PETROBRAS

Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos – PCR-BS

Caracterização Química e Biológica do Sistema Pelágico da Bacia de Santos

Volume 5

Revisão 01

Dezembro/2022

PÚBLICA

APRESENTAÇÃO

Este volume contém capítulos temáticos que descrevem e analisam parâmetros ambientais e biológicos obtidos na bacia entre 2019 e 2022. O volume inclui resultados das análises laboratoriais de amostras de água obtidas em dois cruzeiros oceanográficos: entre agosto e outubro de 2019, representando um período sazonal equivalente ao “inverno subtropical”, e dezembro de 2021 a março de 2022, cobrindo a maior parte do verão. A obra e analisa relações causa-efeito que justificam os padrões de distribuição de parâmetros hidrográficos e biogeoquímicos, pigmentos fotossintéticos, densidade e biomassa de bacterioplâncton, microplâncton, zooplâncton, ictioplâncton e nêuston. Além disso, informações adicionais tais como metagenoma da comunidade microbiana e medidas de processos metabólicos fundamentais para o fluxo de energia do sistema pelágico (p.ex. fotossíntese e quimiossíntese) foram obtidos em estações selecionadas através de experimentos *in vitro* com o uso de radioisótopos. O volume segue com um diagnóstico preliminar e inédito para a região sobre a natureza e o fluxo anual de partículas inorgânicas e biogênicas, importantes para o acoplamento bento-pelágico. Destaca-se ainda, as informações sobre as propriedades bio-ópticas e biogeoquímicas da bacia através do sensoriamento remoto. O diagnóstico finaliza com uma análise da contaminação ambiental com hidrocarbonetos, seja de origem natural ou antropogênica, como linha de base para se interpretar alterações na biodiversidade e na dinâmica espacial e sazonal das características biológicas do sistema pelágico e seus principais processos metabólicos.

A caracterização ambiental e biológica do sistema pelágico é parte do escopo do Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos (PCR-BS), com vistas a pesquisar métodos, parâmetros ou abordagens não convencionais para avaliação ambiental. Espera-se que esse diagnóstico atenda satisfatoriamente a demanda de informações primárias sobre ecossistemas ameaçados com as quais os órgãos ambientais e agências reguladoras do setor produtivo possam normatizar a exploração de recursos marinhos vivos e não vivos seguindo os princípios da sustentabilidade ambiental e socioeconômica.

PÚBLICA

Do mesmo modo a obra beneficia a academia preenchendo lacunas de conhecimento sobre o ecossistema pelágico da Bacia de Santos.

Os quatro anos de trabalho, e a dedicação de uma equipe de mais de 100 pessoas composta por cientistas, alunos de graduação e pós-graduação e técnicos especializados oriundas de seis instituições nacionais de ensino e pesquisa, estão consolidados nessa obra que certamente contribui para a conscientização da sociedade sobre o papel do mar regional em nossa cultura, socioeconomia e geopolítica. Além disso, espera-se que as informações desse volume também sirvam para ampliar o repertório técnico daqueles que decidem as políticas públicas de controle ambiental, mitigando o impacto antropogênico inevitável oriundo da exploração de recursos vivos e não vivos na Bacia de Santos, garantindo seus serviços ecossistêmicos marinhos para as gerações futuras.

PÚBLICA

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 3

I. Bacia de Santos: diagnóstico ambiental através da coleta de dados primários 11

I.1 Introdução 11
I.2 Área de Estudo 12
I.3 Base de Dados Ambientais 13
I.4 Principais marcos da pesquisa 19
I.5 Referências bibliográficas 24

II. Caracterização Biogeoquímica do Sistema Pelágico 25

II.1 Introdução 25
II.2 Métodos 27
II.2.1 Coletas de água 27
II.2.2 Análises de laboratório 28
II.3 Resultados 30
II.3.1 Distribuição geográfica 30
II.3.2 Distribuição vertical 38
II.3.3 Distribuição vertical na coluna de água do setor oceânico 49
II.4 Discussão 51
II.4.1 Setor nerítico 52
II.4.2 Setor oceânico 56
II.5 Conclusão 57
II.6 Referências Bibliográficas 58
II.7 Equipe Técnica 61

III. Microbioma pelágico da Bacia de Santos 62

III.1 Introdução 62
III.2 Métodos 65
III.2.1 Atividades de campo 65
III.2.2 Citometria de Fluxo 66
III.2.3 Extração do DNA ambiental das amostras de água, sequenciamento do gene RNAr 16S e metagenômico 67
III.3 Resultados 71
III.3.1 Abundância, Distribuição Espacial e Vertical, e Biomassa de Carbono do Pico- e Nanoplâncton durante o inverno de 2019 e verão 2022 71

PÚBLICA

III.3.2 Composição e Diversidade da Comunidade Microbiana pelo Sequenciamento do Gene RNAr 16S 79
III.3.3 Composição da comunidade microbiana, diversidade, influência de parâmetros oceanográficos e potencial metabólico no inverno de 2019 pelo sequenciamento metagenômico 84
III.3.4 Classificação de Genes Funcionais 89
III.4 Discussão 94
III.4.1 Abundância, Biomassa de Carbono e Padrões de Distribuição do Pico e Nanoplâncton 94
III.4.2 Composição Microbiana do Sistema Pelágico da Bacia de Santos 96
III.4.3 Classificação de Genes Funcionais Obtidos pela Análise Metagenômica 98
III.5 Referências Bibliográficas 101
III.6 Equipe Técnica 110
IV. Caracterização do fitoplâncton da Bacia de Santos por pigmentos marcadores 111
IV.1 Introdução 111
IV.2 Métodos 114
IV.2.1 Atividades de campo 114
IV.2.2 Análises de laboratório 114
IV.2.3 Quimiotaxonomia do fitoplâncton 116
IV.2.4 Análises Estatísticas 117
IV.3 Resultados 118
IV.3.1 Assinatura pigmentar do fitoplâncton 118
IV.3.2 Abundância fitoplanctônica (Cla + DVCla): distribuição temporal e espacial 120
IV.3.3 Pigmentos marcadores: distribuição temporal e espacial 123
IV.3.4 CHEMTAX – Grupos Taxonômicos 129
IV.3.5 Variação espacial e temporal dos grupos fitoplanctônicos 131
IV.3.6 Variações espaço/temporais do fitoplancton e variáveis ambientais 146
IV.4 Discussão 149
IV.5 Referências Bibliográficas 153
IV.6 Equipe Técnica 159
V. Diversidade, distribuição e abundância do nano- e do microplâncton da Bacia de Santos 160
V.1 Introdução 160
V.2 V.Métodos 169

PÚBLICA

V.2.1 Amostragens, filtração e contagem do plâncton 169
V.2.2 Fitoplâncton de Rede para identificação de espécies 172
V.2.3 Taxonomia do Nanoplâncton e Microplâncton 172
V.2.4 Análises Estatísticas 173
V.3 Resultados 174
V.3.1 Agosto-outubro 2019 174
V.3.2 Dezembro/2021-Março/2022 (Verão 2022) 194
V.3.3 Composição do Microplâncton de rede (2019 e 2022) 208
V.4 Discussão 213
V.4.1 Agosto – Outubro de 2019 (Inverno – Primavera) 214
V.4.2 Dezembro/2021 – Março/2022 (Verão) 219
V.4.3 Microplâncton de Rede 225
V.5 Referências Bibliográficas 230
V.6 Equipe Técnica 239

VI. Taxonomia, distribuição e abundância do zooplâncton da Bacia de Santos 1

VI.1 Introdução 1
VI.2 Métodos 3
VI.2.1 Atividades de campo 3
VI.2.2 Análises de laboratório 4
VI.2.3 Análises Estatísticas 4
VI.3 Resultados 6
VI.3.1 Biomassa total 6
VI.3.2 Abundância total 6
VI.3.3 Composição da comunidade zooplanctônica 11
VI.3.4 Classificação da comunidade zooplanctônica em grupos e distribuição espacial na Bacia de Santos 15
VI.3.5 Integração entre parâmetros ambientais e zooplâncton 15
VI.3.6 Espécies indicadoras 20
VI.4 Discussão 22
VI.5 Conclusão 26
VI.6 Referências Bibliográficas 26
VI.7 Equipe Técnica 33

VII. Estrutura e dinâmica espacial do ictioplâncton da Bacia de Santos ... 34

PÚBLICA

VII.1 Introdução 34
VII.2 Métodos 35
VII.2.1 Coletas de campo 35
VII.2.2 Análises de laboratório 36
VII.2.3 Análises Estatísticas 38
VII.3 Resultados 41
VII.3.1 Composição e abundância 41
VII.3.2 Distribuição geográfica 42
VII.3.3 Distribuição vertical 46
VII.3.4 Assembleia de larvas de peixes 53
VII.4 Discussão 68
VII.5 Referências Bibliográficas 71
VII.6 Equipe Técnica 76

VIII. Composição e dinâmica espacial e sazonal do nêuston da Bacia de Santos 77

VIII.1 Introdução 77
VIII.2 Métodos 78
VIII.2.1 Atividades de campo 78
VIII.2.2 Análises de laboratório 79
VIII.2.3 Análises Estatísticas 80
VIII.3 Resultados 82
VIII.3.1 Biomassa 82
VIII.3.2 Abundância total 84
VIII.3.3 Composição taxonômica 89
VIII.3.4 Estrutura da comunidade 95
VIII.3.5 Integração entre os organismos neustônicos e as variáveis ambientais 105
VIII.3.6 Classificação da comunidade neustônica em grupos e distribuição na Bacia de Santos 108
VIII.4 Discussão 112
VIII.5 Conclusão 119
VIII.6 Referências Bibliográficas 120
VIII.7 Equipe Técnica 130

IX. Produtividade Primária Foto- e Quimiossintética e Seus Fatores Reguladores na Bacia de Santos 131

PÚBLICA

IX.1 Introdução 131
IX.2 Métodos 135
IX.2.1 Experimentos de Produtividade – Método in situ simulado com incubação de radioisótopo (^{14}C) 135
IX.2.2 Análises Estatísticas 138
IX.3 Resultados 139
IX.3.1 Variação espacial da produtividade primária fotossintética 139
IX.3.2 Parâmetros Fotossintéticos 143
IX.3.3 Variação espacial da produtividade primária quimiossintética 148
IX.3.4 Valores integrados e comparação entre PPF e PPQ 150
IX.3.5 Relação entre a produtividade primária e os fatores ambientais 154
IX.4 Discussão 157
IX.5 Conclusão 162
IX.6 Referências Bibliográficas 164
IX.7 Equipe Técnica 170

X. Acoplamento bento-pelágico na Bacia de Santos e o seu papel na bomba biológica do Atlântico Sul-Ocidental 171
X.1 Introdução 171
X.2 Fluxo na Bacia de Santos 173
X.3 Fluxo no Atlântico Sul em outras margens de borda oeste 178
X.4 Principais lacunas 181
X.5 Referências Bibliográficas 184
X.6 Equipe Técnica 193

XI. Sensoriamento Remoto - Caracterização bio-óptica e radiométrica in situ e meteoceanográfica por satélite 194
XI.1 Caracterização bio-óptica e avaliação dos produtos de sensoriamento remoto da cor do oceano 194
XI.1.1 Introdução 194
XI.1.2 Material e Métodos 195
XI.1.3 Resultados e Discussão 197
XI.1.4 Conclusões 217
XI.2 Séries Históricas 218
XI.2.1 Introdução 218
XI.2.2 Material e Métodos 219

PÚBLICA

XI.2.3 Resultados e Discussão 224
XI.3 Contexto Meteoceanográfico Por Satélite 241
XI.3.1 Introdução 241
XI.3.2 Material e Métodos 242
XI.3.3 Resultados 243
XI.4 Estuários 250
XI.4.1 Introdução 250
XI.4.2 Material e Métodos 250
XI.4.3 Resultados e Discussão 255
XI.5 Referencias bibliográficas 263
XI.6 Equipe Técnica 274
XII. Hidrocarbonetos no sistema pelágico da Bacia de Santos 276
XII.1 Introdução 276
XII.2 Métodos 279
XII.2.1 Atividades de campo 279
XII.2.2 Extração das amostras de água 280
XII.2.3 Análises de laboratório 281
XII.3 Resultados 283
XII.3.1 Hidrocarbonetos Alifáticos 283
XII.3.2 HPA 289
XII.4 Discussão 294
XII.4.1 Hidrocarbonetos Alifáticos e HTP 294
XII.4.2 HPA 295
XII.4.3 Considerações finais 297
XII.5 Conclusão 298
XII.6 Referências Bibliográficas 299
XII.7 Equipe Técnica 307
ANEXOS 308

PÚBLICA

I. Bacia de Santos: diagnóstico ambiental através da coleta de dados primários

I.1 Introdução

Estudar a dinâmica espacial das condições físico-químicas e a resposta das populações planctônicas, neustônicas e nectônicas a essas forçantes ambientais é o primeiro passo para se compreender a estrutura e o funcionamento do ecossistema marinho, desde a base até os níveis tróficos superiores. Neste contexto o projeto *Caracterização Química e Biológica do Sistema Pelágico da Bacia de Santos*, conduzido como parte do projeto de Caracterização Ambiental Regional da Bacia de Santos (PCR-BS, Moreira *et al.,* 2022) da PETROBRAS em parceria com a Universidade de São Paulo, visa preencher lacunas históricas do conhecimento sobre a estrutura e o funcionamento do ecossistema pelágico da Bacia de Santos, gerando informações sobre o papel da bacia no ciclo global do carbono e nos serviços ecossistêmicos regionais.

O projeto dedicou mais esforços para o estudo do sistema planctônico que representa o principal elo entre níveis tróficos inferiores e superiores. O fluxo de energia nos oceanos inicia com a produção da matéria orgânica pela fotossíntese do fitoplâncton e em menor escala pela quimiossíntese bacteriana. Além da matéria orgânica particulada produzida no ecossistema planctônico, estoques complementares são oriundos da drenagem continental e fazem parte do estoque de carbono em regiões costeiras e de plataforma interna. A origem, natureza e magnitude de concentração da matéria orgânica particulada é dinâmica e complexa na Bacia de Santos. Portanto, requer mais atenção de modo a ajustar e tornar mais precisos os modelos preditivos sobre o futuro da integridade física e biológica do ecossistema regional frente aos impactos antropogênicos previstos para as próximas décadas.

O papel do plâncton marinho se estende além da questão ecológica, tendo em vista seu protagonismo ambiental em relação ao ciclo do carbono. A bomba biológica oceânica é, fundamentalmente, a absorção e transformação do gás carbônico atmosférico em carbono orgânico particulado através da fotossíntese

PÚBLICA

fitoplanctônica na zona eufótica, e o seu transporte vertical para o oceano profundo onde é remineralizado e acumulado na forma de gás carbônico dissolvido (Honjo et al., 2008). O fluxo vertical de matéria orgânica e inorgânica particulada alimenta a teia trófica do sistema bêntico (Graf & Rosenberg, 1997), além de controlar a diagênese do assoalho marinho (Henrichs, 1992; Schulz & Zabel, 2006) e manter estável os reservatórios dos elementos biogeoquímicos que se acumulam em plataformas rasas (Sarmiento & Gruber, 2007). Portanto, para um completo entendimento do funcionamento do ecossistema e da integração entre todos os seus compartimentos, o estudo do fluxo vertical de matéria orgânica particulada foi incorporado a este volume.

I.2 Área de Estudo

A Bacia de Santos ocupa uma área de aproximadamente 350 mil km2 da margem continental sudeste-sul brasileira entre os paralelos 23° e 28°S. O limite norte é o Alto de Cabo Frio, no Cabo de São Tomé (22,1°S e 41°W), adjacente ao limite Sul da bacia de Campos, e o limite sul é o Alto de Florianópolis, junto à bacia de Pelotas, no Cabo de Santa Marta (28.55°S e 48,47°W). O limite oeste é dado pelas Serra do Mar e da Mantiqueira e pelo Maciço da Carioca. A leste, a Bacia de Santos está em continuidade estrutural e estratigráfica com o platô de São Paulo (Figura I.2-1).

A batimetria regional é fortemente influenciada pelas feições geomorfológicas que a compõem. A plataforma continental é relativamente homogênea em termos de largura e declividade, estreitando-se nas proximidades dos limites norte e sul. O declive intermediário entre os níveis interno e externo da plataforma continental é pronunciado entre o Rio de Janeiro e Santos, chegando até 1:200. Entre Santos e Florianópolis esse desnível intermediário se alarga, igualando as amplitudes aos níveis interno e externo, estabelecendo uma plataforma média neste trecho. A quebra da plataforma ocorre entre 50 e 180 m de profundidade, sendo mais frequente entre 140 e 160 m. O estreito talude é sucedido a leste pelo Platô de São Paulo, que se estende por toda a porção profunda da bacia.

PÚBLICA

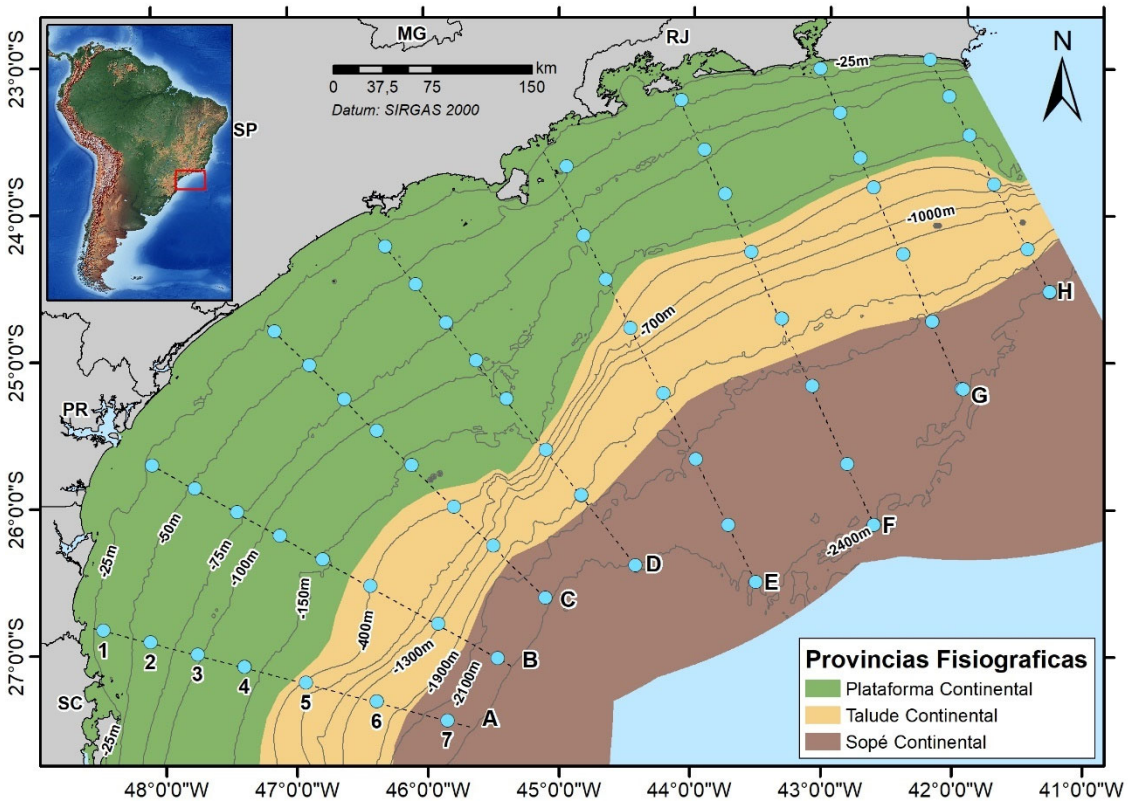


***Figura I.2-1**: Localização, batimetria geral e limites geográficos da Bacia de Santos com o grid de estações oceanográficas amostradas nas campanhas de inverno de 2019 e verão de 2021/2022. (fonte:Moreira et al., 2022)*

I.3 Base de Dados Ambientais

A estudo das características físicas, biogeoquímicas e biológicas da Bacia de Santos requer coletas multitemáticas em uma escala espacial geograficamente abrangente. Diante desse desafio, o projeto foi setorizado em subprojetos com estratégias amostrais e metodologias de análise laboratorial específicas, conduzidas por equipes especializadas e cronogramas simultâneos e complementares. Dois cruzeiros oceanográficos formam a base de dados com a qual essa obra foi organizada: (i) entre agosto e outubro de 2019, representando um período sazonal equivalente ao “inverno subtropical”, e (ii) dezembro de 2021 a março de 2022, cobrindo a maior parte do verão (Tabela II.1-1). As campanhas foram executadas com apoio do navio Ocean Stalwart (Figura I.3-1). Em ambos os cruzeiros foi amostrado em um grid de 60 estações

PÚBLICA

oceanográficas, distribuídas em 8 transectos perpendiculares a linha de costa entre o litoral norte fluminense e o sul da Ilha de Santa Catarina (Figura I.3-2).

***Tabela I.3-1**: Descrição das campanhas do sistema pelágico, cruzeiros, datas, estações do ano e províncias oceanográficas do Projeto Santos.*

Campanha	Cruzeiro	Início	Fim	Estação do ano	Província Oceanográfica
Campanha 2019	SANAGU 01-07	03/08/2019	28/10/2019	Inverno/ Primavera	Plataforma Continental Bacia Oceânica
Campanha 2021/2022	SANAGU 08-15	10/12/2021	30/03/2022	Verão	Plataforma Continental Bacia Oceânica

***Figura I.3-1**: NOc Ocean Stalwart utilizado nas Campanhas de 2019 e 2021/2022 para coleta de amostras de água e redes de plâncton. (*fonte: *https://www.marinetraffic.com*)

As atividades de campo foram dedicadas a coleta de amostras de água, rede de nêuston (macroplâncton – 500µm) e rede de plâncton (microplâncton – 20µm, mesozooplâncton – 200µm, ictioplâncton - 500 µm) executadas por equipes do navio contratado, sob a supervisão de membros do projeto oriundos das instituições participantes. Em ambos os cruzeiros, amostras de água e plâncton foram coletadas ao longo dos transectos setorizados, cobrindo as áreas de plataforma interna (<50m), média (50-100 metros), externa (100-200 metros), zona do talude (200-1000 metros) e área oceânica contigua (1000-2400 metros). As estações foram posicionadas com intervalos de aproximadamente 20 milhas náuticas na plataforma continental e de 30 em 30 milhas náuticas no talude. Desta forma, o número de estações variou por transecto de acordo com a

PÚBLICA

extensão da plataforma e do limite geográfico da bacia, totalizando 60 estações (Figura I.3-2).

A base de dados primários listados na Tabela I.3-2, e que agora consta do Banco de Dados Costeiros e Oceânicos da Petrobrás (BDCO), preenche uma importante lacuna do conhecimento no diagnóstico de dados históricos compilados em etapa anterior do PCR-BS, tornando mais robusta a modelagem preditiva dos processos ecológicos em relação às forçantes ambientais e meteorológicas, e a impactos antropogênicos que possam ocorrer como resultado da explotação de recursos energéticos.

O nêuston foi coletado no período diurno com a rede neustônica (Hydro-Bios modelo 300), na interface água/ar (epinêuston) e na camada inferior a aproximadamente de 15-30 cm abaixo (hiponêuston). A rede inferior foi equipada com fluxômetro (General Oceanics) para estimar o volume de água filtrada.

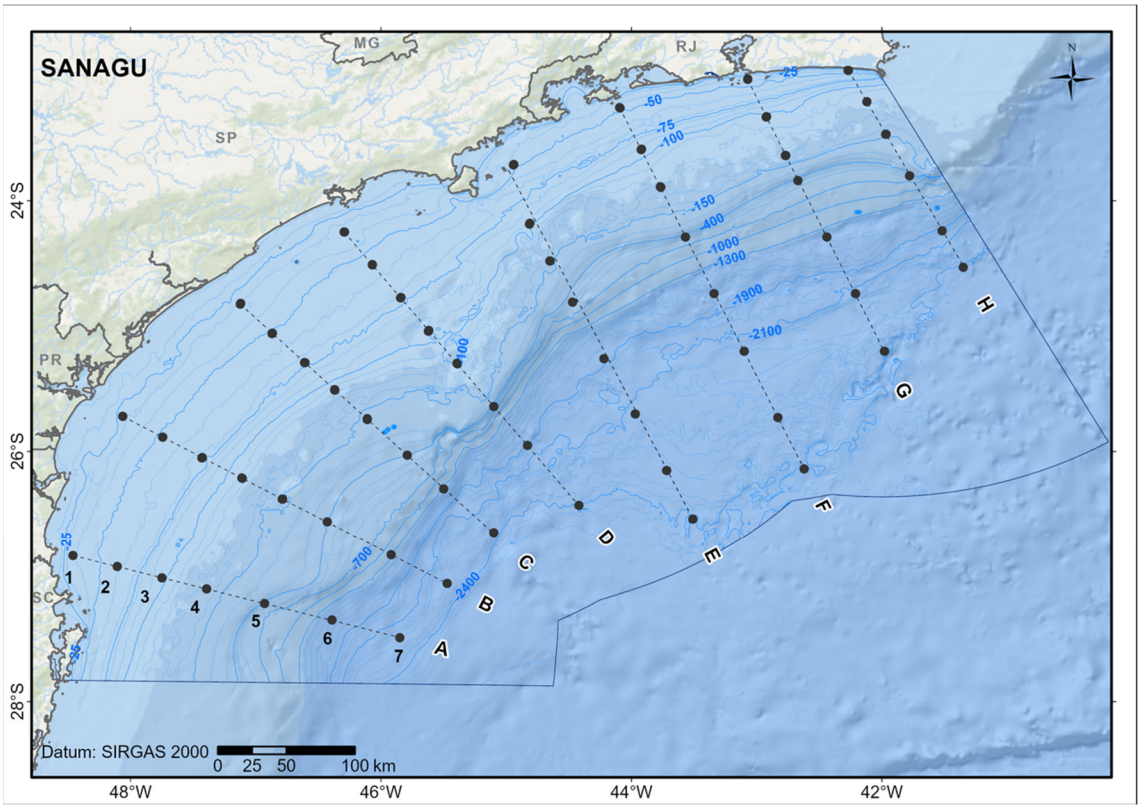


Figura I.3-2: *Grade amostral de 60 estações do projeto Caracterização Química e Biológica da Bacia de Santos.*

O zooplâncton e o ictioplâncton foram coletados utilizando-se a Multinet (*Multi Plankton Sampler*) equipada com nove redes de 1 m² de boca e abertura

PÚBLICA

de malha 200 µm (zooplâncton) e 500 µm (ictioplâncton) (Figura I.3-3, B). Um fluxômetro foi acoplado à estrutura de aço da Multinet para obter o volume de água filtrado em cada arrasto. Os arrastos foram oblíquos, desde próximo ao fundo até a superfície, em oito estratos pré-definidos (2300-1500m, 1500-1100m, 1100-550m, 550-150m, 150-100m, 100-50m, 50-25m, e 25-0m) de acordo com a distribuição das massas d'água. Cada rede foi utilizada exclusivamente em um único estrato para evitar contaminação. Em cada estação, a primeira rede desceu aberta até o mais próximo do fundo possível e, dessa forma, a espessura dos estratos próximos ao fundo variou de acordo com a batimetria. As a mostras de plâncton foram coletadas, sempre que possível, no período noturno entre 18:00 e 06:00hs. A embarcação foi posicionada contra a corrente superficial, a uma velocidade de aproximadamente 2 nós. Após o recolhimento, as redes foram lavadas de fora para dentro com água do mar sob baixa pressão, para que os organismos presos no interior de cada uma das redes fossem concentrados nos copos coletores.

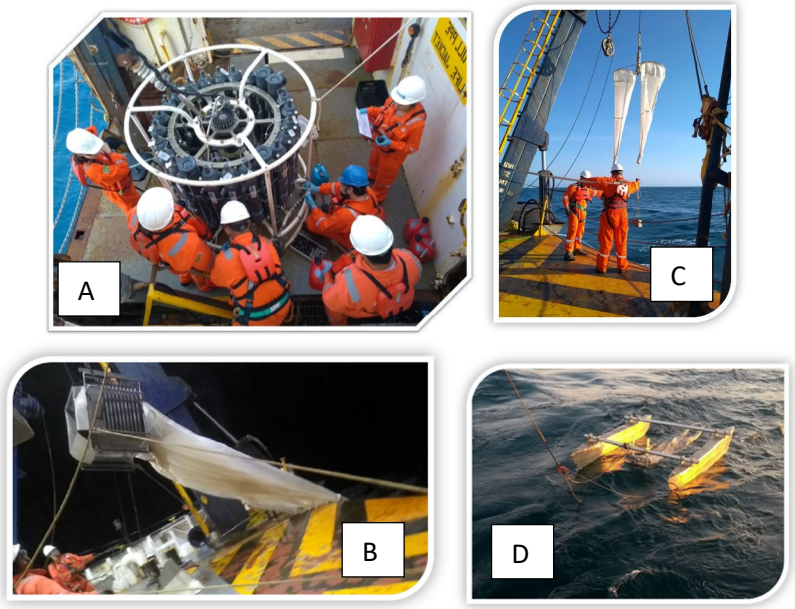


Figura I.3-3: *Equipamentos utilizados para coleta de amostras de água e pliancton durante as duas campanhas de 2019 e 2021/22; A – Sistema Roseta/CTD com sensores biogeoquimicos; B – rede multinet; C – rede de microzooplancton; D – rede de neuston*

As amostras das redes de nêuston e multinet foram imediatamente fixadas em solução de formaldeído a 4%, preparada com água do mar do local filtrada e

PÚBLICA

tamponada com tetraborato de sódio, e armazenadas em frascos de polipropileno devidamente etiquetados. As amostras coletadas durante o cruzeiro foram processadas nos laboratórios de bordo com equipamento específico (Figura I.3-4). Kits de microfiltração foram usados para filtrar amostras de água e o material particulado retido nos filtros foi estocado em freezer ou nitrogênio líquido para análises biogeoquímicas e biomoleculares nos laboratórios das instituições envolvidas. O material coletado pelas redes de plâncton foi fixado com formol e lugol para análises microscópicas nos laboratórios em terra.

