹	3	9	16,66	234,16	0,80	1,16	0,41	0,73
PIL-SAP_C8 ³⁰	3	17	1,88	91,34	0,69	2,47	0,88	1,00
PIL-SAP_C9 ³¹	4	12	14,16	274,93	0,69	1,82	0,77	1,00
DP-IRA-S_C1 ³²	1	9	1,00	13,00	0,00	2,10	0,00	0,95
DP-IRA-S_C2 ³³	6	14	50,44	253,17	0,90	1,70	0,36	0,67
DP-IRA-S_C3 ³⁴	7	14	33,15	306,04	0,85	2,17	0,39	0,82
DP-IRA-S_C4 ³⁵	10	19	62,29	181,60	1,10	1,94	0,44	0,79
DP-IRA-S_C5 ³⁶	5	10	25,72	90,85	1,03	1,75	0,64	0,91
DP-IRA-S_C6 ³⁷	2	8	16,81	66,41	0,50	1,30	0,41	0,90
DP-IRA-S_C7 ³⁸	4	10	4,88	49,29	0,56	1,75	0,62	1,00
DP-IRA-S_C8 ³⁹	9	20	37,93	237,19	1,09	2,67	0,61	0,94

* Somente arrastos oblíquos

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2021b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 23 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 26 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 29 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 30 = Petrobras/Bioconsult (2021a); 31 = Petrobras/Bioconsult (2022d); 32 = Petrobras/Bourscheid (2016c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 34 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 35 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 37 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 38 = Petrobras/Bioconsult (2021c); 39 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Pode-se observar, de acordo com os dados das Tabela V-22, que os resultados de riqueza da DP-IRA-S_C9 se encontram na faixa de variação dos resultados obtidos anteriormente para a área.

Maiores valores de riqueza de taxa foram registrados na oitava campanha, assim como a maior mediana. Foram observadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,001$), em que a oitava diferiu da primeira, quinta, sexta e nona; a quarta diferiu significativamente da primeira, quinta e sexta; a segunda e a terceira diferiram da primeira e da sexta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$).

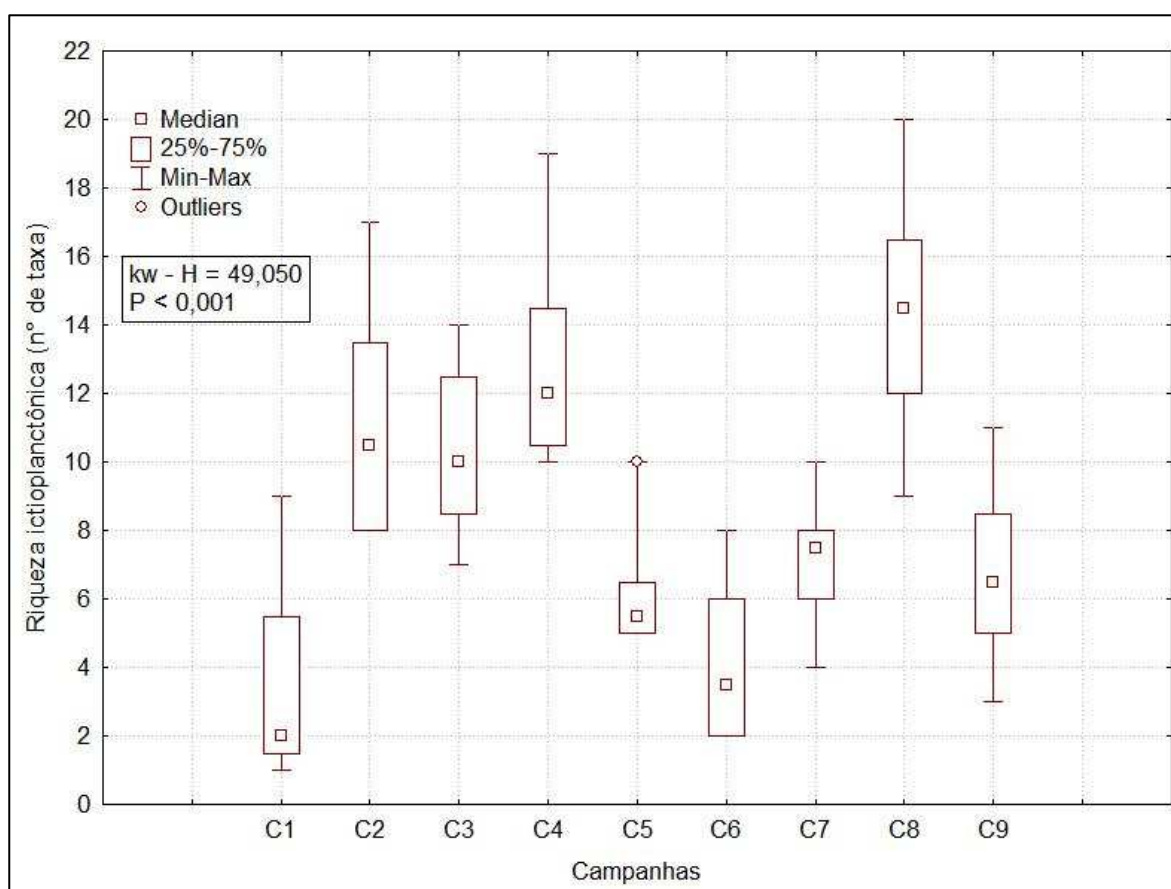


Figura V-58 – Box plots representativos de riqueza ictioplanctônica (número de taxa) encontradas no DP-IRA-S.

A densidade média de larvas presentes na DP-IRA-S_C9 foi de $25,25 \pm 23,22$ ind/100m³, com resultados mínimo e máximo de 3,48 e 76,87 ind/100 m³ no arrasto horizontal com malha de 500µm da estação DP-IRA-S_M1000 e no arrasto oblíquo com malha de 300µm da estação DP-IRA-S_M1000, respectivamente (Tabela V-22). Em comparação ao PCR-BS (Petrobras, 2022), na região oceânica, as

densidades máximas, entre verão e inverno, ocorreram entre cerca de 300 ind/m² e 150 ind/m². PIR2/TRANSPETRO (2009) realizaram levantamento do icteoplâncton na plataforma continental do sudeste do Brasil e obtiveram densidades de larvas que variaram entre de 6 e 29 larvas/100m³. Na região do talude, mais especificamente nos blocos BMS-08, 09, 10, 11 e 21, os valores de densidade variaram entre 76 e 267 ind/m³ (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Baixos valores de densidade são comumente registrados nessas comunidades (BRANDINI *et al.*, 1997; MAFALDA JR. *et al.*, 2004). Pode-se observar, de acordo com os dados da Tabela V-22, que campanhas de monitoramento ambiental realizadas anteriormente no local encontraram densidades variando de 0 a 1.340,15 ind/100m³. Eles corroboram os dados do presente trabalho, que apresentou densidade máxima menor que a maioria das campanhas realizadas na região, porém na faixa de variação dos dados já registrados.

A terceira campanha apresentou a maior amplitude dos valores de densidade e a maior densidade máxima, enquanto a segunda campanha apresentou a maior mediana (Figura V-59). Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,001$), e a segunda e a quarta campanhas diferiram da primeira, sétima e nona, e a terceira campanha diferiu significativamente da primeira e sétima (*Tukey*, $p < 0,05$).

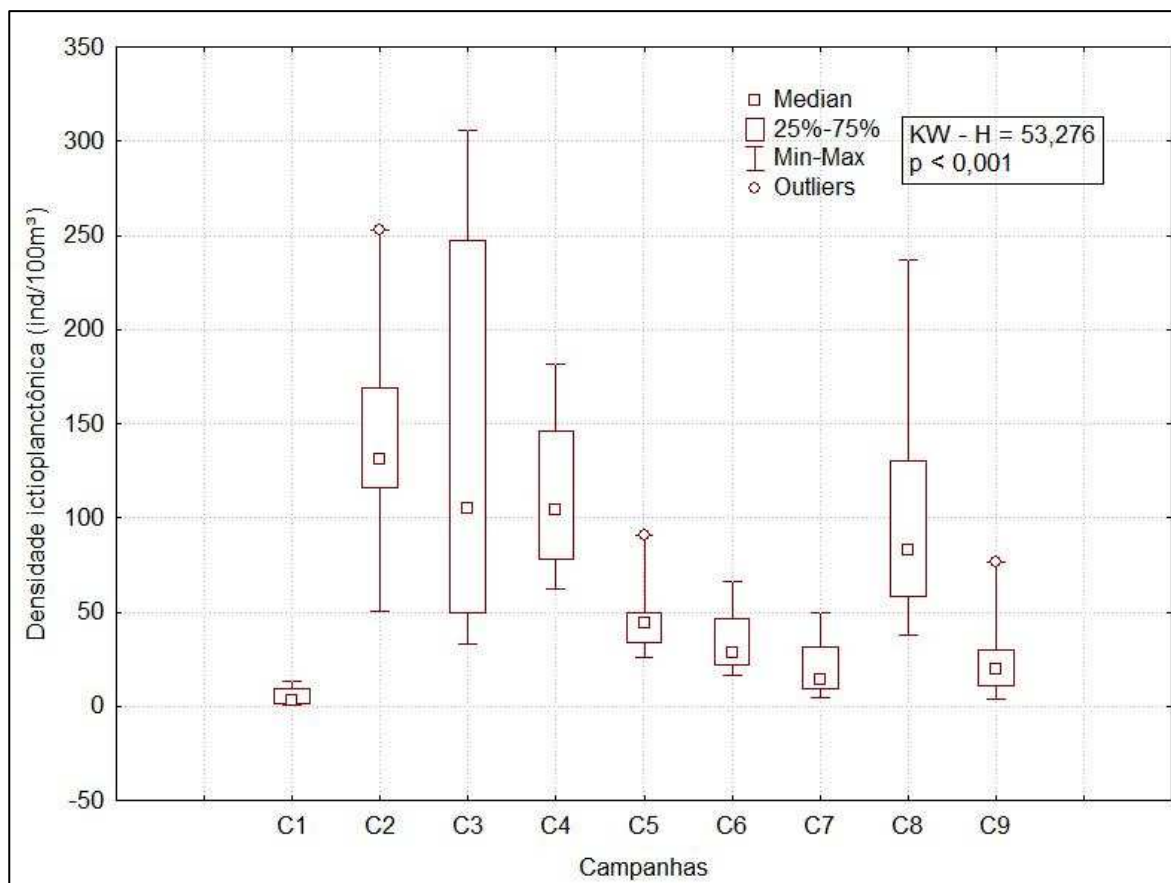


Figura V-59 – Box plots representativos dos valores de densidade ictioplanctônica (ind/100 m³) encontradas no DP-IRA-S.

A Ordem Myctophiformes apresentou a maior densidade média de organismos ($15,21 \pm 13,78$ ind/100m³), seguido por Scombriformes ($2,61 \pm 2,39$ ind/100m³), Stomiiformes ($2,09 \pm 2,40$ ind/100m³) e Acanthuriformes ($2,07 \pm 3,74$ ind/100m³). As demais ordens obtiveram densidades médias variando entre $1,35 \pm 2,34$ (Pleuronectiformes) e $0,17 \pm 0,48$ ind/100m³ (Mulliformes) (Figura V-60). De maneira geral, ocorreu grande dispersão dos valores em torno das médias, representando desvios de 90,57% a 282,84%. Esse resultado fica, portanto, muito sujeito a fenômenos estocásticos (do acaso) e existe grande probabilidade de não refletirem um padrão do local.

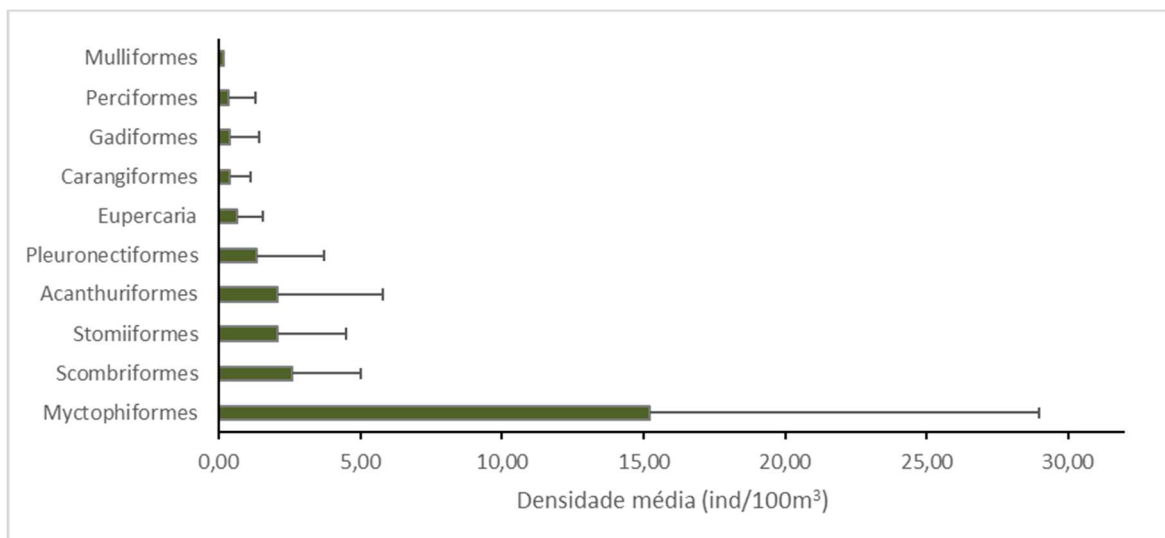


Figura V-60 – Densidade ictioplanctônica (ind/100m³) na DP-IRA-S_C9. A barra verde representa a densidade média das ordens $\pm$ desvio-padrão.

A diversidade média na atual campanha de monitoramento (DP-IRA-S_C8) foi relativamente baixa, com resultado de $1,23 \pm 0,61$ bits/ind, e valores variando entre 0 bits/ind, no arrasto horizontal com malha de 300 μ m da estação DP-IRA-S_M1000, e 1,98 bits/ind, no arrasto oblíquo com malha de 300 μ m da estação DP-IRA-S_M1000 Tabela V-22. Conforme apresentado na Tabela V-22, a maioria dos valores de diversidade para a região foram baixos, e variaram de 0 a 2,67 bits/ind, corroborando os dados do presente trabalho, sendo os resultados da atual campanha semelhantes aos já observados para a área.

A primeira campanha apresentou maior amplitude de valores de diversidade, enquanto a oitava campanha apresentou a maior diversidade média e a maior diversidade máxima (Figura V-61). Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento (ANOVA, $p < 0,001$) e a quarta diferiu da sexta campanha, enquanto a oitava campanha diferiu da primeira e da sexta (Tukey, $p < 0,05$).

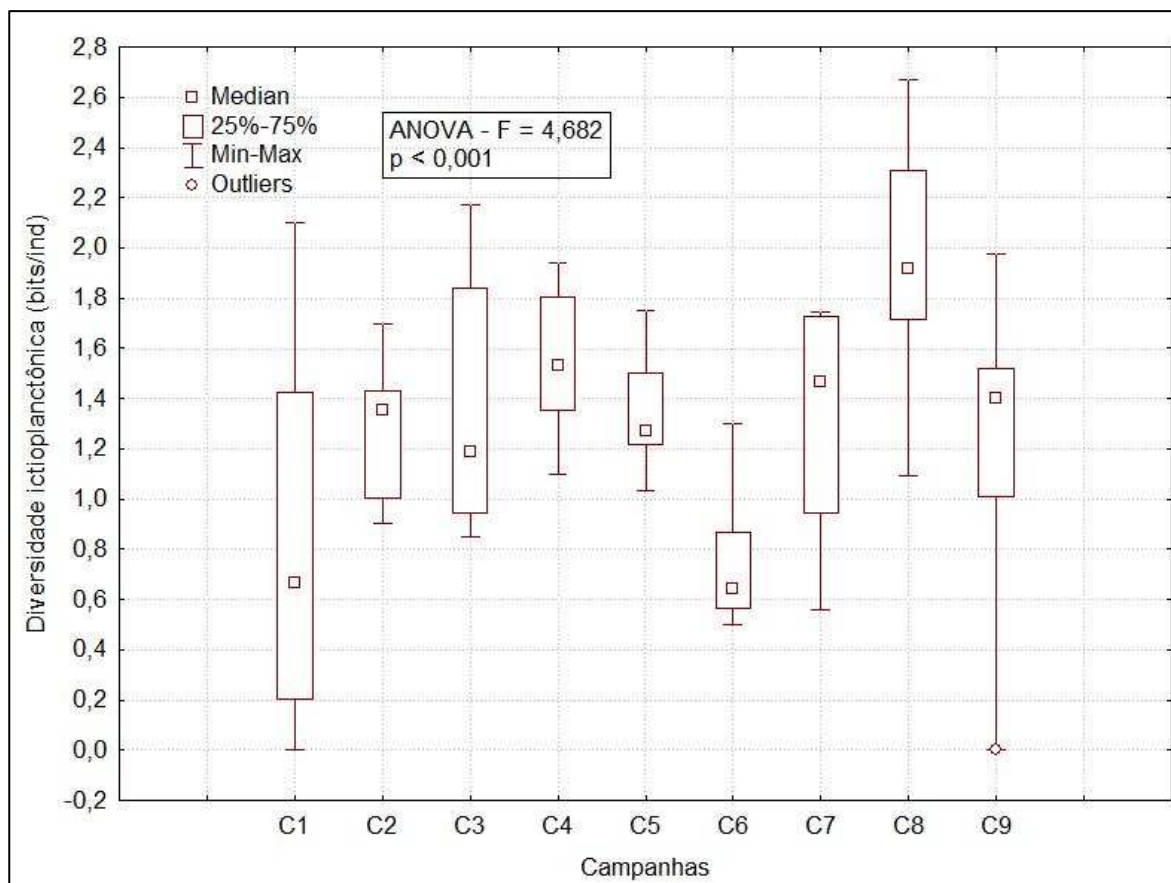


Figura V-61 – Box plots representativos dos valores de diversidade ictioplanctônicas (bits/ind) encontradas no DP-IRA-S.