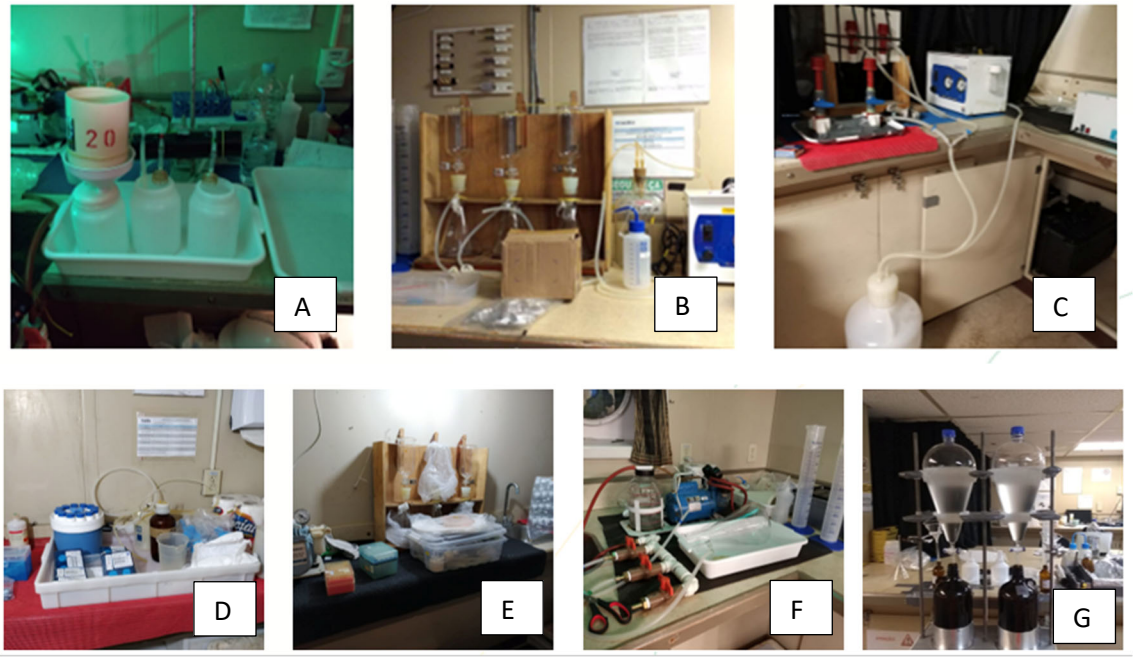


Figura I.3-4: *Estrutura laboratorial com equiomanetos específicos para processamento a bordo das amostras de água coletadas com o sistema Roseta/CTD. A – sistema de concentração de amostras de microplâncton; B – kit de microfiltração para analises de pigmentos fotossinteticos e material particulado; C – kit de filtração para analise de material particulado e CDOM; D – kit de filtração para processamento de amostras radioativas para medidas de taxas de fotossíntese e quimiossíntese; E – idem B; F – sistema de microfiltração para análises cromatográficas de pigmentos fotossintéticos; G – Sistema de decantação para análises de hidrocarbonetos nas amosras de água.*

A base de dados primários obtidos com esses equipamentos está listada na Tabela I.3-2, cujos resultados foram disponibilizados no Banco de Dados

PÚBLICA

Costeiros e Oceânicos da PETROBRAS (BDCO) e nos anexos desse relatório. Dados de citometria, análises biomoleculares e diversidade taxonômica preenchem lacunas do conhecimento sobre a bacia, e complementa o diagnóstico de dados históricos compilados em etapa anterior do PCR-BS, tornando mais robusta a modelagem preditiva dos processos ecológicos em relação aos impactos antropogênicos previstos para as próximas décadas.

Tabela I.3-2: *Dados obtidos em agosto - outubro 2019 (1º cruzeiro) e dezembro de 2021 e março de 2022 (2º cruzeiro) (macronutrientes = nitrato, nitrito, amônia, fosfato e siicato; OD = oxigênio dissolvido, MPS = material particulado em suspensão, COP = carbono orgânico particulado, COD = carbono orgânico dissolvido, NOP = nitrogênio orgânico particulado). Todos os resultados estão disponíveis no BDCO.*

Amostras/Análises	1º cruzeiro	2º cruzeiro	RESPONSÁVEL
clorofila-a	241	241	Frederico Brandini Depto de Oceanografia Biológica Instituto Oceanográfico, USP
macronutrientes	1872	1014	
pH	311	311	
OD	311	311	
MPS	312	312	
COP	312	312	
COD	624	624	
NOP	311	311	
citometria	423	301	Vivia Pellizari Depto de Oceanografia Biológica Instituto Oceanográfico, USP
metagenoma	64	-	
RNAr 16S*	175	-	
pigmentos algais - HPLC	161	180	Silvana Rodrigues Depto de Química Analítica Instituto de Química, UFF
microplâncton de rede	120	60	Luciano Fernandes Depto de Botânica Instituto de Biociências, UFPR
microplâncton total (FR)	228	228	
amostras MEV	20	20	
análises de cocolitoforídeos	120	120	
lâminas de diatomáceas	120	120	
zooplâncton de rede	248	262	Sérgio Bonecker Depto de Zoologia Instituto de Biologia, UFRJ
análises do ictioplâncton	248	280	Claudia Namiki Depto de Oceanografia Biológica Instituto Oceanográfico, USP
análises do nêuston	82	78	Ana Bonecker Depto de Zoologia

PÚBLICA

			Instituto de Biologia, UFRJ
taxas de fotossíntese taxas de quimiossíntese	240 171	77 27	Camila Signori Depto de Oceanografia Biológica Instituto Oceanográfico, USP

(continuação Tabela I.3-2)

reflectância do sensoriamento coef absorção - cdom coef absorção MP	54 240 240	54 240 240	Milton Kampel Divisão de Observação da Terra e Geoinformática, INPE
n-alcanos, HTP* e HPA**	68	68	Fabiana Gallota CENPES, Petrobrás

(*hidrocarbonetos totais de petróleo; ** hidrocarbonetos policíclicos aromáticos)

A caracterização bio-óptica da região foi feita com base nas medidas dos coeficientes de absorção dos constituintes opticamente ativos (COAs) dissolvidos e particulados, na superfície e na profundidade de máxima clorofila. Foram coletadas e preparadas amostras para medir o coeficiente de absorção da matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM), e o coeficiente de absorção do material particulado (fitoplâncton e detritos). Para análise de matchups e validação dos dados adquiridos in situ e para análise do contexto meteoceanográfico nas datas das coletas, foram adquiridas imagens orbitais para a estimativa da concentração de clorofila-a, temperatura e vento na superfície do mar, assim como anomalia do nível do mar, e séries temporais de variáveis meteoceanográfica estimadas por satélite.

Além da área coberta pela plataforma continental, o projeto também foi complementado com dados de qualidade da água nos estuários da Baía de Guanabara, Ilha Grande, Sepetiba, Santos, enseada de Caraguatatuba, Paranaguá e Babitonga. Para isso, foi analiosada uma série histórica (1984-2020) de imagens Landsat de média resolução espacial para obtenção de turbidez da água, assim como dados complementares de uso e ocupação do solo das adjacências dos estuários estudados.

I.4 Principais marcos da pesquisa

PÚBLICA

Os resultados obtidos e processados por cada subprojeto até o momento da compilação deste volume revelam informações inéditas para a região e preenchem algumas lacunas do conhecimento sobre a estrutura e o funcionamento do ecossistema pelágico. Estes resultados tornam-se ainda mais relevantes em se considerando a magnitude da escala espacial amostrada.

O cenário biogeoquímico é evidentemente estável na área oceânica dominada pela Água Tropical oligotrófica da Corrente do Brasil, como parte do setor sudoeste do Giro Subtropical dominado pelo perfil biogeoquímico tropical típico (sensu, onde a síntese de matéria orgânica ocorre sobretudo através da produção regenerada de cianobactérias de gêneros comuns e dominantes (p.e.x., *Prochlorococcus*, *Synechococcus*), seguidas por pico- e nanoeucariotos flagelados, como identificado nas análises cromatográficas de pigmentos marcadores e confirmado pela identificação microscópica e de citometria de fluxo (Rodrigues *et al.,* este volume; Fernandes *et al,* este volume; Pellizari *et al,* este volume). Episodicamente, pode haver produção nova como consequência de processos físicos de mesoescala, sobretudo na região do talude e quebra da plataforma continental onde os meandramentos e, eventualmente vórtices ciclônicos da Corrente do Brasil são comuns (Silveira *et al.,* 2022; *et al.,* 2023), tem potencial de fertilizar a base da zona eufótica com nutrientes da ACAS. Essa produção nova que ocorre na base da zna eufótica sobre a plataforma continental pode se estender até a plataforma externa e zona do talude mantendo concentrações mais elevadas de clorofila como detectado por sensores satelitários (Kampel *et al.,* este volume).

Sobre a plataforma continental os episódios de fertilização são dinâmicos e complexos do ponto de vista físico em resposta à climatologia atmosférica e à topografia regional. Destacam-se (i) a região na metade sul da bacia sob forte influência da pluma do Rio da Prata no inverno pela ação dos ventos de sudoeste trazendo elevada carga de material particulado orgânico, fósforo, silicatos, e supostamente micronutrientes cujo papel no metabolismo do sistema planctônico precisa ser analisado em parceria com os resultados de outros projetos. Outro setor com características biogeoquímicas especificas é a região norte ao largo de Cabo Frio (RJ), uma das regiões mais investigadas da costa brasileira pela importância do mecanismo sazonal de fertilização costeira pela

PÚBLICA

ressurgência da ACAS favorecida pela plataforma continental estreita e a persistência do vento nordeste no verão. Finalmente, o projeto detectou no setor intermediário o domínio da Água Central do Atlântico Sul em todo o assoalho marinho do setor externo e intermediário da plataforma e, consequentemente, ao acúmulo de biomassa fitoplanctônica, detectado tanto pelas análises bioquímicas e microscópicas quanto pelos registros verticais de fluorescência. O papel desses picos máximos subsuperficiais de produção nova da bacia foi confirmado pela maior concentração de oxigênio dissolvido nos mesmos níveis oriundo da fotossíntese fitoplanctônicas (Brandini *et al.,* este volume). Esse domínio se estende para os setores mais internos de acordo com o regime sazonal de ventos.

Picos máximos subsuperficiais de clorofila orientaram as coletas de parâmetros biogeoquimicos na coluna de água. O acúmulo de clorofila na base da zona eufótica em condições de estratificação física da coluna de água parec ser um fenômeno universal da dianmic espacial do fitoplâncton marinho. Trata-se da interação de vários processos físicos, metabólicos e ecológicos que contribuem simultaneamente para a formação de camadas persistentes de elevada concentração clorofila. Destacam-se o aumento da taxa de crescimento do fitoplâncton favorecido pela maior disponibilidade de nutrientes da nutriclina, fotoaclimatação e aumento da concentração intracelular de clorofila, além de comportamentos fisiológicos tais como migração vertiocal e acúmulo de fitoflagelados, controle de flutuabilidade em diatomáceas, herbivoria e redução da sedimentação celular devido ao aumento da desnsidade no nível da picnoclina (Brandini *et al.,* 2014; Cullen, 2015). Qualquer que seja o mecanismo dominante, o pico máximo de clorofila tem papel fundamental no fluxo de energia do ecossistema pelágico, do qual depende recrutamentos de níveis tróficos superiores e, consequentemente, a produção secundária.

O protagonismo dessa produção nova fica por conta das 786 espécies da comunidade microplânctônica identificada pelo projeto, dominada por diatomáceas e dinoflagelados na zona mais costeira, por diatomáceas coloniais e nanoflagelados na plataforma média e, eventualmente na plataforma externa e talude por conta dos eventos de fertilização associados a dinâmica da Corrente do Brasil (Fernandes *et al.,* este volume). Nas mesmas assembleias podem

ocorrer dinoflagelados toxigênicos que representam risco socioeconômico para a produção de moluscos na região costeira da bacia, em condições especificas (Fernandes *et al.,* este volume). Em ambos os períodos sazonais as cianobactérias dos gêneros *Prochlorococcus* e *Synechococcus* dominaram respectivamente no nível do pico máximo de clorofila em áreas oceânicas e na superfície e nos picos máximos de clorofila na plataforma continental, incluindo as áreas mais costeiras.

Um dos aspectos inovadores do projeto foi inventário genético da Bacia de Santos. O projeto "*Microbioma Pelágico da Bacia de Santos*" identificou mais de 19 milhões de genes que formam cerca de 2000 famílias de proteínas envolvidas na estrutura e no funcionamento do ecossistema pelágico através de técnicas biomoleculares (Pellizari *et al.,* este volume). A técnica permitiu identificar uma comunidade microbiana complexa responsável por processos metabólicos básicos para os ciclos biogeoquímicos do carbono e, sobretudo, do nitrogênio considerado o macronutriente limitante de todo o sistema pelágico. Ambos os elementos são absorvidos da atmosfera pela fotossíntese e, portanto, quase todos os genes que formam as enzimas e proteínas do sistema fotossintético ocorrem na zona eufótica. Igualmente frequentes foi o microbioma associado a assimilação, redução e denitrificação do nitrogênio inorgânico dissolvido. Também os genes associados a fixação de nitrogênio molecular foram comuns e corroboram os resultados de análises microscópicas revelando a presença constante de cianobactérias diazotróficas coloniais (p.ex. *Trichodesmium*), picocianobactérias e cianobactérias diazotróficas em simbiose com células eucarióticas (Ribeiro *et al.,* 2018; Kampel *et al.,* este volume; Fernandes *et al.,* este volume). Do ponto de vista ecológico, no entanto, o projeto confirmou o domínio de bactérias e arqueias heterótrofas na biomassa microbiana que certamente não se acumula porque é rapidamente transferida para níveis tróficos superiores.

A biomassa do zooplâncton variou entre 0,001 e 6,59 $g.m^{-3}$ no inverno e entre0,001 e 2,56 $g.m^{-3}$ no verão, com máximos na zona costeira, onde a disponibilidade de alimento é maior, decrescendo nas áreas externas da plataforma até mínimos observados na área oceânica. Como esperado os copépodos foram o grupo dominante em plataformas continentais,

PÚBLICA

concentrando-se nos estratos superiores entre a superfície e 100 metros de profundidade (Bonecker S. *et al.,* este volume). Uma das comunidades menos estudadas em águas de plataforma brasileiras é a comunidade neustônica composta por metazoários do plâncton, grupos gelatinosos (=cnidários, sifonóforos) e até larvas de peixes (=ictionêuston). A biomassa do nêuston total (=epinêuston + hiponêuston) variou entre 0,0008 e 8,9 $g.m^{-3}$ durante a campanha de inverno e entre 0,013 e 4,05 $g.m^{-3}$ durante a campanha de verão (Bonecker A. *et al.,* este volume). Um aspecto inovador e relevante no estudo do nêuston é a contribuição relativa dos grupos gelatinosos (medusas, sifonóforos) para a biomassa dessa comunidade. O zooplâncton gelatinoso é frequente e as vezes com elevada densidade. Até o presente não havia estudos detalhados sobre os gelatinosos neustônicos no Brasil, e são raros em outras regiões do mundo. Foram identificados até o momento da publicação deste volume, 33 espécies de medusas e 30 espécies de sifonóforos em amostras obtidas com rede de nêuston e com a multinet em todos os estratos verticais. O material coletado no projeto permitirá descrever a dinâmica espacial e a diversidade da comunidade de cnidários neustônicos em relação aos fatores físicos e biogeoquímicos (Nogueira Jr *et al.,* em preparação) com ênfase na disponibilidade de matéria orgânica particulada) em dois períodos sazonais distintos, e testar os fatores físicos e biológicos responsáveis pelos padrões distribucionais de abundância e diversidade deste grupo ainda pouco conhecido. O grid amostral e a ampla escala geográfica de coletas com amplo detalhamento horizontal e uso de uma multinet com boa resolução vertical permite melhorar esse cenário.

O ictioplâncton é um componente de relevância ecológica e socioeconômica na Bacia de Santos, uma vez que a fase mais importante para o recrutamento de espécies de interesse comercial. No total foram coletados 1988 ovos e 5.328 larvas de peixes durante o inverno, e 3.109 ovos e 7.359 larvas durante o verão. O material revelou uma enorme diversidade de larvas, tendo sido identificados154 gêneros e 195 espécies de larvas de peixes no inverno, e 153 gêneros e 192 espécies no verão. Os grupos dominantes no setor nerítico sobre a plataforma continental foram os da família Engraulidae (*E. anchoita)* e Clupeidae (*S. brasiliensis)*. As larvas de peixes mesopelágicos das famílias Myctophidae, Sternoptychidae e Gonostomatidae dominaram as águas

PÚBLICA

oceânicas da Bacia de Santos. Esses resultados confirmam os estudos pretéritos feitos na região.

I.5 Referências bibliográficas

Honjo, S., Manganini, S.J., Krishfield, R.A., Francois, R., 2008. Particulate organic carbon fluxes to the ocean interior and factors controlling the biological pump: A synthesis of global sediment trap programs since 1983. **Progress in Oceanography**, 76: 217–285, https://doi.org/10.1016/j.pocean. 2007.11.003.

Graf, G., Rosenberg, R. 1997 Bioresuspension and biodeposition: a review **Journal of Marine Systems**, 11 (3–4): 269-278, https://doi.org/10.1016/S0924-7963(96)00126-1.

Henrichs, S.M. 1992 Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis—a comment. **Marine Chemistry**, 49 (2–3):127-136, https://doi.org/10.1016/0304-4203(95)00012-G.

Moreira, D., Dalto, A.G., Figueiredo, A.G., Valerio, A.M., *et al.* 2022. Multidisciplinary Scientific Cruises for Environmental Characterization in the Santos Basin. **Ocean and Coastal Research**, in press.

Schulz, H.D., Zabe, l M. (eds). 2006. Marine Geochemistry, 2nd revised, updated and extended edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 545p

Sarmiento, J.L., Gruber, N., 2006. Ocean Biogeochemical Dynamics. Princeton University Press, Oxford, 503p. https://doi.org/10.1063/1.2754608.

PÚBLICA

II. Caracterização Biogeoquímica do Sistema Pelágico

II.1 Introdução

No contexto da Oceanografia Física, as características biogeoquímicas do ambiente pelágico da Bacia de Santos, Região Sudeste do Brasil, são representativas dos sistemas de correntes de contorno oeste (Sarmiento & Gruber, 2006) onde águas quentes e pobres em macronutrientes limitantes (p.ex., nitrogênio e fósforo) ocupam as margens continentais localizadas no lado esquerdo das bacias oceânicas globais. A produtividade do fitoplâncton, a comunidade responsável pelo maior fluxo de matéria orgânica nos ecossistemas marinhos, é baixa, pelo menos uma ordem de magnitude menor do que nas ressurgências continentais dos sistemas de contorno leste (Longhurst, 2007). A oligotrofia e a baixa produtividade biológica do sistema pelágico da margem continental brasileira é mais acentuada nas regiões Leste e Nordeste (Castro et al., 2006) por conta da topografia regional dominada por uma plataforma continental estreita e a advecção de águas quentes e fisicamente estratificadas do giro subtropical do Atlântico Sul impulsionada pelos Ventos Alísios.

A Bacia de Santos, no entanto, é palco de um hidrodinamismo complexo associado à climatologia atmosférica e a drenagem da bacia hidrográfica regional. Batimetria, morfologia da costa, regime de ventos, circulação da maré, aportes continentais de água doce e a mistura com águas oceânicas profundas enriquecem com nutrientes determinados setores e em determinados períodos a zona eufótica sobre a plataforma continental. Por exemplo, o balanço do transporte de Ekman de águas superficiais da plataforma interna, forçado para o largo pela persistência do vento nordeste, através das intrusões ortogonais de águas oceânicas, aumenta a concentração média de nutrientes na zona eufótica em uma área maior sobre a plataforma intermediária (50-100m, sensu Castro-Filho et al., 1987), um processo recorrente nos períodos do verão e bem estudado na literatura oceanográfica regional. Também é recorrente a já bem conhecida advecção lateral de águas frias e menos salgadas da pluma do Rio da Prata (Brandini, 1990; Piola et al., 2000; Brandini et al., 2018), um processo

PÚBLICA

exclusivo da bacia, p..ex., um “endemismo físico” se comparado com outras regiões banhadas pelo sistema de contorno oeste, e que contribui com aportes excedentes de fósforo e possivelmente micronutrientes específicos (p.ex., Ferro), ambos essenciais para a fixação de nitrogênio molecular, uma fonte alternativa de “nitrogênio novo” (sensu Dudale & Goering, 1967) para o sistema pelágico. Em menor escala a contribuição modesta do estuário da Lagoa dos Patos e dos demais sistemas estuarino-lagunares ao longo da costa para a drenagem continental mantem níveis razoáveis de fertilização e de aporte de matéria orgânica detrítica, também uma característica recorrente nos habitats rasos costeiros e turbulentos por conta da ação diária das marés.

O ecossistema pelágico reage inicialmente a essa fertilização localizada e episódica através da comunidade planctônica, especificamente o fitoplâncton que requer nutrientes para o crescimento e acúmulo de biomassa em carbono. O resultado é um mosaico dinâmico de áreas mais e menos produtivas, tanto no plano geográfico horizontal quanto vertical, dependendo da batimetria. Fronteiras biogeoquímicas tendem a ser mais produtivas e se formam pela mistura das massas de água que ocupam a plataforma, o talude continental, e a área oceânica da Bacia de Santos (Brandini et al., 2018). Essas fronteiras são nichos de alta produtividade onde os demais níveis tróficos do sistema pelágico e, em última instância, do sistema bêntico, se beneficiam da maior disponibilidade de energia oriunda da matéria orgânica particulada em suspensão e em sedimentação, garantindo a reprodução dos adultos e o recrutamento de suas larvas. Essa é a razão pela qual a média anual da produção primária da Bacia de Santos, que ocupa a maior parte da região Sudeste do Brasil, contribui com a maior parte da produção pesqueira nacional (Freire et al., 2021).

Diante deste contexto pretérito o estudo sobre o ambiente biogeoquímico da Bacia de Santos foi definido com base em um grid geográfico suficientemente abrangente para diagnosticar os diversos setores biogeoquímicos da bacia. No entanto, a amostragem foi limitada a apenas dois períodos sazonais, que sem dúvida foram bem caracterizados. Os padrões observados são como imagens instantâneas do resultado de processos físicos e biológicos que ocorrem no eixo temporal, sobre os quais ainda pouco se sabe. Portanto, não foi o escopo desse

PÚBLICA

estudo analisar a evolução dos padrões de distribuição dos parâmetros biogeoquímicos entre um cenário e outro, o que só poderá ser feita mediante análises comparativas de informações obtidas em estudos anteriores.

II.2 Métodos

II.2.1 Coletas de água

Em ambas as campanhas de inverno e verão, foram obtidas amostras de água em pelo menos três níveis de profundidade em todas as 60 estações da grade amostral do PCR-BS distribuídas em 8 transectos no sentido costa-oceano (Figura I.3-2). Os níveis de coleta foram determinados com base nos perfis verticais de fluorescência e turbidez obtidos durante a descida do sistema Roseta-CTD, sendo: porção superficial da camada de mistura (3 a 5 m); início do pico máximo de clorofila (PMC); no PMC, e na camada de fundo ou no fim do PMC em estações com profundidade maior do que 200m. As amostras de clorofila-a foram coletadas apenas em níveis de profundidade entre a superfície e 200 m. Os demais parâmetros foram coletados em níveis dominados pela Água Central do Atlântico Sul (ACAS - 250 m), Água Intermediária Antártica (AIA - 900 m), Água Circumpolar Superior (ACS - 1200 m) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN - 2300 m), conforme definidas recentemente por Silveira et al. (2020).

As amostras de água coletadas das garrafas de Niskin do sistema Roseta-CTD para análises de nutrientes inorgânicos, análise de clorofila e material particulado foram armazenadas em galões térmicos de 5 litros, e filtradas no laboratório da embarcação com o auxílio de bomba a vácuo de pressão regulável com filtros de fibra de vidro Whatman GF/F de 25 mm de diâmetro e porosidade nominal de 0,7 µm (Figura I.3-4, B). Filtros foram armazenados em nitrogênio líquido a -80°C para análises de clorofila-a no laboratório do IO-USP em São Paulo. Amostras de nutrientes foram obtidas em triplicata para garantir dados em caso de perda de amostra ou falha nas análises laboratoriais. Todas as tréplicas de amostras de amônia, cujas análises são sensíveis a contaminação durante o procedimento amostral e laboratorial, foram analisadas.

PÚBLICA

II.2.2 Análises de laboratório

Oxigênio dissolvido (OD) e pH - A concentração de OD em alíquotas de 60 mL retirados diretamente das garrafas de Niskin foram determinadas a bordo da embarcação com uma bureta digital logo após amostragem e fixação com os reagentes da técnica de Winkler, segundo os procedimentos descritos em Grasshoff et al. (2009). Do mesmo modo, o pH das amostras retiradas diretamente das garrafas de Niskin foram analisadas imediatamente a bordo utilizando-se um pHmetro de bancada calibrado diariamente.

Clorofila-a – Alíquotas com volume variável retiradas das garrafas de Niskin foram filtradas em filtros Whatman GF/F e mantidas a -80 ºC. Posteriormente, a clorofila-a nessas amostras foi extraída com 10 mL de uma solução mista de acetona com dimetilsulfóxido (DMSO + 90% de acetona pura + 10% de água MilliQ ultrapura) e 40% de DMSO puro, e mantidas no freezer por 24 horas. A concentração do pigmento foi determinada com um fluorímetro de bancada 10-AU Turner Design, de acordo com o protocolo estabelecido por Welschmeyer (1994).

Macronutrientes inorgânicos dissolvidos - As amostras para análises de macronutrientes foram extraídas das garrafas do sistema Roseta-CTD com uma seringa e um suporte para filtro 25 mm de diâmetro. Em seguida, alíquotas para cada nível de profundidade foram filtradas em triplicata com os filtros Whatman GF/F amostrados. A filtração das amostras seguiu a sequência de profundidade da superfície para o fundo, tomando-se o cuidado de trocar o filtro do sistema entre as estações. Alíquotas de 10 mL foram separadas em tubos Falcon esterilizados para determinação das concentrações de nitrato, nitrito, fosfato e silicato com um analisador automático AA3-Seal, seguindo o protocolo de Grasshoff et al. (2009). A concentração de amônia foi analisada em 3 alíquotas de 25 mL coletadas e mantidas no freezer em frascos âmbar, previamente lavados com ácido clorídrico 10% e secados em estufa a 100 °C. As amostras foram analisadas com um espectrofotômetro Hitachi U1100.

Material particulado em suspensão (MPS) – Amostras de água coletadas das garrafas de Niskin foram filtradas em filtros Whatman GF/F previamente muflados a 450 ºC durante 2 horas e com pesos aferidos individualmente

PÚBLICA

utilizando uma balança eletrônica com precisão 0,01 mg (Lorrain et al., 2003; Grasshoff et al., 2009). A concentração de MPS retido pelo filtro foi determinada através da equação:

$$MPS(mg/L) = \frac{peso\ final(mg) - peso\ inicial(mg)}{volume\ filtrado\ (L)} \qquad (Equação\ 1)$$

Carbono e nitrogênio particulado (CIP e NOP) - Após a análise de MPS os mesmos filtros foram fumegados com ácido clorídrico concentrado durante 4 horas para determinação da fração inorgânica do carbono particulado. Os filtros foram secados por 24 horas em estufa a 60ºC e pesados novamente para determinação do peso pós-acidificação (Lorrain et al., 2003). O conteúdo de CIP foi calculado através da equação:

$$CIP(mg/L) = \frac{peso\ final(mg) - peso\ pós\ ácido(mg)}{volume\ filtrado\ (L)} \qquad (Equação\ 2)$$

Após subtrair o peso correspondente a CIP obtidos com a equação 2, um pedaço de área conhecida de cada filtro pós-acidificado foi encapsulado em folhas de estanho para determinar a concentração de COP e NOP com um analisador elementar *Costec Instruments Elemental Combustion System* acoplado a um espectrômetro de massa e razão isotópica *Thermo Scientific Delta V Advantage Isotope Ratio MS* (EA-IRMS), seguindo a técnica de combustão total (Grasshoff et al., 2009). Os cálculos de COP e NOP foram obtidos de acordo com Turnewitsch et al. (2007) através da equação:

$$COP\ e\ NOP(mg/L) = \frac{C\ ou\ N\ (\mu g) \times proporção\ da\ área}{volume\ filtrado\ (L)} \qquad (Equação\ 3)$$

onde a proporção da área é a razão entre a área do pedaço removido e a área total do filtrado.

Carbono orgânico dissolvido (COD) - Para a análise de COD foram coletados 50 mL de água do mar filtrada em GF/F Whatman em frascos de vidro com tampa de teflon, previamente lavados com ácido clorídrico 10% e queimados a 400ºC por quatro horas. O COD foi determinado pelo método de oxidação catalítica, seguindo as recomendações de Sugimura e Suzuki (1988), utilizando o

PÚBLICA

equipamento Elementar® modelo Vario TOC CUBE. Esse equipamento é composto por um forno vertical que aquece a amostra a 850 ºC para que ocorra combustão completa do COD, gerando CO2, que é determinado por um sensor de infravermelho não dispersivo (NDIR - *non dispersive infra red*). Para garantir que o CO2 medido seja proveniente da combustão exclusiva do COD, cada amostra foi previamente acidificada com H3PO4 5% e purgada com ar sintético de 99.999% de pureza para eliminação total de íons HCO3- e CO32- dissolvidos na água do mar. O controle de qualidade das análises foi feito por uma calibração interna, própria do equipamento, e uma calibração externa feita com padrão de referência internacional (*Deep Seawater Reference*), produzido pelo laboratório de Hassel da Universidade de Miami (EUA).

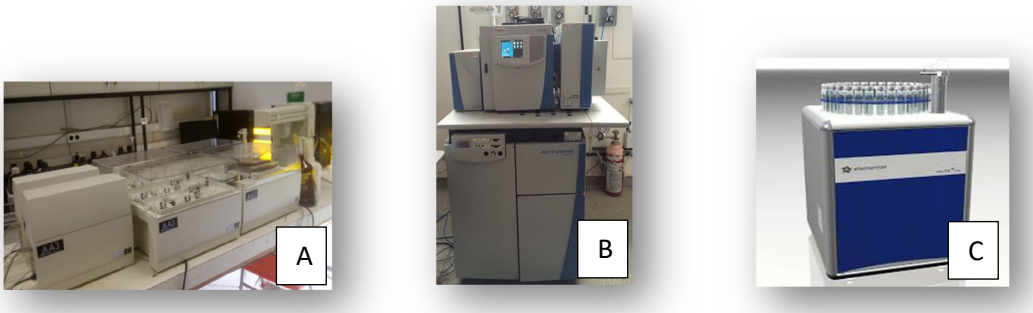


Figura II.2.2-1: *Equipamentos de laboratorio utilizadso nas anákises de nutrientes e de carbono orgânico dissolvido. A – Autoanalisador* automático *AA3-Seal; B – Analisador Elementar Costec; C- Analisador Elementar Vario TOC Cube.*

II.3 Resultados

II.3.1 Distribuição geográfica

Temperatura e salinidade - No inverno a temperatura média na camada de mistura variou entre 17 e 28°C e a salinidade entre ~32,8 e 37,6 com valores máximos na área oceânica por conta da insolação e evaporação da faixa subtropical, respectivamente (Figura II.3.1-1).

O padrão de distribuição geográfica revelou um fenômeno recorrente nesse período, quando a persistência do vento sul transporta águas frias com baixa salinidade da pluma do Rio da Prata, para o sudoeste da bacia onde o gradiente físico é maior, formando a Frente Subtropical de Plataforma (sensu Piola et al.,

PÚBLICA

2000). Fora da frente a temperatura variou pouco entre 22-24°C sob influência da AT da Corrente do Brasil. No verão a temperatura variou menos do que no inverno, entre 23 e 28°C, com mínimos no setor sul e ao largo de C Frio, e salinidades baixas ocorreram em pontos restritos da costa como p.ex., ao largo da Baia da Ilha Grande e Sepetiba. A drenagem das baias de Ilha Grande e Sepetiba e dos sistemas estuarino-lagunares da Lagoa dos Patos, Baia de São Francisco, Paranaguá e Cananéia e Iguape no Sudoeste reduzem a salinidade nesses setores costeiros da bacia durante o verão. Chama a atenção um núcleo de temperaturas mais altas provavelmente associados a um meandramento anticiclônico da C do Brasil, mas que necessita ser confirmado.

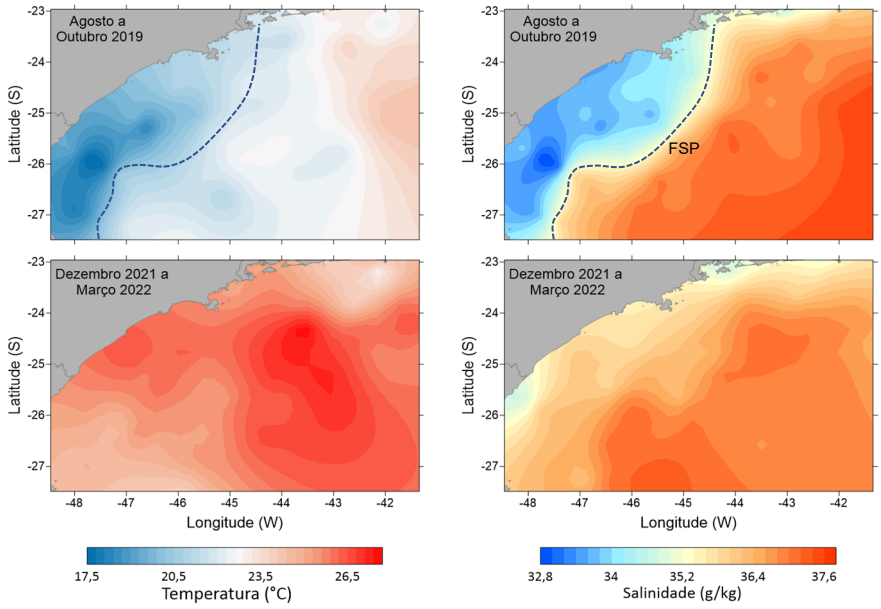


Figura II.3.1-1: *Distribuição geográfica da temperatura e salinidade médias na zona de mistura da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019, e entre dezembro de 2021 e março de 2022 (FSP – Frente Subtropical de Plataforma, sensu Piola et al., 2000).*

pH e oxigênio dissolvido (OD) - Os valores médios de pH na Z^m obtidos no cruzeiro de inverno foram anômalos devido a erros metodológicos que foram corrigidos no cruzeiro de verão, resultando em valores da camada de mistura superficial entre 7,8 e 8,4 mais consistentes com valores normalmente obtidos na superfície em regiões de plataforma e áreas oceânicas (Figura II.3.1-2).

PÚBLICA

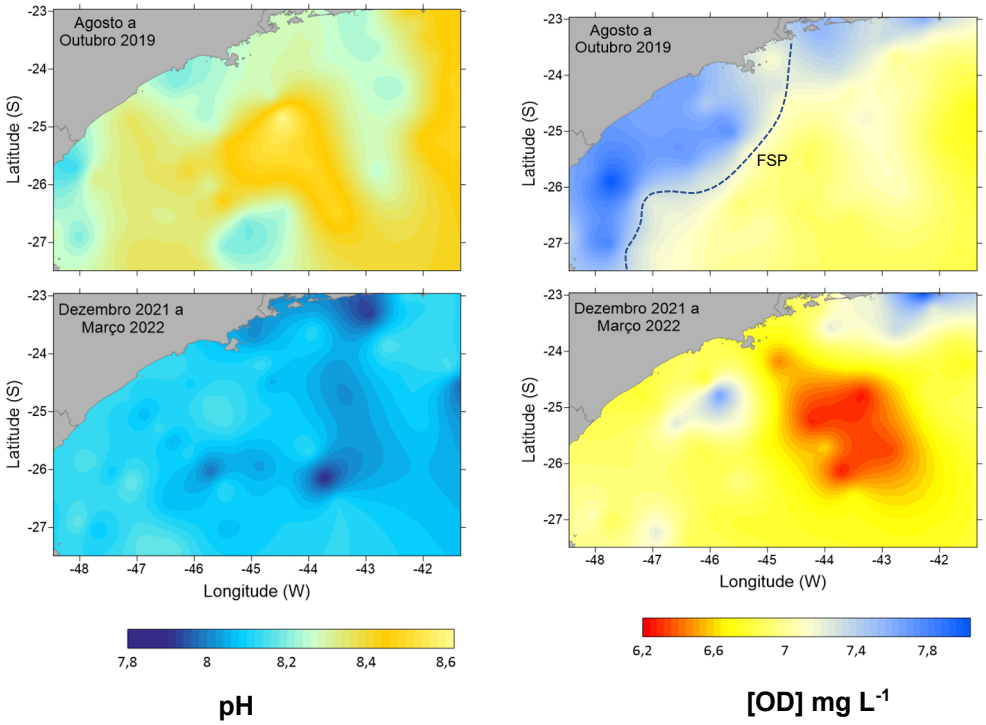


Figura II.3.1-2: *Distribuição geográfica do pH e da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro e março de 2021/2022 (FSP – Frente Subtropical de Plataforma).*

A concentração de OD na Z^m superficial variou de 5,2 a 7,8 mg L-1 no inverno, com valores máximos nas áreas de plataforma interna, sobretudo no setor sudoeste sob influência da pluma de água fria do Prata delimitada pela FSP, decrescendo em direção às áreas oceânicas sob influência da água quente da AT (Figura II.3.1-2). Vale ressaltar que a solubilidade do OD é menor em águas quentes e as taxas de fotossíntese são baixas em águas oligotróficas, o que explica parcialmente as baixas concentrações de OD, bem como em toda a bacia durante o verão cujos valores variaram entre 5,2 e 8,1 mg L-1. Valores mínimos na plataforma externa, aparentemente anômalos, sugerem falhas metodológicas. No entanto, valores mínimos de pH e altas temperaturas nesse mesmo setor, como visto no slide anterior, devem estar associados a processos biogeoquímicos dentro de um setor fisicamente estável.

PÚBLICA

Extensão da zona eufótica (Z^{eu}) e concentração de clorofila-a - A extensão da zona eufótica variou irregularmente entre 14 e 74 m ao longo de toda a bacia em ambos os períodos (Figura II.3.1-3, painel esquerdo). No inverno verifica-se uma forte correlação com a concentração subsuperficial de MPS que variou entre <1 e 7 mg L-1 (Figura II.3.1-3, painel direito). No inverno, o padrão de variação da extensão da Z^{eu} não respondeu diretamente às concentrações de MPS e de $ClorZ^{eu}$.

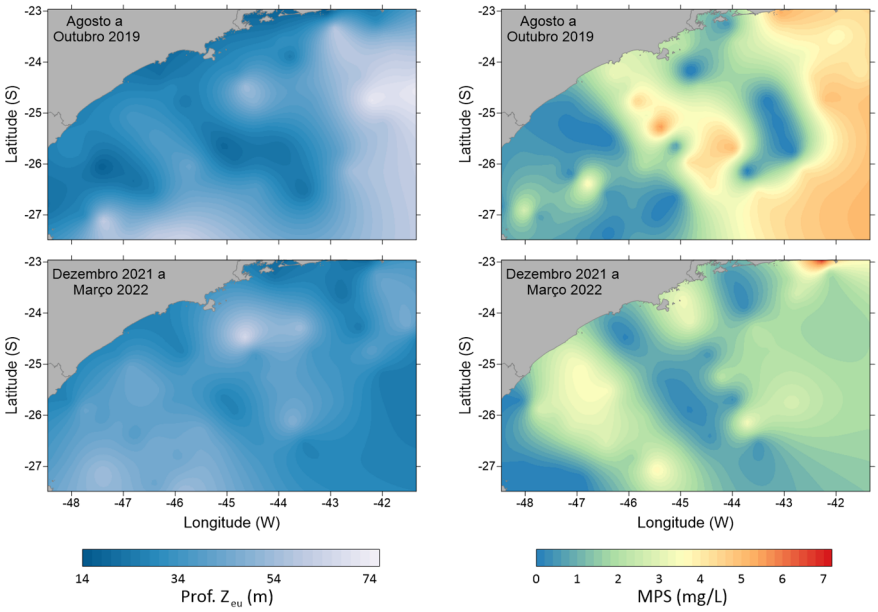


Figura II.3.1-3: *Extensão da zona eufótica e distribuição da concentração de material particulado em suspensão na Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.*

Do mesmo modo, a extensão da Z^{eu} não teve correlação aparente com a concentração de clorofila na zona eufótica ($ClorZ^{eu}$) que variou entre 1,52 e 49,62 mg m-2 no inverno e entre 0,07 e 50, 48 mg m-2 (Figura II.3.1-4, painel direito) no verão, sugerindo que o papel do fitoplâncton na penetração de luz foi pouco dominante. Nesse caso, outros constituintes dissolvidos devem ter afetado as propriedades óticas da água nesse período como (p.ex.) a concentração de carbono orgânico dissolvido (Figura II.3.1-4). A correlação inversa entre a extensão da Z^{eu} em função da concentração média de COD foi pouco robusta, mas mostra uma tendencia de decréscimo da Z^{eu} com o aumento desse parâmetro em ambos os períodos amostrados (Figura II.3.1-5).

PÚBLICA

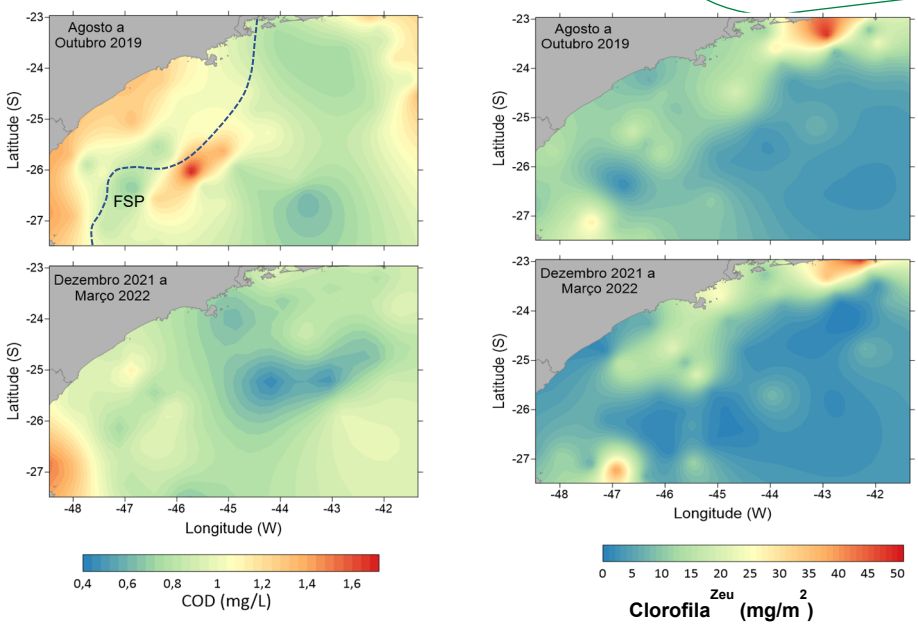


Figura II.3.1-4: *Distribuição geográfica da concentração média de carbono orgânico dissolvido e de clorofila integrada na zona eufótica da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022 (FSP – Frente Subtropical de Plataforma).*

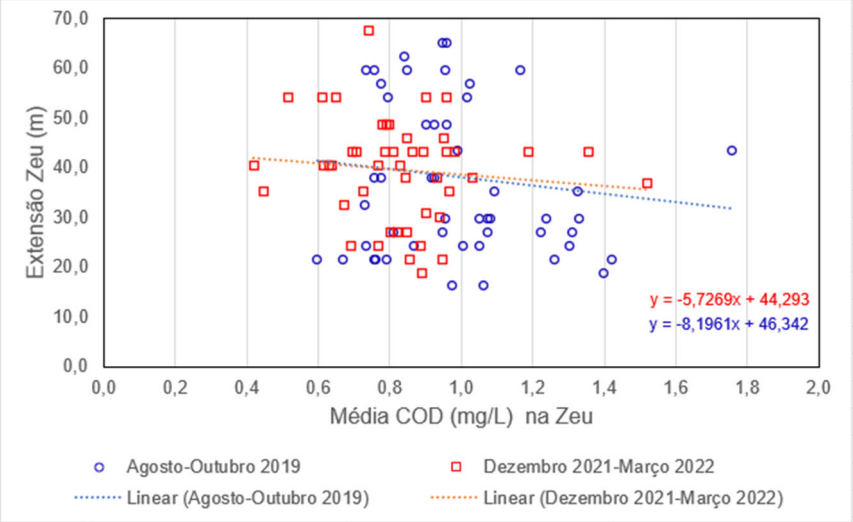


Figura II.3.1-7: *Regressão entre a extensão da zona eufótica e a concentração média de carbono orgânico dissolvido na zona eufótica da Bacia de Santos de agosto a outubro/2019 e de dezembro/2021 a março/2022.*

Macronutrientes inorgânicos - A concentração nitrogênio inorgânico total (NIT) variou irregularmente, exceto pelos máximos entre 0,6-1 µM observados no sudoeste dominado pela pluma do Rio da Prata (Figura II.3.1-8). Valores altos também foram detectados na área oceânica, no limite oeste da bacia em torno

PÚBLICA

de 0,6 µM. As concentrações de nitrito são normalmente baixas na superfície devido a dinâmica metabólica da enzima nitrito redutase na presença de luz.

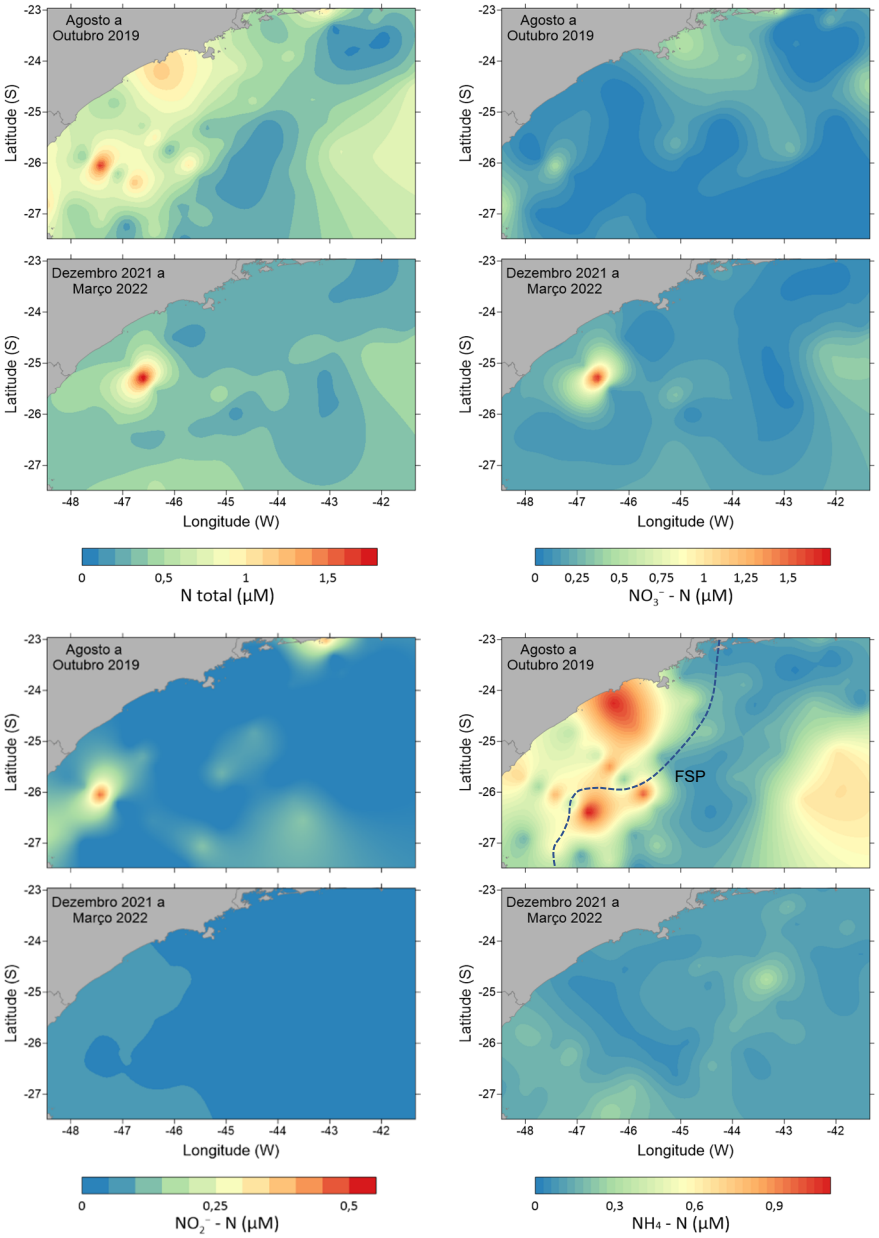


Figura II.3.1-8: *Distribuição geográfica das concentrações de nitrogênio inorgânico total, nitrato, nitrito e amônia dissolvidos na superfície da Bacia de Santos de agosto a outubro/2019 e de dezembro a março/2021/2022 (FSP – Frente Subtropical de Plataforma).*

Valores elevados foram detectados na plataforma externa do setor sudoeste da bacia que coincidiram com valores elevados de nitrato, cujas concentrações são sempre limitantes para o metabolismo fitoplanctônico na ausência de processos físicos que fertilizam a Z^{eu} na maioria da bacia, exceto em pontos

PÚBLICA

isolados da plataforma média, sobretudo no verão, quando as intrusões e os movimentos ascendentes da ACAS são mais comuns. Vale ressaltar que a pluma do Prata chega no sudoeste da bacia com uma carga mínima de nitrato, o que já havia sido detectado em trabalhos anteriores. No inverno, altas concentrações de NIT foram >0,5 µM, cuja carga foi dominada por amônia ou por nitrato.

Altas concentrações de fosfato entre 0,2 e 0,5 µM e de silicatos >7,5 µM foram observadas no Sudoeste dominado pela pluma do rio da Prata. No restante da bacia as concentrações desses macronutrientes foram limitantes principalmente na área oceânica oligotrófica (Figura II.3.1-9).

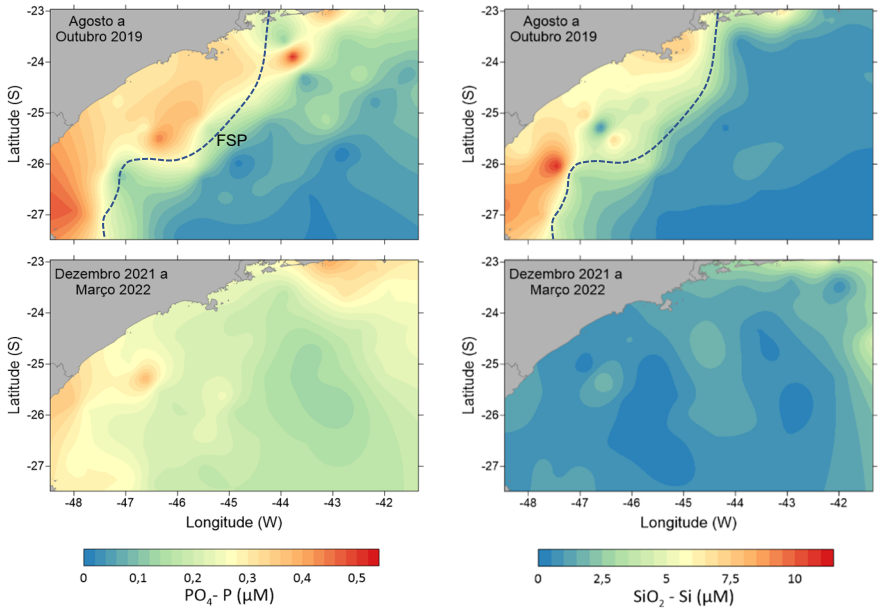


Figura II.3.1-9: *Distribuição geográfica das concentrações de fosfato e silicato dissolvidos na Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro e março de 2021/2022 (FSP – Frente Subtropical de Plataforma).*

No verão a carga de macronutrientes na superfície foi em geral menor, mas destacam-se pontos isolados de alta concentração de nitrato, fosfato e silicatos na plataforma média ou na plataforma interna oriunda de fontes continentais como (p.ex.) ao largo das baias da Ilha Grande e Sepetiba e no Sudoeste onde os sistemas estuarino-lagunares, da Lagoa dos Patos, Baia de São Francisco, Paranaguá e Cananéia e Iguape devem contribuir mais com o pool de nutrientes nesses setores costeiros da bacia.

PÚBLICA

Matéria orgânica particulada (MOP) - A concentração de carbono orgânico particulado (COP) variou amplamente entre valores abaixo de 2,4 a 472 µg L-1 entre agosto e outubro de 2019 e de 2,12 a 503 µg L-1 entre dezembro de 2021 e março de 2022. A distribuição geográfica em superfície revela valores mais altos nos meses mais frios durante a primeira campanha entre 7,7 e 177 µg L-1 com máximos no Sudoeste sob influência direta da pluma do rio da Prata e ao largo da Baia de Guanabara (Figura II.3.1-10). Nos meses mais quentes e chuvosos, entre dezembro e março de 2022 as concentrações na superfície variaram dentro de limites semelhantes, entre 3,9 e 202 µg L-1. Em ambos os períodos as concentrações foram sempre menores nas áreas oligotróficas mais afastadas da costa até valores mínimos <10µg L-1.

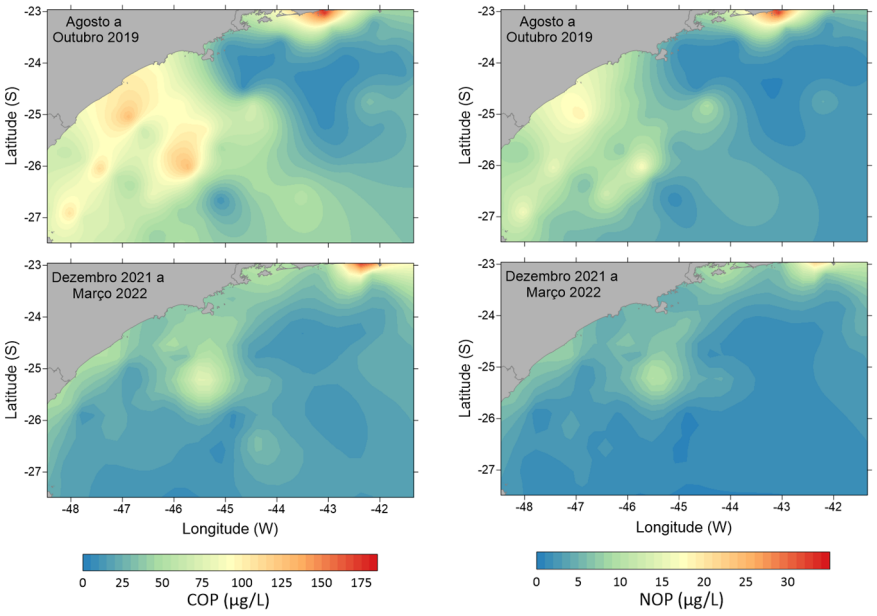


Figura II.3.1-10: *Distribuição geográfica das concentrações de carbono e nitrogênio orgânico particulado na* superfície da *Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro e março de 2021/2022.*

A concentração de nitrogênio orgânico particulado (NOP) variou entre 0,33 e 32 µg L-1 entre agosto e outubro de 2019 e entre 0,26 e 105 µg L-1 nos períodos quentes entre 2021 e 2022. O padrão de variação geográfica em superfície foi semelhante ao do COP com altas concentrações no setor Sudoeste sob influência da pluma do Rio da Prata, ao largo da Baia de Guanabara, decrescendo gradativamente nas áreas oceânicas mais oligotróficas. Núcleos isolados de maior concentração de COP e de NOP foram observados nas áreas

PÚBLICA

próximas ao talude e oceânicas provavelmente associados ao hidrodinamismo da Corrente do Brasil, especificamente vórtices ciclônicos detectados pelos Oceanógrafos Físicos durante os mesmos cruzeiros oceanográficos.

II.3.2 Distribuição vertical

O subprojeto também analisou o cenário biogeoquímico com ênfase no plano vertical sobre a plataforma continental onde o hidrodinamismo é maior e a topografia é variável. Os dados do setor oceânico profundo serão apresentados em box plots de acordo com a massa de água tendo em vista o caráter mais conservativo desses parâmetros, alguns deles usados até como indicadores de massa de água.

II.3.2.1 Zona epipelágica (0-200m) nerítica e oceânica

Temperatura **–** O padrão de distribuição vertical da temperatura sobre a plataforma continental durante o inverno foi consistente com a estrutura oceanográfica analisada em estudos anteriores, com a presença marcante da Água Central do Atlântico Sul no assoalho da plataforma ao longo de toda a bacia, mas com dimensões variáveis em função da topografia e climatologia local (Figura II.3.2-1). Sendo mais fria e, portanto, mais densa a ACAS se mantem sempre por baixo da AP mais quente. É a principal fonte de nutriente novo para a zona eufótica. Destaca-se também intrusões quentes da AT sobre a pluma do Prata no extremo sudoeste da bacia mantendo mais quente o sistema bêntico apesar das águas mais frias na superfície. A pluma do Prata, a presença da ACAS no fundo da plataforma e a água tropical na superfície do talude da bacia oceânica causam a maior variação de temperatura entre a superfície e 200 metros. A amplitude térmica a 250 metros deve estar associada à movimentos ascendentes da termoclina permanente representada pela ACAS, além das intrusões dessa massa de água sobre a plataforma.

No verão o gradiente térmico vertical é evidentemente muito maior sobre a plataforma e área oceânica pela ação simultânea da insolação e da maior penetração da ACAS em direção a plataforma interna, como observado em todos os perfis ao longo da bacia (Figura II.3.2-2). As temperaturas são mais altas na área oceânica e a variação é menor, sobretudo na capa superficial da AT.

PÚBLICA

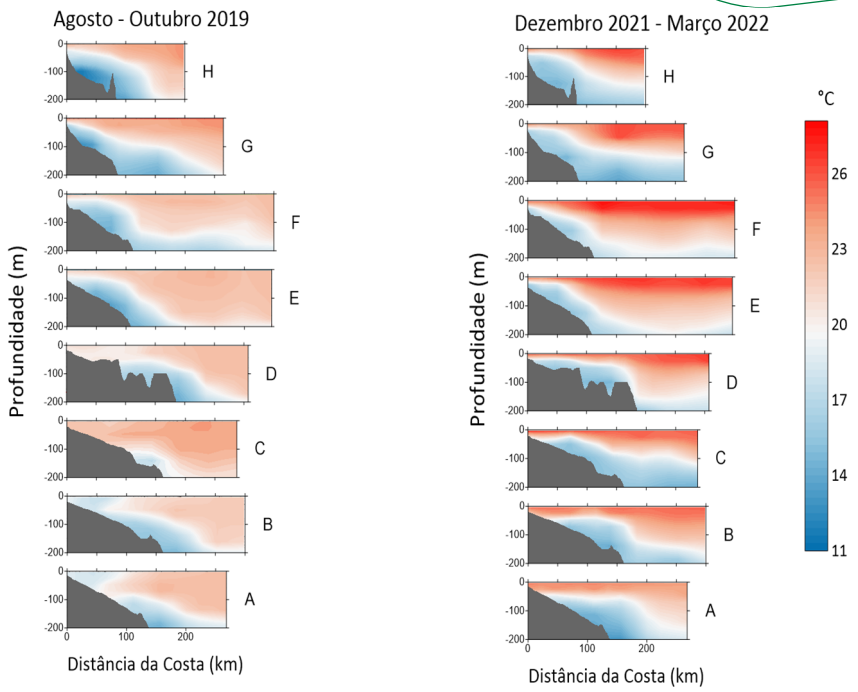


Figura II.3.2-1: *Distribuição vertical da temperatura nos transectos costa-oceano amostrados ao longo da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2021/2022.*

Salinidade - O padrão de variação da salinidade sobre a plataforma durante o inverno revelou a presença marcante da pluma do rio da Prata. A salinidade diminui progressivamente ao longo do gradiente latitudinal da Frente Subtropical de Plataforma, até valores <33 (Figura II.3.2-2). Como já visto nos perfis térmicos, o mesmo padrão mostra a pluma do Prata sendo comprimida na plataforma interna pela AT que por ser menos densa penetra como uma cunha por baixo da AP salinizando o sistema bêntico.