A equitabilidade média na atual campanha de monitoramento (DP-IRA-S_C8) foi considerada alta, de $0,83 \pm 0,34$, variando entre 0 e 1,00 no arrasto oblíquo com malha de 300 μ m da estação DP-IRA-S_M1000 e oblíquo com malha de 500 μ m da mesma estação, respectivamente Tabela V-22. Como pode ser observado na Tabela V-22, os valores mínimos de equitabilidade da maioria das campanhas anteriormente realizadas no local é muito baixo, e os resultados da atual campanha são corroborados pelos estudos realizados na região.

A primeira campanha apresentou a maior amplitude de variação nos valores de equitabilidade. Essa e a nona campanha apresentaram iguais valores máximos e mínimos. Essas duas campanhas, juntamente com a sétima, apresentaram maior mediana. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento de DP de Iracema Sul (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,001$), com a segunda campanha diferindo da sétima e da nona (*Tukey*, $p < 0,05$).

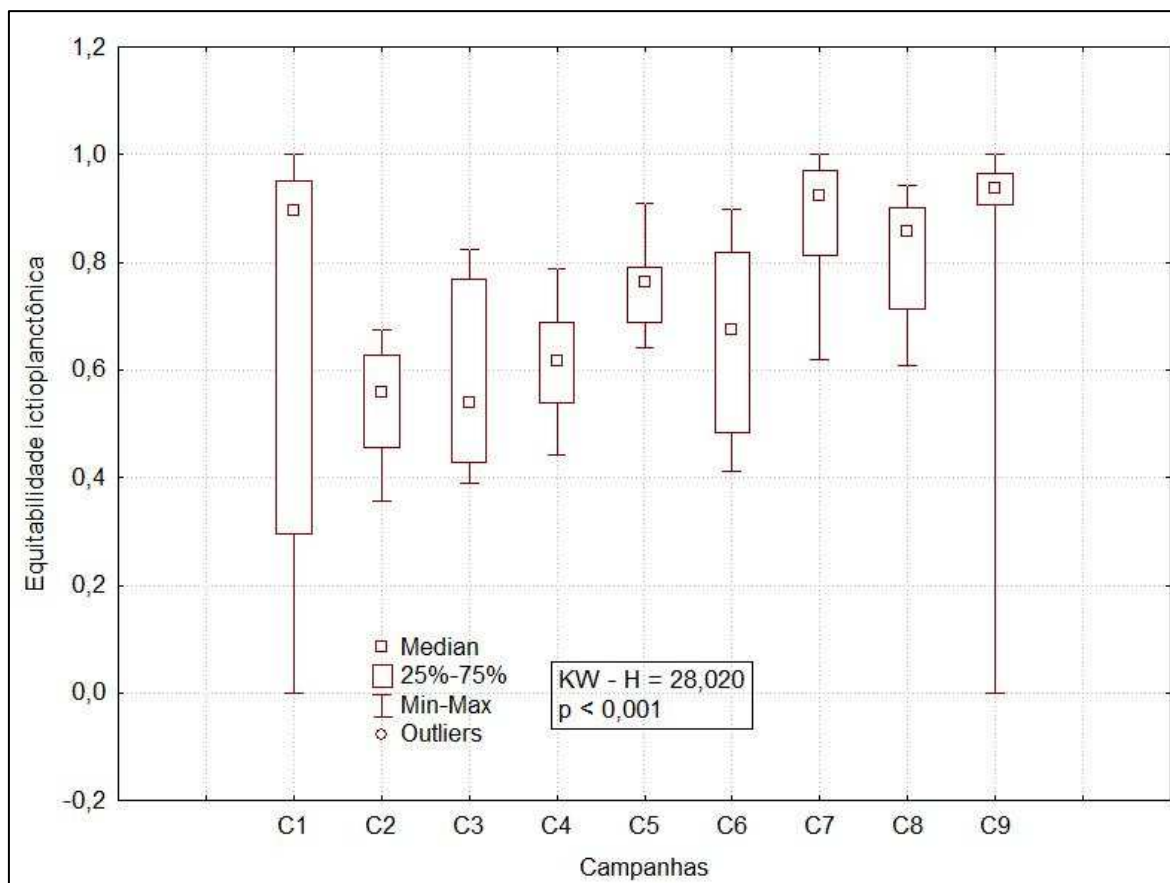


Figura V-62 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade encontrada no DP-IRA-S.

Por fim, é importante ressaltar que todas as campanhas utilizaram os mesmos critérios de identificação (até o menor nível taxonômico possível) e contabilização dos organismos, bem como as mesmas fórmulas de cálculo para os índices ecológicos, conforme explicado na metodologia deste relatório, mas é possível que existam diferenças oriundas das subjetividades inerentes do método analítico, isto é, do menor nível taxonômico encontrado em cada uma das campanhas, devido às diferentes condições de integridade dos organismos e aos diversos graus de experiência dos analistas envolvidos nas identificações. Neste sentido, também é possível que a troca de laboratório ocorrida entre a primeira e a segunda e entre a sexta e sétima campanhas tenha influenciado nos resultados gerados e, conseqüentemente, nas diferenças encontradas para a riqueza, densidade e diversidade.

V.2.3.4 - Análise da Distribuição Espacial do Ictioplâncton

Foram observados menores valores de riqueza nas amostras de arrasto horizontal para ambas as malhas em DP-IRA-S_M1000, com registro de 3 e 4 taxa em cada. Já nas demais amostras, a riqueza variou de 6 a 11 taxa entre as amostras, sendo registrada maior riqueza no arrasto oblíquo com malha de 300 µm da estação DP-IRA-S_M1000 (Figura V-62).

Apenas a ordem Myctophiformes ocorreu em todas as amostras da DP-IRA-S_C9, com registros de 1 a 5 taxa por amostra. Scombriformes ocorreu na maioria das amostras, exceto no arrasto oblíquo com malha de 500 da estação DP-IRA-S_M1000 e no arrasto horizontal com a malha de 300 da estação DP-IRA-S_J1002. Stomiiformes foi a segunda ordem que mais ocorreu entre as amostras, exceto em DP-IRA-S_M1000_HOR_300 e 500 e em DP-IRA-S_J1002_OBL_500. A ocorrência das demais ordens variou entre as amostras, ocorrendo em no máximo quatro amostras do total de oito. Destaca-se que Perciformes, Mulliformes, Gadiformes só ocorreram em uma amostra, DP-IRA-S_M1000_OBL_500, DP-IRA-S_J1002_HOR_500 e DP-IRA-S_J1002_OBL_300, respectivamente (Figura V-63).

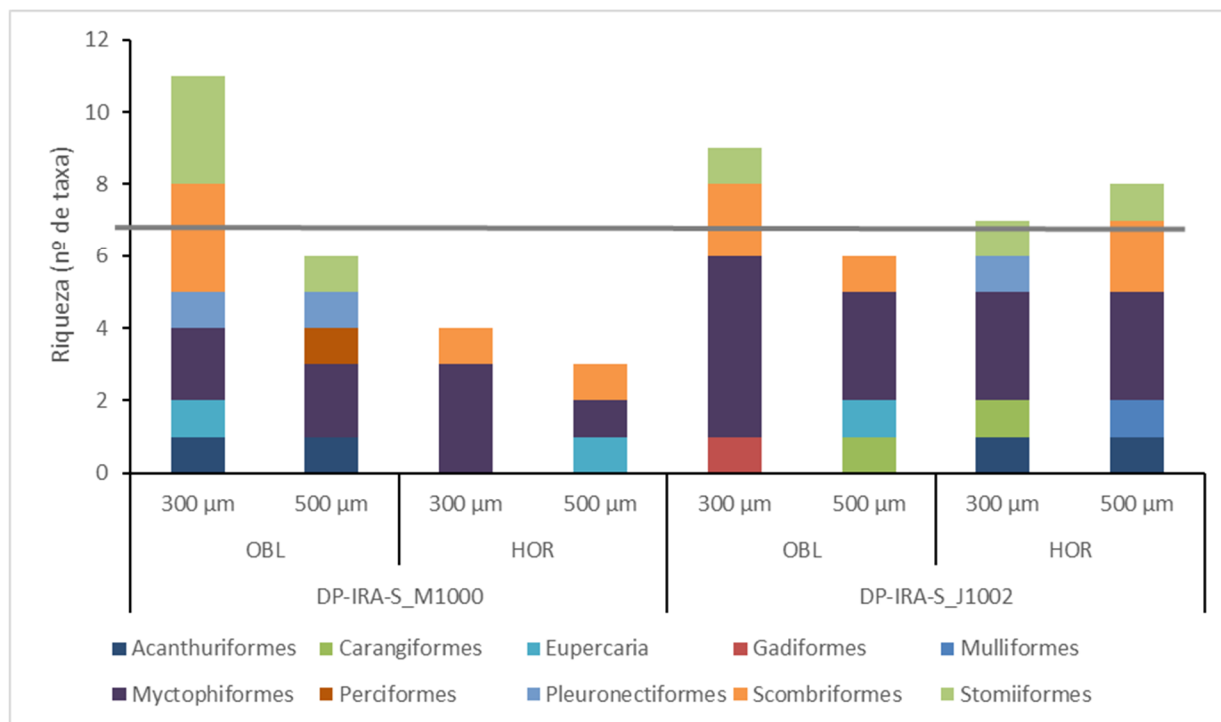


Figura V-63 – Riqueza ictioplancônica (número de taxa) da DP-IRA-S_C9. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

Assim como com a riqueza, os maiores valores de densidade foram observados na amostra DP-IRA-S_M1000_OBL_300. Nas demais estações, as maiores densidades ocorreram tanto em arrastos com malha de 300 μm como de 500 μm , em ambos os arrastos, não indicando um padrão de densidade entre as diferentes amostras (Figura V-64).

Myctophiformes apresentou as maiores contribuições de densidade em todas as amostras, com densidade também mais elevada Scombriformes, Stomiiformes e Acanthuriformes. As demais ordens contribuíram em menor proporção para os valores de densidade (Figura V-64).

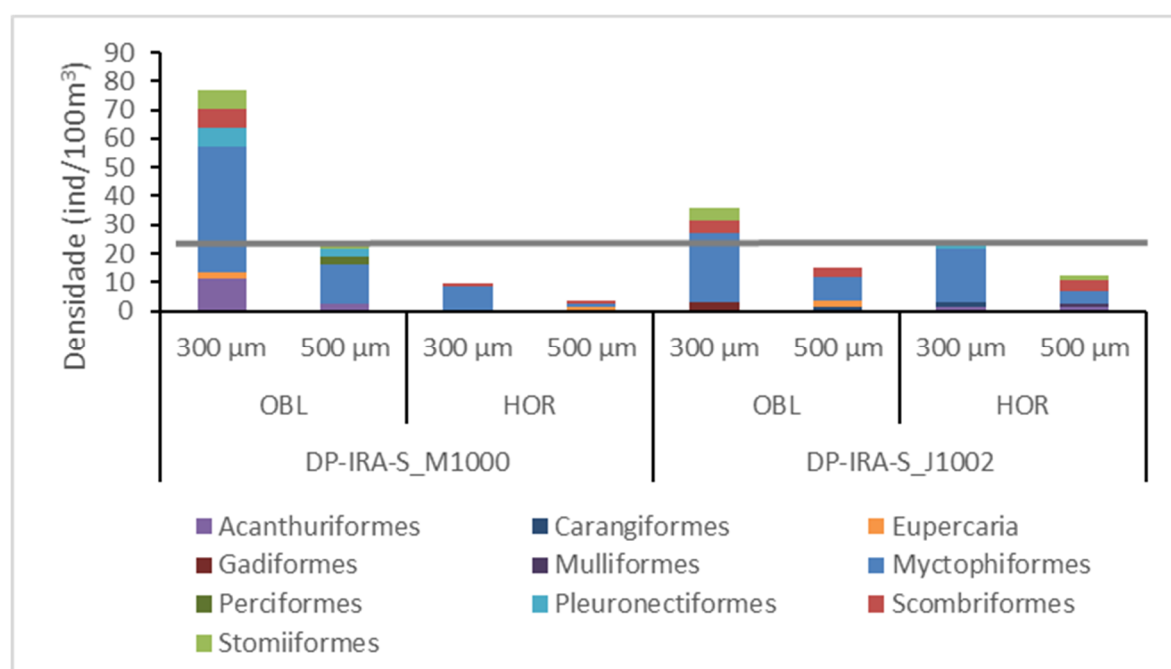


Figura V-64 – Densidade ictioplanctônica (ind/100m³) da DP-IRA-S_C9. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

A captura de larvas está muito relacionada com a dinâmica de migração desses organismos. As larvas de peixes, de maneira geral, costumam ocupar maiores profundidades durante o dia, realizando migração vertical em direção à superfície durante a noite (RÉ, 1984, 1986).

A observação de padrões em comunidades ictioplanctônicas depende de um esforço amostral superior, pois são organismos menos abundantes na coluna d'água se comparados com, por exemplo, o zooplâncton (BRANDINI *et al.*, 1997).

O índice de diversidade foi baixo em todas as amostras e apresentou sempre valores inferiores a 2,00 bits/ind. Já a equitabilidade apresentou valores altos, com resultados sempre acima de 0,90, exceto em DP-IRA-S_M1000_OBL_300, cujo valor foi nulo. A maior equitabilidade foi a máxima (1,00) e ocorreu em DP-IRA-S_M1000_OBL_500 (Figura V-65).

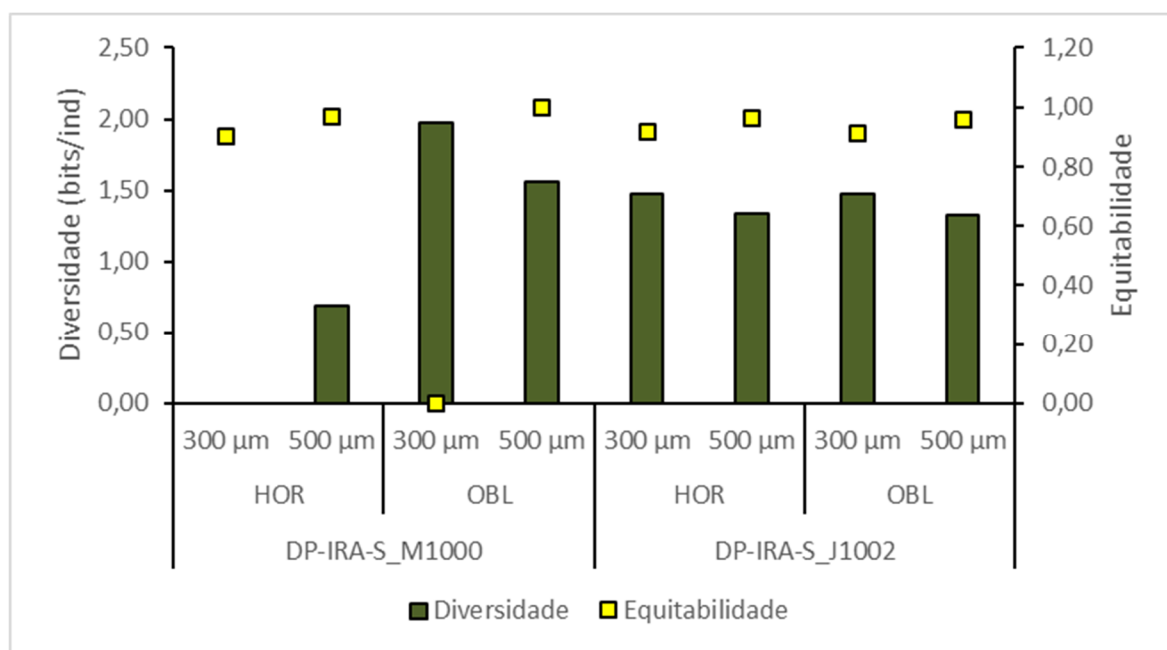
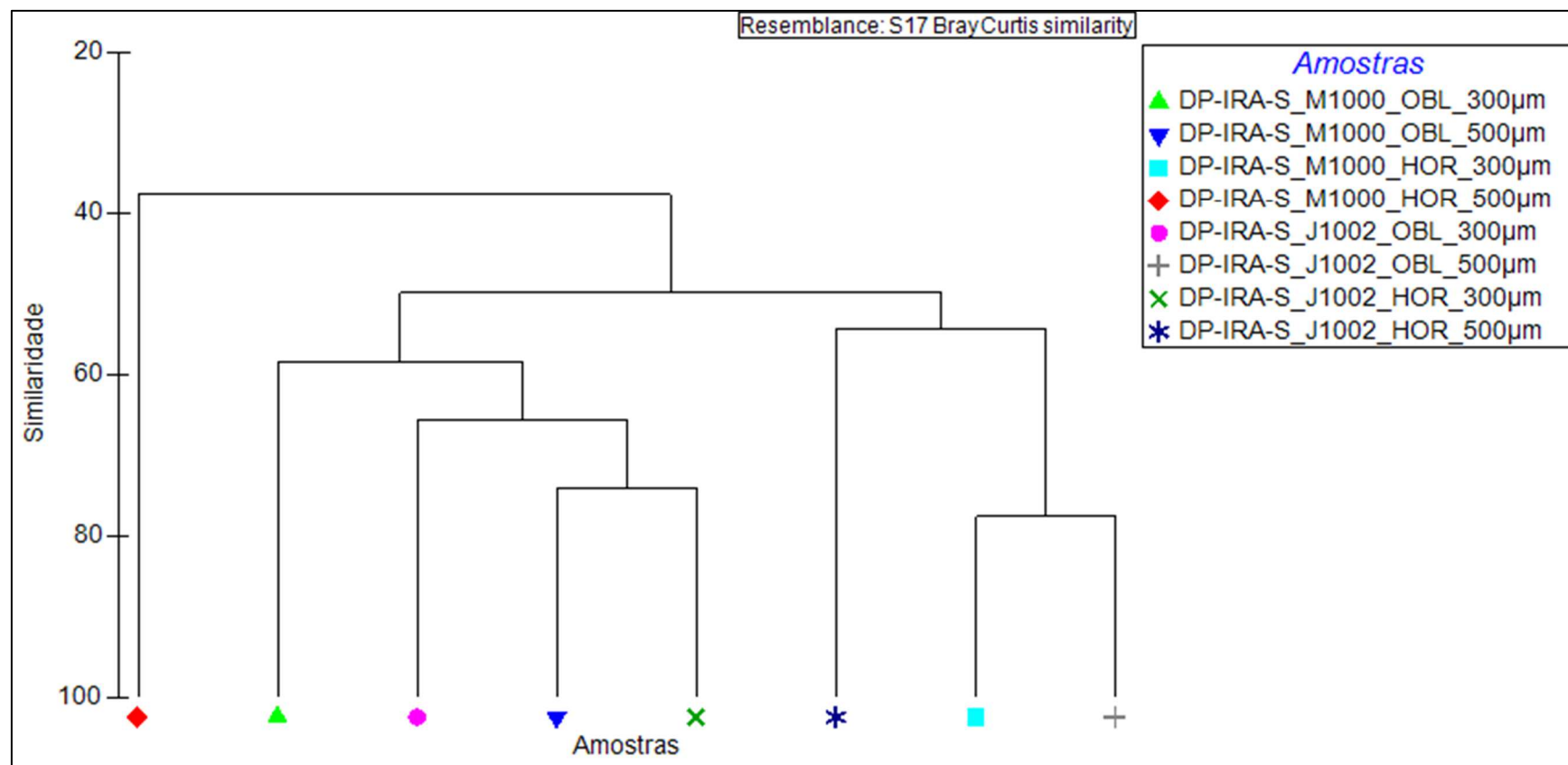


Figura V-65 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade ictioplancônica da DP-IRA-S_C9.