Assim como no caso da temperatura, a mistura diária pela maré com a AP adjacente altera totalmente a dinâmica geográfica dos perfis de salinidade sobre a plataforma tornando-os mais homogêneo apesar das salinidades menores na plataforma mantendo, nem sempre nitidamente, a Frente Halina de Superfície como fronteira física entre a AP e a AT da C do Brasil. No verão o padrão de distribuição vertical da salinidade não foi afetado localmente pela forte influência da pluma do rio da Prata nos setores a sudoeste da bacia onde as salinidades foram maiores em relação ao inverno e a maior drenagem reduz a salinidade na costa sobretudo nas bocas dos sistemas estuarinos-lagunares, como se observa em frente à baia de Paranaguá. De forma geral as variações salinas são devidas

PÚBLICA

a influência das intrusões da ACAS que reduz a salinidade no fundo da plataforma continental.

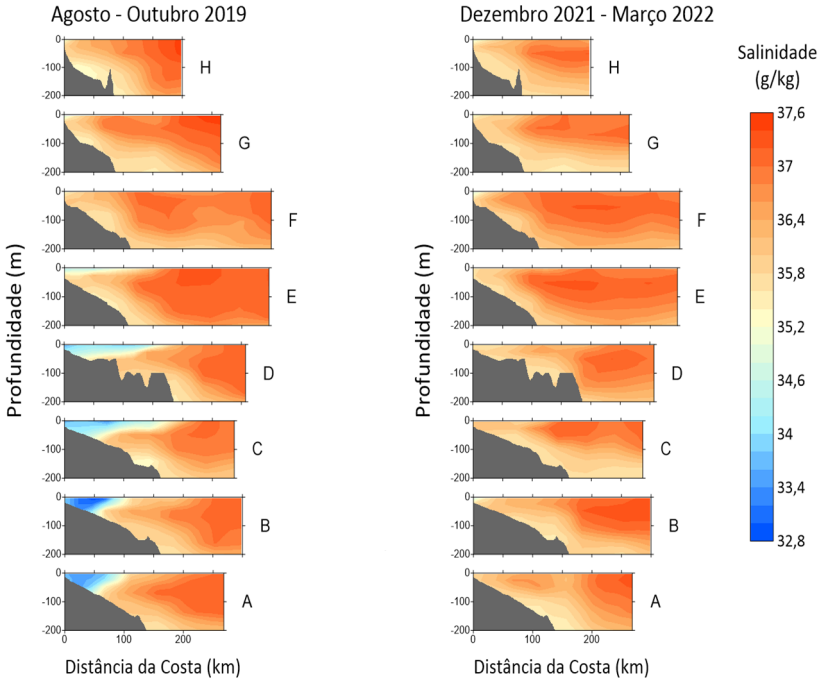


Figura II.3.2-2: *Distribuição vertical da salinidade nos transectos costa-oceano amostrados ao longo da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.*

Apesar dos valores anômalos de pH de até 8,5 obtidos no cruzeiro de inverno de 2019 o padrão vertical revela consistência com a tendencia geral de decrescer com a profundidade até valores mínimos no fundo, como observado em todos os perfis de ambos os setores nerítico e oceânico sobre a plataforma (Figura II.3.2-3). No cruzeiro de verão a anomalia persistiu no perfil ao largo de Cabo Frio com valores excessivamente altos (8,0-8,6) para os padrões oceânicos dominado por águas tropicais. No restante da bacia os valores de pH variaram entre 7,6 e 8,0, ou seja, mais consistentes com o que se observa normalmente em águas de mar aberto afastados da influência da drenagem costeira.

A Bacia de Santos aparentemente não sofre com limitações de oxigênio para a biota marinha, considerando-se os limites espaciais de amostragem adotados nesse estudo. As concentrações são em geral maiores do que 6 mg L-1 em toda a coluna de água e em todos os setores costeiros e oceânicos ao longo da bacia

PÚBLICA

(Figura II.3.2-4), exceto no fundo da plataforma onde a concentração de material orgânico sedimentado e a respiração bêntica mantem níveis mais baixos de oxigênio, no entanto sem anoxia.

Os perfis verticais de oxigênio dissolvido durante os meses de verão entre 2021 e 2022 revelaram valores entre 4,2 e 8 mg L-1, ligeiramente menores na zona epipelágica do setor norte da bacia sob maior influência da ressurgência de Cabo Frio. As concentrações médias foram menores na coluna de água epipelágica sobre maior influência da AT da Corrente do Brasil, se comparado ao observado no período mais frio entre agosto e outubro de 2019.

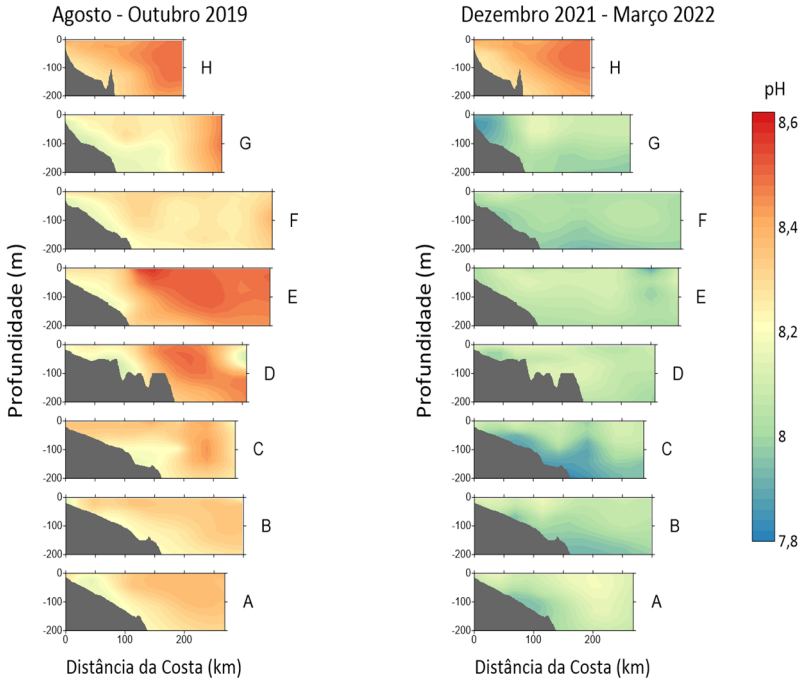


Figura II.3.2-3: *Distribuição vertical do pH nos transectos costa-oceano amostrados ao longo da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.*

Os perfis sobre a plataforma também revelaram máximos subsuperficiais de OD no nível das termoclinas, com concentrações médias maiores até do que na superfície sujeita as trocas atmosféricas na interface água-ar. Estes picos subsuperficiais coincidiram nitidamente com os picos máximos de clorofila observados no período (Figura II.3.2-5). Picos de alta concentração subsuperficial de oxigênio nos períodos mais frios do primeiro cruzeiro também devem ter ocorrido por conta dos PMC observados, mas devem ter sido

PÚBLICA

dispersos pela maior turbulência atmosférica e temperaturas mais baixas na zona de mistura durante o inverno.

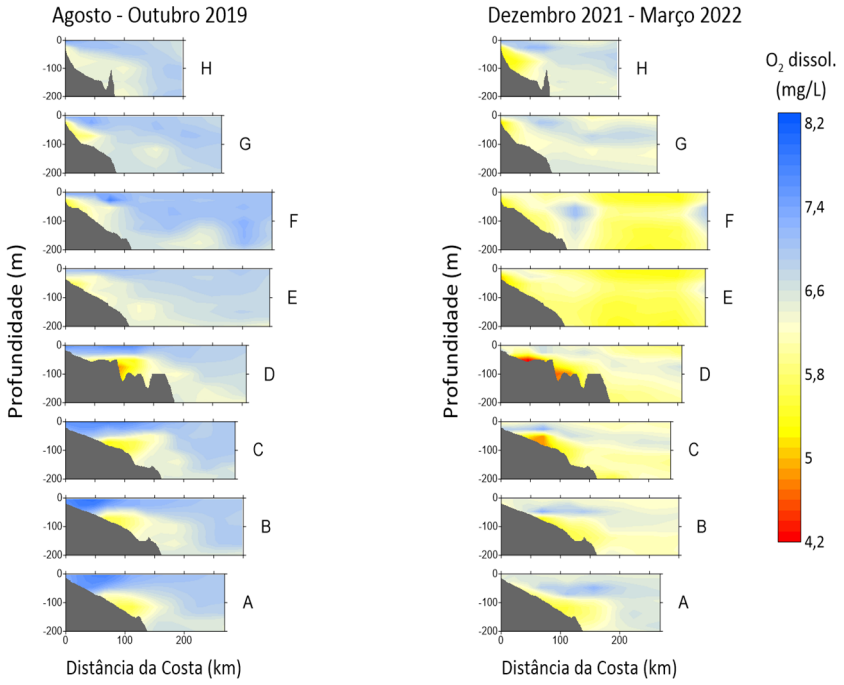


Figura II.3.2-4: *Distribuição vertical da concentração de oxigênio dissolvido nos transectos costa-oceano amostrados ao longo da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.*

As concentrações de clorofila-a na coluna de água variaram entre 0,01 e 6,59 µg L-1 no inverno entre agosto e outubro de 2019, e entre 0,01 e 7,09 µg L-1 no verão de 2021/2022. Valores baixos entre 0,1 e 0,3 µg L-1 foram os mais frequentes em ambos os cruzeiros com máximos isolados >3 µg L-1 ao largo da Baía de Guanabara e no fundo, como observado ao largo da Ilha de Santa Catarina em dezembro de 2021. De modo geral, máximas concentrações sempre ocorrem em subsuperfície na base da zona eufótica, em ambos os períodos frios e quente, normalmente entre 1-2 µg L-1. Estes picos máximos de clorofila (PMC) normalmente se estendem desde a região costeira mais turbulenta, onde os máximos em geral ocorrem no fundo, até as áreas oceânicas em níveis cada vez maiores de profundidade (Figura II.3.2-5).

PÚBLICA

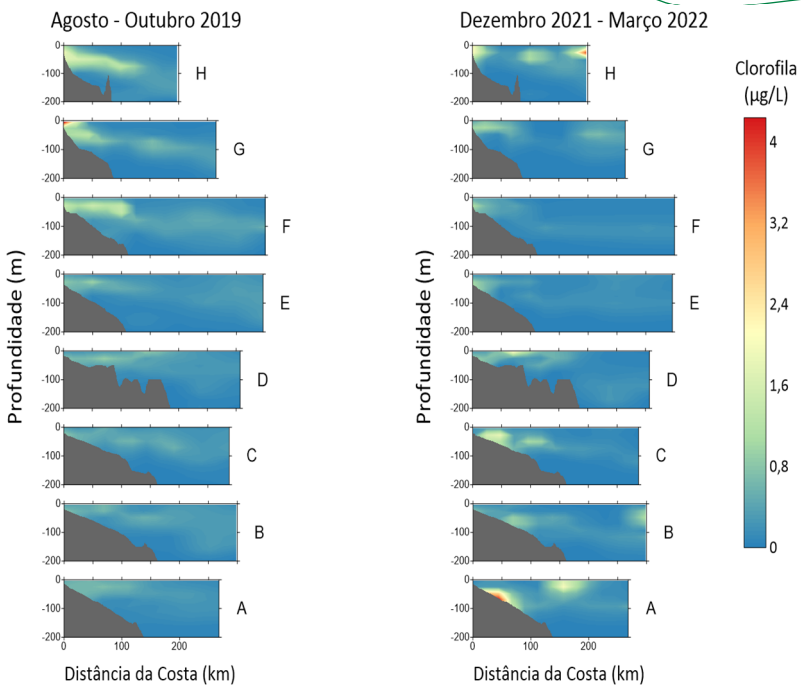


Figura II.3.2-5: *Distribuição vertical da concentração de clorofila nos transectos costa-oceano amostrados ao longo da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.*

A concentração de nitrato na zona eufótica epipelágica variou entre níveis abaixo do limite de detecção (<0,01 µM) até máximos >17 µM no nível da Água Central do Atlântico Sul, sobretudo na plataforma externa próximo ao talude continental em ambos os períodos sazonais (Figura II.3.2-6). A concentração de nitrito, que ocorre no meio ambiente em um nível de oxidação intermediário entre nitrato e amônia, foi <1 µM. Os máximos ocorrem frequentemente em subsuperfície, especificamente no nível da termoclina que coincide com a base inferior da zona eufótica (Figura II.3.2-7). Também foram detectados picos isolados no fundo da plataforma média e interna. As concentrações de amônia na zona epipelágica também foram sempre <1 µM, frequentemente entre 0,1 e 0,2 µM (Figura II.3.2-8). Em ambos os períodos amostrados as concentrações na zona epipelágica variaram irregularmente em toda a coluna de água. Destacam-se, no entanto, picos de concentração em torno de 1,1 µM em toda a coluna de água sobre a plataforma interna ao largo da Baía de Santos. Essas águas com níveis elevados de amônia parecem ter sido espalhadas mais ao largo e na direção sul, como mostra o mapa de distribuição geográfica na superfície da Figura II.3.1-8.

PÚBLICA

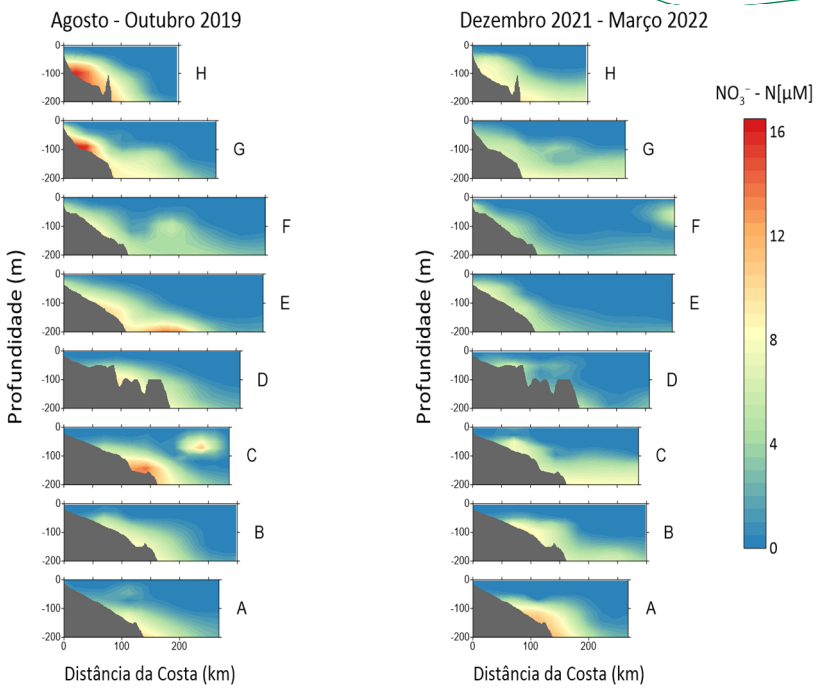


Figura II.3.2-6: *Distribuição vertical da concentração de nitrato na zona epipelágica dos transectos costa-oceano amostrados ao longo da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.*

A concentração de fosfato na zona epipelágica variou entre 0,08 e 1,32 µM com mínimos na Água Tropical oligotrófica da Corrente do Brasil ao largo e máximos nas camadas de fundo dominadas pela presença da ACAS em ambos os períodos sazonais amostrados (Figura II.3.2-9). Picos de concentração ocorreram no fundo entre as isóbatas de 60 e 90 m da plataforma média ao largo de Cabo Frio e da Baia de Guanabara no cruzeiro de inverno, e no fundo entre as isóbatas de 35 e 120 m ao largo do setor mais ao sul da área amostrada, em frente a Ilha de Santa Catarina, todos associados a presença constante da ACAS.

A concentração de silicato na zona epipelágica variou entre 0,03 e 15,3 µM no inverno de 2019 e entre 0,03 e 10,4 µM nos meses do verão de 2021 e 2022. Concentrações mínimos são típicas de áreas oceânicas dominadas pela AT da Corrente do Brasil, e concentrações máximas são características da drenagem continental. Isso foi observado claramente no inverno com a advecção lateral da pluma do Rio da Prata (Figura II.3.2-10) que transportou águas ricas em silicato para a plataforma interna do setor sudoeste ao largo da Ilha de Santa Catarina

PÚBLICA

até mais ao norte da Ilha Bela como mostra o mapa de distribuição horizontal desse parâmetro (ver Figura II.3.1-9).

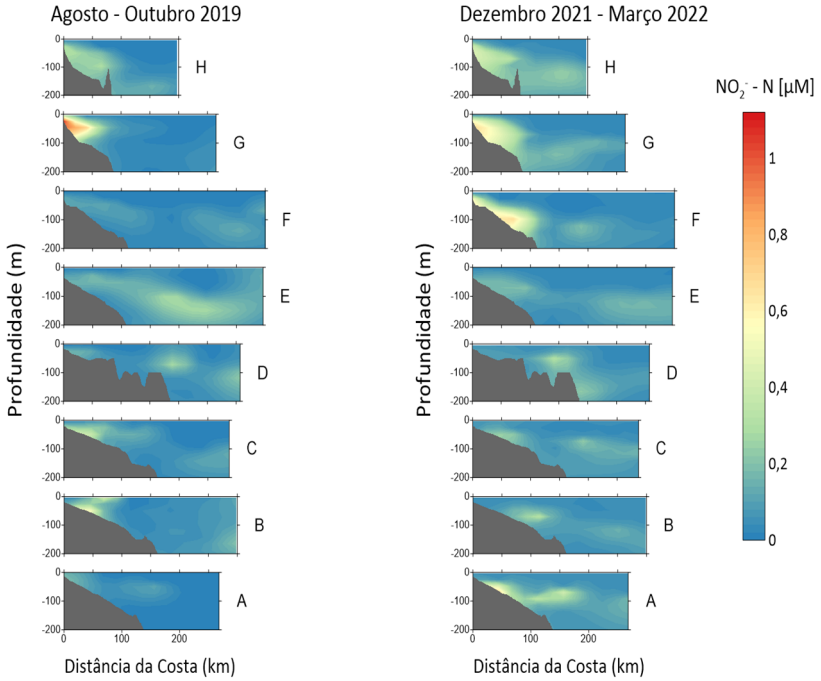


Figura II.3.2-7: *Distribuição vertical da concentração de nitrito na zona epipelágica dos transectos costa-oceano amostrados ao longo da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.*

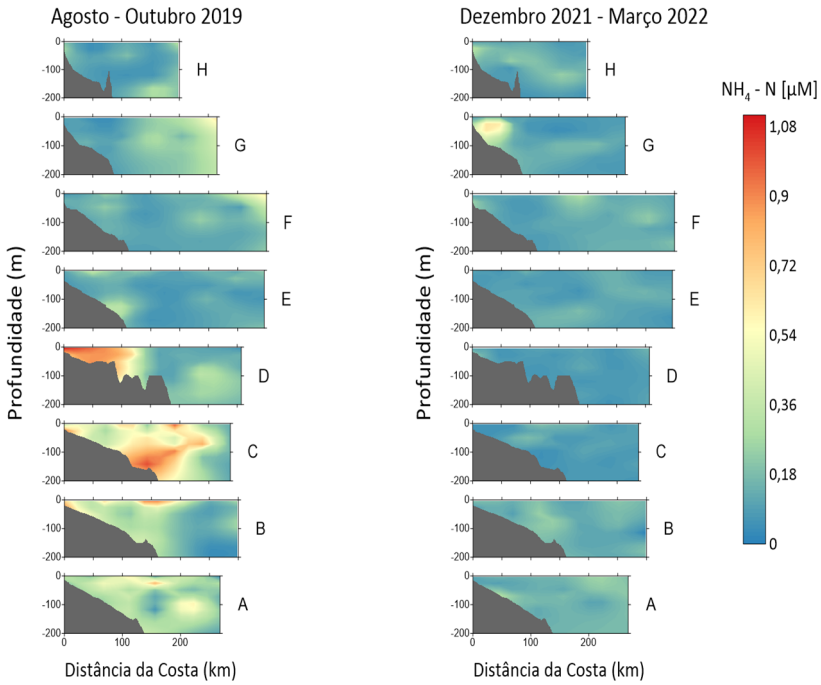


Figura II.3.2-8: *Distribuição vertical da concentração de amônia na zona epipelágica dos transectos costa-oceano amostrados ao longo da Bacia de Santos*

PÚBLICA

entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.

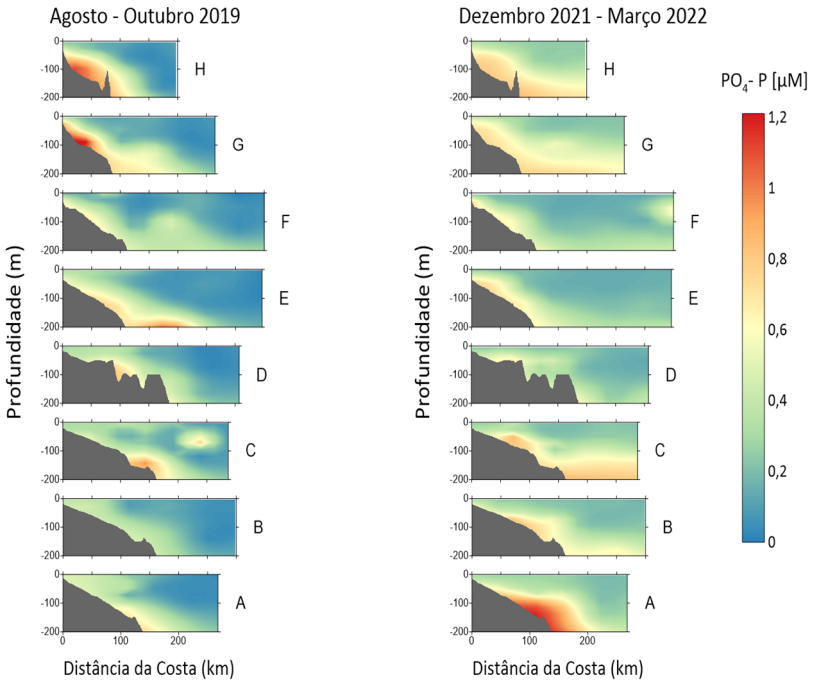


Figura II.3.2-9: *Distribuição vertical da concentração de fosfato na zona epipelágica dos transectos costa-oceano amostrados ao longo da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.*

A concentração do material particulado em suspensão (MPS) na zona epipelágica variou entre <0,1 e 19,4 mg L-1 no inverno de 2019 e entre <0,1 a 21 mg L-1 no verão de 2021-2022. Picos de concentração isolados ocorreram no fundo da plataforma intermediária ao largo de Santa Catarina no setor mais a sul sob influência da pluma do Prata em agosto de 20219 e na superfície ao largo de Cabo Frio durante o cruzeiro de verão. Em ambos os cruzeiros o padrão de distribuição foi irregular, mas notam-se concentrações mais homogêneas entre 1 e 3 mg L-1 na plataforma externa e áreas oceânicas dominadas pela AT. No setor norte da bacia concentrações em torno de 4 mg L-1 foram mais frequentes no período mais frio do primeiro cruzeiro (Figura II.3.2-11).

A concentração de carbono orgânico particulado variou de 3 a 340 µg L-1 no período frio entre agosto e outubro de 2019 e de 2,9 a 500 µg L-1 no verão de 2021/2022. Concentrações entre 50 e 100 µg L-1 foram frequentes em 2019 em níveis subsuperficiais no setor norte, e em toda a coluna de água no setor sul da bacia sob influência da pluma da Prata (Figura II.3.2-12). No verão de

PÚBLICA

2021/2022 máximos subsuperficiais foram frequentes ao longo de toda a bacia, e um pico máximo isolado foi observado a 28 metros ao largo de Cabo Frio, coincidindo com altos valores de MPS e de clorofila nesse mesmo nível.

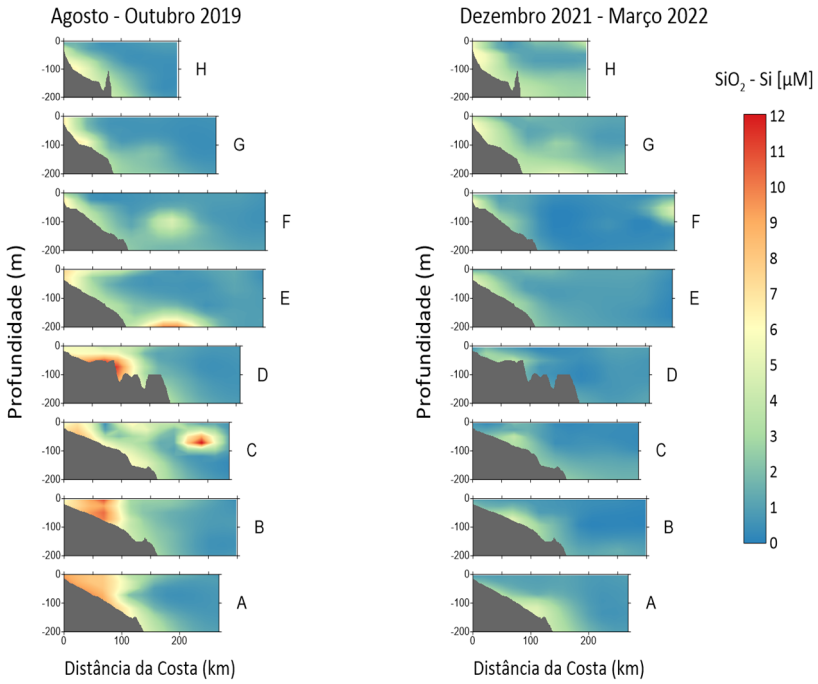


Figura II.3.2-10: *Distribuição vertical da concentração de silicato na zona epipelágica dos transectos costa-oceano amostrados ao longo da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.*

A concentração de nitrogênio orgânico particulado variou de 0,33 a 32,8 µg L-1 nos meses frios de 2019 e de 0,26 a 106 µg L-1 nos meses quentes entre 2021 e 2022. Durante o inverno de 2019 o estoque concentrou-se mais no setor sul, em toda a coluna de água sobre influência da pluma do Rio da Prata e em níveis subsuperficiais sobre a plataforma média no setor norte. No verão de 2021 e 2022 os máximos entre 10 e 20 µg L-1 concentraram-se em subsuperfície no setor central da bacia ao largo de São Paulo, onde a plataforma continental é mais extensa. Também ocorreu um pico máximo isolado ao largo de Cabo Frio que coincidiu com o pico máximo de COP e de MPS (Figura II.3.2-13).

PÚBLICA

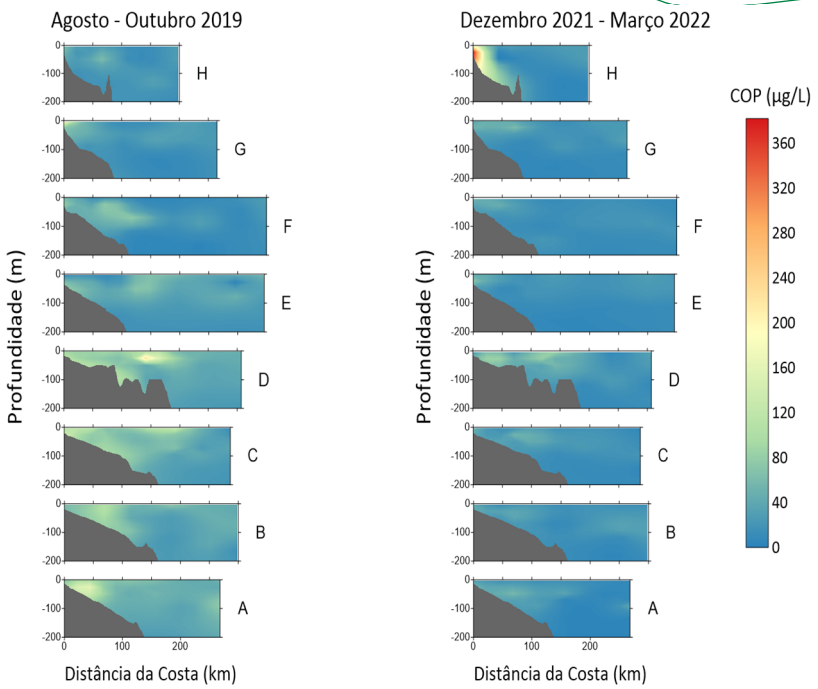


Figura II.3.2-12: *Distribuição vertical da concentração de carbono orgânico particulado em suspensão na zona epipelágica dos transectos costa-oceano amostrados ao longo da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.*

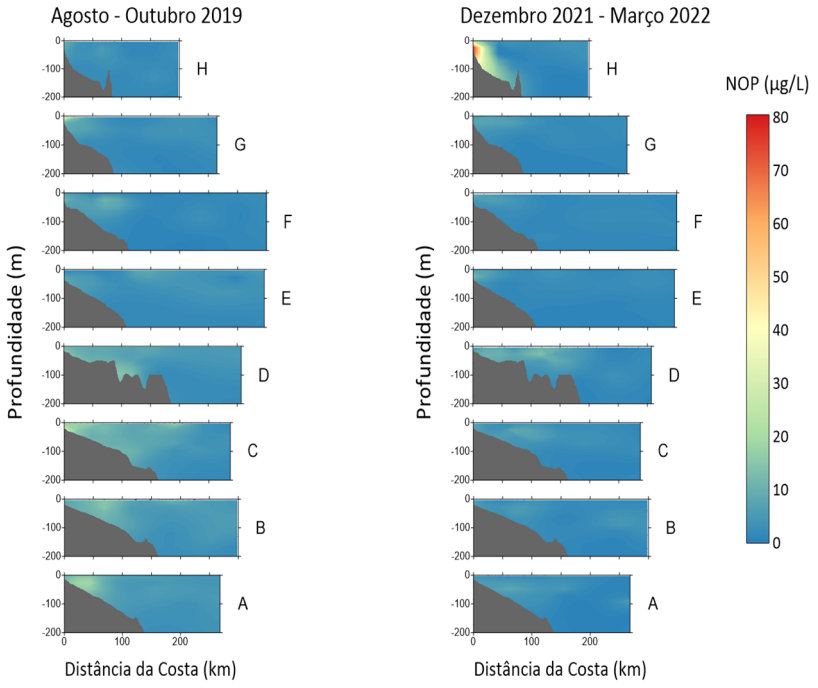


Figura II.3.2-13: *Distribuição vertical da concentração de nitrogênio orgânico particulado em suspensão na zona epipelágica dos transectos costa-*

PÚBLICA

oceano amostrados ao longo da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.