V.2.3.5 - Análise de Cluster e MDS

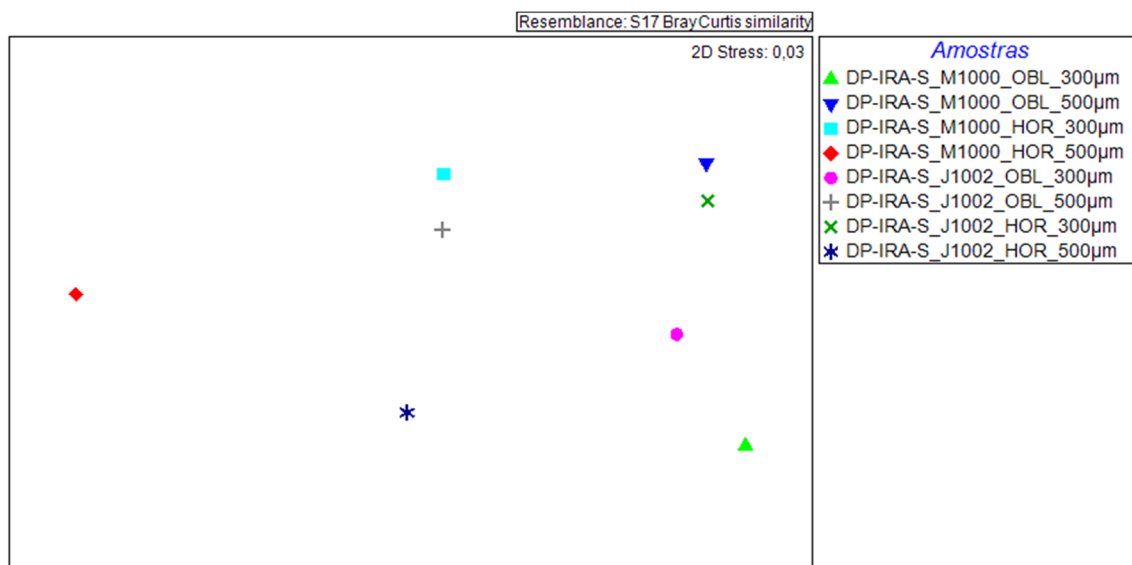
A análise *Cluster* mostrou similaridades variando entre cerca de 40% a 80%. Com cerca de 40% de similaridade ocorreu a formação de dois grupos: i) DP-IRA-S_M1000_HOR_500 e ii) demais amostras, provavelmente devido às menores densidades ocorridas nas amostras do primeiro grupo. Com 80% pode-se observar a formação de um grupo formado pelas estações DP-IRA-S_M1000_HOR_300 e DP-IRA-S_J1002_OBL_500, provavelmente devido aos valores muito semelhantes de densidade de Myctophiformes nessas amostras.

Esta condição também foi observada na análise de MDS (Figura V-66). O MDS apresentou *stress* igual a 0,03, representando bom ordenamento dos dados.



Legenda: OBL = arrasto oblíquo e HOR = arrasto horizontal.

Figura V-66 – Dendrograma de agrupamento (Cluster) da comunidade ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.



Legenda: OBL = arrasto oblíquo e HOR = arrasto horizontal.

Figura V-67 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.

VI - ANÁLISE INTEGRADA

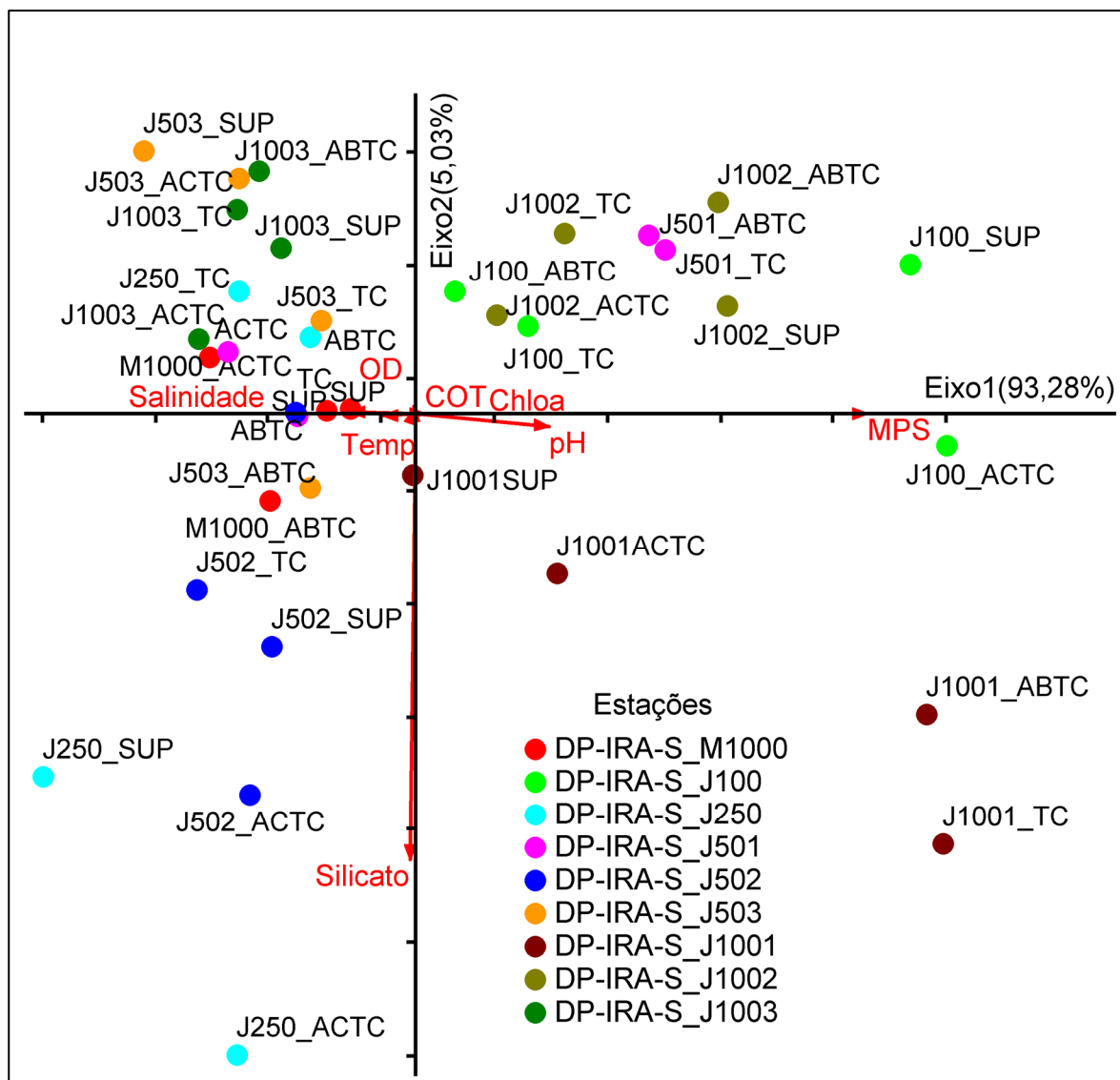
Neste capítulo é apresentada a análise integrada das variáveis bióticas e abióticas do ambiente pelágico da DP-IRA-S_09.

VI.1 - AMBIENTE PELÁGICO

VI.1.1 - Variáveis Ambientais

Uma análise de componentes principais (ACP) foi realizada visando avaliar a distribuição, no espaço bidimensional, de todas as estações amostrais da DP-IRA-S_09 em relação às suas características oceanográficas (variáveis físico-químicas e clorofila-a). Na Figura VI.1, observa-se a ACP, que explicou 98,31% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo o primeiro eixo com 93,28% de explicação e o segundo com 5,03%. As variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância d ao centro do plano (BOARD *et al.*, 2011), que deve ser maior ou igual a $(2/m)^{0,5}$, onde m = número de variáveis. Dessa forma, para fins de interpretação dos resultados da análise, foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, todas aquelas com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,50.

A distribuição das amostras não foi significativa em ambos os eixos ($p > 0,05$). Sendo assim, considerou-se a avaliação do autovalor observado e calculado, conforme sugerido por Jackson (1993). Verificou-se que os eixos 1 e 2 apresentaram autovalor observado de 0,122 e 0,007, respectivamente e autovalor calculado de 0,045 e 0,028, respectivamente. Portanto apenas o eixo 1 apresentou autovalor observado maior que o calculado e, assim, foram interpretadas as variações apenas sobre o eixo 1.



Legenda: SUP = superfície; ACTC = acima da termoclina; TC = termoclina; ABTC = abaixo da termoclina; MPS = material particulado em suspensão; OD = oxigênio dissolvido; COT – carbono orgânico total.

Figura VI.1-1 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas das estações amostrais da DP-IRA-S_C9.

Observa-se que a distribuição das amostras ao longo do eixo 1 foram influenciadas principalmente pelo MPS, correlacionado positivamente com o eixo ($r=1,00$) e também pelo silicato ($r=-0,99$), que correlacionou negativamente com o eixo 2, embora as relações sobre esse segundo eixo não tenham sido significativas.

As amostras dividiram-se entre aquelas em que ocorreram concentrações de MPS acima de 2,48 mg/L até máximo de 18,84 mg/L, dispostas na porção positiva do eixo 1, e aquelas amostras com menores concentrações de MPS, abaixo de 1,84 mg/L até valor abaixo do limite de detecção em DP-IRA-S_J250_SUP,

ocorrendo na porção negativa do eixo 1.

As demais variáveis ambientais não apresentaram correlações significativas com os eixos da ACP, pois não apresentaram distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,50.

VI.1.2 - Relação do Fitoplâncton com o Ambiente Físico-químico

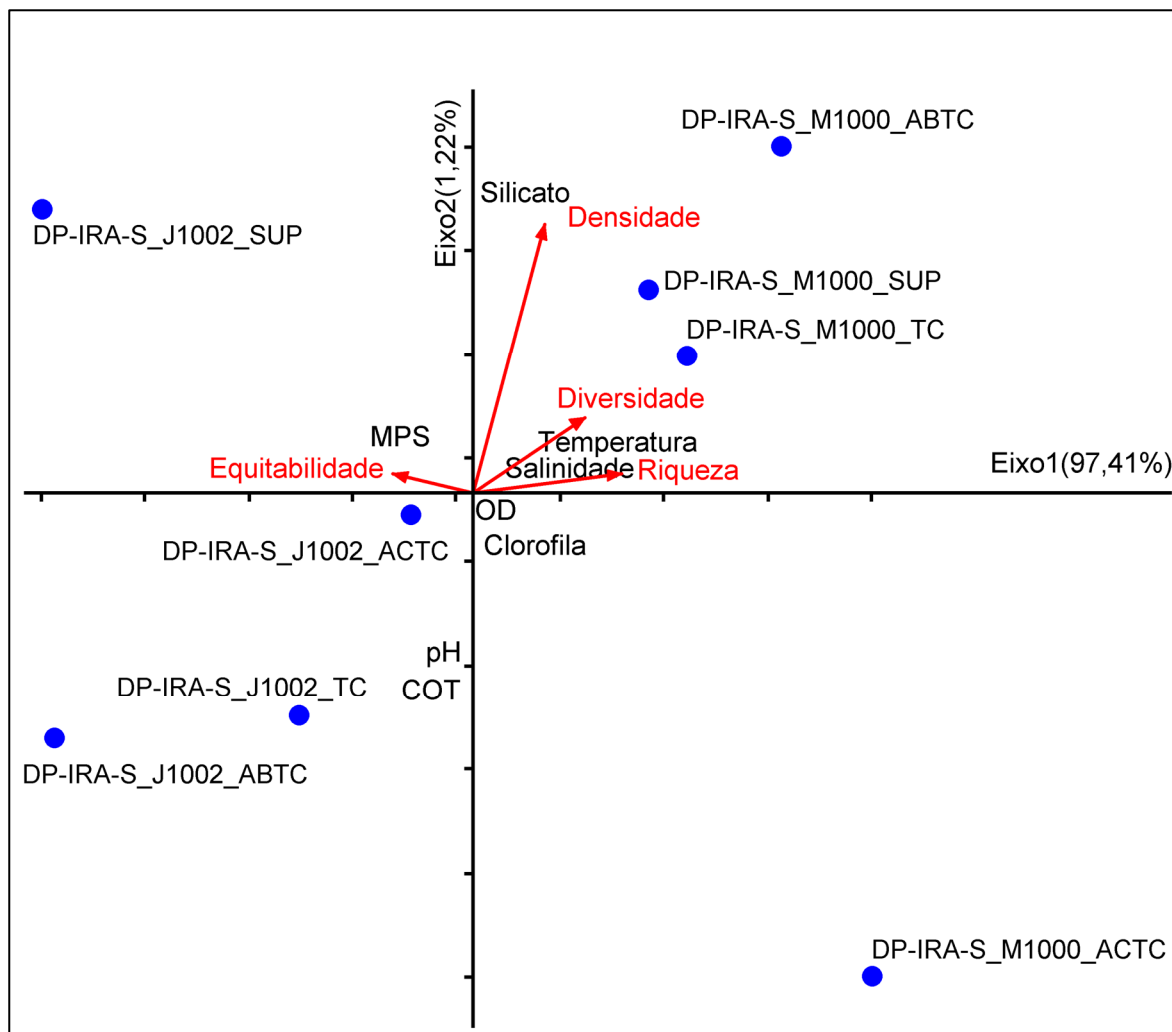
A correlação de *rank* de Spearman realizada entre os indicadores biológicos de fitoplâncton e as variáveis ambientais indicou apenas uma correlação negativa significativa, entre riqueza fitoplanctônica e MPS (Tabela VI.1-1).

Tabela VI.1-1 - Correlação de Spearman entre os índices ecológicos fitoplanctônicos e variáveis ambientais da DP-IRA-S_C9. Correlações destacadas em vermelho são significativas ($p < 0,05$).

	Densidade	Riqueza	Diversidade	Equitabilidade
Temperatura	0,26	-0,09	-0,04	-0,32
Salinidade	0,35	0,46	0,40	-0,54
OD	-0,14	0,16	0,05	0,19
pH	-0,57	-0,21	-0,34	0,16
Silicato	0,69	0,70	0,69	-0,14
MPS	-0,19	-0,73	-0,62	0,31
Clorofila <i>a</i>	-0,26	0,30	0,19	0,10
COT	-0,62	-0,05	-0,10	-0,48

Legenda: COT, carbono orgânico dissolvido; OD, oxigênio dissolvido; MPS, material particulado em suspensão.

Em seguida uma análise de componentes principais (ACP) foi realizada a fim de avaliar a distribuição das unidades amostrais no espaço bidimensional. Para essa análise, as variáveis ambientais foram inseridas como variáveis ativas, e os indicadores biológicos, como variáveis suplementares. A Figura VI.1-2 apresenta a ACP, que explicou 98,63% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo o primeiro eixo com 97,41% de explicação e o segundo com 1,22%. As variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância *d* ao centro do plano (BOCARD *et al.*, 2011). Dessa forma, para fins de interpretação dos resultados da análise, foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, todas aquelas com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,50.



Legenda: SUP = superfície; ACTC = acima da termoclina; TC = termoclina; ABTC = abaixo da termoclina; MPS = material particulado em suspensão, OD = oxigênio dissolvido, COT= carbono orgânico total.

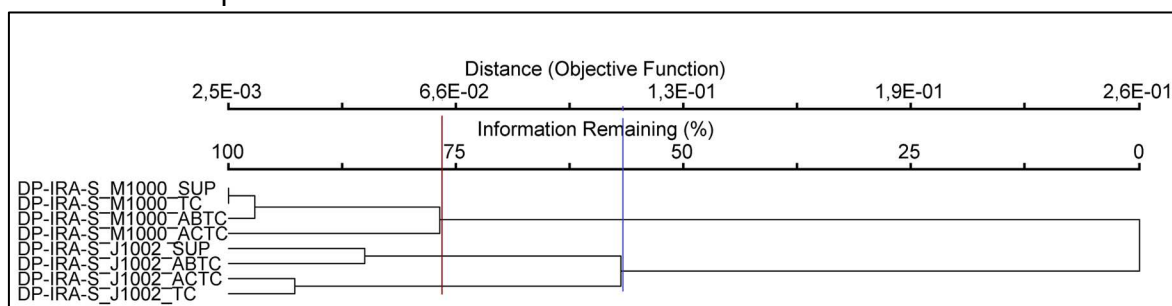
Figura VI.1-2 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas das estações DP-IRA-S_M1000 e DP-IRA-S_J1002. Sobrepondo-se os indicadores ambientais do fitoplâncton e as estações sobre o plano da ACP.

De maneira geral, a distribuição das amostras foi significativa apenas para o eixo 1 ($p=0,02$). A distribuição das amostras das estações montante e jusante, ao longo do eixo 1 e 2, foi influenciada significativamente por MPS, correlacionado negativamente com o eixo 1 ($r=-1,00$). Nessa relação, todas as amostras da estação DP-IRA-S_J1002 dispostas na porção negativa de ambos os eixos, apresentaram as maiores concentrações de MPS e tenderam a correlacionar-se negativamente com densidade ($r=0,41$), riqueza ($r=0,60$), diversidade ($r=0,52$) e positivamente com equitabilidade ($r=-0,44$) fitoplanctônica. Já as amostras de DP-

IRA-S_M1000, dispostas na porção positiva apresentaram as menores concentrações de MPS e tenderam a correlacionar-se positivamente com densidade, riqueza e diversidade e negativamente com a equitabilidade. Não foram significativas as correlações das demais variáveis sobre os eixos, pois não apresentaram distância d ao centro do plano maior ou igual a 0,50.