II.3.3 Distribuição vertical na coluna de água do setor oceânico

Os resultados obtidos nas águas oceânicas profundas da Bacia de Santos confirmam a homogeneidade hidrográfica característica do Giro Subtropical do Atlântico Sul nas camadas superiores. Gradientes físico-químicos e, consequentemente, biogeoquímicos são bem definidos apenas no sentido vertical por conta do empilhamento de massas de água de diferentes origens e com características biogeoquímicas contrastantes. Esses gradientes podem ser facilmente identificados nos perfis de temperatura e salinidade (Figura II.3.3-1; Figura II.3.3-2) em pelo menos em três setores zonas da bacia: norte, central e sul. Fica claro como a estrutura termohalina vertical praticamente se repete ao longo da bacia, com diferenças consistentes apenas nas camadas superiores da região nerítica.

Os gradientes biogeoquímicos resultantes do empilhamento das massas de água serão aqui apresentados pela amplitude de variação que compõe o mosaico vertical de domínios hidrográficos (Figura II.3.3-3). A amplitude de variação destes parâmetros em cada massa de água mostra consistência com trabalhos anteriores (revisto por Castro et al., 2006). O principal reservatório de macronutrientes são as massas de água abaixo da AT que, pela sua natureza oligotrófica, carrega as menores concentrações devido ao balanço negativo entre o consumo fitoplanctônico e as limitações impostas pela estratificação física permanente, sobretudo na área oceânica.

Vale destacar outras feições recorrentes e já apontados em estudos anteriores: (i) máximos subsuperficiais de nitrito no topo da ACAS, coincidindo com a base da Z^{eu}, devido a excreção fitoplanctônica por conta da ausência de atividade da nitrito redutase em baixas intensidades de luz e também devido a atividade microbiana; (ii) alta variabilidade da concentração de amônia, sobretudo nas massas de água iluminadas onde ocorre processos biogeoquímicos simultâneos, tais como absorção, excreção, difusão, oxidação bacteriana, etc que ocultam padrões de variação associados a processos isolados; (iii) diminuição gradativa do pH com a profundidade associada a

PÚBLICA

processos regenerativos que aumentam a concentração de CO2 dissolvido na água e, consequentemente, sua acidificação; (iv) a distribuição vertical de fosfato e silicato é semelhante e pode ser usada para identificar massas de água mais profundas, e (v) a concentração de clorofila varia em geral entre <0,1 e 0,5 µg L-1, mas valores elevados >3,5 µg L-1 podem ser detectados em situações específicas de produção nova ou fotoadaptação nos níveis da AT ou da ACAS.

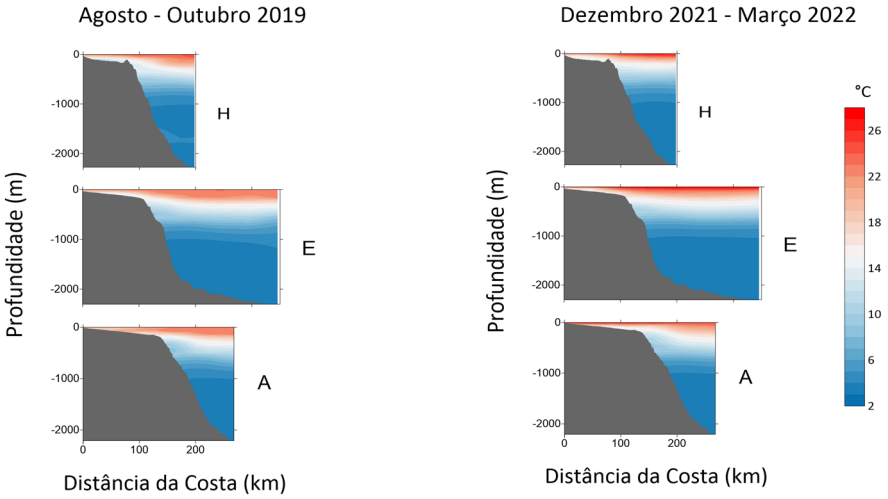


Figura II.3.3-1: *Distribuição vertical da temperatura na coluna de água do setor nerítico e oceânico da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.*

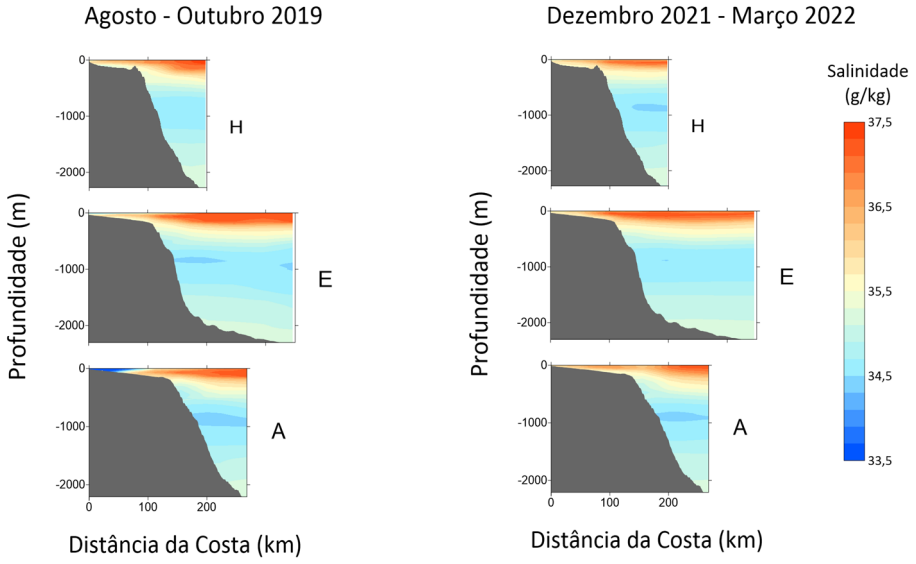


Figura II.3.3-2: *Distribuição vertical da salinidade na coluna de água do setor nerítico e oceânico da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.*

PÚBLICA

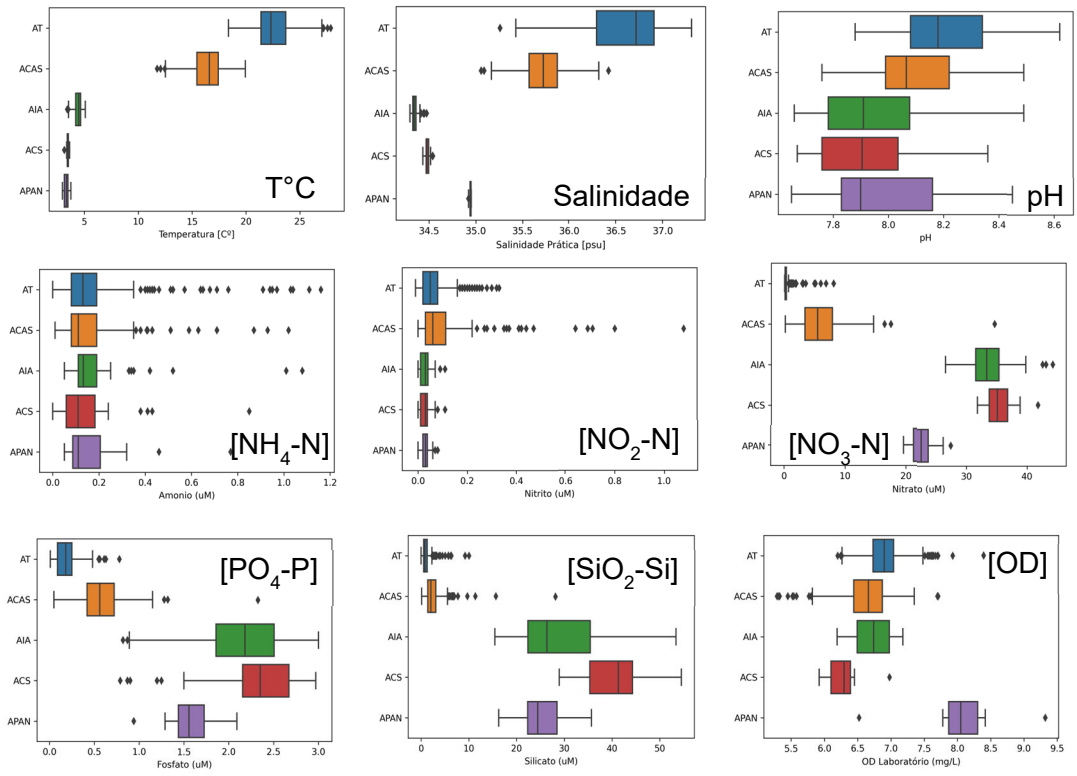


Figura II.3.3-3: *Amplitude de variação de todos os parâmetros físico-químicos obtidos em agosto-outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022 em função do mosaico vertical de massas de água que compõe a estrutura hidrográfica do setor oceânico da Bacia de Santos.*

II.4 Discussão

A estratégia amostral adotada nesse estudo limitou-se a apenas dois períodos sazonais contrastantes que foram bem caracterizados do ponto de vista biogeoquímico devido abrangência geográfica do grid amostral. Os padrões de distribuição geográfica e vertical dos parâmetros observados em cada período evoluíram entre a primeira e a segunda campanha como resultado de processos físicos, ecológicos e metabólicos do sistema pelágico, particularmente do sistema planctônico. As diferenças do cenário biogeoquímico entre os dois períodos amostrados foram marcantes o que confirma a complexidade da Bacia de Santos do ponto de vista físico e ecológico. Infelizmente a evolução de um cenário para o outro só pode ser analisada com base em estudos pretéritos feitos na mesma região. Já se sabe que o regime sazonal de ventos altera a estrutura

PÚBLICA

de massas de água na bacia e, consequentemente, a mistura de propriedades físico-químicas na interface entre uma massa de água e outra sobretudo no plano horizontal, diretamente sujeito a pressão dos ventos e das correntes de maré que são forçantes dominantes no plano horizontal, sobretudo na região nerítica mais rasa, como será discutido a seguir.

II.4.1 Setor nerítico

A amplitude de variação de parâmetros biogeoquímicos no setor nerítico sobre a plataforma continental da Bacia de Santos é maior por conta do hidrodinamismo e mistura de massas de água oceânica. Drenagem continental, intrusões de fundo de águas oceânicas e a advecção lateral da pluma do rio da Prata causam um mosaico de domínios e frentes hidrográficas (Brandini, 1990; Brandini et al., 2018) muito mais extenso no plano geográfico horizontal do que no espaço limitado do plano vertical, no qual os gradientes biogeoquímicos se comprimem mais devido ao empilhamento da AT e da ACAS.

A plataforma interna é mais afetada pela mistura turbulenta das marés, que homogeneíza vigorosamente a coluna de água, impedindo a formação de termoclinas permanentes, como as que ocorrem nos setores médio e externo da plataforma. Próximo da costa a estabilidade física da coluna de água fica por conta das haloclinas que persistem por conta da drenagem de água doce de pontos isolados ao longo da costa. Nesse sentido, o aspecto mais importante da influência de uma determinada bacia de drenagem continental é, sem dúvida, a advecção da pluma do rio da Prata. O volume de água que atinge o setor sudoeste da bacia chegou com baixas concentrações de nitrato e altas concentrações de amônia, fosfato, silicato e carbono orgânico dissolvido. A dinâmica espacial desses elementos certamente depende da disponibilidade de oxigênio dissolvido para regeneração microbiana dos componentes, mas reduzidos como (p.ex.) amônia, cuja carga deve ter sido muito maior

Os altos valores de nitrogênio inorgânico total observados no setor sudoeste da bacia foi devido às altas concentrações de amônia regenerada da matéria orgânica particulada trazida pela pluma do Prata. A razão entre as concentrações de COP e NOP tem sido utilizada na literatura oceanográfica para indicar o status do metabolismo ecossistêmico. Razões altas são típicas de

PÚBLICA

ambientes regenerativos com maior contribuição do detrito orgânico do que células vivas ricas em nitrogênio no estoque de matéria particulada. No caso da pluma do Prata, essa razão foi comparativamente mais baixa, em geral <7,5, semelhante ao valor típico de células em crescimento, indicando alta contribuição do fitoplâncton para o estoque de matéria orgânica particulada (Figura II.4.1-1, painel esquerdo). A contribuição da biomassa fitoplanctônica viva também foi confirmada pela baixa razão COP:Clor no mesmo setor (Figura II.4.1-1, painel direito). As altas concentrações de amônia nesse caso devem estar associadas à regeneração de outras fontes de matéria orgânica e não do fitoplâncton, o que é de se esperar em plumas estuarinas. Uma hipótese a ser testada é a maior disponibilidade de carbono e nitrogênio orgânico particulado Figura II.3.1-10) e de carbono orgânico dissolvido (Figura II.3.1-4) nesse mesmo setor. Esses materiais são rapidamente metabolizados por bactérias e arqueias heterótrofas ou utilizados por bactérias nitrificantes. De fato, estações com elevada densidade de bactérias heterótrofas foram mais frequentes nos setores influenciados pela pluma do Rio da Prata (Pellizari *et al*., este volume, Figura III.3.1-3, A1).

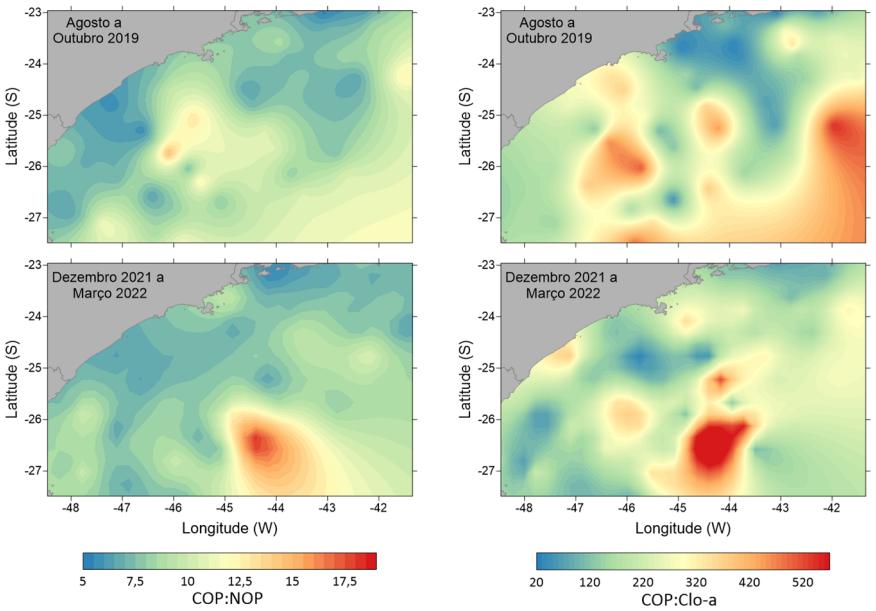


Figura II.4.1-1: *Distribuição geográfica da razão entre carbono e nitrogênio orgânico particulado, e entre carbono particulado e clorofila na Bacia de Santos, em dois.*

PÚBLICA

Vale ressaltar que em ambos os períodos estudados, o estoque de clorofila na Z^{eu} respondeu às condições favoráveis de luz, circulação vertical e condições satisfatórias de macronutrientes. A razão Z^{eu}:Z^{m} indica o quanto o fitoplâncton pode ser potencialmente limitado pela luz devido a circulação vertical. Razões maiores, como as observadas nestes setores da plataforma, explicam em parte a maior abundância de fitoplâncton na Z^{eu} do mesmo setor (compare o painel esquerdo da Figura II.4.1-2 com o painel esquerdo da Figura II.3.1-4). A menor razão N:P nesses setores mais produtivos revela maior consumo de nitrogênio em relação ao fósforo, ao passo que razões elevadas na área oceânica durante o inverno (Figura II.4.1-2, painel direito) podem estar associadas à demanda de fósforo para o diazotrofismo oriundo da pluma do Prata.

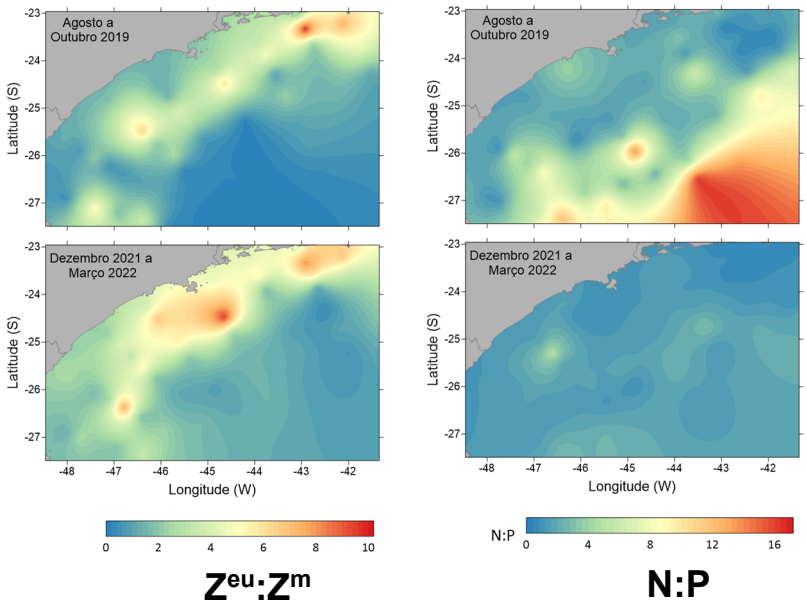


Figura II.4.1-2: *Distribuição geográfica da razão entre a zona eufótica e a zona de mistura e a razão Redfield (N:P) na Bacia de Santos em dois períodos sazonais: inverno de 2019 e verão de 2021/2022.*

A fixação de nitrogênio atmosférico e a denitrificação de nitrato em determinadas condições de oxigênio dissolvido tem sido cada vez mais sugerida por estudos biomoleculares e taxonômicos na região (Gerikas-Ribeiro et al., 2018; Pierella Karlusich et al., 2021). Esses processos têm sido apontados como responsáveis por desvios da relação estequiométrica do nitrato em relação ao

PÚBLICA

fósforo nas bacias oceânicas globais (Sarmiento & Gruber, 2006). Estudos comparativos sobre a distribuição dessa razão e dados biomoleculares apontam para o papel de diazotróficos e de bactérias nitrificantes na dinâmica desses nutrientes.

O potencial produtivo da coluna de água no setor oceânico é notório; a produção nova é baixa por conta da limitação por nutrientes em condições físicas permanentemente estratificadas. No setor nerítico, a oportunidade de fertilização da zona eufótica com nutrientes novos é muito maior por conta das intrusões oceânicas da ACAS. Mas não basta haver nutrientes se as condições de luz não acompanharem a fertilização da zona eufótica. É através da profundidade do ponto crítico (PC) que se determina esse potencial. O PC foi definido originalmente por Sverdrup (1953) como a profundidade na qual a produção da comunidade fitoplanctônica na zona eufótica se iguala a respiração dessa mesma comunidade. Em outras palavras, é a profundidade acima da qual a produção líquida é nula. Conceito semelhante foi estabelecido em lagos através da razão entre a Z^{eu} e a Z^{m}. A Z^{m} precisa ser pelo menos igual ou menor do que a Z^{eu} para garantir exposição luminosa diária suficiente para garantir produção líquida positiva e exportação de matéria orgânica. Diante desse cenário optou-se por plotar a razão N:P nos transectos costa-oceânico de ambos os períodos sazonais amostrados e ao mesmo tempo traçar as linhas que indicam a extensão da Z^{eu} e da Z^{m} na Bacia de Santos (Figura II.4.1-3). Os gráficos revelam que na maioria dos perfis a Z^{m} é sempre menor do que a Z^{eu}, não havendo, portanto, limitação por luz na bacia. A limitação é definitivamente por nutrientes, sobretudo nitrogênio, exceto 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.

PÚBLICA

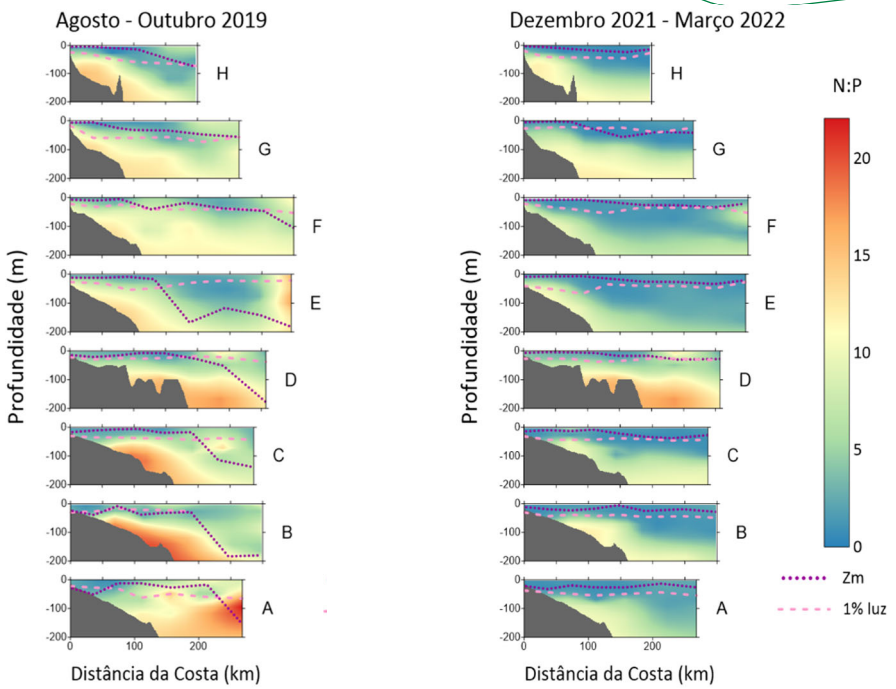


Figura II.4.1-3: *Distribuição vertical da razão N:P na zona epipelágica dos transectos costa-oceano amostrados ao longo da Bacia de Santos entre agosto e outubro de 2019 e entre dezembro de 2021 e março de 2022.*

II.4.2 Setor oceânico

No setor oceânico há um domínio hidrográfico muito mais homogêneo no plano geográfico horizontal, com frentes biogeoquímicas se formando apenas próximo ao talude continental, onde meandramentos e ressurgências de borda de plataforma são recorrentes sobretudo no inverno (Mesquita et al., 1993; Brandini, 1990; Castro et al., 2006). Nas áreas oceânicas afastadas do talude continental os gradientes físicos e biogeoquímicos são maiores no plano vertical por conta da superposição permanente de massas de água de origens diferentes de onde suas características biogeoquímicas foram formadas.

Alguns aspectos do status metabólico do ecossistema podem ser analisados com base em relações quantitativas de parâmetros físicos e biogeoquímicos obtidos, como p.ex., a razão N:P, a Z^{eu}:Z^{m}, a razão entre COP:NOP e a razão COP:Clorofila, comumente usados na literatura oceanográfica. A análise do status metabólico ecossistêmico ajuda a interpretar a dinâmica espacial e sazonal da comunidade planctônica dos níveis tróficos superiores e, possivelmente, seus efeitos sobre a comunidade bêntica.

PÚBLICA

II.5 Conclusão

O hidrodinamismo e o cenário biogeoquímico decorrente da Bacia de Santos são os mais complexos de toda a margem continental brasileira, rivalizando apenas com a Bacia Amazônica. Essas forçantes ambientais causam um reajuste tridimensional das fronteiras físico-químicas e biológicas da coluna de água, os quais afetam diretamente os ciclos sazonais de produção e transferência de energia entre os demais níveis tróficos do ecossistema regional que estão sendo investigados no projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos.

O resultado desse diagnóstico revela as seguintes conclusões: (i) Existem padrões recorrentes do cenário hidrográfico e biogeoquímico espacial e sazonal da Bacia e Santos, semelhantes aos observados em estudos anteriores na mesma região; (ii) De acordo com estudos pretéritos os padrões estão associados à climatologia atmosférica regional (ventos, radiação solar) e a mistura turbulenta da maré sobre a plataforma continental. Essas forçantes competem pela dominância na definição desses cenários de acordo com a batimetria; (iii) O domínio hidrográfico do setor oceânico profundo é sazonalmente estável, dominado por um mosaico de massas de água superpostas com características físico-químicas mais conservativas, sobretudo em níveis afóticos subsuperficiais onde predominam processos microbianos regenerativos. Entretanto, a climatologia atmosférica e a topografia do talude continental causam instabilidades nos padrões de distribuição das propriedades biogeoquímicas da plataforma externa e suas fronteiras com a bacia oceânica adjacente; (iv) No plano horizontal, três setores geográficos estão bem definidos na BS com base na origem da matéria orgânica: a região sul diretamente afetada pela pluma do Rio da Prata, a região norte que sofre os efeitos da ressurgência em Cabo Frio e um setor intermediário onde predominam as intrusões oceânicas da ACAS na fertilização da zona eufótica; (v) A hidrodinâmica sazonal desses três setores causada pela climatologia atmosférica (ventos, maior insolação) regional, muda o balanço entre os sistemas de produção regenerada vs nova. A

PÚBLICA

produção regenerada, típica do sistema de contorno oeste dominado por águas quentes oligotróficas, dá espaço para uma maior produção nova em períodos específicos do ano; (vi) A pluma do Rio da Prata chega com uma carga elevada de material particulado, mas limitada em nitrogênio inorgânico, exceto amônia regenerada de outras fontes de matéria orgânica. Em contrapartida, a pluma fertiliza o setor sul da plataforma continental com fósforo e (supostamente) micronutrientes, elementos essenciais para o diazotrofismo que vem sendo comprovado por estudos biomoleculares e taxonômicos recentes; (vii) A ressurgência de C Frio do setor norte e as intrusões oceânicas da ACAS ao longo de todo a região central intermediária, são processos hidrodinâmicos complementares, provocados pelas mesmas forçantes atmosféricas, que fertilizam a zona eufótica com nutrientes novos causando o acúmulo e (supostamente) mais exportação de matéria orgânica particulada com efeitos diretos sobre o fluxo de energia planctônico e bêntico; (viii) Máximas concentrações de oxigênio dissolvido na base da zona eufótica, tanto no inverno quanto no verão, comprovam que os PMC contribuem para a produção nova nesses níveis de profundidade. Diferenças sazonais dessa contribuição ocorrem de acordo com a faixa batimétrica na qual essa produção ocorre.

II.6 Referências Bibliográficas

Brandini, F.P. 1990. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/March 1984). **Hydrobiologia,** 196:111-148, https://doi.org/10.1007/BF00006105

Brandini, F.P., Tura, P.M., Santos, P.P.G.M. 2018. Ecosystem responses to biogeochemical fronts in the South Brazil Bight. **Progress in Oceanography,** 164:52-62, https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.04.012

Castro Filho, B.; Brandini, F. P.; Pires Vanin, A. M. S.; Miranda L.B. 2006. Multidisciplinary Oceanographic Processes on the Western Atlantic Continental Shelf between 4°N and 34°S. In: Allan R. Robinson & Kenneth Brink. (Org.). The Sea - Vol 14A - The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary

Regional Studies and Syntheses. Harvard: Harvard University Press, v. 14A, p. 259-293.

Castro-Filho, B.M., Miranda, L.B., Miyao, S.Y.1987. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. **Bol. Inst. Oceanogr.**, 35 (2):135-151,https://doi.org/10.1590/S0373-55241987000200004

Dudale, R.C., Goering, J.J. 1967. Uptake of new and regenerated forms of itrogen in primary productivity. Limnology and Oceanography, 9:507– 510.

Freire, K.M.F., de Almeida, Z.S., Emanoel, J.R., Amador, T., et al. 2021. Reconstruction of Marine Commercial Landings for the Brazilian Industrial and Artisanal Fisheries From 1950 to 2015. Front. Mar. Sci., 1-16, doi: 10.3389/fmars.2021.659110

Gérikas Ribeiro, C., Lopes Dos Santos, A., Marie, D., Brandini, F., Vaulot, D. 2018. Small eukaryotic phytoplankton communities in tropical waters off Brazil are dominated by symbioses between Haptophyta and nitrogen-fixing cyanobacteria. **ISME Journal**, v. online:1-15.

Grasshoff, K., Kremling, K., Ehrhardt, M. (eds) 2009. Methods of Seawater Analysis, 3rd Completely Revised and Enlarged Edition. Published by Wiley-VCH, 632p.

Longhurst, A. 2007. Ecological Geography of the Sea, Academic Press, London, 542p., https://doi.org/10.1016/B978-0-12-455521-1.X5000-1

Lorrain, A., Savoye, N., Chauvaud, L., Paulet, Y.M., Naulet, N. 2003. Decarbonation and preservation method for the analysis of organic C and N contents and stable isotope ratio of low-carbonated suspended particulate material. **Anal Chim Acta,** 491:125-13.

Mesquita, A R., Leite, J. B. De A., Rizzo, R. 1983. A note on the sbelf break upwelling off the southeast coast of Brazil (26"30'S). **Bolm Inst. oceanogr**., S Paulo, 32(2):193-198.

Pierella Karlusich, J.J.P., Pelletier, E., Lombard, F., Carsique, M., *et al.* 2021. Global distribution patterns of marine nitrogen-fixers by imaging and molecular methods. Nature Communication, 12:4160, https://doi.org/10.1038/s41467-021-24299-y.

Piola, A., Campos, E.J.D., Möller Jr., O.O., Charo, M., Martinez, C. 2000. Subtropical Shelf Front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research**, 105:6565-6578, https://doi.org/10.1029/1999JC000300.