Outras duas análises foram realizadas, visando complementar a análise dos dados e avaliar a distribuição espacial das amostras do ambiente pelágico em relação às variáveis ambientais e fitoplanctônicas. Assim foram realizadas uma análise de agrupamento e uma análise de escalonamento multidimensional.

Na análise de agrupamento (Figura VI.1-3) observa-se a formação de dois grupos com 57% de similaridade (linha azul). Nesse caso, todas as amostras de DP-IRA-S_M1000 se separaram de DP-IRA-S_J1002, pois as primeiras apresentaram menores concentrações de MPS e maiores concentrações de silicato e tendência a maior diversidade e riqueza fitoplanctônica em relação ao segundo grupo, que apresentou relações inversas. Com maior similaridade (76,8%) houve a divisão em três grupos, a saber: i) todas as amostras de DP-IRA-S_M1000, com as características já indicadas acima; ii) DP-IRA-S_J1002_SUP e DP-IRA-S_J1002_ABTC, que apresentaram semelhantes valores de equitabilidade e as maiores concentrações de MPS; e iii) DP-IRA-S_J1002_ACTC e DP-IRA-S_J1002_TC, que apresentaram valores intermediário de MPS e valores de diversidade fitoplanctônica muito semelhantes.

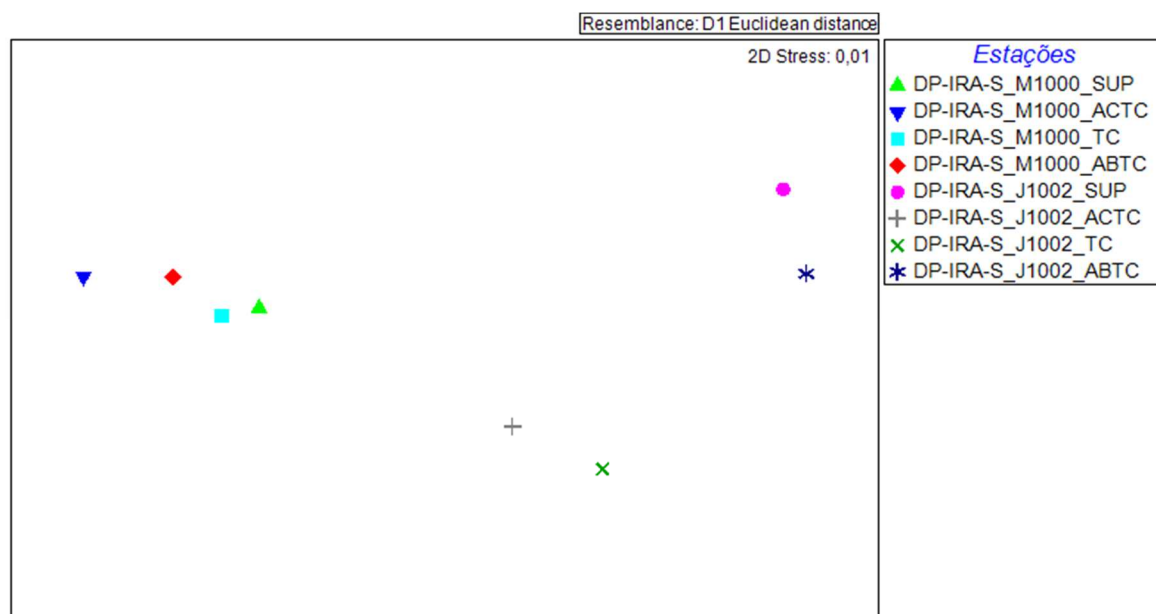


Legenda: M1000 = estação 1000 m à montante; J1002 = estação 2, 1000 m à jusante; SUP = superfície; ACTC = acima da termoclina; TC = termoclina; ABTC = abaixo da termoclina;

Figura VI.1-3 - Análise de agrupamento dos estratos das estações de amostragem de fitoplâncton da DP-IRA-S_C9.

Para finalizar as análises relativas à relação do ambiente abiótico com os indicadores biológicos da comunidade fitoplanctônica foi realizada uma análise de escalonamento multidimensional (MDS). Nessa análise, obteve-se valor de stress

igual a 0,01. Segundo Kruskal (1978) e Clarke (1993), quanto menor o valor de stress e mais próximo de zero, melhor a representação dos dados na MDS. Portanto o resultado obtido com a MDS (Figura VI.1-44) mostra-se satisfatório, reafirmando um padrão semelhante ao observado no *cluster*, considerando-se a formação de três grupos.



Legenda: SUP, coleta na superfície; ACTC, coleta acima da termoclina; TC, coleta na termoclina; ABTC, coleta abaixo da termoclina.

Figura VI.1-4 - Análise de escalonamento multidimensional entre as variáveis ambientais e os indicadores biológicos fitoplanctônicos da DP-IRA-S_C9.

A comunidade fitoplanctônica representa os maiores produtores de biomassa em ecossistemas aquáticos, tendo grande importância na regulação do clima global e, portanto, para a vida na Terra (RICHA *et al.*, 2014). Contribuem, com grande expressividade, para as cadeias alimentares aquáticas, para a produção de grandes quantidades de oxigênio atmosférico e para assimilação de carbono através da fotossíntese, ganhando maior destaque que as algas maiores e visíveis (GARRISON, 2011). Essa comunidade é composta por organismos fotossintetizantes unicelulares e a diversidade de grupos fitoplanctônico marinhos, inclui as diatomáceas e os dinoflagelados, como grupos mais proeminentes (GARRISON, 2011; HUGHES *et al.*, 2013). E essa mesma tendência foi observada nesse monitoramento, no qual os principais taxa identificados nas amostras são representantes dos filos Ochrophyta (diatomáceas) e Myzozoa (dinoflagelados)

(GUIRY & GUIRY, 2021), mas também outros filos como, por exemplo, Cyanobacteria e Haptophyta com contribuições muito mais discretas.

O fitoplâncton varia espacial e temporalmente, sendo frequentemente influenciado por variáveis físico-químicas do ambiente e interações biológicas. Diversos fatores ambientais tais como a temperatura da água, intensidade luminosa, concentração de CO₂, oxigênio dissolvido, disponibilidade de nutrientes, turbidez, MPS, salinidade, acidificação, radiação, concentração de matéria orgânica, e interações biológicas, exercem pronunciados efeitos à sua estrutura, dinâmica e, conseqüentemente, em sua produtividade (FRANCO *et al.*, 2005; ESTEVES, 2011, RICHA *et al.*, 2014).

Nesta 9ª campanha de monitoramento ambiental, o MPS foi o parâmetro ambientais que mais se destacou, influenciando a variabilidade entre as estações amostrais, inclusive correlacionando-se negativamente com a riqueza fitoplanctônica. O MPS tem a propriedade de reduzir a transparência da água, pela atenuação da incidência de luz, podendo afetar, reduzir e ou inibir o crescimento fitoplanctônico e, conseqüentemente sua produtividade (REYNOLDS, 2006; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008; JIANG *et al.*, 2021).

Sabe-se que a dinâmica e estrutura fitoplanctônica são influenciadas por diferentes parâmetros ambientais e biológicos que, por conseqüência, acabam por influenciar, direta e indiretamente, a dinâmica de outros níveis tróficos e vice-versa. Como no caso do zooplâncton e ictioplâncton, que possuem um papel importante na dinâmica dos ecossistemas aquáticos, atuando principalmente na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia (ESTEVES, 2011; STEINBERG & LANDRY, 2017) e, cujas relações dessas comunidades com as características ambientais serão exploradas a seguir.

VI.1.3 - Relação do Zooplâncton e Ictioplâncton com o Ambiente Físico-químico

Na Tabela VI.1-2 e Figura VI.1-1 a VI.1-16 é possível verificar a variação dos dados biológicos e ambientais referentes às diferentes formas de coleta das comunidades zooplanctônica e ictioplanctônica.

Tabela VI.1-2 - Indicadores biológicos do zooplâncton e ictioplâncton e variáveis ambientais da DP-IRA-S_C9.

	Zooplâncton				Ictioplâncton							
	M1000 (HOR)	J1002 (HOR)	M1000 (OBL)	J1002 (OBL)	300µm- M1000 (HOR)	500µm- M1000 (HOR)	300µm- J1002 (HOR)	500µm- J1002 (HOR)	300µm- M1000 (OBL)	500µm- M1000 (OBL)	300µm- J1002 (OBL)	500µm- J1002 (OBL)
Densidade Zoo: ind/m ³	146,18	180,84	219,90	103,18	9,52	3,48	24,44	12,34	76,87	24,37	36,00	14,97
Ictio: ind/100m ³												
Riqueza	32,00	33,00	32,00	31,00	4,00	3,00	7,00	8,00	11,00	6,00	9,00	6,00
Diversidade	3,69	3,57	3,77	3,69	0,00	0,69	1,48	1,33	1,98	1,56	1,47	1,33
Equitatividade	0,74	0,71	0,75	0,74	0,00	1,00	0,92	0,96	0,90	0,97	0,91	0,96
Temperatura °C	27,82	27,87	27,59	27,64	27,82	27,82	27,87	27,87	27,59	27,59	27,64	27,64
Salinidade (‰)	36,31	36,30	36,31	36,29	36,31	36,31	36,30	36,30	36,31	36,31	36,29	36,29
OD (mg/L)	6,46	6,50	6,64	6,58	6,46	6,46	6,50	6,50	6,64	6,64	6,58	6,58
pH	7,97	8,01	8,00	8,01	7,97	7,97	8,01	8,01	8,00	8,00	8,01	8,01
Silicato (mg/L)	0,31	0,16	0,29	0,15	0,31	0,31	0,16	0,16	0,29	0,29	0,15	0,15
MPS (mg/L)	1,84	8,68	1,41	5,63	1,84	1,84	8,68	8,68	1,41	1,41	5,63	5,63
Clorofila <i>a</i> (mg/L)	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03
COT (mg/L)	1,23	1,18	1,25	1,22	1,23	1,23	1,18	1,18	1,25	1,25	1,22	1,22

Legenda: M1000, estação montante; J1002, estação jusante; SUP, arrasto horizontal e SUP-TC-SUP, arrasto oblíquo; OD oxigênio dissolvido; MPS, material particulado em suspensão; COT, carbono orgânico total.

A comunidade zooplanctônica não apresentou ampla variação entre as estações montante e jusante, assim como a maioria dos parâmetros ambientais avaliados. Contudo, destaca-se que a amostra de arrasto oblíquo da estação DP-IRA-S_M1000 apresentou a maior densidade, diversidade e equitabilidade fitoplanctônica, juntamente com maior concentração de OD e menor temperatura e menor concentração de MPS. A maior riqueza zooplanctônica e os menores valores de diversidade e equitabilidade foram observados no arrasto horizontal de DP-IRA-S_J1002, embora os valores desses índices não tenham variado muito entre as amostras. Essa variação dos índices de riqueza, diversidade e equitabilidade ocorreu juntamente com a maior temperatura e a maior concentração de MPS. A menor densidade e riqueza zooplanctônica ocorreu no arrasto oblíquo de DP-IRA-S_J1002, juntamente com a menor concentração de silicato (Figura VI.1-5 a Figura VI.1-16).

Com relação à comunidade ictioplanctônica, a maior densidade, riqueza e diversidade ocorreu no arrasto oblíquo com malha de 300µm na estação DP-IRA-S_M1000, juntamente com maiores concentrações de OD, COT e menor concentração de MPS. A maior equitabilidade foi a máxima (1,00) e ocorreu no arrasto horizontal com malha de 500µm em DP-IRA-S_M1000, juntamente com a menor densidade e riqueza e menor concentração de OD e maior de silicato. Nesse mesmo arrasto dessa mesma estação, porém com malha de 300µm e mesmas características ambientais, ocorreu a menor equitabilidade e diversidade (ambas nulas) (Figura VI.1-5 a Figura VI.1-16).

Embora a exploração dos dados indique relações entre os indicadores biológicos e algumas variáveis ambientais, não é possível estabelecer relação causal ou de significância entre os parâmetros abióticos e indicadores biológicos com base nos dados analisados e padrões encontrados.

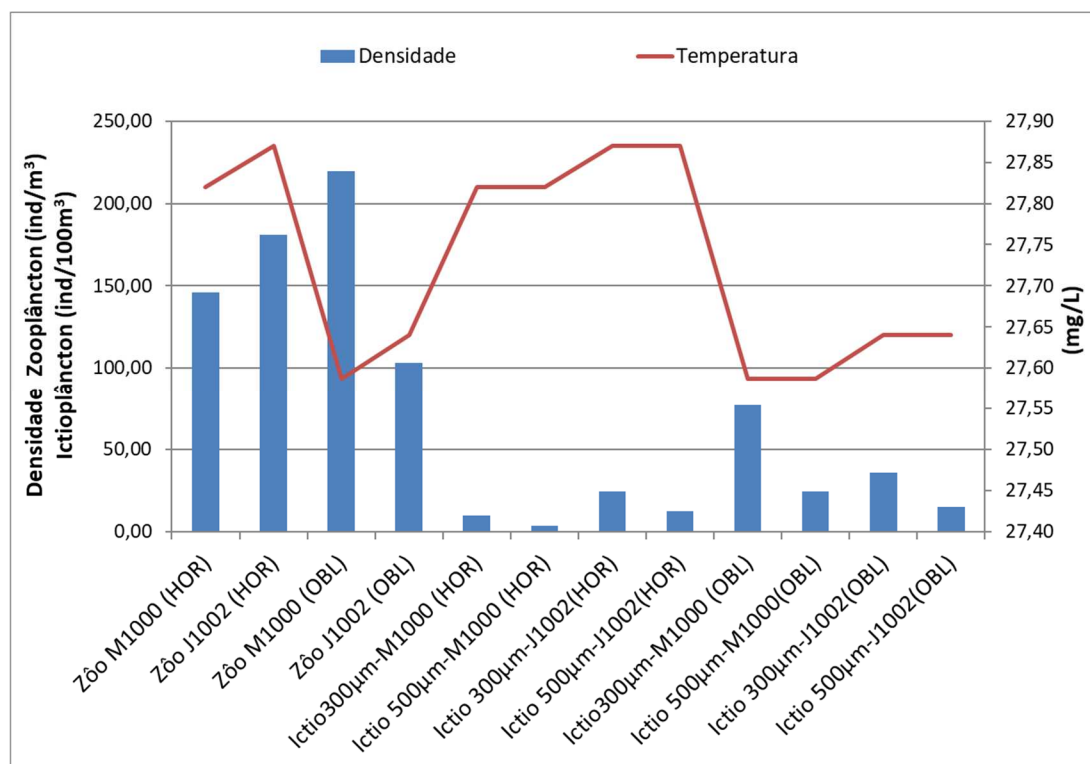


Figura VI.1-5 – Relação de temperatura com a densidade zooplânctônica e ictioplânctônica da DP-IRA-S_C9

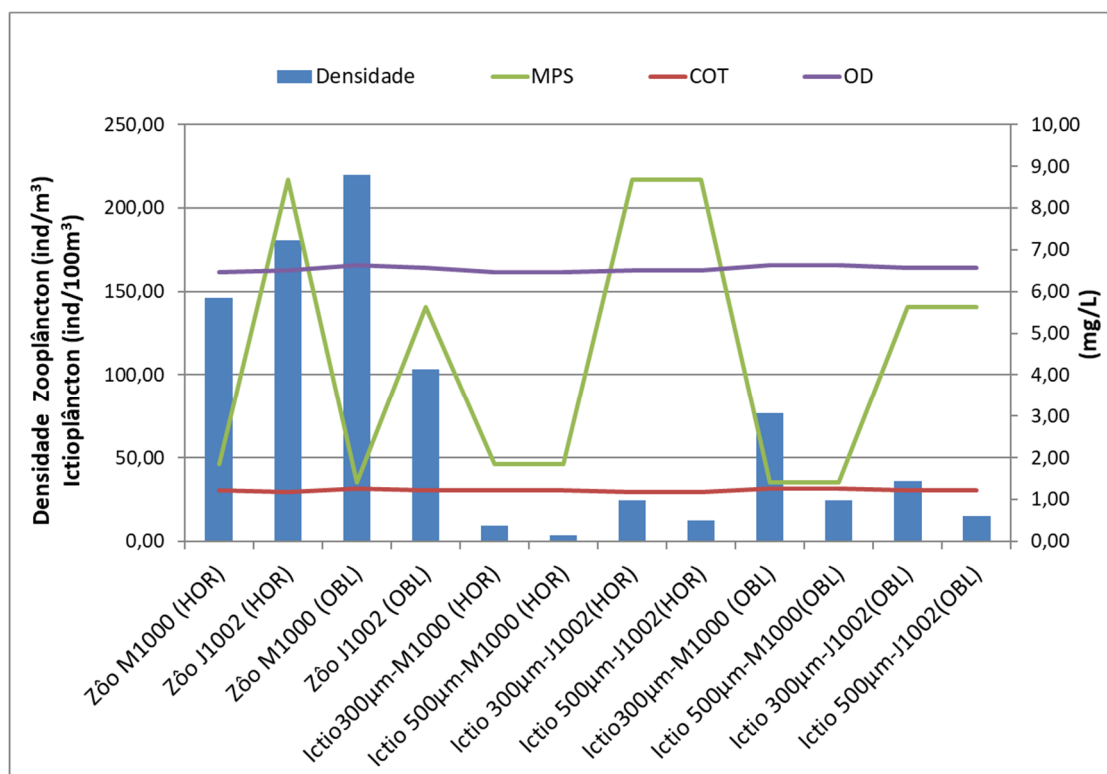


Figura VI.1-6 – Relação de MPS, COT e OD com a densidade zooplânctônica e ictioplânctônica (da DP-IRA-S_C9).

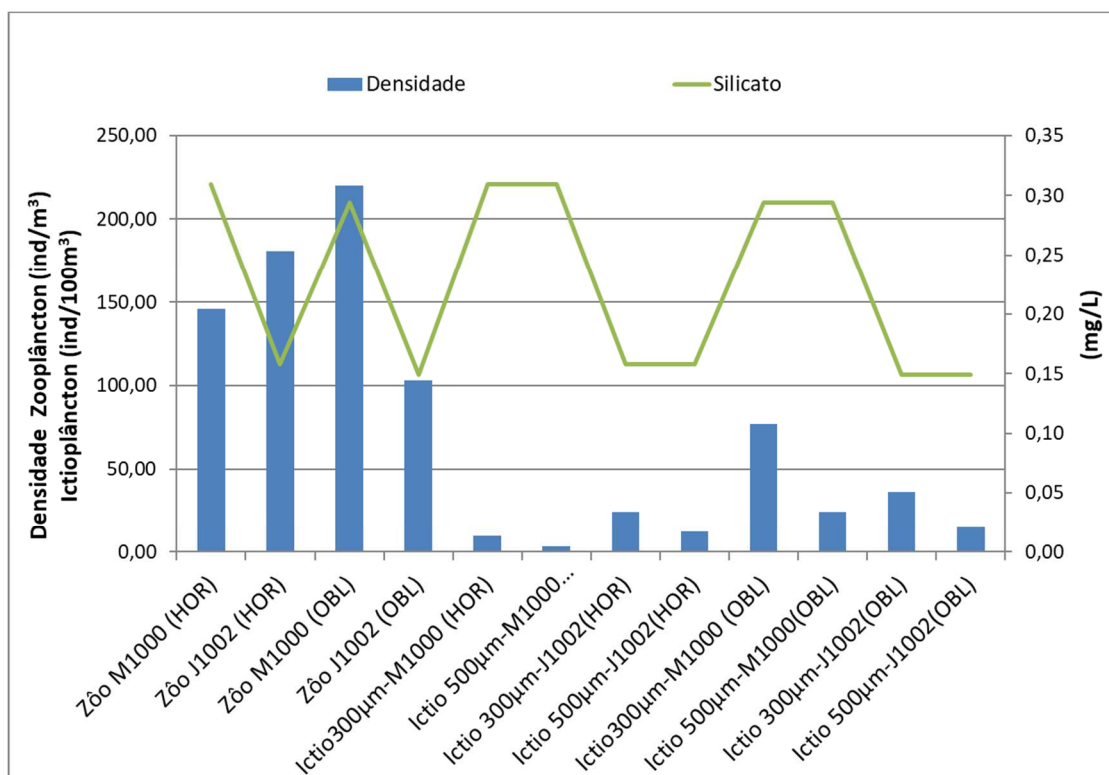


Figura VI.1-7 – Relação da silicato com a densidade zooplanctônica e ictioplanctônica (da DP-IRA-S_C9).

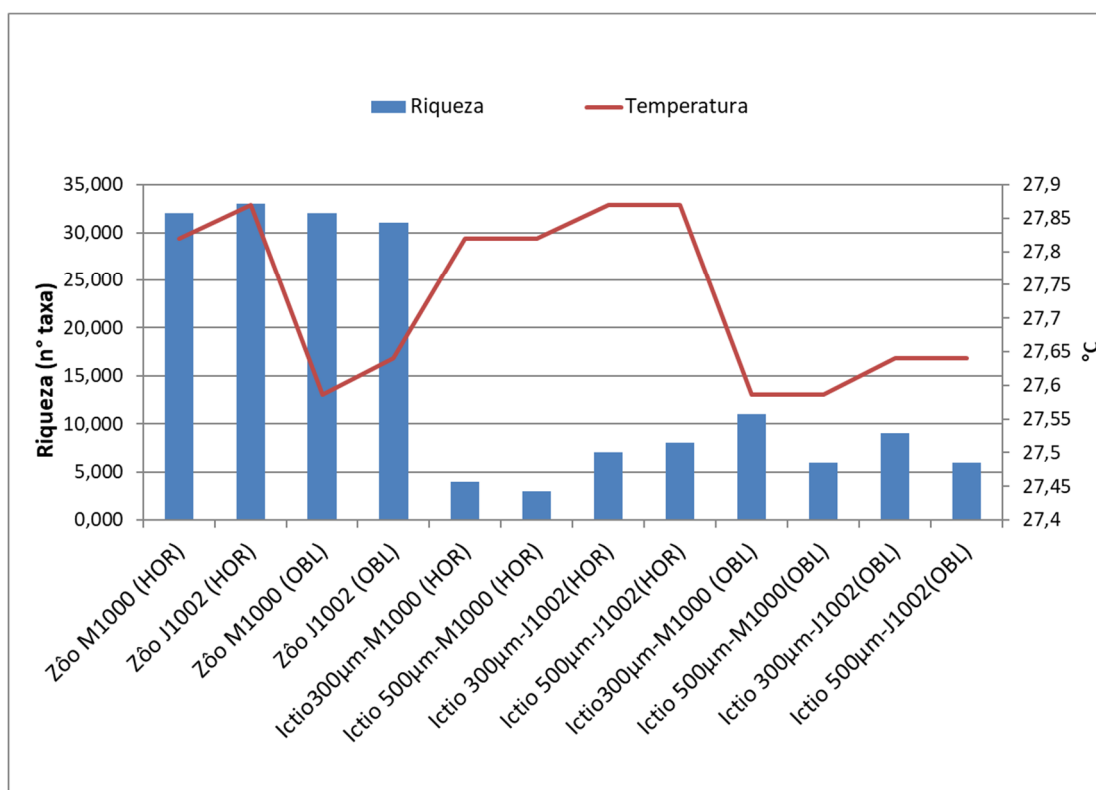


Figura VI.1-8 – Relação de temperatura com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.

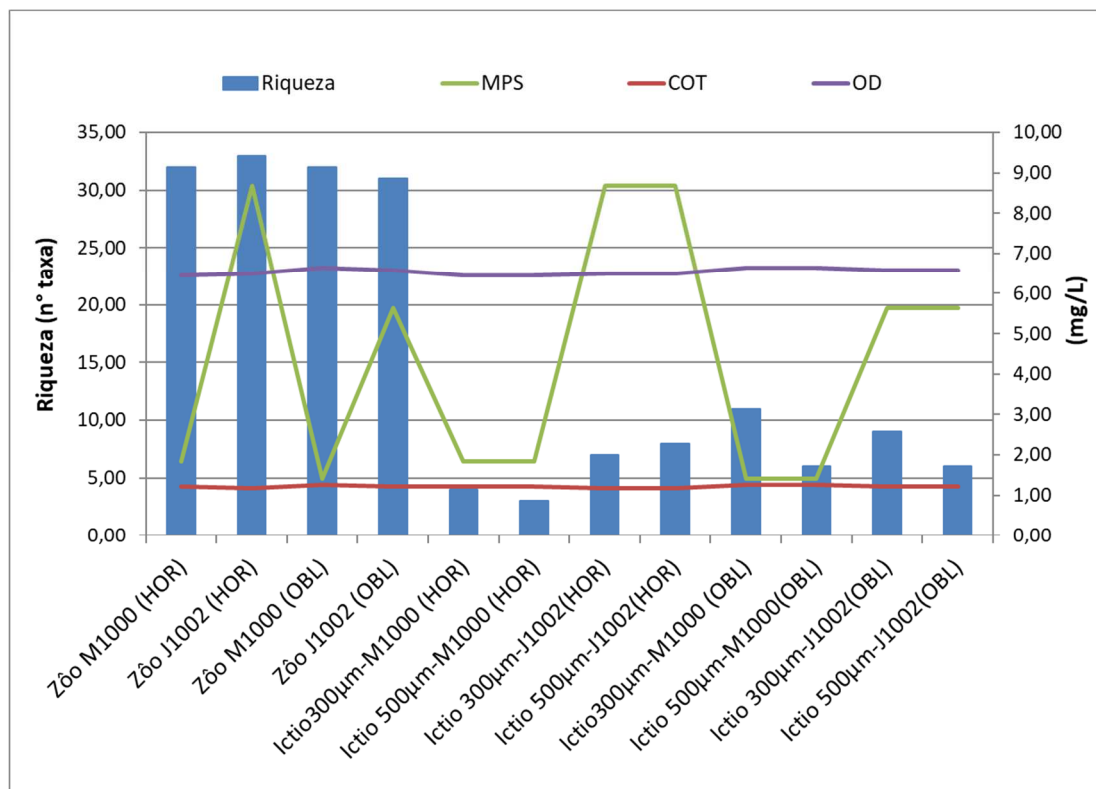


Figura VI.1-9 – Relação do MPS, COT e OD com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.

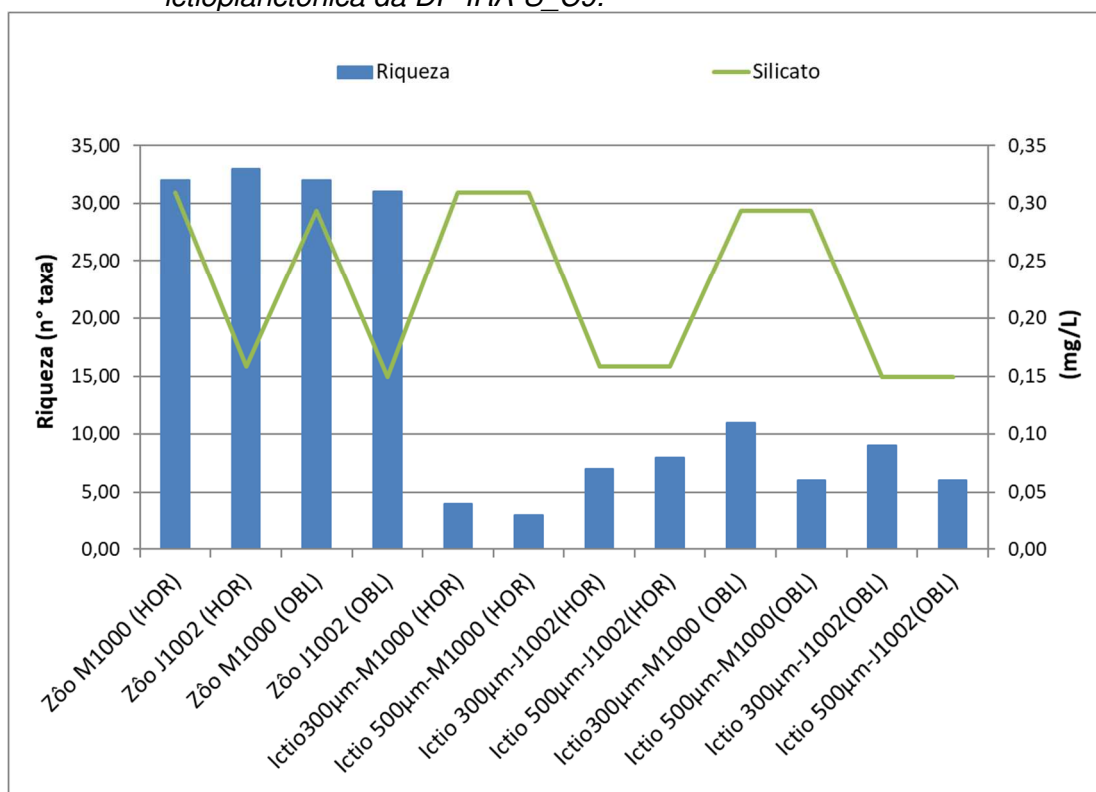


Figura VI.1-10 – Relação do silicato com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica (da DP-IRA-S_C9).

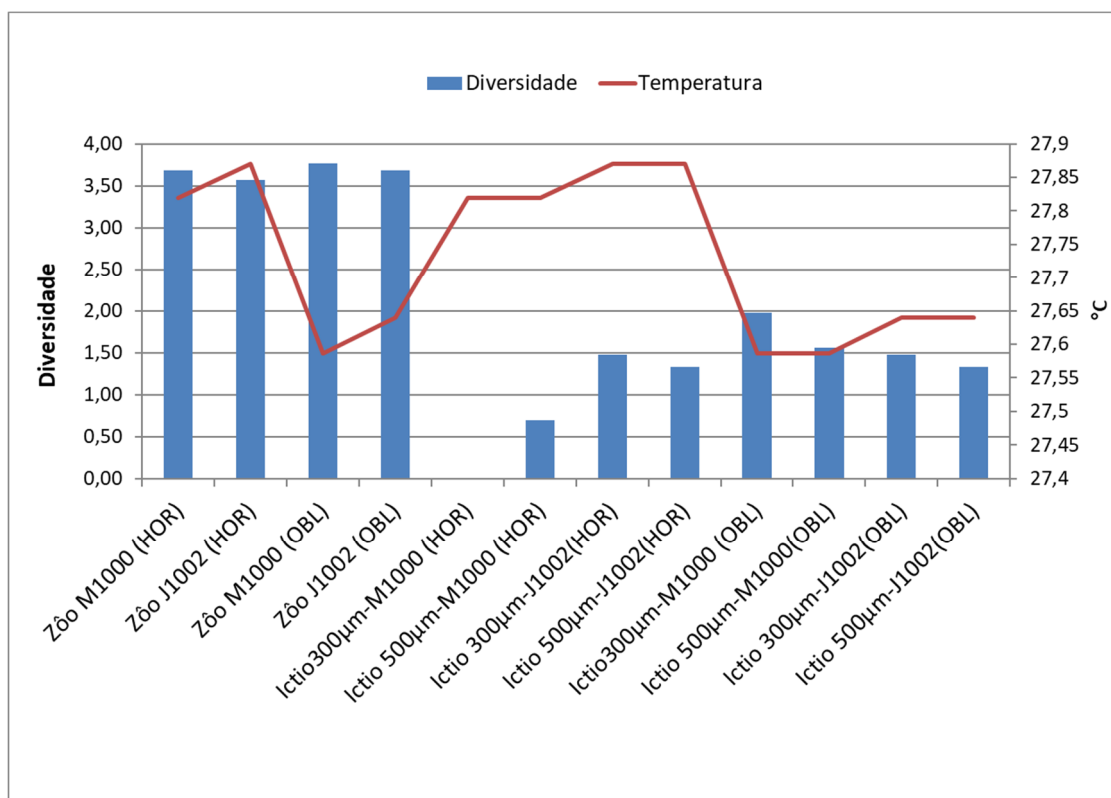


Figura VI.1-11 – Relação da temperatura com a diversidade zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.

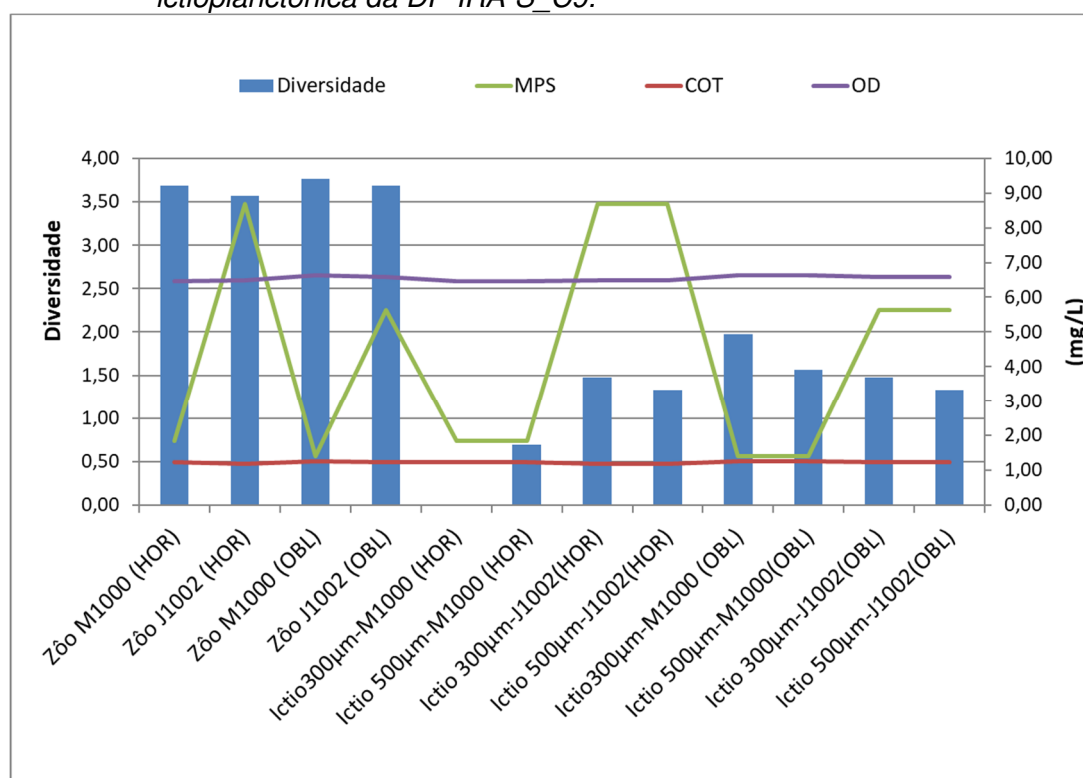


Figura VI.1-12 – Relação de MPS, COT e OD com a diversidade zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.

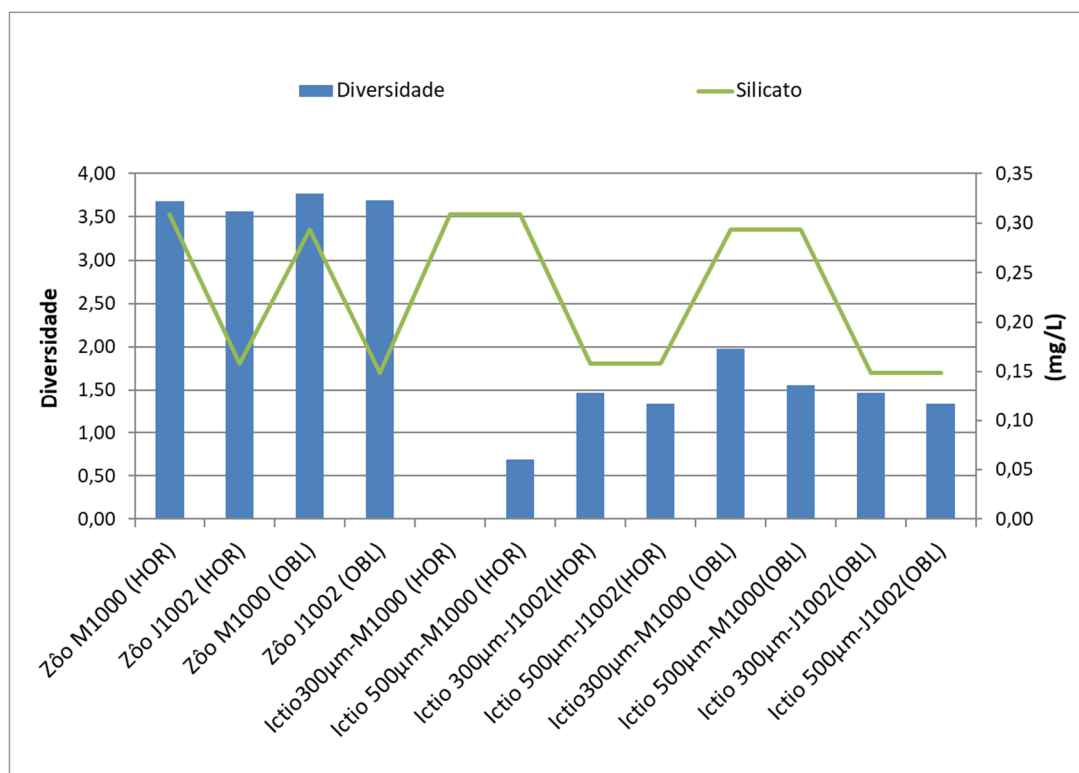


Figura VI.1-13 – Relação do silicato com a diversidade zooplânctônica e ictioplânctônica da DP-IRA-S_C9.