Sarmiento, J.L., Gruber, N., 2006. Ocean Biogeochemical Dynamics. Princeton University Press, Oxford, 503p. https://doi.org/10.1063/1.2754608

Silveira, I.C.A., Napolitano, D.C., Farias, I.U. 2020. Water Masses and Oceanic Circulation of the Brazilian Continental Margin and Adjacent Abyssal Plain. In: Sumida, P.Y.G., Bernardino, A.F., De Léo, F.C. (eds) Brazilian Deep-Sea Biodiversity. Brazilian Marine Biodiversity. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53222-2_2

Silveira, I.C.A., Pereira, F., Flierl, G.R., Simoes-Sousa, I.T., Palóczy, A., Borges-Silva, M., Rocha, C.B. 2023. The Brazil Current quasi-stationary unstable meanders at 22◦S–23◦S. **Progress in Oceanography**, 210:1-22.

Sverdrup, H.U. 1953. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. **Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer,** 18:287–295

Turnewitsch, R., Springer, B.M., Kiriakoulakis, K., Vilas, J.C., Aristegui, J., Wolff, G., Peine, F., Werk, S., Graf, G., Waniek, J.J. 2007 Determination of particulate organic carbon (POC) in seawater: The relative methodological importance of artificial gains and losses in two glass-fiber-filter-based techniques. **Marine Chemistry**, 105: 208-228.

Uchoa, I., Simoes-Sousa, Silveira, I.C.A. 2022. The Brazil Current mesoscale eddies: Altimetry-based characterization and tracking. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**,192: 1-14.

Welschmeyer, N. A. 1994. Fluorometric analysis of chlorophyll-a in the presence of chlorophyll-b and pheopigments. **Limnology Oceanography**, 39, 1985.

II.7 Equipe Técnica

Nome	Formação	Atuação
Prof. Dr. Frederico P Brandini	Biólogo, Doutor em Oceanografia Biológica	Coordenação geral
Msc. Mateus Gustavo Chuqui	Mestre em Oceanografia Biológica - IOUSP	Técnico: Gestão administrativa, coleta de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Dr. Pedro Marone Tura	Doutor em Oceanografia Biológica - IOUSP	Bolsista Pós Doc: coleta de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Luan Sayeg Michelazzo	Aluno de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica - IOUSP	Técnico: Coleta de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Giulia Stefania Campos	Oceanógrafa - IOUSP	Técnico: Coleta de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Gabriela Roque	Aluna de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica - IOUSP	Bolsista de Mestrado: análises laboratoriais e processamento de dados
Beatriz Ornelas	Aluna de Graduação em Oceanografia - IOUSP	Bolsista de Iniciação Cientifica: análises laboratoriais
Vitória Couto	Aluna de Graduação em Oceanografia - IOUSP	Bolsista de Iniciação Cientifica: análises laboratoriais
Msc. João Vitor Heberle Lins	Mestre em Oceanografia Biológica - IOUSP	Bolsista de Mestrado: análises laboratoriais

PÚBLICA

III. Microbioma pelágico da Bacia de Santos

III.1 Introdução

Os micro-organismos compõem grande parte do plâncton marinho, constituindo entre 70% e 75% de toda a biomassa da coluna d'água (Fuhrman et al., 1989). Sua distribuição varia conforme a profundidade, com o domínio Bacteria sendo dominante na zona eufótica e o domínio Archaea em maiores profundidades (Karner et al., 2001; Wutcher et al., 2006).

Bactérias, arqueias e protistas são responsáveis pela conversão do carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre em compostos orgânicos, utilizados posteriormente para seu metabolismo e crescimento (Strom, 2008). Essa dinâmica afeta a disponibilidade destes compostos no ambiente marinho e influencia o clima da Terra (Strom, 2008). Esses organismos também são essenciais para a reciclagem de nutrientes no oceano, já que decompõem a matéria orgânica dissolvida e permitem que o carbono orgânico volte para a cadeia alimentar e esteja disponível para níveis tróficos superiores (Azam et al., 1994; Azam et al., 1983).

O carbono orgânico, sintetizado na superfície através da fotossíntese, é exportado para camadas mais profundas da coluna d'água e grande parte desse composto é remineralizado em dióxido de carbono. Esse transporte é conhecido como bomba biológica (Volk & Hoffert, 1985). O carbono que chega na zona batipelágica e atinge o assoalho oceânico é removido da atmosfera por centenas a milhares de anos (Tréguer et al., 2018).

A neve marinha, outro fenômeno responsável pelo transporte de matéria orgânica para maiores profundidades, é formada por detritos orgânicos, micro-organismos e minerais (Alldredge & Silver, 1988). Esses agregados macroscópicos contendo comunidades de bactérias e arqueias, fitoplâncton, flagelados e protozoários estão associados à produção, decomposição e reciclagem de nutrientes na coluna d'água (Alldredge & Silver, 1988).

A estrutura da comunidade microbiana nos oceanos tem sido relacionada com os fatores físico-químicos das massas d'água (Agogué et al., 2011, Celussi

PÚBLICA

et al., 2018), com as zonas pelágicas (Walsh et al., 2016) e com a profundidade (Mestre et al., 2017). Estudos no Giro Subtropical do Pacífico Norte confirmaram que a diversidade microbiana varia não apenas com a latitude e a longitude, mas também com a profundidade. Esses resultados demonstram a persistência das massas d'água como limites bem definidos nos oceanos (DeLong et al., 2006). Diferentes massas d'água alteram a diversidade microbiana e são consideradas barreiras para a dispersão de micro-organismos. No entanto, segundo estudo realizado por Alves Junior et al., (2015) no Oceano Atlântico Sudoeste, comunidades microbianas presentes na Água Central do Atlântico Sul e Água Antártica Intermediária apresentaram alta similaridade entre si, discordando do estudo de DeLong et al., (2006). Recentemente, Ferreira et al., (2022) também observou que as comunidades microbianas da coluna de água não foram estruturadas por massas d'água ou zonas pelágicas no Oceano Atlântico Sudoeste.

Os recentes avanços tanto no sequenciamento de nova geração a partir do DNA ambiental quanto nas análises computacionais, permitiram identificar a composição taxonômica, o potencial funcional das comunidades microbianas e a recuperação de genomas completos. Esses avanços possibilitaram o estudo de padrões estruturais, diversidade, metabolismo (Fuhrman, 2009) e as interações desses micro-organismos com o ambiente em que vivem (Berg et al., 2020). Além disso, estudos realizados no Mar do Sargaço e na corrente da Califórnia com genomas isolados de Synechococcus, identificaram diferentes genes relacionados à biossíntese de polissacarídeos, o que pode permitir mudanças na superfície celular, promovendo resistência contra fagos e predadores (Palenik et al., 2006).

O gênero Synechococcus é um dos principais grupos de autotróficos responsáveis pela produção primária no oceano, e juntamente com outros micro-organismos planctônicos, como por exemplo o autotrófico Prochlorococcus spp., e a ordem de heterotróficos Pelagibacterales (SAR11), constituem a base da cadeia alimentar marinha e são essenciais na produção e consumo de matéria orgânica dissolvida e particulada, além de apresentarem papel fundamental na reciclagem de nutrientes (Teeling et al., 2012; Hogle et al., 2016; Azam & Malfatti, 2007). Pouco se sabe sobre a contribuição dos micro-organismos marinhos, em

PÚBLICA

termos de diversidade taxonômica, riqueza e metabolismos, principalmente no Oceano Atlântico Sul.

A limitação do conhecimento do ecossistema pelágico do Oceano Atlântico Sudoeste diminui a precisão dos modelos preditivos sobre a influência dos diversos impactos decorrentes das atividades antropogênicas. As mudanças climáticas e a acidificação dos oceanos, por exemplo, podem ter efeitos significativos no papel de diversos grupos de micro-organismos. Além disso, a previsão das atividades de exploração de recursos minerais, a exploração de petróleo e a pesca têm crescido globalmente, podendo resultar em ameaças ainda desconhecidas para o equilíbrio ambiental do ecossistema pelágico (Singh et al., 2010; Sutton et al., 2017).

Nessa perspectiva, a Bacia de Santos (BS), no Oceano Atlântico Sudoeste, apresenta grande interesse exploratório por seu reservatório de recursos pesqueiros, minerais e de hidrocarbonetos, em que o entendimento do microbioma pelágico torna-se essencial para uma gestão ambiental sustentável. Embora o microbioma planctônico (Bacteria e Archaea) possa responder rapidamente a possíveis distúrbios ambientais (Allison & Martiny, 2008), Orcutt et al., (2020) recomendam que a diversidade microbiana, a biomassa e as contribuições biogeoquímicas precisam ser consideradas nas avaliações de impacto ambiental. Sendo assim, a utilização de técnicas de sequenciamento de nova geração a partir do DNA ambiental permite a identificação do microbioma que compõem o ecossistema pelágico da BS, visando gerar novas informações sobre sua ecologia, distribuição e a contribuição aos ciclos biogeoquímicos dessa região.

O presente estudo teve como objetivo descrever o microbioma planctônico ao longo da BS no Oceano Atlântico Sudoeste, especificamente determinando a (1) abundância, distribuição espacial e vertical, e biomassa de carbono do pico- e nanoplâncton durante o inverno de 2019 e verão 2022, (2) composição da comunidade microbiana e diversidade no inverno de 2019 pelo sequenciamento do gene RNAr 16S e (3) composição da comunidade microbiana, diversidade, influência de parâmetros oceanográficos e potencial metabólico no inverno de 2019 pelo sequenciamento metagenômico. Visando alcançar esses objetivos, amostras de DNA ambiental foram coletadas no sistema pelágico em várias

PÚBLICA

estações ao longo de toda a BS, e as técnicas de citometria de fluxo e sequenciamento de última geração (sequenciamento do gene RNAr 16S e metagenômico) foram empregadas.

III.2 Métodos

III.2.1 Atividades de campo

Amostras de água do mar (15 L) foram coletadas em garrafas de Niskin em até 6 profundidades diferentes em cada estação, e armazenadas em galões higienizados exclusivos para cada profundidade para posterior filtração e retenção do DNA ambiental. Ainda a bordo, as amostras foram filtradas utilizando uma bomba peristáltica com seis canais, sendo cada um específico para uma profundidade. Os filtros Sterivex-GP Pressure Filter Unit (Sigma-Aldrich; Missouri, EUA) de porosidade nominal 0,22 µm estéreis foram utilizados para a retenção de células microbianas de cada amostra. Ao término das filtrações foi adicionado RNAlater (Thermo Fisher Scientific Inc. Massachusetts, EUA) aos filtros Sterivex, e todo o sistema da bomba peristáltica foi esterilizado através de limpeza com álcool (70%) e água miliQ.

Simultaneamente a coleta de água do mar para retenção de micro-organismos a bordo, também foram coletadas amostras de água do mar (50 mL) em até 8 diferentes profundidades em todas as estações e armazenadas em tubos de polietileno estéreis exclusivos para cada profundidade para posterior análise por citometria de fluxo. Em seguida, 1,5 mL das amostras de água do mar foram transferidos para criotubos em triplicata, fixados com glutaraldeído (0,2 % concentração final), mantidos ao abrigo da luz em temperatura ambiente por 20 min para fixação e rapidamente congelados em nitrogênio líquido. Todas as amostras foram armazenadas no ultra-freezer (-80 ºC) até o processamento no Laboratório de Ecologia Microbiana no Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo.

PÚBLICA

III.2.2 Citometria de Fluxo

III.2.2.1 Quantificação das populações autotróficas e heterotróficas

As populações autotróficas (cel.mL-1) e heterotróficas (cel.mL-1) foram quantificadas no citômetro de fluxo Attune NxT (Thermo Fisher Scientific) equipado com os lasers azul e vermelho (488 nm e 640 nm, respectivamente) no Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo.

Os representantes dos gêneros de cianobactérias Prochlorococcus e Synechococcus, do pico-plâncton (0,2-2 µm) e do nanoplâncton (2-20 µm) eucarioto foram quantificados pela fluorescência intrínseca dos pigmentos fotossintéticos. Para esse fim, foi utilizada fluorescência nos comprimentos de onda do vermelho (BL3-concentração intracelular de clorofila, 670 nm) e laranja (BL2-concentração intracelular de ficoeritrina, 580±30 nm), simultaneamente, conforme os protocolos descritos por Marie et al., (1999, 2014) e devidamente testados na plataforma continental sudeste por Bergo et al., (2017).

Para a quantificação de bactérias e arqueias heterotróficas, o corante de DNA, SYBR Green I (concentração final de 1:10000, Invitrogen Life Technologies, USA) foi adicionado a 1% do volume total da amostra. As amostras foram incubadas por 15 min em temperatura ambiente no escuro. A quantificação de bactérias e arqueias heterotróficas foi realizada utilizando comprimentos de onda do verde (FL1-530±30 nm) com 90° scatter light side (488 ±10nm) com threshold de 500 (Marie et al., 1999). O processamento dos citogramas gerados pelo citômetro de fluxo foi feito no software FlowJoTM (FLOWJO, LCC, USA).

III.2.2.2 Conversão em biomassa de carbono e processamento dos dados

A biomassa ($\mu gC.L^{-1}$) das cianobactérias Prochlorococcus spp. e Synechococcus spp., picoplâncton eucarioto, nano-plâncton eucarioto e bactérias e arqueias heterotróficas foi calculada partir dos dados de abundância ($cel.mL^{-1}$) gerados pelo citômetro de fluxo. Os cálculos de biomassa foram feitos de acordo com os fatores de conversão volume–carbono de Caseyet al., (2013) para Prochlorococcus spp. (50 $fgC.cel^{-1}$), Synechococcus spp. (175 $fgC.cel^{-1}$), e picoplâncton eucarioto (150 $fgC.cel^{-1}$) e de acordo com Tarran et al., (2006) para

PÚBLICA

nano-plâncton eucarioto (3530 fgC.cel^{-1}) e Garrison et al., (2000) para bactérias e arqueias heterotróficas (11 fgC.cel^{-1}).

Os mapas de distribuição espacial foram elaborados utilizando o software ArcGIS Pro, pelo grupo da UNESP-Rio Claro, responsável pelo Geoprocessamento e Banco de Dados Espacial do PCR-BS. Gráficos boxplot de distribuição vertical (por profundidade) e fisiografia, e análise estatística foram feitos no software R (pacote ggplot2). Diferenças na distribuição vertical (por profundidade) e fisiografia entre o inverno de 2019 e verão de 2022 foram testadas pelo o teste de hipóteses de Wilcoxon. Regressões lineares foram realizadas entre a biomassa total de picofitoplâncton e bactérias e arqueias heterotróficas para determinar sua relação.

III.2.3 Extração do DNA ambiental das amostras de água, sequenciamento do gene RNAr 16S e metagenômico

III.2.3.1 Extração do DNA ambiental

O material genômico foi extraído de 175 amostras de água do mar utilizando o kit de extração DNeasy PowerWater Kit (QIAGEN©, Hilden, Alemanha), seguindo o protocolo de extração fornecido pelo fabricante. Contudo, uma adaptação inicial foi realizada, devido a necessidade da utilização do RNAlater para conservação do material genético: após a centrifugação do material aquoso armazenado no Sterivex, o precipitado foi ressuspendido no tampão fornecido pelo próprio fabricante. Esse tampão foi adicionado ao microtubo contendo as beads e o filtro Sterivex, na primeira etapa do protocolo de extração de DNA.

A integridade do DNA genômico foi determinada após eletroforese em gel de agarose 0,8% TRIS-EDTA, marcado com Sybr Green (Thermo Fisher Scientific, São Paulo, Brasil). A quantificação do DNA foi realizada com uso do kit Qubit dsDNA HS assay (Thermo Fisher Scientific, São Paulo, Brasil), seguindo as instruções do fabricante.

III.2.3.2 Sequenciamento do gene RNAr 16S, controle de qualidade e processamento das sequências

Alíquotas de DNA genômico foram enviadas para a empresa NGS Soluções Genômicas (Piracicaba, São Paulo, Brasil), onde foi realizado o sequenciamento

PÚBLICA

em larga escala do gene RNAr 16S na plataforma Illumina Miseq (2 x 300bp). As regiões V4-V5 do gene RNAr 16S de Bacteria e Archaea foram amplificadas utilizando os primers 515f/926r (Parada et al., 2015).

Os reads obtidos a partir do sequenciamento foram processados com o software QIIME2 versão 2019.10 (Bolyen et al., 2019). Após inspeção gráfica dos perfis de qualidade, as sequências brutas foram trimadas, filtradas e agrupadas em ASVs (Amplicon Sequence Variants) com DADA2 plugin (Callahan et al., 2016). A classificação taxonômica foi atribuída as ASVs utilizando o classificador Naive Bayes pré-treinado do banco de dados Silva v. 138.

As métricas de diversidade e filogenética foram calculadas no software R utilizando os pacotes PhyloSeq (McMurdie & Homes, 2012), ggplot2 (Wickham, 2009) e vegan (Oksanen et al., 2013). A normalização das amostras foi realizada através da curva de rarefação. As métricas de alfa diversidade (Shannon e Chao1) foram calculadas com base nas abundâncias absolutas de ASVs. Diferenças entre os grupos foram avaliados por análise de variância unidirecional (*Kruskal-Wallis on ranks test*) e posterior teste de par emparelhado de Wilcoxon post-hoc. A diversidade beta, ou seja, a estrutura da comunidade entre as profundidades, regiões e massas de água foram examinadas pela distância de Unifrac ordenada e visualizada usando análise de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS, pacote Phyloseq). A análise PERMANOVA para comparar grupos nos gráficos de nMDS foi realizada com a função adonis no pacote R vegan.

III.2.3.3 Sequenciamento metagenômico, controle de qualidade, processamento das sequências

O metagenoma permite sequenciar o DNA total das comunidades microbianas, ou seja, todos os genes de todos os organismos presentes em uma amostra ambiental. Assim, é possível inferir, o potencial metabólico e os ciclos biogeoquímicos associados a comunidade microbiana. Neste trabalho, a seleção de 64 amostras para a o sequenciamento metagenômico foi realizada com base nos resultados do sequenciamento do gene RNAr 16S. As bibliotecas foram construídas utilizando Nextera DNA Flex Library Preparation Kit (Illumina, EUA) de acordo com as recomendações do fabricante. O controle de qualidade da

PÚBLICA

biblioteca e os procedimentos de quantificação foram realizados usando o High Sensitivity D5000 ScreenTape Assay Kit em um sistema 4200 TapeStation (Agilent, EUA). Para cada execução de sequenciamento, as bibliotecas foram agrupadas por volume e o sequenciamento foi conduzido em um sistema NextSeq 500 usando um NextSeq 500/550 High Output Kit v2.5 (300 ciclos) (Illumina, EUA), com o sistema configurado para produzir reads de 2x150 bp. As bibliotecas e o sequenciamento foram feitos no Laboratório de Bioinformática (LABINFO) do Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) coordenado pela Dra. Ana Teresa Vasconcelos. O controle de qualidade (trimagem e mapeamento) e as inferências taxonômicas foram realizadas na plataforma SABIÁ 2.0, Laboratório de Bioinformática (LABINFO/LNCC). Os reads obtidos através da plataforma Illumina NextSeq 500 foram primeiramente filtrados utilizando o software BBduk (incorporado ao software BBMap, v.38.81 - https://github.com/BioInfoTools/BBMap) para o controle de qualidade, ou seja, remoção de sequências de baixa qualidade (menores que 50 bp e Phred score < 20) e adaptadores do Illumina e phiX174, seguindo os parâmetros: minlength = 50, mink = 8, qout = auto, hdist = 1, k = 31, trimq = 10, qtrim = rl, ktrim = l, minavgquality = 20 e statscolumns = 5. Após a filtragem inicial, as sequências de alta qualidade foram alinhadas contra o genoma Humano de referência H. sapiens GRCh38 v.38 (disponível no banco de dados NCBI), para eliminar possíveis contaminantes resultantes dos processos de coleta e/ou extração de DNA. O mapeamento foi feito através do software Bowtie 2.4.1 (Langmead & Salzberg, 2012), aplicando a opção “very sensitive”.

A classificação taxonômica foi atribuída aos reads utilizando o banco de dados PlusPFP v. Jan 2021 no software Kraken 2.0 (Wood et al., 2019). Os dados foram exportados com o plugin ‘Comparativo. Para as análises em nível de gênero, espécies com abundância relativa menor que 0.0001% foram removidas e a normalização das amostras foi realizada através da curva de rarefação usando o critério de 662.880 reads/amostra. As métricas de diversidade alfa (Índice de Shannon) e beta (estrutura da comunidade) foram calculadas no software R utilizando os pacotes PhyloSeq (McMurdie & Holmes, 2012), ggplot2 (Wickham, 2009), vegan (Oksanen et al., 2013) e microbiome. A diversidade beta, ou seja, a estrutura da comunidade entre as profundidades e

PÚBLICA

regiões pelágicas foram examinadas pela distância de Bray-Curtis, ordenada e visualizada usando análise de análise de coordenadas principais (PcoA). Para identificar os gêneros diferencialmente abundantes foi utilizado o método LEfSe baseado em análise discriminante (Segata et al.,2011). O LDA Score (>4.5) é um indicativo de uma abundância maior e significativa de um grupo nessa profundidade comparada. A análise de redundância baseada em distância (distance-based redundancy analysis, dbRDA) foi realizada para investigar os fatores ambientais (salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido, clorofila-a nitrito, nitrato, fosfato e silicato) influenciando a estrutura da comunidade microbiana (pacote vegan). Antes de executar a análise, os parâmetros físico-químicos foram normalizados para tornar a soma dos quadrados igual a um. O teste ANOVA foi utilizado para testar a significância do modelo dbRDA e identificar o melhor conjunto de variáveis explicativas ($p < 0,05$) para análise dbRDA.

A anotação funcional do potencial metabólico relacionado aos ciclos biogeoquímicos foi realizada no Laboratório de Ecologia Microbiana (LECOM), coordenado pela Profa. Dra. Vivian H. Pellizari, localizado no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP). Os reads filtrados foram anotados utilizando o Metagenomics RAST server (MG-RAST) (Meyer et al., 2008), de acordo com o pipeline da versão 4.04. O MG-RAST fornece um controle de qualidade das sequências que consiste em remover sequências duplicadas e selecionar sequências de acordo com sua qualidade e tamanho. Foram selecionados os reads com tamanho maior que 80pb e Phred score maior que 30. Os perfis funcionais e taxonômicos foram gerados através das classificações de subsistemas e classificações com melhor hit, por meio do SEED subsystem com os parâmetros 1x105 e-value, mínimo de alinhamento de 50bp e 60% de identidade. Foi gerada uma tabela contendo a frequência de hits para cada subsistema (função) para cada amostra. Os valores foram normalizados para abundância relativa para remover possíveis vieses quanto aos diferentes tamanhos dos reads e esforços de sequenciamento. Os dados gerados pelo MG-RAST foram analisados no software R utilizando os pacotes ggplot2 (Wickham, 2009) e vegan (Oksanen et al., 2013).

PÚBLICA

III.3 Resultados

III.3.1 Abundância, Distribuição Espacial e Vertical, e Biomassa de Carbono do Pico- e Nanoplâncton durante o inverno de 2019 e verão 2022

Synechococcus spp. foi mais abundante nas camadas superficiais nas estações mais internas da plataforma continental no inverno de 2019 e verão de 2022, diminuindo com o aumento da profundidade (Figura III.3.1-1A). Durante o inverno de 2019, maiores concentrações de células foram registradas nas estações próximas a Baía de Guanabara (estações G1 e G2, 9,44 $\times 10^5$ e 1,14 $\times 10^5$ cél.mL^{-1}, respectivamente), Iguape (estação C1, 8,14 $\times 10^4$ cél.mL^{-1}), São Sebastião (estação E1, 6,09 $\times 10^4$ cél.mL^{-1}), Paranaguá (estação B1, 5,44 $\times 10^4$ cél.mL^{-1}) e Santos (estação D1, 4,99 cél.mL^{-1}) (Figura III.3.1-1A). No verão de 2022, *Synechococcus spp*. também foi mais abundante na superfície das estações próximas a Cabo Frio (estação H1, 1,58 $\times 10^5$ cél.mL^{-1}), Paranaguá (estação B1, 1,38 $\times 10^5$ cél.mL^{-1}) e Baía de Guanabara (estações G1, 1,24 $\times 10^5$ cél.mL^{-1}) (Figura III.3.1-1A). Contudo, diferente do inverno de 2019, no verão de 2022, *Synechococcus spp*. foi dominante na PMC ao longo da plataforma continental (Figura III.3.1-1A). Mediana com valor máximo de células foi registrada na superfície em todas as estações, sendo que, mediana máxima e significativa ($p < 0,05$) foi registrada no inverno de 2019 (Figura III.3.1-4). As maiores concentrações foram confinadas principalmente na plataforma continental, particularmente sobre influência das massas de água costeira, de mistura e água tropical (Figura III.3.1-5).

Prochlorococcus spp. foi abundante principalmente na PMC e aproximadamente em 100m de profundidade nas estações oceânicas tanto no inverno de 2019 e no verão de 2022 (Figura III.3.1-1B). Na superfície foram registradas poucas células ou nenhuma, Figura III.3.1-1B. Durante o inverno de 2019, as maiores concentrações de células foram registradas na PMC das estações oceânicas ao norte da Bacia de Santos (E8 e H6, 7,13 $\times 10^5$ e 5,71 $\times 10^5$ cél.mL^{-1}, respectivamente). No verão de 2022, *Prochlorococcus spp.* também foi dominante na PMC ao longo de todas as estações distribuídas na região

PÚBLICA

oceânica, com o registro de maior concentração nas estações ao sul da Bacia de Santos, próximo a Paranaguá e ao rio Itajaí (estações B4, B5 e A5, $6{,}21\times10^5$, $3{,}06\times10^5$ e $2{,}82\times10^5$ cél.mL^{-1}, respectivamente). Mediana com valor máximo e significativo ($p< 0{,}05$) de células foi registrada na PMC em todas as estações no verão de 2022 (Figura III.3.1-4). As maiores concentrações foram confinadas às regiões de plataforma e talude, particularmente sobre influência da ACAS (Figura III.3.1-5).

As populações de picoplâncton eucarioto foram mais abundantes nas camadas superficiais e na PMC nas estações mais internas da plataforma continental no inverno de 2019 e verão de 2022, diminuindo com o aumento da profundidade (Figura III.3.1-2A). Durante o inverno de 2019, maiores concentrações de células foram registradas na massa de água costeira nas estações próximas a Iguape (estação C1, $1{,}01\times10^4$ cél.mL^{-1}, respectivamente) e a Baía de Guanabara (estações G2 e G1, $9{,}27\times10^3$ e $7{,}98\times10^3$ cél.mL^{-1}, respectivamente) (Figura III.3.1-2A). No verão de 2022, o picoplâncton eucarioto foi abundante na PMC das estações costeiras ao longo de toda a Bacia de Santos (Figura III.3.1-2A). Maiores concentrações de células foram registradas nas estações do transecto próximo a Paranaguá (estações B1, B4 e B5, $2{,}02\times10^5$, $6{,}04\times10^4$ e $7{,}38\times10^4$ cél.mL^{-1}, respectivamente) e São Sebastião (estação E1, $6{,}12\times10^4$ cél.mL^{-1}) (Figura III.3.1-2A). Mediana com valor máximo e significativo ($p< 0{,}05$) de células foi registrado na superfície em todas as estações no inverno de 2019 (Figura III.3.1-4). As maiores concentrações foram confinadas principalmente na plataforma continental, particularmente sobre influência de massa de água costeira, de mistura e água tropical (Figura III.3.1-5).

PÚBLICA

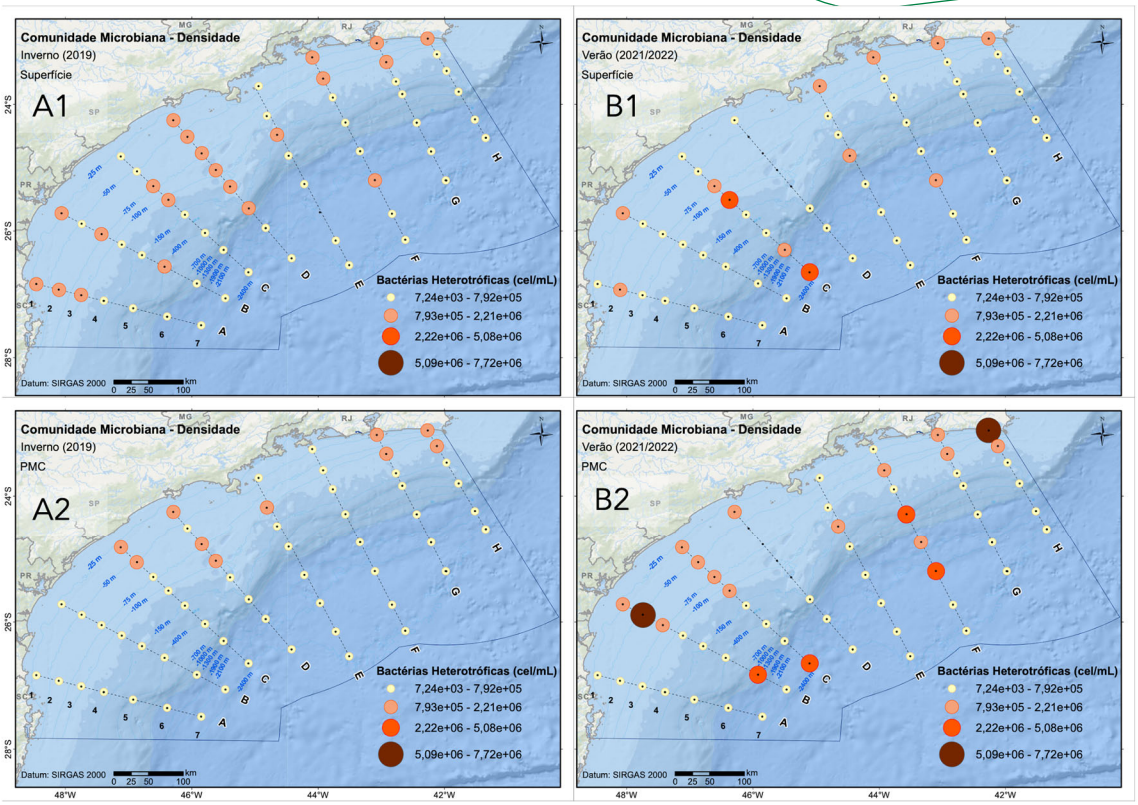


Figura III.3.1-1: *Distribuição de (A e B) Synechococcus spp e (C e D) Prochlorococcus ssp na (1) superfície e na (2) PMC durante o (A e C) inverno de 2019 e (B e D) verão 2022 ao longo do gradiente litoral-oceânico na Bacia de Santos.*

Numericamente, as populações de bactérias e arqueias heterotróficas foram dominantes neste estudo (Figura III.3.1-3). As maiores abundâncias ocorreram na superfície e na PMC nas estações da plataforma continental no inverno de 2019 e verão de 2022 (Figura III.3.1-3). Durante o inverno de 2019, maiores concentrações de células foram registradas na superfície plataforma continental ao longo de toda a Bacia de Santos, principalmente nas estações próximas a Baía de Guanabara (G1 e G2, $1{,}41\times10^{6}$ e $1{,}34\times10^{6}$ cél.mL^{-1}, respectivamente), Angra dos Reis (F1, $1{,}33\times10^{6}$ cél.mL^{-1}), Santos (D1 $1{,}33\times10^{6}$ cél.mL^{-1}) e Cabo Frio (F1, $1{,}26\times10^{6}$ cél.mL^{-1}) (Figura III.3.1-3).

PÚBLICA

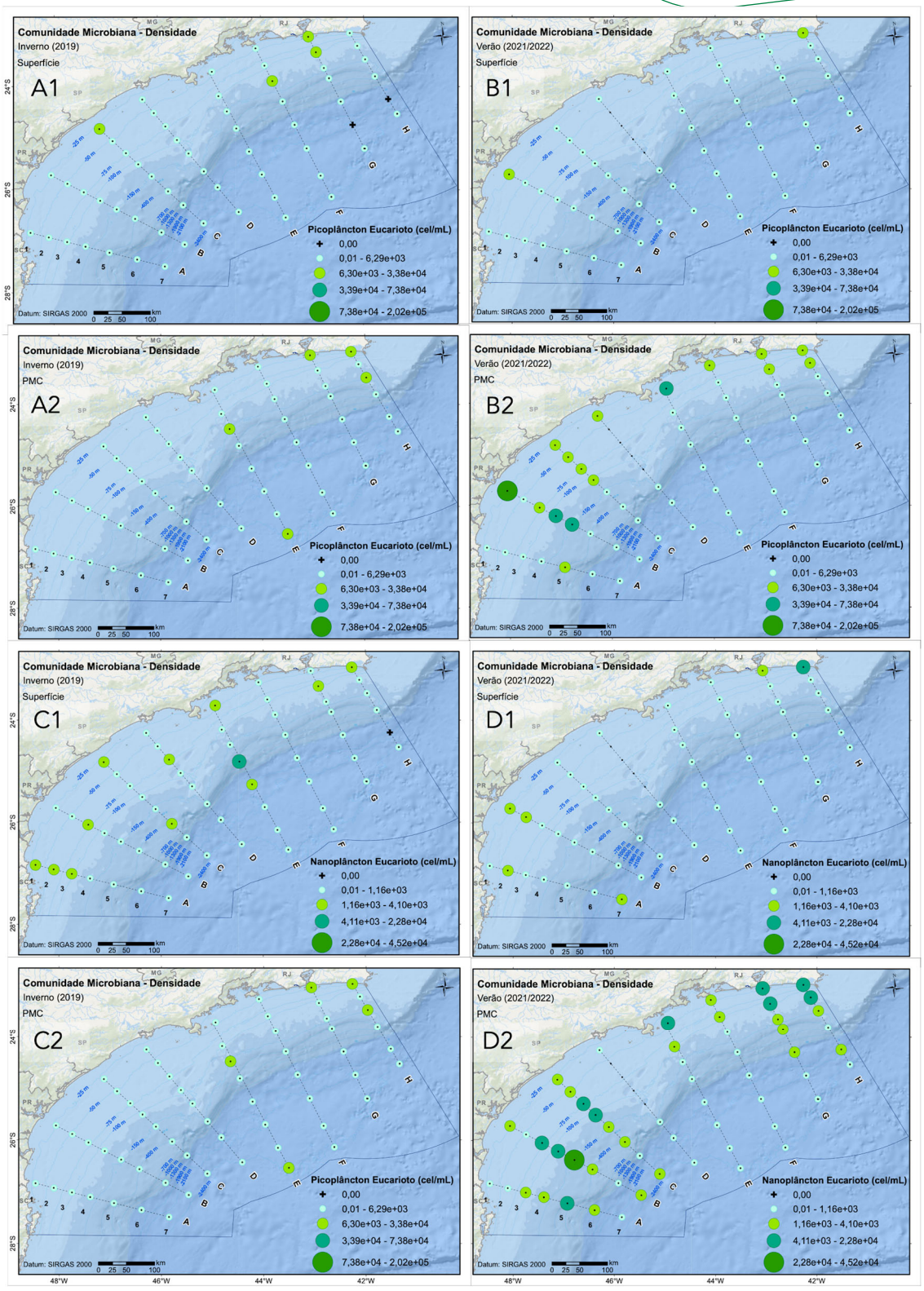


Figura III.3.1-2: *Distribuição de (A e B) picoplâncton e (C e D) nanoplâncton eucarioto na (1) superfície e na (2) PMC durante o (A e C) inverno de 2019 e (B e D) verão 2022 ao longo do gradiente litoral-oceânico na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

No verão de 2022, maiores concentrações de células foram registradas na PMC nas estações da plataforma próximo a Paranaguá (B2 e B1, 7,77 $\times 10^6$ e 2,21 $\times 10^6$ cél.mL^{-1}) e Cabo Frio (H1, 7,52 $\times 10^6$ cél.mL^{-1}) (Figura III.3.1-3). Mediana com valor máximo e significativo ($p < 0,05$) de células foi registrada em todas as estações, na PMC durante o verão de 2022 (Figura III.3.1-4). As maiores concentrações foram confinadas à plataforma continental da Bacia de Santos, principalmente sobre influência das massas de água costeira, de mistura e água tropical (Figura III.3.1-5).

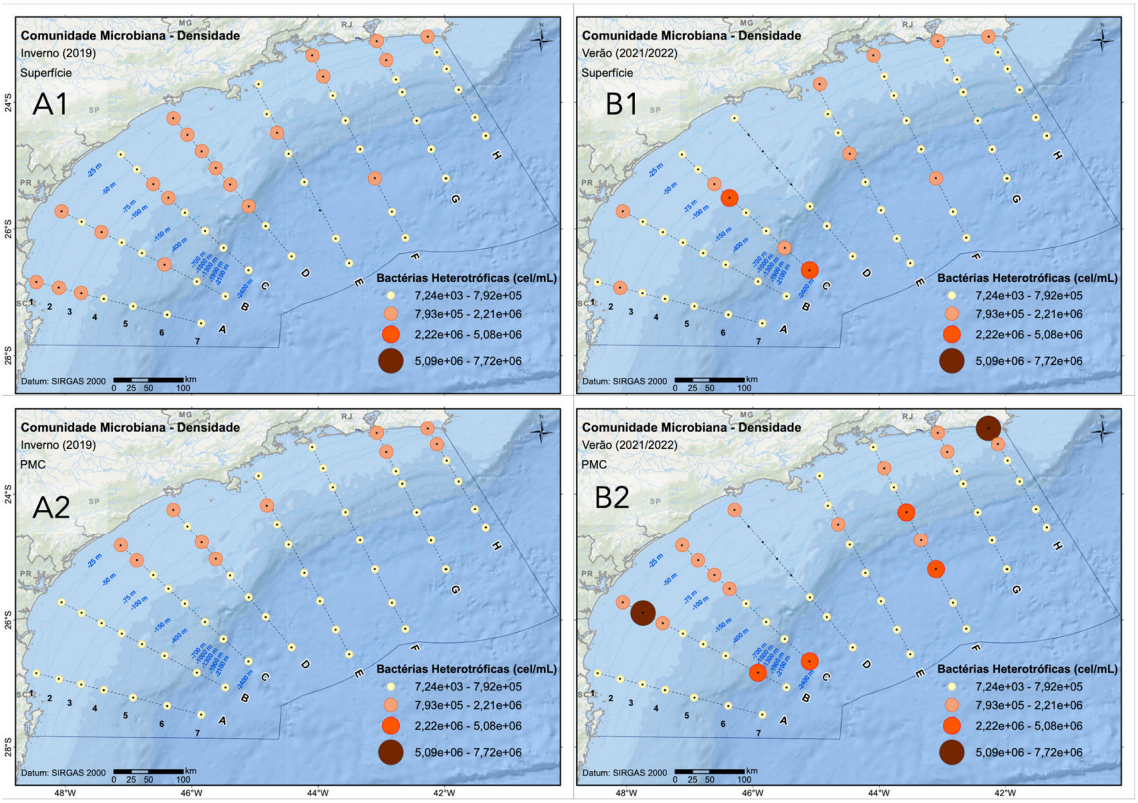


Figura III.3.1-3: *Distribuição de bactérias e arqueias heterotróficas na (1) superfície e na (2) PMC durante o (A) inverno de 2019 e (B) verão 2022 ao longo do gradiente litoral-oceânico na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

Se considerarmos a distribuição do total de comunidades picofitoplânctônicas (*Synechococcus spp, Prochlorococcus ssp* e picoplâncton eucarioto), elas exibiram padrões espaciais semelhantes às bactérias e arqueias heterotróficas, com maior abundância celular na superfície e na PMC ao longo de toda a Bacia de Santos, nas massas de água Tropical, de mistura e no limite superior da ACAS (Figuras III.3.-1, III.3.1-2 e III.3.1-3). Além disso, a abundância de bactérias e arqueias heterotróficas foi positivamente correlacionada com a abundância do picofitoplâncton (p< 0,05) (Figura III.3.1-6).

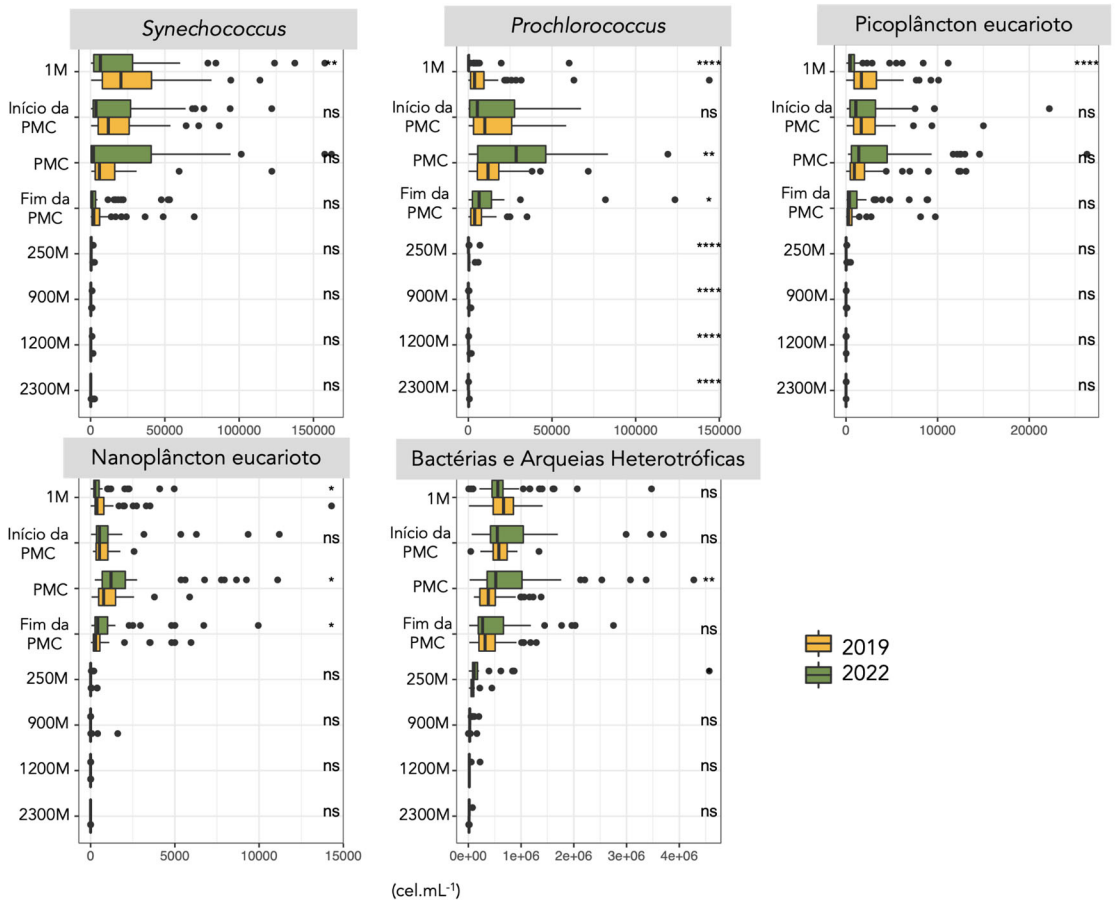


Figura III.3.1-4 *Distribuição vertical de Synechococcus ssp, Prochlorococcus ssp, picoplâncton e nanoplâncton eucarioto, e bactérias e arqueias heterotróficas durante o inverno de 2019 (amarelo) e verão 2022 (verde) na Bacia de Santos. Teste hipótese de Wilcoxon entre os anos de 2019 e de 2022: não significativo (ns) e significativo (*, p< 0.05).*

PÚBLICA

Para biomassa de carbono, as bactérias heterotróficas foram dominantes tanto no inverno de 2019 quanto no verão de 2022 (média de 38,38% e 35,09%, respectivamente). Em relação à biomassa autotrófica total no inverno de 2019, o nanoplâncton eucarioto correspondeu a 32,20 ± 19,83% da biomassa seguido por picoplâncton eucarioto 29,62 ± 18,24%, *Synechococcus spp* (29,51± 18,18%) e *Prochlorococcus ssp* (8,73± 5,38%) (Tabela III.3.1-1)). Já no verão de 2022, a biomassa de autotrófica total dominante foi do picoplâncton eucarioto com 40,55 ± 26,33% da biomassa, seguido por nanoplâncton eucarioto 31,82 ± 20,66%, *Synechococcus spp* (22,35± 14,52%) e *Prochlorococcus ssp* (5,27± 3,42%) (Tabela III.3.1-1).

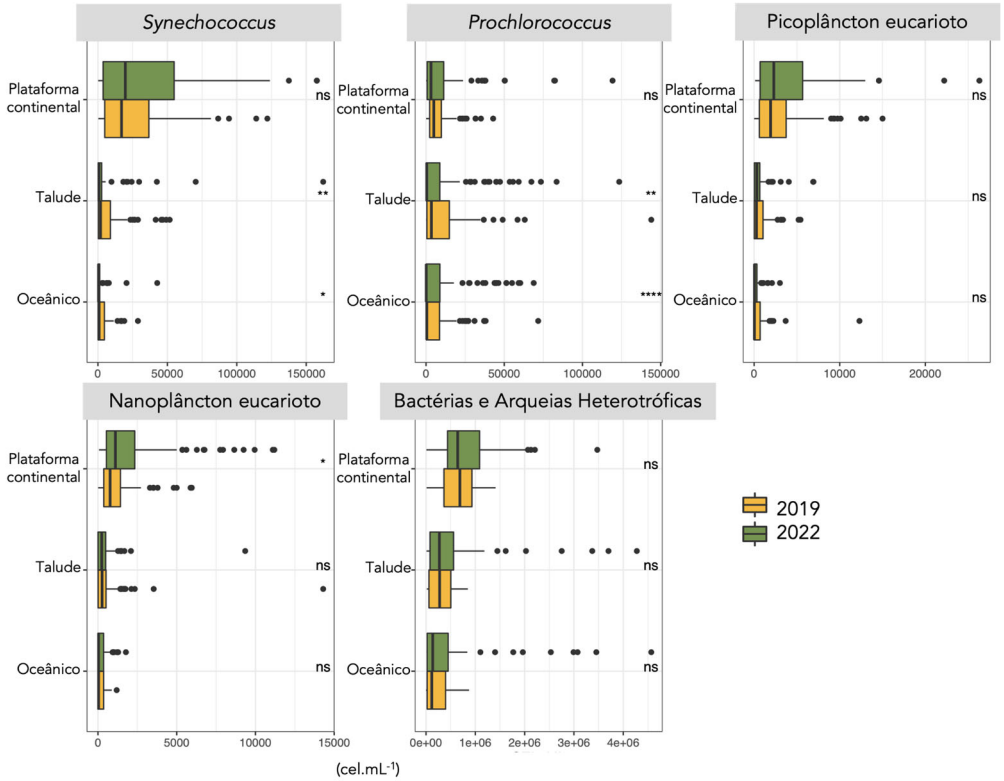


Figura III.3.1-5 *Distribuição de Synechococcus spp, Prochlorococcus ssp, picoplâncton e nanoplâncton eucarioto, e bactérias e arqueias heterotróficas na plataforma continental, talude e região oceânica durante o inverno de 2019 (amarelo) e verão 2022 (verde) na Bacia de Santos. Teste hipótese de Wilcoxon entre os anos de 2019 de 2022: não significativo (ns) e significativo (*, p< 0.05).*

PÚBLICA

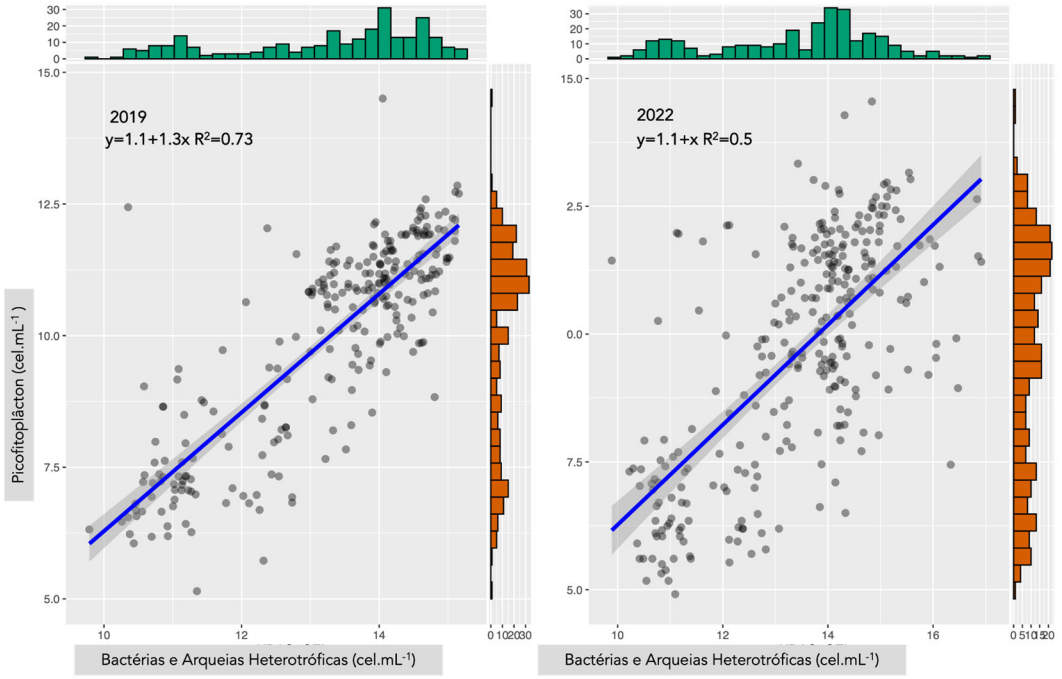


Figura III.3.1-6: *Relação entre a abundância (cél.mL^{-1}) do picofitoplâncton (Synechococcus, Prochlorococcus e picoplâncton eucariotos), e bactérias e arqueias heterotróficas. A regressão linear é estatisticamente significativa (p < 0,05).*

Tabela III.3.1-1: *Comparação da contribuição da biomassa de carbono (%) do picoplâncton para cada grupo (Synechococcus spp., Prochlorococcus spp., picoplâncton e nanoplâncton eucarioto e bactérias e arqueias heterotróficas) entre o presente estudo e Ribeiro et al. (2016) e Bergo et al. (2017) na Bacia de Santos, respectivamente.*

Grupo do picoplâncton	Biomassa de Carbono (%) na Bacia de Santos							
	Ribeiro *et al.*, 2016		Bergo *et al.*, 2017		Estudo atual			
	Primavera de 2013		Verão de 2013		Inverno de 2019		Verão de 2022	
Synechococcus spp.	12,74	20,74	14,57	26,39	18,18	29,51	14,52	22,35
Prochlorococcus spp.	29,78	48,46	2,29	4,14	5,38	8,73	3,42	5,27
Picoplâncton eucarioto	4,02	5,24	19,49	35,39	18,24	29,62	26,33	40,55
Nanoplâncton eucarioto	7,43	9,69	18,86	34,16	19,83	32,20	20,66	31,82
Bactérias e arqueias heterotróficas	23,31	-	44,79	-	38,38	-	35,09	-

PÚBLICA

III.3.2 Composição e Diversidade da Comunidade Microbiana pelo Sequenciamento do Gene RNAr 16S

III.3.2.1 Pré-processamento e classificação taxonômica das sequências obtidas

O sequenciamento gerou 9.161.310 *reads* distribuídos entre as 175 amostras coletadas na BS. Após filtrar as *reads* classificadas como eucariotos, cloroplastos, mitocôndrias ou não classificados a nenhum domínio taxonômico, foram obtidas 7.070.813 *reads* atribuídas a 20.318 *amplicon sequence variants* (ASVs).

A análise das sequências do gene RNAr 16S das amostras do ambiente pelágico da BS mostrou que 93,8% de suas comunidades microbianas são representadas pelo domínio Bacteria e 6.18% pelo domínio Archaea. O filo dominante do domínio Bactéria foi Proteobacteria (45,5%, classes Alpha- e Gammaproteobacteria), seguido por Bacteroidetes (8,24%), Planctomycetota (7,24%) e Cyanobacteria (4,75%) (Figura III.3.2.1-1). As comunidades de Archaea foram principalmente assinadas aos filos Crenarchaeota (21,7%, classe Nitrososphaeria) e Thermoplasmatota (Figura III.3.2.1-1).

Na zona batipelágica (1200m-2300m de profundidade), a classe mais abundante foi Nitrososphaeria (37-21%, ordem Nitrosopumilales) seguido de Gammaproteobacteria (31-20%, famílias Alteromonadaceae e Pseudoalteromonadaceae), Alphaproteobacteria (23-19%, famílias SAR11 clade I e SAR11 clade II), Bacteroidia (6-5%, família Flavobacteriaceae), Planctomycetes (5-3%, família Pirellulaceae), Thermoplasmata (6-2%, família Marine_Group_II) e Marinimicrobia_(SAR406_clade) (3-1%, família SAR406_clade) (Figura III.3.2.1-2).

A nível de classe, Alphaproteobacteria (47,3-44,5%, famílias SAR11 clade I e SAR11 clade II) foi o grupo mais abundante na zona epipelágica (0-200m de profundidade, superfície e PMC) seguido de Bacteroidia (13,6-13%, família Flavobacteriaceae), Gammaproteobacteria (11,3-10,9%, família SAR86_clade), Cyanobacteriia (13,9-7,8%, família Cyanobiaceae), Acidimicrobiia (4,7-4,5%, família Actinomarinaceae) e Nitrososphaeria (5,5-1,06%, família Nitrosopumilaceae) (Figura III.3.2.1-2).

PÚBLICA

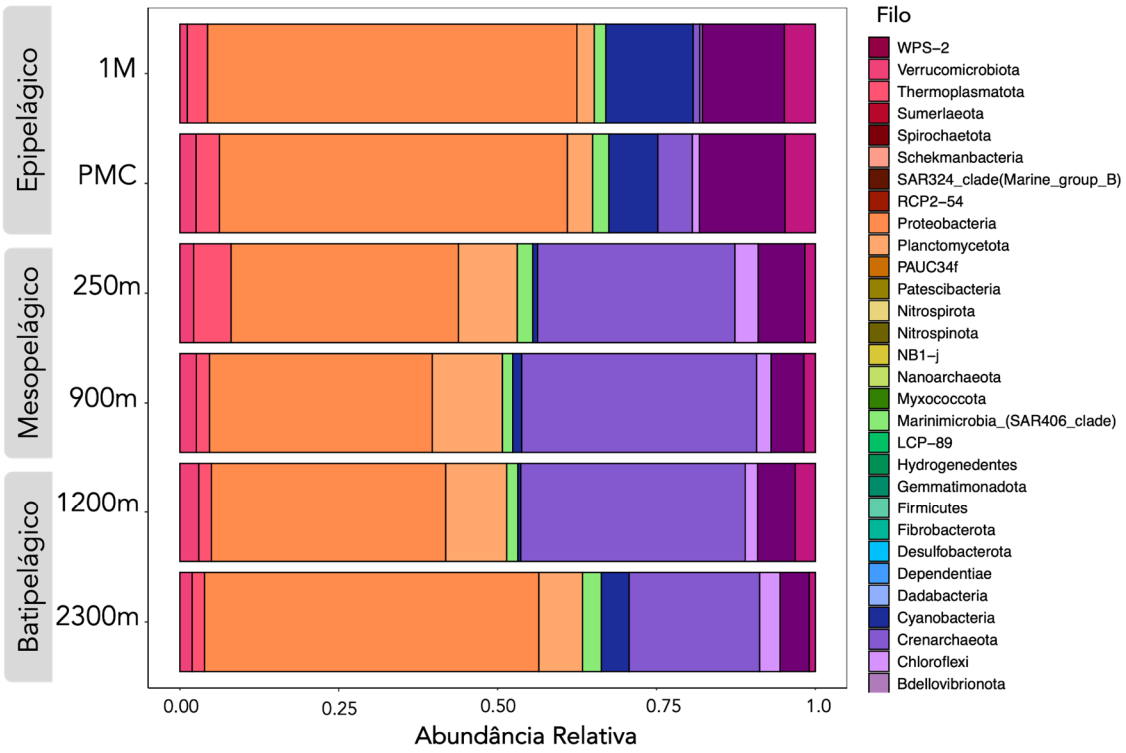


Figura III.3.2.1-1: Perfil vertical evidenciando a abundância relativa dos filos mais representativos (abundância superior à 0,1%) na superfície (SFR), na camada máxima de clorofila (DCM), 250m, 900m, 1200m e 2300m de profundidade na Bacia de Santos.

A nível de classe, Alphaproteobacteria (47,3-44,5%, famílias SAR11 clade I e SAR11 clade II) foi o grupo mais abundante na zona epipelágica (0-200m de profundidade, superfície e PMC) seguido de Bacteroidia (13,6-13%, família Flavobacteriaceae), Gammaproteobacteria (11,3-10,9%, família SAR86_clade), Cyanobacteriia (13,9-7,8%, família Cyanobiaceae), Acidimicrobiia (4,7-4,5%, família Actinomarinaceae) e Nitrososphaeria (5,5-1,06%, família Nitrosopumilaceae) (Figura III.3.2.1-2).

Na zona mesopelágica (200-900m de profundidade), as classes prevalentes foram Nitrosophaeria (39-32%, família Nitrosopumilaceae), Alphaproteobacteria (21%, famílias SAR11 clade I e SAR11 clade II), Gammaproteobacteria (16-15%, famílias Alteromonadaceae e Pseudoalteromonadaceae), Bacteroidia (7-5%, família Flavobacteriaceae), Planctomycetes (7-6%, família Pirellulaceae) e Planctomycetes (7-6%, família Pirellulaceae) e Thermoplasmata 6-2%, família Marine_Group_II) (Figura III.3.2.1-2).

PÚBLICA

Na zona batipelágica (1200m-2300m de profundidade), a classe mais abundante foi Nitrososphaeria (37-21%, ordem Nitrosopumilales) seguido de Gammaproteobacteria (31-20%, famílias Alteromonadaceae e Pseudoalteromonadaceae), Alphaproteobacteria (23-19%, famílias SAR11 clade I e SAR11 clade II), Bacteroidia (6-5%, família Flavobacteriaceae), Planctomycetes (5-3%, família Pirellulaceae), Thermoplasmata (6-2%, família Marine_Group_II) e Marinimicrobia_(SAR406_clade) (3-1%, família SAR406_clade) (Figura III.3.2.1-2).

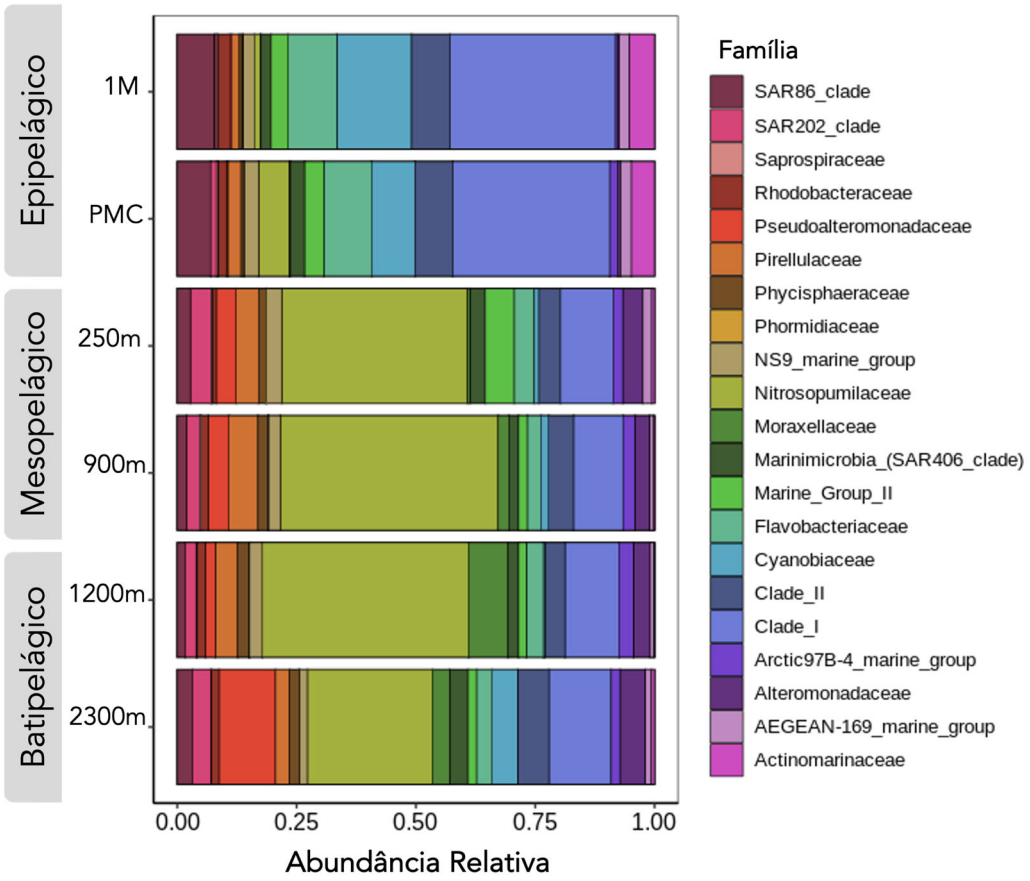


Figura III.3.2.1-2: *Perfil vertical evidenciando a abundância relativa das famílias mais representativos (abundância superior à 0,1%) na superfície (SFR), na camada máxima de clorofila (DCM), 250m, 900m, 1200m e 2300m de profundidade na Bacia de Santos.*

III.3.2.2 Estimativas de diversidade e estrutura da comunidade

Os índices de riqueza (Chao1) e diversidade (Shannon) foram estatisticamente diferentes entre as profundidades amostradas (teste de Kruskal-Wallis, p> 0,005 (Figura III.3.2.2-1) ao longo da BS. Além disso, os

PÚBLICA

índices de Shannon e Chao1 foram significativamente maiores em amostras coletadas na região oceânica (teste de Kruskal-Wallis, p< 0,01) em comparação com amostras da região costeira.