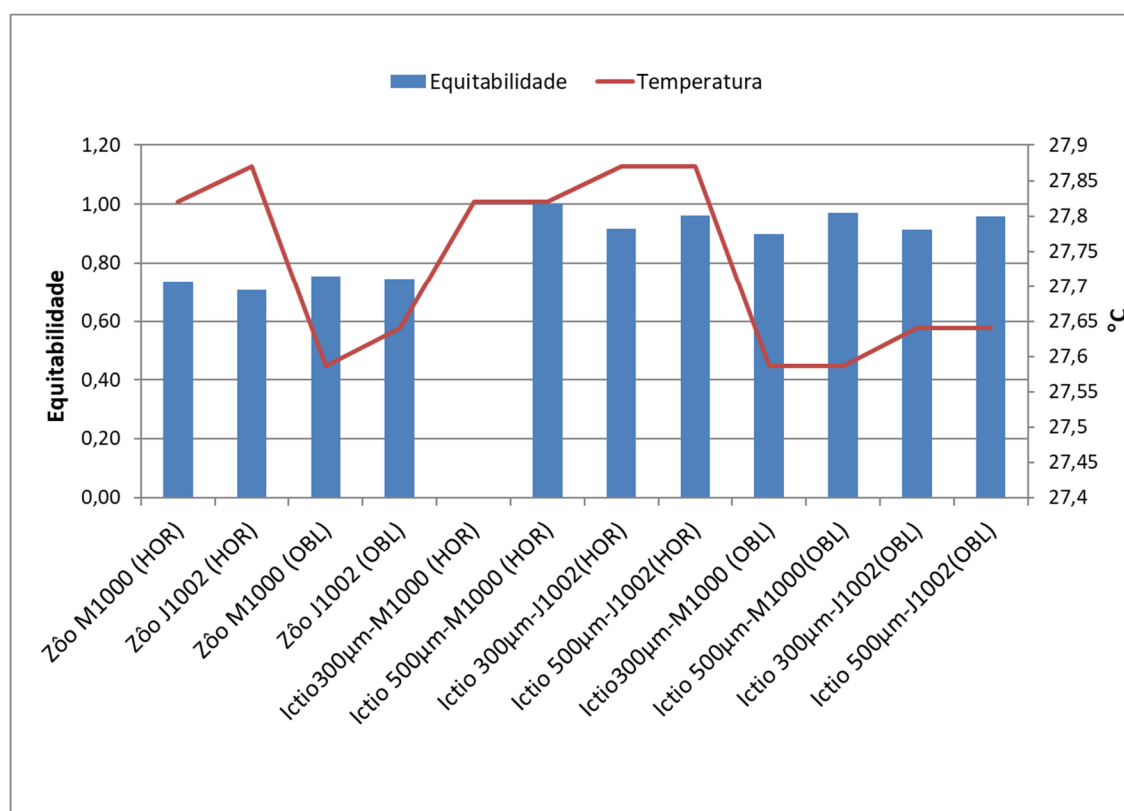


Figura VI.1-14 – Relação da temperatura com a equitabilidade zooplânctônica e ictioplânctônica da DP-IRA-S_C9.

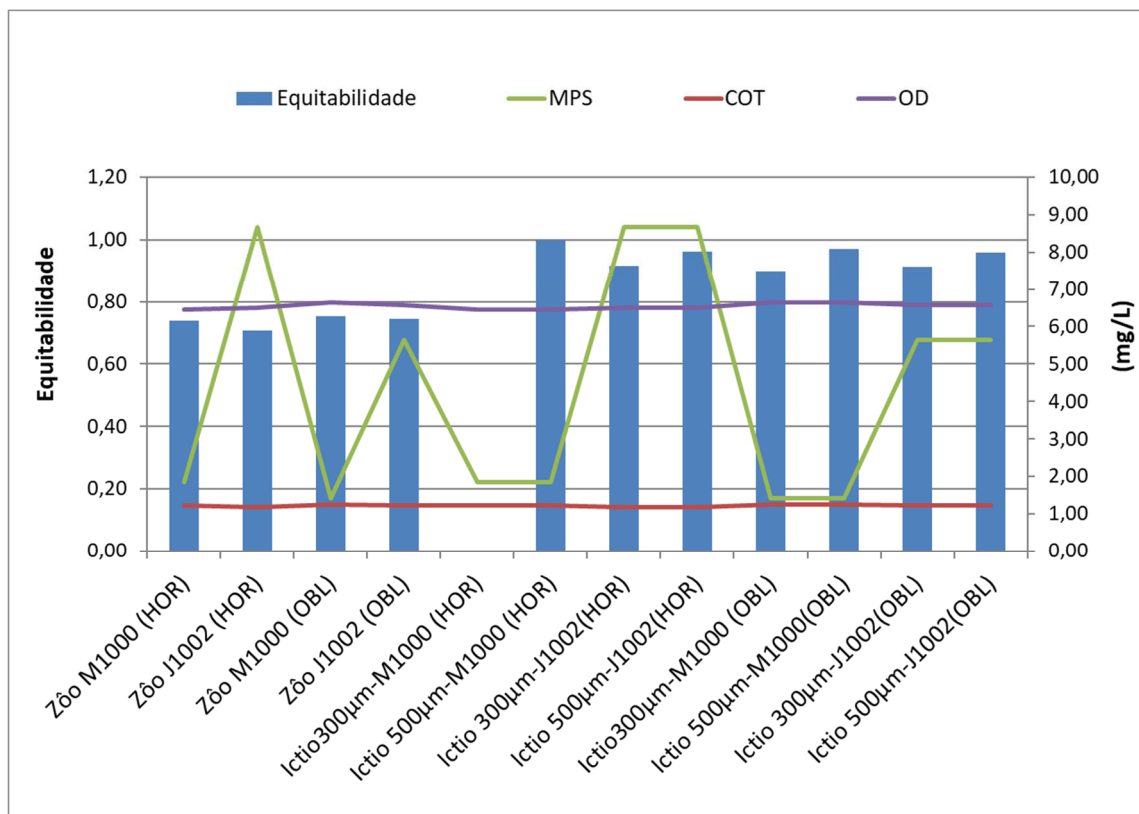


Figura VI.1-15 – Relação do MPS, COT e OD com a equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.

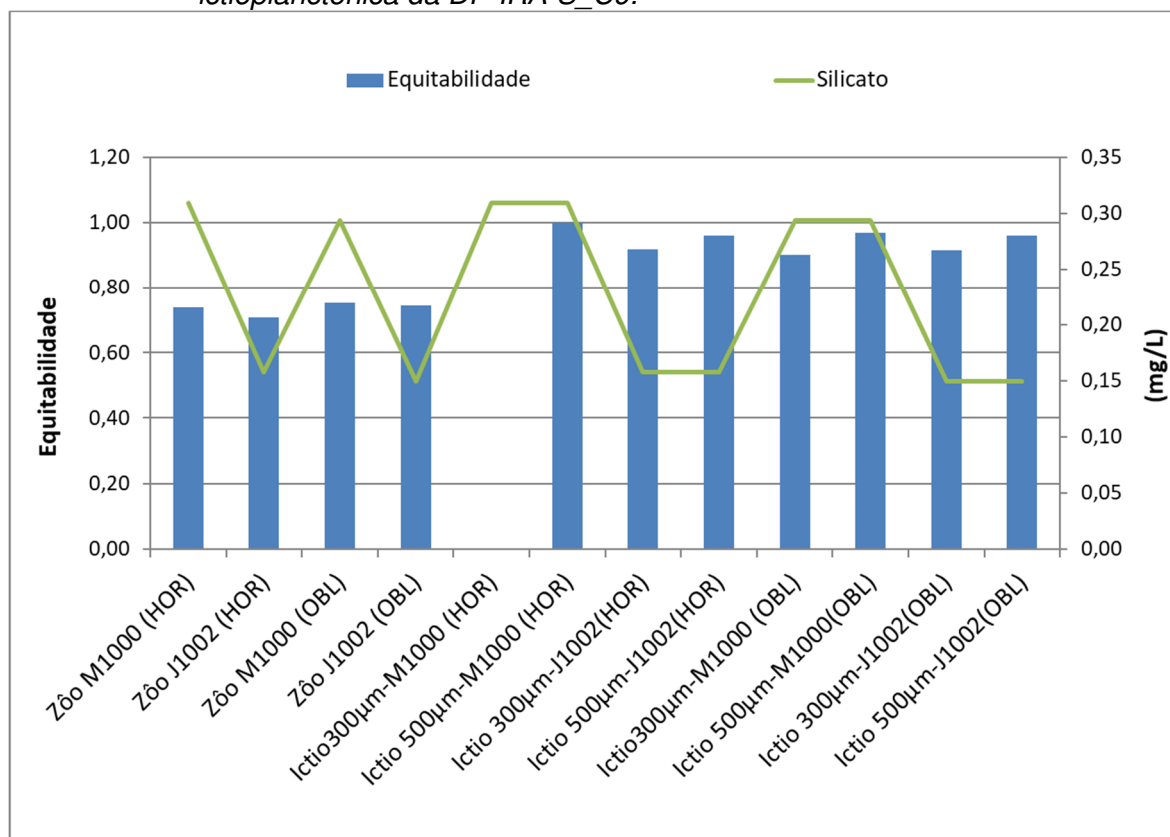


Figura VI.1-16 – Relação do silicato com a equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica da DP-IRA-S_C9.

O zooplâncton marinho é muito diverso e variado, representando os consumidores primários mais numerosos do oceano (GARRISON, 2011). Esse grupo compreende uma assembléia filogenética e funcionalmente diversa de consumidores protistas e metazoários que ocupam vários níveis tróficos em teias alimentares pelágicas, tendo grande importância para a dinâmica ecossistêmica aquática (STEINBERG & LANDRY, 2017). Apresentam íntima relação com grupos fitoplanctônicos, dada sua relação de pastejo, principalmente com cianobactérias, diatomáceas, dinoflagelados entre tantos outros. Essa rede complexa de interações bióticas e abióticas, conduzem a variabilidade temporal e espacial do zooplâncton, em termos de produção-pastejo, ciclagem de nutrientes, exportação e eficiência de transferência de nutrientes para níveis tróficos mais elevados (BEAUGRAND *et al.*, 2003; STEINBERG & LANDRY, 2017). Dessa forma, juntamente com a comunidade ictioplanctônica, compõem importantes componentes do sistema, constituindo elos estruturadores das cadeias alimentares (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Sendo assim, mudanças na estrutura da comunidade, em termos de composição de espécie e abundância podem influenciar os ciclos biogeoquímicos e os fluxos de energia nos ecossistemas aquáticos (MITRA *et al.*, 2014).

Nessa nona campanha de monitoramento de DP-IRA-S, destaca-se que a diversidade da comunidade de zooplâncton variou entre 3,57 a 3,77 bits/ind, sugerindo a presença de uma população com boa diversidade. De fato, segundo Magurran (1988), comunidades com valores de índice de Shannon-Weiner abaixo de 1,5 ou 2 apresentam baixa diversidade e tendem ao desequilíbrio, ao passo que com valores acima de 5 representam comunidades com grande diversidade.

De forma complementar, a equitabilidade zooplanctônica variou entre 0,71 a 0,75, ficando relativamente mais próxima a 1 do que de zero, indicando uniformidade na distribuição das abundâncias de espécies. Segundo MAGURRAN, 2003, quanto mais próximo de 1 for a equitabilidade de uma população, mais uniforme será a composição da comunidade zooplanctônica. O filo Arthropoda se destacou por ser o mais rico na comunidade zooplanctônica, para ambas as estações e para os diferentes tipos de arrastos, com riqueza variando de 18 a 19 taxa.

Para a comunidade ictioplanctônica, por sua vez, obteve-se uma diversidade relativamente baixa, variando de 0 a 1,98 bits/ind., enquanto a equitabilidade variou de 0 até o valor máximo. As ordens Myctophiformes e Scombriformes se destacaram em termos de riqueza ictioplanctônica.

Para essas comunidades, fatores ambientais são importantes causas de ajustes bióticos, promovendo variações nos seus números, que ocorrem direta ou indiretamente em resposta às variações ambientais em ecossistemas tropicais (PINTO-COELHO, 1999; TAYLOR *et al.*, 2002; HAYS *et al.*, 2005). Fatores ambientais tais como a temperatura (CHEN *et al.*, 2011; SHI *et al.*, 2018), salinidade (NEUMANN-LEITÃO *et al.*, 2018), correntes marinhas (SMETI *et al.*, 2015; SHI *et al.*, 2018), concentração de OD, COT, MPS, entre outros são importantes parâmetros, influenciando a estrutura, a dinâmica e a distribuição espacial das comunidades de zooplâncton e, conseqüentemente, suas relações com outros elos das cadeias alimentares, como a comunidade fitoplanctônica, ictioplanctônica e a ictiofauna.

Finalmente, destaca-se que foram observados padrões de variação nos indicadores biológicos das comunidades zooplanctônica e ictioplanctônica, juntamente com as variações das características ambientais, contudo é importante ressaltar que, para esse estudo, interpretações mais profundas acerca de relações entre os parâmetros ambientais e biológicos dessas comunidades podem ser mascaradas ou inferidas erroneamente, devido ao pequeno número de estações amostrais, não indicando relações de causa e efeito.

VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório apresentou os resultados referentes à 9ª campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – DP de Iracema Sul. Os resultados referem-se à qualidade da água e comunidade planctônica, sendo que os dados adquiridos possibilitaram estabelecer um diagnóstico ambiental do meio estudado, auxiliando na observação de possíveis alterações decorrentes da operação do DP de Iracema Sul na região.

Com relação à qualidade da água, os resultados obtidos para os parâmetros de OD, pH, MPS, COT e nutrientes (fósforo total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal e silicato) durante a DP-IRA-S_C9 foram condizentes com a faixa de valores típicos de áreas oligotróficas (EKAU & KNOPPERS, 1999), assim como condizentes com os valores descritos para a região do empreendimento (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2016a, 2016c, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021b, 2021c, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2023), havendo pequenas diferenças, bastante pontuais. Os dados de temperatura e salinidade obtidos evidenciaram que todas as amostras foram coletadas em na mistura de Água Costeira e Águas Tropicais (AC/AT) e em profundidade acima da camada de influência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS).

Importante destacar que, para todos os parâmetros avaliados na atual campanha, que possuem limites estabelecidos na legislação ambiental, os resultados obtidos estão dentro dos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1.

Na presente campanha, as concentrações de fenóis, HPAs, HTP's, n-alcanos, MCNR e BTEX estiveram sempre abaixo do limite de quantificação da análise. Os resultados evidenciam que não há indícios de contaminação por essas substâncias no entorno do local de operação do empreendimento.

Com relação ao descarte da água de produção, a comparação dos parâmetros avaliados em comum ou com relação aos parâmetros avaliados no monitoramento ambiental (temperatura, salinidade, pH, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, COT, BTEX, HPA e fenóis) mostrou que a pluma de diluição deste efluente não se manifesta, ou ainda que a sua influência não pôde ser claramente identificada nem a 100 m do ponto de descarte em nenhuma das profundidades amostradas.

As comunidades planctônicas amostradas corroboraram os dados da literatura para dominância de grupos e espécies, tanto para a BS, quanto para a plataforma continental brasileira.

Para o fitoplâncton verificaram-se maiores valores de riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade em relação a maioria das campanhas de outros projetos de monitoramento realizados na região. Também foi possível observar diferenças significativas entre as campanhas do DP de Iracema Sul para todos os parâmetros analisados no fitoplâncton, principalmente entre a sétima, oitava e a DP-IRA-S_C9 em relação as três primeiras. Além disso, não foi observado um padrão de zonação vertical da comunidade fitoplanctônica para os índices ecológicos. Apesar desses organismos serem influenciados diretamente pela incidência luminosa na coluna d'água (LOURENÇO & MARQUES-JR, 2009; REBELLO *et al.*, 1988), a profundidade máxima do início da termoclina foi de apenas 45 metros, estando, portanto, próxima da superfície e dentro da zona fótica, fato que pode ter influenciado nos resultados. As análises indicaram grande similaridade entre as amostras, sendo de, no mínimo, 90%.

Quanto aos resultados obtidos para o zooplâncton, os valores registrados na presente campanha estão dentro da faixa de valores encontrados nas campanhas realizadas na região e nas campanhas anteriores de DP-IRA-S, sendo encontradas diferenças significativas para todos os indicadores biológicos analisados entre as campanhas. As amostras apresentaram valores semelhantes de riqueza, maiores valores de densidade nas amostras da estação DP-IRA-S_M1000_OBL e maiores valores de diversidade e equitabilidade nas amostras da estação DP-IRA-S_M1000. Os resultados de diversidade e equitabilidade indicaram uma composição específica local diversa e bem distribuída. Na análise de similaridade, foram observados agrupamentos de, no mínimo, 75% entre as amostras.

Para o ictioplâncton, foram observados menores valores de riqueza, densidade e diversidade nas amostras de arrasto horizontal de DP-IRA-S_M1000 e os maiores valores ocorreram em ambas as estações nas amostras de arrasto oblíquo com malha de 300 µm. Na DP-IRA-S_C9 foram obtidos valores de riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade na mesma faixa de variação dos resultados já observados para a região, sendo observados valores de densidade máxima inferiores aos obtidos na maioria dos estudos realizados anteriormente. A campanha DP-IRA-S_C9 apresentou diferenças significativas, em relação a campanhas anteriores, para os parâmetros riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade. As análises multivariadas agruparam as amostras com similaridade mínima de 50%.

Na análise integrada da 9ª campanha de monitoramento ambiental de DP-IRA-S a variação espacial das estações amostrais, considerando-se as características ambientais, ocorreu principalmente em função do gradiente de concentração de MPS entre as amostras.

Em relação às amostras em que houve coleta biótica e abiótica, na correlação de *Spearman*, MPS teve correlação negativa significativa com a riqueza fitoplanctônica. Na avaliação espacial das estações DP-IRA-S_M1000 e DP-IRA-S_J1002 e as relações com os parâmetros abióticos e bióticos, o MPS foi o parâmetro ambiental que mais se destacou, tendendo a correlacionar-se negativamente com densidade, riqueza, diversidade, e positivamente com a equitabilidade, separando as amostras de DP-IRA-S_J1002, com maiores concentrações de MPS, das amostras de DP-IRA-S_M1000.

Não foi observada ampla variação dos índices ecológicos da comunidade zooplanctônica entre as estações, e tampouco das características ambientais. O padrão para comunidade ictioplanctônica foi um pouco diferente, observando variações entre estações e arrastos, destacando-se no arrasto oblíquo de DP-IRA-S_M1000 em malha de 300 µm, maior densidade, riqueza e diversidade, sendo que os menores valores desses índices ocorreram nos arrastos horizontais de DP-IRA-S_M1000, ambas as malhas.

A partir dos resultados obtidos nesta 9ª campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e

Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – DP de Iracema Sul, foi possível concluir que, atualmente, a região no entorno do empreendimento não apresenta alterações ambientais. Ressalta-se ainda que não foram observadas alterações nos indicadores biológicos do plâncton em relação ao *background* da região que pudessem ser relacionadas com a atividade.

VIII - BIBLIOGRAFIA

AIDAR, E., GAETA, S.A., GIANESELLA-GALVÃO, D.M.F., KUTNER, M.B.B. & TEIXEIRA, C. 1993. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba SP. **Publicação esp. Inst. Oceanogr.**, São Paulo, 10: 9-13.

AMINOT, A. & CHAUSSEPIED, M. 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu Marin. **1 ère Ed. Brest Cedex**, Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO), 395p.

ARAÚJO, H. & MONTÚ, M. 1993. Novo registro de *Temora turbinata* (Dana, 1949) (Copepoda, Crustacea) para águas atlânticas. **Nauplius**, Rio Grande, 1: 89-90.

BAIRD, C. 2002. **Química ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Brookman.

BARBOSA, J.E.L. 2002. **Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos na escala de tempo (nictimeral/sazonal) e de espaço (horizontal/vertical) no açude Taperoá II: trópico semi-árido nordestino**. Universidade Federal de São Carlos.

BASSANI, C. et al. 1999. Plâncton do litoral norte do Estado do Rio de Janeiro (21°00' a 23°30'S): análise e síntese do conhecimento. In: SILVA S.H.G. & LAVRADO H.P. (Eds), *Ecologia dos Ambientes Costeiros do Estado do Rio de Janeiro*. Vol.2. **Série Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, p.99-120.

BAUMGARTEN, M.G.Z., BAPTISTA, J.R., NIENCHESKI, L.F.H. 1996. **Manual de análises em oceanografia química**. Rio Grande do Sul: UFRGS, 132 p.

BEAUGRAND, G., BRANDER, K.M., LINDLEY, J.A., SOUISSI, S. & REID, P.C. 2003. Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. **Nature** 426: 661–664.

BJÖRNBERG, T.K.S. 1981. Copepoda. In: BOLTOVSKOY, D. (Org.). **Atlas del Zooplancton del Atlántico Sudoccidental y Métodos de Trabajo con el Zooplancton Marino**. [S.l.]: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, p. 587-679.

BOCARD, D., GILLET, F. & LEGENDRE, P. 2011. Numerical Ecology with R. **Springer Science+Business Media**, 306p.

BOLD, H.C. & WYNNE, M.J. 1985. **Introduction to the algae**. 2. ed. New Jersey: Prentice -Hall, p. 720.

BOLTOVSKOY, E. 1981. **Atlas del zooplancton del atlantico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplankton marino**. pp. 760-791.

BONECKER, A.C.T., NAMIKI, C.A.P., CASTRO, M.S. & CAMPOS, P.N. 2014. Catálogo dos estágios iniciais de desenvolvimento dos peixes da bacia de Campos [online]. Curitiba: **Sociedade Brasileira de Zoologia. Zoologia: guias e manuais de identificação series**, 295 p.

BONECKER, A.C.T., BONECKER, S.L. & BASSANI, C. 2009. Plâncton marinho. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Org.). **Biologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, p. 104-125.

BOULOUBASSI, I. 1990. **Aspects de la biogéochimie des hydrocarbures non aromatiques et aromatiques dans la colonne d'eau et les sediments du milieu côtier: cas du delta du Rhône**. Thèse de Doctorat, Université Paris 6, France, 344 p.

BOULOUBASSI, I. & SALIOT, A. 1993. Investigation of anthropogenic and natural organic inputs in estuarine sediments using hydrocarbons markers (NAH, LAB, PAH). **Oceanologica Acta**, 16(2): 145-161.

BOYD, C.E. 2001. **Manejo da qualidade da água na aquicultura e no cultivo do camarão marinho**. Associação Brasileira de Criadores de Camarão – ABCC. Recife, PE, p. 157.

BOYD, C.E. 1990. **Water Quality in Pond Aquaculture**. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, AL, p. 442.

BRADFORD-GRIEVE, J. M., MARKHASEVA, E.L., ROCHA, C.E.F. & ABIAHY, B. 1999. Copepoda. In: BOLTO.VSKOY, D. (ed.). **South Atlantic Zooplankton**. Leiden, Backhuys. 2: 869-1098.

BRAGA, E.S. & NIENCHESKI, L.F.H. 2006. Composição das massas de água e seus potenciais produtivos na área entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI C. L. D. B. & MADUREIRA. L. S. P. (Eds). **O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**, São Paulo. EDUSP, p. 161-218.

BRANCO, L.H.Z. et al. 2003. Biodiversidade e considerações biogeográficas das Cyanobacteria de uma área de manguezal do estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, 17: 585-596.

BRANDINI, F.P. et al. 1997. **Planctonologia na plataforma continental do Brasil: diagnose e revisão bibliográfica**. MMA, CIRM, FEMAR, 196 p.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 25 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União nº 053**, Brasília, DF, 18 mar, p. 58-63, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 393, de 08 de agosto de 2007. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas

de petróleo e gás natural, e dá outras providências. **Diário Oficial da União nº 153**, de 09 de agosto de 2007. Seção 1, p. 72-73.

BYRNE, G.J. et al. 1988. Observations of the stratospheric conductivity and its variation at three latitudes. **Journal of Geophysical Research** 93(D4): doi: 10.1029/88JD01635. issn: 0148-0227.

CAROLA, M. 1994. Checklist of the marine planktonic Copepoda of Southern Africa and their worldwide geographic distribution. **S. Afr. J. Mar. Sci** 14: 225- 253.

CASTRO FILHO, B.M. & MIRANDA, L.B. 1998. Physical oceanography of the Western atlantic continental shelf located between 4º N and 34º S. Coastal segment (4,W) In: ROBINSON, A. R. & BRINK, K.H. (Eds). **The Sea: The global coastal ocean – Regional studies and syntheses**. Vol. 11. John Wiley & Sons. p. 209-251.

CASTRO, B.M., LORENZZETTI, J.A., SILVEIRA, I.C.A. & MIRANDA, L. B. 2006. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; MADUREIRA, L.S.P. O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. **Editora da Universidade de São Paulo**. 472 p.

CASTRO, N.O. & MOSER, G.A. 2012. Florações de algas nocivas e seus efeitos ambientais. **OecologiaAustralis**, v. 16, n. 2, p. 235-264.

CENPES/PEDDS/AMA. 2013. Caracterização Ambiental da Bacia de Santos: Fase I: Síntese dos Dados Ambientais Pretéritos: Anexo II: Meio Biológico: Domínio Pelágico. RT AMA nº 15/2013. **Relatório Síntese: Final**.

CENPES/PEDDS/AMA. 2019. **Coleta, preservação, acondicionamento, tratamentos e análises de bordo de amostras para monitoramento ambiental costeiro e oceânico**.

CETESB. 2008. **Variáveis de Qualidade de Águas**. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 08 de julho de 2008.

CHEN, H.J., QI, Y.P. & LIU, G.X. 2011. Spatial and temporal variations of macro- and mesozooplankton community in the Huanghai Sea (Yellow Sea) and East China Sea in summer and winter. **Acta Oceanol. Sin.** 30:84–95.

CHESTER, R. 2003. **Marine Geochemistry**. 2nd Ed. Liverpool: Blackwell Publishing Company.

CLARKE K.R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Aust J Ecol**;18: 117–43.

CLARKE, K.R.K. & WARWICK, R.M. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. **Plymouth: PRIMER-E Ltd**, p. 176.

COELHO-BOTELHO, M. J. et al. 1999. Aspectos do zooplâncton da baía de Sepetiba (R), Brasil. **Oecologia brasiliensis**, 7: 1-33.

CUSHING, D. H. 1977. **Marine ecology and fisheries**. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 278 p.

DODSON, A.N. & THOMAS, W.H. 1978. Reverse filtration. In Sournia, A. (ed.), *Phytoplankton Manual*, **Monographs on Oceanographic Methodology 6**. UNESCO, Paris, pp. 104-107.

DUGDALE, R.C. & GOERING, J.J. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary production. **LimnolOceanogr**, 12:199-206.

EKAU, W. & KNOPPERS, B. 1999. An introduction to the pelagic system of the North-East and East Brazilian shelf. In: **Archive of Fishery and Marine Research**, 47 (2/3): 113-125.

ESKINAZI-SANT'ANNA, E.M. & BJORNBERG, T.K.S. 2000. **Conhecimento atual sobre o comportamento alimentar de copépodoscalanóida em ambientes marinhos**. Trab. Oceanog. Univ. Fed. PE, Recife, 28(1):11-20.

ESTEVES, F.A. 2011. Fundamentos de Limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: **Interciência**.

ESTEVES, F.A. 1988. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro. Ed. **Interciência**/ FINEP, 573p.

ESTEVES, F. DE A. et al. 2012. Comunidade Zooplanctônica. In: ESTEVES, F. DE A. (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, p. 523-580.

ESTEVES, F.A.; SANTOS, A.M. 2011. Propriedades físicas e químicas da água e sua importância limnológica. In: **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência.

ESTEVES, F.A. & SUZUKI, M.S. 2011. Comunidade Fitoplanctônica. In: ESTEVES, F. DE A. (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, p. 375-445.

FALKOWSKI, P.G. et al. 2001. Role of eddy pumping in enhancing primary production in the ocean. **Nature**, London, v. 352, p. 55-58.

FARRINGTON, B.W. & TRIPP, B.W. 1977. Hydrocarbons in western North Atlantic surface sediments. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 41: 1627-1641.

FIALA, M., MACHADO, M.C. & ORIOL, L. 2002. Phytoplankton biomass in the Indian sector of the Ocean during spring. A comparison with the summer situation. **Deep-Sea Research II**, 19: 144-158.

FONSELIUS, S.H. 1983. Determination of hydrogen sulphide. In: GRASSHOFF, K., EHRHARDT, M., KREMLING, K. (Eds.) **Methods of seawater analysis**. Verlag Chemie Weinheim, New York, p. 73-80.

FRANCO, B.C., MUELBERT, J.H. & MATA, M.M.O. 2005. ictioplâncton da quebra da plataforma da região sul do Brasil e sua relação com as condições ambientais. **Série Documentos Revizee – Score Sul- USP**.

GAETA, S.A. & BRANDINI F.P. 2006. Produção primária de fitoplâncton entre o Cabro de São Tomé (RJ) e o Chuí. In: **Ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil**, Rossi-Wongtshowski, C. L. B. & Madureira, L. S. P. (Eds), São Paulo, EDUSP, pp. 265,358.

GANNON, J.E. & STEMBERGER, R.S. 1978. Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality. **Trans. American. Microsc. Soc.**, v. 97, n. 1, p. 16-35.

GARCIA, A. & BRUNE, D.E. 1991. Transport limitation of oxigen in shrimp culture ponds. **Aquac. Eng.** 10: 269-279.

GARRISON, T.S. 2011. **Essentials of Oceanography**. 6ed. Brooks/Cole, USA. 466pp.

GUIRY, M.D. & GUIRY, G.M. 2021. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway (taxonomic information republished from AlgaeBase with permission of M.D. Guiry). **Dinoflagellata**. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=146203> on 2021-09-13.

HALLEGRAEFF, G.M., ANDERSON, D.M. & CEMBELLA, A.D. 1995. Manual on harmful marine microalgae UNESCO. In: Proença L. A., O. & Fernandes, L. F. Introdução de Microalgas no Ambiente Marinho: Impactos Negativos e Fatores

Controladores. In: Julieta Silva, J. S.V. e Souza R. C. C. (Orgs.). **Água de Lastro e Bioinvasão**. Rio de Janeiro: Interciências. Cap. 7, 77-97.

HARDY, E., ROBERTSON, B. & KOSTE, E. 1984. About the relationship between the zooplankton and fluctuating water levels of lago Camaleão, Central Amazonian várzea Lake. **Amazoniana** 9: 43-52.

HAYS, G.C., RICHARDSON, A.J. & ROBINSON, C. 2005. Climate change and marine plankton. **Trends Ecol. Evol** 20: 337–344.

HELTSHE, J. F. & FORRESTER, N. E. 1983. Estimating specie richness using the Jakknife procedure. **Biometrics** 39(1):1-11.

HILL, I. A., TAIRA, A., FIRTH, J.V., et al. 1993. Proc. ODP, **Sci. Results.**, 131: College Station, TX (Ocean Drilling Program).

HUGHES, R.N., HUGHES, D.J. & SMITHI, I. P. 2013. **Oceanography and Marine Biology: an Annual Review**. Volume 51. CRC Press 386p.

HUTCHINSON, G.E.A. 1967. Treatise on limnology: introduction to lake biology and the limnoplankton. [S.I.]: New York. John Wiley& Sons.

JACKSON, D.A. 1993. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. **Ecology** 74: 2204-2214.

JANG, M.C., SHIN, K., HYUN, B., LEE, T., CHOI, K.H. 2013. Temperature-regulated egg production rate, and seasonal and interannual variations in *Paracalanus parvus*. **Journal of Plankton Research**.

JEFFREY, S.W., MANTOURA, R.F.C. & WRIGHT, S.W. 1997. **Phytoplankton pigments in oceanography**. SCOR, UNESCO Publishing Paris.

JIANG, Z-P., TONG, Y., TONG, M., YUAN, J., CAO, Q., PAN, Y. 2021. The Effects of Suspended Particulate Matter, Nutrient, and Salinity on the Growth of *Amphidinium carterae* Under Estuary Environmental Conditions. **Frontiers in Marine Science**. DOI: 10.3389/fmars.2021.690764.

KENDALLI, M.G; GIBBONS, J.D. 1990. **Rank correlation methods** (em inglês). [S.I.]: E. Hodder Arnold, 5 ed. 272 p.

KOENING, M.L. & MACÊDO, S.J. 1999. Hydrology and phytoplankton community structure at Itamaracá-Pernambuco (Northeast Brazil). **Brazilian Archives of Biology and Technology** 42(2): 381-392.

KOLESNIKOVAS, C., OLIVEIRA, de E. & DUARTE, U. 2009. **Águas Subterrâneas**, 23(1): 31-44.

KREBS, C.J. 1999. **Ecological methodology**. [S.I.]: Addison Wesley Longman, p. 620.

KRUSKAL, J.B. & WISH, M. 1978. **Multidimensional Scaling**. Sage.

LALLI, C.M. & PARSONS, T.R. 1997. **Biological Oceanography: Na Introductions**. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann Ltd., pp. 220-233.

LOURENÇO, S.O. & MARQUES-JR, A.N. 2009. Produção primária marinha. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Org.). **Biologia Marinha**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, p. 111-153.

MACEDO, J.A.B. 2007. **Águas & águas**. Belo Horizonte, MG: CRQ-MG., p. 52.

MAFALDA JR., P.O., SINQUE, C., MUELBERT, J.H. & SOUZA, C.S. 2004. Distribuição e abundância do ictioplâncton na costa norte da Bahia, Brasil. **Tropical Oceanography** 32(1): 69-88.

MAGURRAN, A.E. 2003. **Measuring Biological Diversity**. Blackwell Publishing Limited, London, UK, 260 p.

MAGURRAN, A.E. 1988. **Ecological diversity and its measurement**. Croom Helm, London, UK, 178p.

MAIER, M.H. 1987. Ecologia da bacia do Rio Jacaré-Pepira (47° 55' - 48° 55' W; 22° 30' - 21° 55' S - Brasil). Qualidade da água do Rio Principal. **Ciência & Cultura** 39 (2): 164-185.

MAINIER, F.B. & VIOLA, L.D.M. 2005. O Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) e o Meio Ambiente. **II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT**.

MANN, K.H. & LAZIER, J.R.N. 2006. **Dynamics of marine ecosystems. Biological-physical interactions in the oceans**. Boston: Blackwell Publishing.

MCCUNE, B. & MEFFORD M. J. PC-ORD. 2011. **Multivariate Analysis of Ecological Data**. Version 6.03.

MCEWEN, G.F., JOHNSON, M.W. & FOLSOM, TH.R. 1954. A statistical analysis of the performance of the folsom plankton sample splitter, based upon test observations. **Meteorology and Atmospheric Physics** 7: 502-527.

MEDEIROS, C., MACEDO, S.J., FEITOSA, F.A. & KOENING, M.L. 1999. Hydrography and phytoplankton biomass and abundance of North-East Brazilian waters. **Arch. Fish. Mar. Res.** 47 (2/3): 133-151.

MILLERO, F.J. 2002. **Chemical Oceanography**. 2nd Ed., p. 343-356. Flórida: CRC Press.

MILLERO, F. J. 2013. **Chemical oceanography**. 4. ed. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis, 571 p. Acesso em: 14 jul. 2023.

Disponível em: https://www.academia.edu/36838790/Chemical_Oceanography.

MILOSLAVIĆ, M. et al. 2012. Zooplankton composition and distribution across coastal and offshore waters off Albania (Southern Adriatic) in late spring. **ACTA ADRIAT.** 53 (2): 163-178.

MITRA, A., CASTELLANI, C., GENTLEMAN, W.C., JÓNASDÓTTIR, S.H., FLYNN, K.J., BODE, A., HALSBAND, C., KUHN, P., LICANDRO, P., AGERSTED, M.D., CALBET, A., LINDEQUE, P.K., KOPPELMANN, R., MØLLER, E.F., GISLASON, A., NIELSEN, T.G., ST. JOHN, M., 2014. **Bridging the gap between marine biogeochemical and fisheries sciences; configuring the zooplankton link.** Prog. Oceanogr. 129: 176–199.

MOSER, G. & GALVÃO, G.S. 1997. Biological and oceanography cup welling indicator sat Cabo Frio (RJ). **Revista Brasileira de Oceanografia** 45 (1/2):11-23.

MOSER, H. G. 1984. (ed.). Ontogeny and systematics of fishes. American Society of Ichthyologists and Herpetologists ed., **Special publication Number 1**:760 pp.

NAKATANI, K. et al. 2001. **Ovos e larvas de peixes de água doce: Desenvolvimento e manual de identificação.** Maringá, EDUEM, 378p.

NASCIMENTO, R.A. 2015. Origem e Distribuição de HPAs em sedimentos de fundo do estuário do rio São Paulo, Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. **Monografia.** Departamento de Oceanografia, UFBA.

NASCIMENTO, K.B. & OLIVEIRA, O.M.P. 2010. **Padrões de distribuição de *Aglaura hemistoma* e *Liriope tetraphylla* (Hydrozoa, Trachymedusae) na costa sudeste do Brasil (22-25 ° S, 40-45 ° W).** Centro de Biologia Marinha da Universidade de São Paulo.

NEUMANN-LEITÃO, S., MELO, P.A.M.C., SCHWAMBORN, R., DIAZ, X.F.G., FIGUEIREDO, L.G.P., SILVA, A.P., CAMPELO, R.P.S., DE MELO JÚNIOR, M., MELO, N.F.A.C., COSTA, A.E.S.F., ARAÚJO, M., VELEDA, D.R.A., MOURA, R.L.

& THOMPSON, F. 2018. Zooplankton from a reef system under the influence of the Amazon River plume. **Front. Microbiol.** 9: 35.

NEVEUX, J., VAULOT, D., COURTIES, C. & FUKAI, E. 1989. Green photosintetic bacteria associated with chlorophyll maximum of the Sargasso Sea. **Cr. Acad. Sci. Paris Sér III**, 308: 09-14.

NIENCHESKI, L.F.H., et al. 1999. Nutrients and suspended matter behaviour in the Patos Lagoon Estuary (Brazil). In: PERILLO, G.M.E., PICCOLO, M.C., PINO-QUIVIRA, M. **Estuaries of South America**. Heidelberg: Springer-Verlag, p. 67-81.

NOGUEIRA, C.R. et al. 1999. Studies on zooplankton and ichthyoplankton communities off the Rio de Janeiro Coastline. **Oecologia brasiliensis** 7: 73-98.

NUNES, R.C. 2012. **Posicionamento filogenético de Chaetognatha baseado em dados morfológicos**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal da Paraíba.

NYBAKKEN, J.W., BERTNESS, M.D. 2005. **Marine Biology: An Ecological Approach** (6 ed.). San Francisco: Pearson, Benjamin Cummings.

PETROBRAS. **Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos (PCR-BS)** - Volume 5 – Sistema Pelágico da Bacia de Santos. 2022. <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/documents/d/comunica-bacia-de-santos/pcr->

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. 2002. **Relatório Ambiental da BS**. Protocolo acordado entre PETROBRAS, Ministério do Meio Ambiente e IBAMA,

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. 2010. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental de Tupi. 1ª Campanha. [S.l: s.n.], dez.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. 2012a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Área de Tupi. 2ª Campanha. [S.l: s.n.], abr.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. 2012b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Área de Tupi. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás da Área de Tupi, Bloco BM-S-11, BS. 3ª Campanha. [S.l: s.n.], jun.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2014. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, BS. 4ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2015a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, BS. 5ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2016b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, BS. 6ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2017a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 7ª Campanha (Dezembro/2015). Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, BS.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção

e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, BS. 8ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018d. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, BS. 9ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, BS. 10ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2020a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, BS. 11ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2022a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, BS. 12ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2022b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, BS. 13ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2016c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – DP de Iracema Sul. 1ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2017c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 2ª Campanha (Dezembro/2015). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018f. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul. 3ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019e. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul. 4ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019g. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul. 5ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2020d. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul. 6ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2021c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul. 7ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2015b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e

Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE. 1ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2016a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE. 2ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 3ª Campanha (Dezembro/2015). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 4ª Campanha (Novembro/2016). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE. 5ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019d. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE. 6ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2020b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE. 7ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2021b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE. 8ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2022c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE. 9ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022d. **Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá.** 2022

PETROBRAS/BIOCONSULT, 2023 **Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul** 2023

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2015c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá. 1ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2015d. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá. 2ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2017b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 3ª Campanha (Dezembro/2015). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018e. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá. 4ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá. 5ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019f. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá. 6ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2020c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá. 7ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2021a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da BS – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá. 8ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/HABTEC. 2003. **Relatório Final de Caracterização dos Blocos BMS-8, 9, 10, 11 e 21**, BS.

PETROBRAS/ICF. 2008. **Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental**. Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás da Área de Tupi, Bloco BM-S-11, BS.

PETROBRAS/ICF. 2013. **Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental**. Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré Sal da BS – Etapa 1.

PETROBRAS/OCEANPACT, 2023. **Relatório técnico** – Monitoramento Ambiental Oceânico, BS - RL-3A03.15-5521-996-OC8-004

PHILIPPI, JR.A. et al. 2004. Gestão ambiental municipal: subsídios para estruturação de sistema municipal de meio ambiente. V. 4. Salvador: CRA – Centro de Recursos Ambientais. Photosynthetic bacteria associated with the deep chlorophyll maximum of the Sargasso sea. **C. R. Acad. Sci.** 308(III): 9–14.

PIELOU, E.C. 1977. **Mathematical Ecology**. New York: John Wiley & Sons, 385p.

PINTO-COELHO, R.M., COELHO, M.M., ESPÍRITO-SANTO, M.M. & CORNELISSEN, T.G. 1999. Efeitos da eutrofização na estrutura da comunidade planctônica na lagoa da Pampulha. In: Henry, R. ed. **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu, FUNDBIO/FAPESP. 553-572.

PIR2/TRANSPETRO. 2009. Relatório de Impacto Ambiental Linha de Transferência de Água de Formação e Emissário para Escoamento de Efluentes Industriais Tratados do Terminal da Baía de Ilha Grande (TEBIG), Angra dos Reis, RJ. [S.l: s.n.].

POLOCZANSKA, E.S. et al. 2012. Marine climate change in Australia: impacts and adaptation responses. eBook, CSIRO **Climate Adaptation Flagship**, [Cleveland, Qld.] Disponível em: <https://www.worldcat.org/pt/title/824661767>. Acesso em 13/07/2023.

PORTILHO-RAMOS, R.C., RIO-NETTO, A.M. & BARBOSA, C.F. 2006. Caracterização bioestratigráfica do Neógeno superior da Bacia de Santos com base em foraminíferos planctônicos. **Rev. Bras. Paleont.** 9(3): 349-354.

PRAHL F.G., ERTEL J.R., GONI, M.A., SPARROW, M.A. & EVERSMEYER, B. 1994. Terrestrial organic carbon contributions to sediments on the Washington margin. **Geochim. Cosmochim. Acta** 58: 3035–3048.

QUINN, P. K.; BARRET, K. J.; DENTENER, F. J.; LIPSCHULTZ, F.; SIX, K. D. 1996. **Biogeochemistry**, 275 p.

RAND, G.M. & PETROCELLI, S.R. 1985. **Fundamentals of Aquatic Toxicology: Methods and Applications**. New York: Hemisphere Publishing Corporation.

RAVEN, P.H., EVERT, R.E. & EICHHORN, S.E. 2001. **Biologia Vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 906p.

RÉ, P. 1986. Ecologia da postura e da fase planctónica de *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) na região central da costa portuguesa. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Ciências Naturais** 23: 5-81.

RÉ, P. 1984. **Ictioplâncton da região central da costa Portuguesa e do estuário do Tejo. Ecologia da postura e da fase planctónica de *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) e de *Engraulis encrasicolus* (Linné, 1758)**. Universidade de Lisboa.

REBELLO, A.L., PONCIANO, C.R., MELGES, L.H. 1988. **Avaliação da produtividade primária e da disponibilidade de nutrientes na Baía de Guanabara**. 1988, [S.l:s.n.], p. 419-430.

REYNOLDS, C.S. 2006. **Ecology of Phytoplankton** (Ecology, Biodiversity and Conservation). Cambridge, Cambridge University Press.

RICHA, R., SINHA, P. & HÄDER, D-P. 2014. Phytoplankton productivity in a changing Global Climate. In Sebatíá, M. T. **Phytoplankton: Biology, Classification and Environmental Impactcs**. New York: Nova Science Publishers.

RYTHER, J.H., DUNSTAN, W.M. 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. **Science** 171: 1008-1013.

SHANNON, C.E.A. 1948. Mathematical Theory of Communication. **Bell System Technical Journal**. 27: 44.

SHELL/ANALYTICAL SOLUTIONS. 2004. On analytical solutions for liquid-filled non-shallow conical shell assemblies. **Journal of the South African Institution of Civil Engineering**, 46(3): 10–15, Paper 575.

SHI, Y.Q., ZUO, T., YUAN, W., SUN, J.Q. & WANG, J. 2018. Spatial variation in zooplankton communities in relation to key environmental factors in the Yellow Sea and East China Sea during winter. **Continental Shelf Research**. doi:10.1016/j.csr.2018.10.004.

SILVEIRA, I.C.A. DA et al. 2000. A Corrente do Brasil ao largo da Costa Leste Brasileira. **Rev. Bras. Oceanogr.** 48(2):171-183.

SIMONEIT, B.R.T. & MAZURIK, M.A. 1982. Organic matter in the troposphere II: Natural background of biogenic lipid matter in aerosols over the rural western United States. **Atmospheric Environment** 16: 2139-2159.

SIMONEIT, B.R.T. 1984. Organic matter of the troposphere III: Characterization and sources of petroleum and pyrogenic residues in aerosols over the western United States. **Atmospheric Environment** 18: 51-67.

SIMPSON, E.H. 1949. Measurement of diversity. **Nature** 63: 688.

SMETI, H., PAGANO, M., MENKES, C., LEBOURGES-DHAUSSY, A., HUNT, B.P.V., ALLAIN, V., RODIER, M., DE BOISSIEU, F., KESTENARE, E. & SAMMARI, C. 2015. Spatial and temporal variability of zooplankton off New Caledonia

(Southwestern Pacific) from acoustics and net measurements. **J. Geophys. Res.: Oceans** 120: 2676–2700.

SOURNIA, A., CHRÉTIENNOT-DINET, M.J. & RICARD, M. 1991. Marine phytoplankton: how many species in the world ocean? **Journal of Plankton Research** 13: 1093-99.

SOUZA, B.D. 2008. **Estrutura, dinâmica e produtividade primária do fitoplâncton como base para estimativa do estado trófico de uma lagoa costeira no estado do Espírito Santo (lagoa Mãe-Bá, Guarapari)**. Dissertação de Mestrado. Centro de Biociências, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ., 141p.

SOUZA, M.C.A. 2000. **A corrente do Brasil ao largo de Santos: medições diretas**. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 178 p.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMEWW. 2005. 22^a Ed. Centennial Edition.

STEINBERG, D.K. & LANDRY, M. R. 2017. Zooplankton and the Ocean Carbon Cycle. **Annual Review of Marine Science** 9:413-444. DOI: 10.1146/annurev-marine-010814-015924.

TAYLOR, A.H., ALLEN, J.I. & CLARK, P.A. 2002. Extraction of a weak climatic signal by an ecosystem. **Nature** 416: 629–632.

THURMAN, H.V. & BURTON, E.A. 2001. **Introductory oceanography**. 9th Ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 544p.

TOMMASI, L.R. 1994. **Programa de monitoramento ambiental oceânico da Bacia de Campos, RJ (Relatório Final)**. Fundespa, Geomap, Cenpes-Petrobras, São Paulo, 169pp.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2005. Physical and Chemical Properties Models. Pollution Prevention Framework. Disponível em: <www.epa.gov/opFT/sf/pubs/p2frame-june05a2.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2010.

_____ Method 350.1: Determination of Ammonia Nitrogen by Semi-Automated Colorimetry.

_____ Method 3510C: Separatory funnel liquid-liquid extraction.

_____ Method 3535A: Solid-Phase Extraction (SPE).

_____ Method 5030C: purge-and-trap for aqueous samples.

_____ Method 8015D: Nonhalogenated organics using GC/FID.

_____ Method 8260C: Volatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS).

_____ Method 8270E: Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC-MS).

UNEP / Secretariat of the Convention on Biological Diversity. An Updated Synthesis of the Impacts of Ocean Acidification on Marine Biodiversity. CBD Technical Series nº 75, 2014. Disponível em: <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-75-en.pdf>. Acesso em 13/07/2023.

UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommer der quantitativen phytoplankton methodik. **Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theorestiche und Angewandte Limnologie** 10:109-122.

VALENTIN, J.L., ANDRÉ, D.L. & JACOB, S. 1987. Hydrobiology in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: two-dimensional structure and variability during a wind cycle. **Continental Shelf Research** 7(1): 77-88.

VALENTIN, J.L. 2012. **Ecologia Numérica - Uma introdução a Análise Multivariada de dados Ecológicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 168p.

VEGA-PÈRES, L.A. 1993. Estudo do zooplâncton da região de Ubatuba, Estado de São Paulo. **Publicação esp. Inst. Oceanogr. S Paulo**. 10: 65-84.

VEGA-PÉREZ, L.M., CAMPOS, M.A.G. & SCHINKE, K.P. 2011. Checklist of class appendicularia (Chordata: Tunicata) from São Paulo State, Brazil. **Biota Neotrop.** 11:761-769.

<http://www.biotaneotropica.org.br/v11n1a/en/abstract?inventory+bn0401101a>.

VENKATESAN, M.I. & KAPLAN, I.R. 1982. Distribution and transport of hydrocarbons in surface sediments of the Alaskan outer continental shelf. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 46: 2135-2149.

VIEIRA, S. 2008. **Introdução à bioestatística**. Rio de Janeiro: Elsevier.

VILLAC, M.C. 1990. **O fitoplâncton como um instrumento de diagnose e monitoramento ambiental: estudo de caso da Baía de Guanabara (RJ, Brasil)**. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

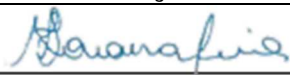
VILLATE, F., MORAL, M. & VALENCIA., V. 1997. Mesozooplankton community indicates climate change in a shelf area of the inner bay of Biscay throughout 1988 to 1990. **J. Plank. Res.** 19: 1617-1636.

WILLIAM, K.W., MAESTRINI, L. & MAESTRINI, S. 1993. Measurement of Primary Production from the Molecular to the Global Scale. ICES. **Mar. Sci. Symp.**, Bergen, 197: 1-2.

WOOTTON, R.J. 1990. **Ecology of Teleost Fishes**. [S.l.]: Chapman and Hall, 404p.

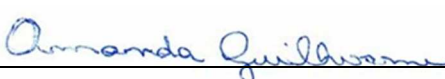
YODER, J.A., McCLAIN, C.R., FELDMAN, G.C. & ESAIAS, W.E. 1993. Anual cycles of phytoplankton chlorophyll concentrations in the global oceans: A satellite view. **Global Biogeochem. Cycles** 5: 119-134.

IX - EQUIPE TÉCNICA

Profissional	Marla Sonaira Lima
Empresa	-
Formação Profissional	Bióloga
Registro no Conselho de Classe	CRBio 58878-03
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	337746
Responsável pelas Seções	Introdução, Objetivos, Área de estudo, Caracterização da atividade, Atividades de Campo, Atividades de Laboratório, Tratamento dos dados, Análises Estatísticas, Resultados e Discussão Qualidade da Água, Plâncton, Análise integrada, Considerações finais
Assinatura	

Profissional	Dr. Mário Sérgio Ximenez
Empresa	Bioconsult Ambiental
Registro no Conselho de Classe	CRBio nº: 12895/02
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental – IBAMA	204221
Responsável pela (s) seção (ões)	Coordenação Geral; Verificação e aprovação de Relatório de Resultados
Assinatura	

Profissional	Dr ^a . Cristina Falcão
Empresa	Bioconsult Ambiental
Registro no Conselho de Classe	CRBio nº: 12654/02
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental - IBAMA	24023
Responsável pela (s) seção (ões)	Coordenação Geral; Verificação e aprovação de Relatório de Resultados
Assinatura	

Profissional	Dr ^a . Amanda Guilherme da Silva
Empresa	Bioconsult Ambiental
Registro no Conselho de Classe	CRBio nº: 96676/02
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental - IBAMA	4926481
Responsável pela (s) seção (ões)	Preposto. Estruturação do Relatório de Resultados, Confecção dos Mapas
Assinatura	

Profissional	Bióloga Leticia Carvalho
Empresa	Bioconsult Ambiental
Registro no Conselho de Classe	CRBio nº: 126238/02
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental - IBAMA	7834000
Responsável pela (s) seção (ões)	Anexos, Formatação e Verificação do Relatório
Assinatura	

X - ANEXOS

Anexo X-1 – ☐arta de Aceite de Material Biológico

Anexo X-2 – Laudos analíticos das amostras físico-químicas

Anexo X-3 – Laudos analíticos das amostras biológicas

Anexo X-4 – Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs) e Cadastro Técnico Federal da equipe técnica

Anexo X-5 – Rssalva zooplâncton