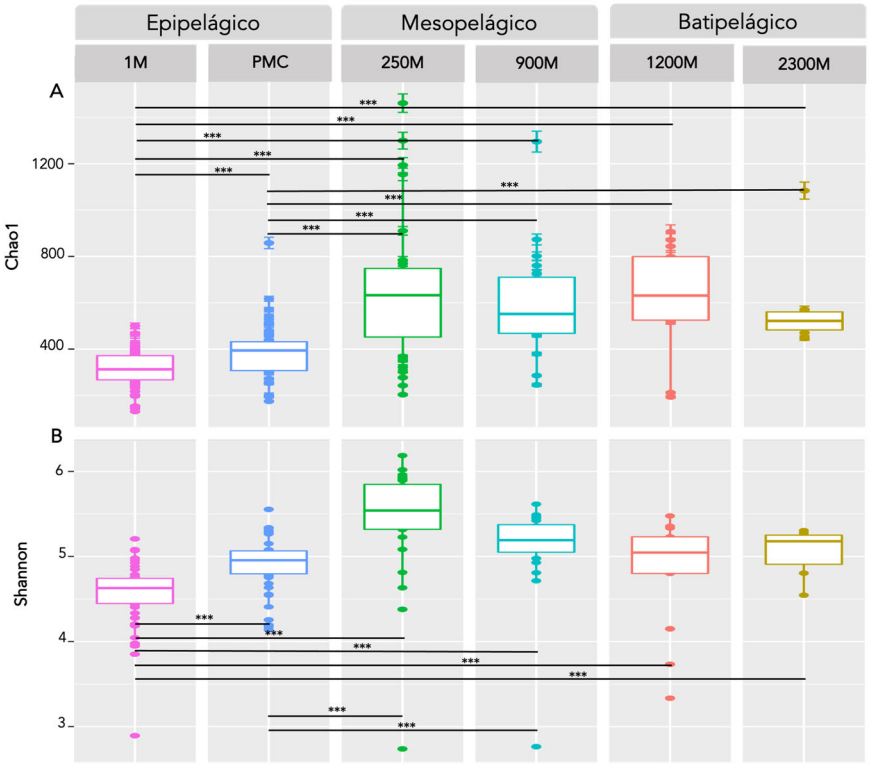


Figura III.3.2.2-1: *Índices de (A) Chao1 e (B) Shannon de comunidades microbianas nas zonas pelágicas na Bacia de Santos. Comparações pareadas foram realizadas usando o teste de hipóteses Wilcoxon. 1M - superfície e PMC - profundidade máxima de clorofila.*

Comparações pareadas dos índices de Shannon e Chao1 indicaram que: (i) o índice Chao1 das amostras da zona epipelágica (1m e PMC) foi significativamente menor comparado às amostras de 250m, 900m, 1200m e 2300m (teste de Wilcoxon, p> 0,05 (Figura III.3.2.2-1); (ii) não houve diferenças significativas no índice de Chao1 entre amostras de 250m, 900m, 1200m e 2300m; (iii) o índice de Shannon das amostras de superfície (1m de profundidade) menor comparado às outras profundidades; (iv); o índice de Shannon das amostras de na profundidade máxima de clorofila (PMC) foi significativamente menor que as amostras de 250m e 900m; (v) o índice de Shannon das amostras de 250m de profundidade foi significativamente maior comparado às outras profundidades; (vi) não houve diferenças significativas no

PÚBLICA

índice de Shannon entre amostras de 900m, 1200m e 2300m (Figura III.3.2.2-1).

A estrutura da comunidade microbiana foi explorada pela distância Unifrac e ordenada pelo nMDS. O nMDS mostra que as comunidades microbianas são claramente separadas por profundidade amostrada (estresse:0,01; PERMANOVA, r^2=0,22, p= 0,001), massas de água (PERMANOVA, r^2=0,06, p=0,001) e região oceânica e costeira (PERMANOVA, r^2=0,01, p= 0,001) ao longo de toda a BS (Figura III.3.2.2-2). Além disso, a amostra coletada durante o *bloom* de Trichodesmium ficou agrupada próximo às amostras de superfície.

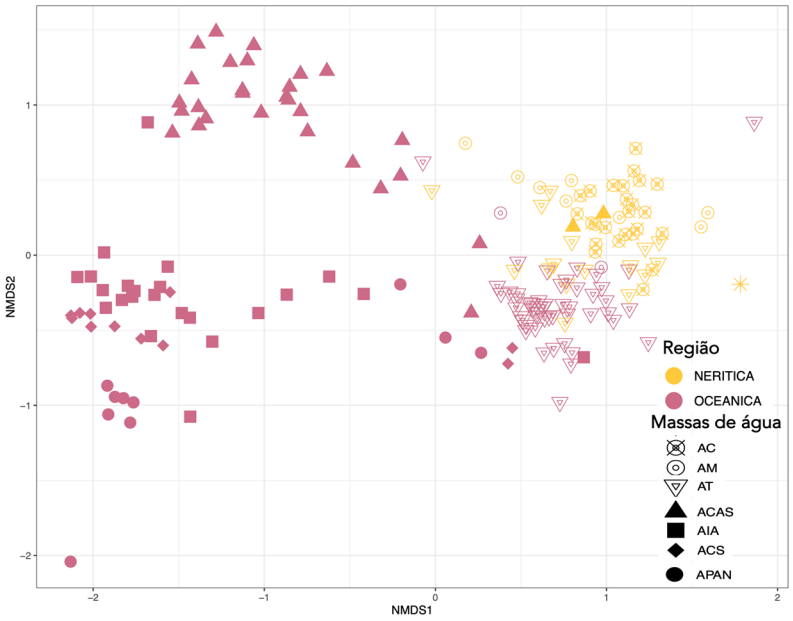


Figura III.3.2.2-2: *Escalonamento Multidimensional Não Métrico (nMDS) da comunidade microbiana pelágica nas regiões nerítica e oceânica na Bacia de Santos (estresse = 0,01). Os símbolos representam as massas de água: Água Costeira (AC), Água de Mistura (AM), Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Circumpolar Superior (ACS) e Água de Fundo Antártica (APAN). O símbolo asterisco representa a amostra coletada durante o bloom de Trichodesmium.*

PÚBLICA

III.3.3 Composição da comunidade microbiana, diversidade, influência de parâmetros oceanográficos e potencial metabólico no inverno de 2019 pelo sequenciamento metagenômico

O metagenoma de 64 amostras coletadas no inverno de 2019 e distribuídas em um perfil vertical no sistema pelágico (epipelágico, mesopelágico e batipelágico) da BS foi sequenciado (Anexo III-1). O número médio de *reads* com alta qualidade (*phred score* ≥ 20) variou entre ~15.000.000 até ~ 18.000.00 por amostra, sendo que os valores de CQ (Controle de Qualidade) indicaram um aproveitamento de mais de 88% do conjunto total dos dados.

III.3.3.1 Composição da comunidade microbiana

Assim como a análise do sequenciamento do gene RNAr 16S, a análise do sequenciamento do metagenoma pode nos fornecer a informação taxonômica da comunidade com a vantagem de maior resolução taxonômica, já que com essa abordagem é possível identificar os micro-organismos até o nível de espécie. Proteobacteria, Cyanobacteria, Thaumarchaeota, Bacteroidetes e Actinobacteria foram os filos mais abundantes no sistema pelágico da BS, Figura III.3.3.1-1. Similar ao resultado do sequenciamento via RNAr 16S, alguns filos foram dominantes em profundidades específicas. O filo Cyanobacteria foi abundante nas amostras da zona epipelágica (35,52±12,79% e 21,78±12,69% em 1m de profundidade e na PMC, respectivamente) comparado com as amostras da zona mesopelágica e batipelágica (5,35±5,10% e 4,38±8,33% em 900m e 2300m de profundidade, respectivamente), Figura III.3.3.1-1. Representantes do filo Proteobacteria tiveram o mesmo padrão de distribuição descrito para Cyanobacteria. Por outro lado, o filo Thaumarchaeota foi mais abundante nas amostras da zona mesopelágica, nas profundidades de 250m (17,09±8,97%) e 900m (13,98±4,79%), do que na zona epipelágica (1,93±3,33% e 7,42±5,58% em 1m de profundidade e na PMC, respectivamente), Figura III.3.3.1-1. Representantes dos filos Bacteroidetes e Firmicutes apresentaram um valor similar de abundância ao longo de toda a coluna de água, Figura III.3.3.1-1.

PÚBLICA

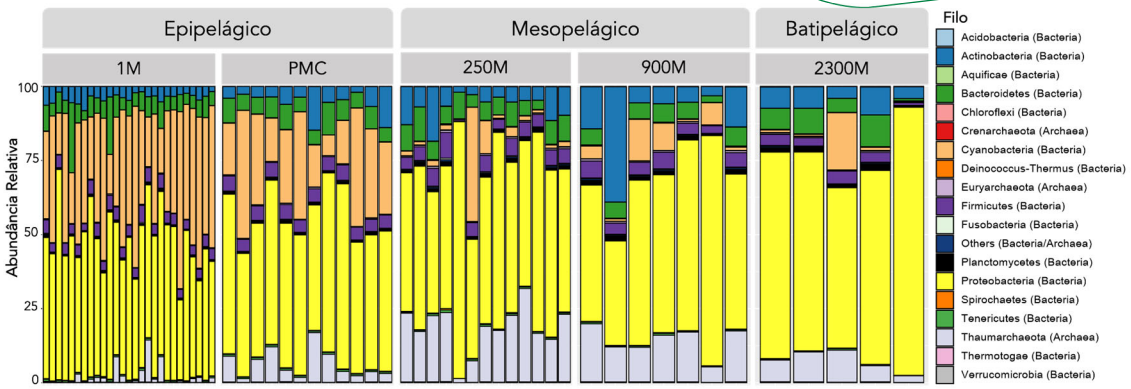


Figura III.3.3.1-1: *Abundância relativa dos filos em um perfil de distribuição vertical nas zonas pelágicas (epipelágica: superfície e PMC - profundidade máxima de clorofila; mesopelágica: 250m, 900m; batipelágica: 2300m) da Bacia de Santos.*

A análise de abundância diferencial em nível de gênero foi realizada para termos uma visão taxonômica mais aprofundada do sistema pelágico da BS, Figura III.3.3.1-2. Devido à alta diversidade de gêneros identificados pelos dados metagenômicos (2,232 gêneros) a análise de abundância diferencial permitiu identificar os gêneros com maior potencial ecológico relacionados a cada zona pelágica. As amostras da zona epipelágica (1m de profundidade e PMC) tiveram abundância diferencial significativa nos gêneros *Candidatus Pelagibacter, Synechococcus* e *Prochlorococcus* com alto LDA Score (>4,5, indicativo de abundância maior e significativa) em relação às zonas meso- e batipelágicas. Além disso, a análise de abundância diferencial também permitiu identificar possíveis nichos de grupos de Archaea, uma vez que diferentes gêneros de Thaumarchaeota apresentaram abundância diferencial significativa com preferência por diferentes profundidades da na zona mesopelágica da BS. *Candidatus Nitrosopelagicus* e *Candidatus Nitrosomarinus*, por exemplo, foram associadas com 250m de profundidade, enquanto *Nitrosopumilus*, *Candidatus Nitrosotenuis* e *Nitrosarchaeum* foram diferencialmente abundantes em amostras de 900 m profundidade, Figuras III.3.3.1-2B e II.3.3.1-2C.

PÚBLICA

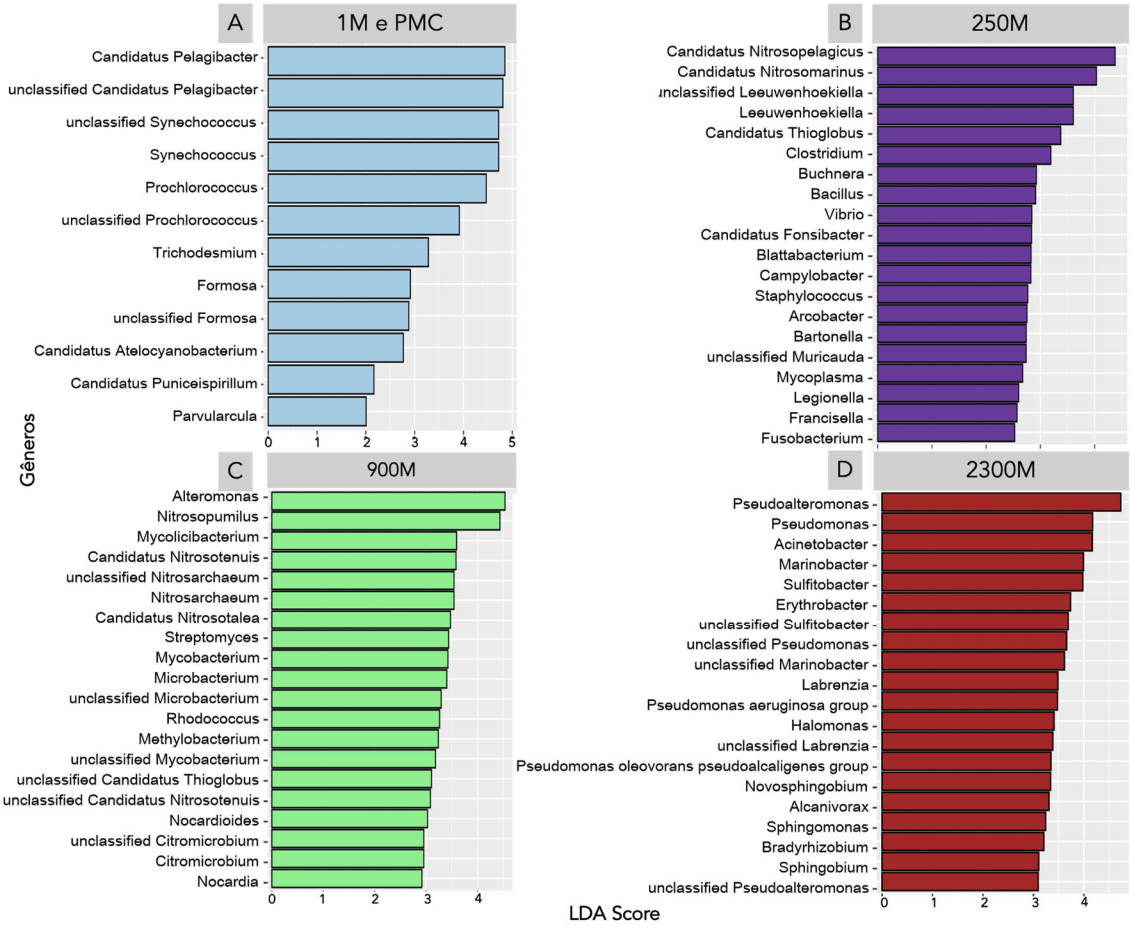


Figura III.3.3.1-2: *Gêneros diferencialmente abundantes e associados com cada estrato específico de profundidade.*

Os gêneros diferencialmente abundantes também apresentaram alta dominância nas amostras, considerando as sequências metagenômicas classificadas pelo programa de predição taxonômica, Figura III.3.3.1-3. Os gêneros diferencialmente abundantes nas amostras da zona epipelágica somaram mais de 60% da abundância relativa total, Figura III.3.3.1-3A. Essa proporção diminui para mais de 10%, chegando em 25% em 250m, 900m e 2300m profundidades, Figura III.3.3.1-3B, C e D.

PÚBLICA

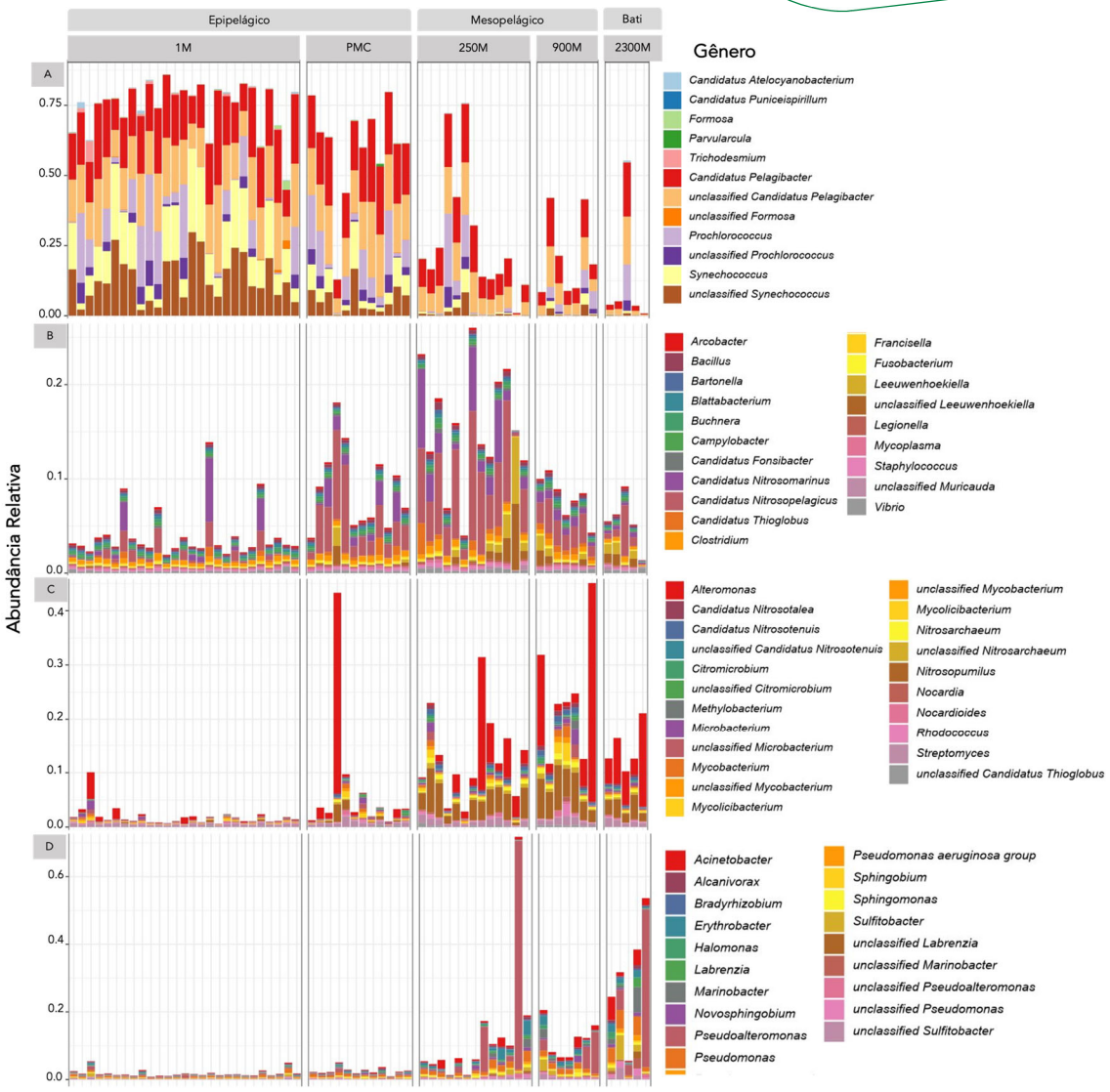


Figura III.3.3.1-3: *Valores dos gêneros diferencialmente abundantes nos estratos de profundidade no Sistema Pelágico da Bacia de Santos. A) amostras superficiais; B) 250m; C) 900m; D) 2300m.*

III.3.3.2 Estimativas de diversidade e estrutura da comunidade

O índice de diversidade (Shannon) e a estrutura da comunidade indicaram diferenças com base nas profundidades amostradas nas diferentes zonas pelágicas, Figura III.3.3.2-1. Em relação ao índice de Shannon, as amostras da zona epipelágica (1m de profundidade e PMC) tiveram menor diversidade (3,26±0,46 e 3,72±0,40, respectivamente) quando comparado com as amostras das zonas meso (4,48±1,11 e 4,79±0,77 em 250m e 900m de profundidade, respectivamente) e batipelágica (2300 m de profundidade, 4,68±1,12), Figura

PÚBLICA

III.3.3.2-1A. Comparações pareadas do índice de Shannon indicaram que: (i) a diversidade das amostras de superfície (1m) e (DCM) foi significativamente menor comparado às amostras de 250 m, 900 m e 2300 m de profundidade (teste de Wilcoxon, p> 0,05); (ii) não houve diferenças significativas entre amostras de 250 m, 900 m e 2300 m.

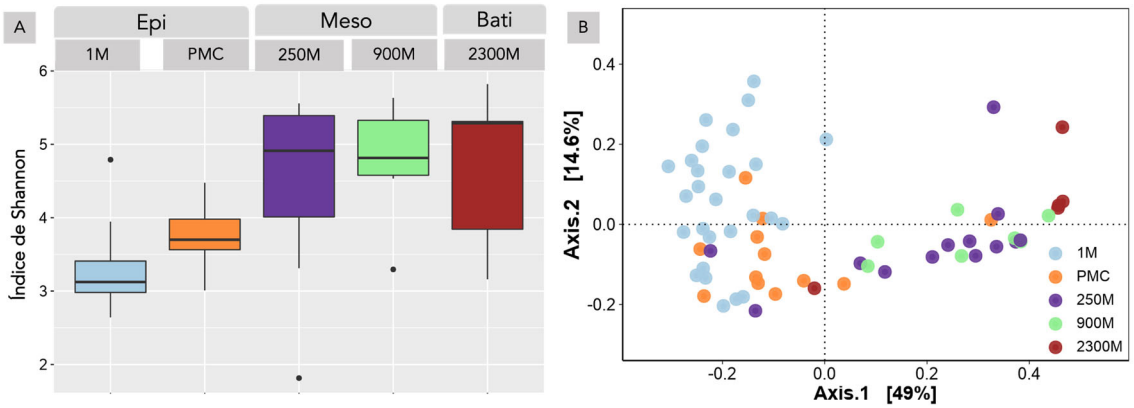


Figura III.3.3.2-1: *Análises de alfa e beta diversidade do sistema pelágico da Bacia de Santos. (A) Índice de diversidade de Shannon. (B) Análise de Coordenadas Principais (PCoA) baseada no coeficiente de Bray-Curtis. As cores representam as profundidades: azul (1m), laranja (PMC), roxo (250m), verde (900m) e vinho (2300m). As abreviações representam as zonas pelágicas: Epi (epipelágico), Meso (mesopelágico) e Bati (batipelágico).*

Um padrão similar de agrupamento por profundidade amostrada foi observado na análise da estrutura da comunidade via análise de coordenadas principais (PCoA), Figura III.3.3.2-1B. A PCoA mostra que as comunidades microbianas são claramente agrupadas por zona pelágica (PERMANOVA, r^2=0,42, p= 0,001), região oceânica e costeira (PERMANOVA, r^2=0,06, p= 0,001) e por profundidade amostrada (PERMANOVA, r^2=0,02, p= 0,022) ao longo de toda a BS, Figura III.3.3.2-1.

III.3.3.3 Influência De Parâmetros Oceanográficos na Estrutura da Comunidade Microbiana

Os parâmetros oceanográficos que moldam a composição da comunidade microbiana foram investigados usando análises de redundância baseada em distância, Figura III.3.3.3-1. Esta análise mostrou que os parâmetros oceanográficos (sanidade, temperatura, oxigênio dissolvido, nitrato, fosfato e silicato) dividiram a estrutura da comunidade em dois grupos (região e massa de

PÚBLICA

água), e juntos explicaram 40,5% da variância total. O primeiro eixo explicou a maior parte da variação, que respondeu por 29,8% da variação e foi dividido em massas de água das zonas epipelágica, e mesopelágica e batipelágica. O segundo eixo explicou 10,7% da variação e dividiu-se em amostras das regiões oceânica e costeira. O teste de ANOVA revelou que a temperatura foi o principal fator ambiental que afetou a distribuição microbiana no sistema pelágico da BS (p< 0,05), seguido por salinidade e nitrito. Além disso, os resultados desta análise confirmaram os resultados de abundância diferencial, ou seja, dominância de *Candidatus Pelagibacter, Synechococcus* e *Prochlorococcus* nas massas de água de superfície (AT, AC e AM) e *Candidatus Nitrosopelagicus* e *Nitrosopumilus* nas massas de água de fundo (ACAS, AIA e APAN).

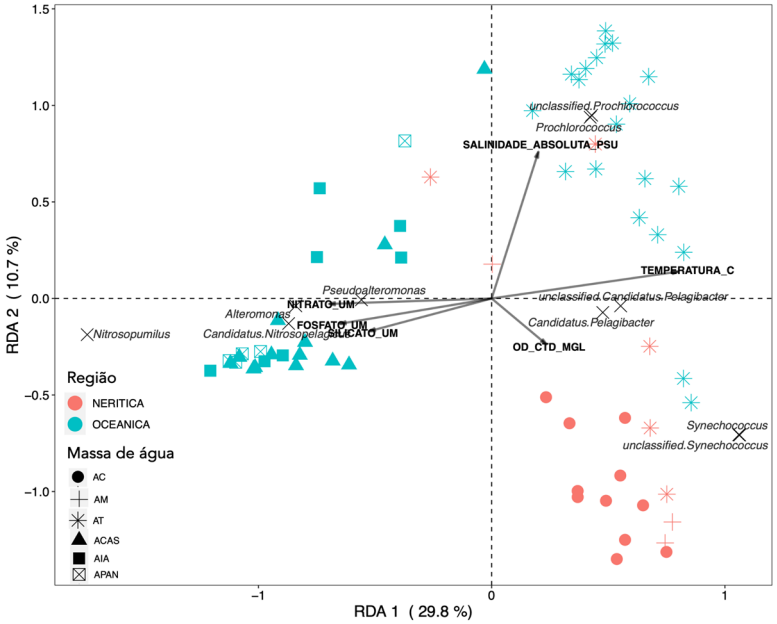


Figura III.3.3.3-1: *Análises de alfa e beta diversidade do sistema pelágico da Bacia de Santos. (A) Índice de diversidade de Shannon. (B) Análise de Coordenadas Principais (PCoA) baseada no coeficiente de Bray-Curtis. As cores representam as profundidades: azul (1m), laranja (PMC), roxo (250m), verde (900m) e vinho (2300m). As abreviações representam as zonas pelágicas: Epi (epipelágico), Meso (mesopelágico) e Bati (batipelágico).*

III.3.4 Classificação de Genes Funcionais

O total de 19.346.435 genes foram identificados nos dados de metagenoma do Sistema Pelágico da Bacia de Santos, englobando 1.997 famílias de

PÚBLICA

proteínas com termos de Ontologia Genética (GO). Aproximadamente 38,55 (±4,56)% das potenciais sequências codificadoras de proteínas (ORFs) foram assinaladas em famílias de proteínas com GOs já conhecidos enquanto o restante dos dados indicam potencialmente novas famílias e funções desconhecidas. Para este trabalho focamos nas seguintes categorias: metabolismo fotoautotrófico, metabolismo do enxofre e metabolismo do nitrogênio. Para as análises metabólicas, as amostras foram divididas nas categorias: epipelágico (englobando as amostras de 1m e PMC), mesopelágico (250m e 900m) e batipelágico (2300m).

As funções mais abundantes estão associadas com o metabolismo geral e aos constituintes celulares dos micro-organismos (Figura III.3.4-1). Funções relacionadas ao metabolismo dos subsistemas baseados em cluster apresentou maior abundancia média nas amostras do epipelágico (13,19±0,25 e 13,20±0,34 para 1m e PMC, respectivamente) quando comparado as amostras do mesopelágico (11,85±0,42 e 11,28±0,45 para 250m e 900m, respectivamente) e batipelágico (11,95±0,36 para 2300m). Funções relacionada aos aminoácidos e derivados foram encontrados com abundancia semelhante entre as amostras do epipelágico (9,94±0,33 e 10,34±0,19 para 1m e PMC, respectivamente), mesopelágico (11,44±0,31 e 11,50±0,39 para 250m e 900m, respectivamente) e batipelágico (10,92±0,51 para 2300m). Também foram abundantes metabolismos relacionados aos carboidratos, também com valores semelhantes entre epipelágico (10,78±0,26 e 10,98±0,21 para 1m e PMC, respectivamente), mesopelágico (10,88±0,13 e 10,77±0,16 para 250m e 900m, respectivamente) e batipelágico (10,65±0,17 para 2300m). O metabolismo de proteínas seguiu o mesmo padrão das demais funções mais abundantes: epipelágico (10,63±0,56 e 10,87±0,30 para 1m e PMC, respectivamente), mesopelágico (10,93±0,23 e 10,96±0,36 para 250m e 900m, respectivamente) e batipelágico (10,04±0,73 para 2300m).

PÚBLICA

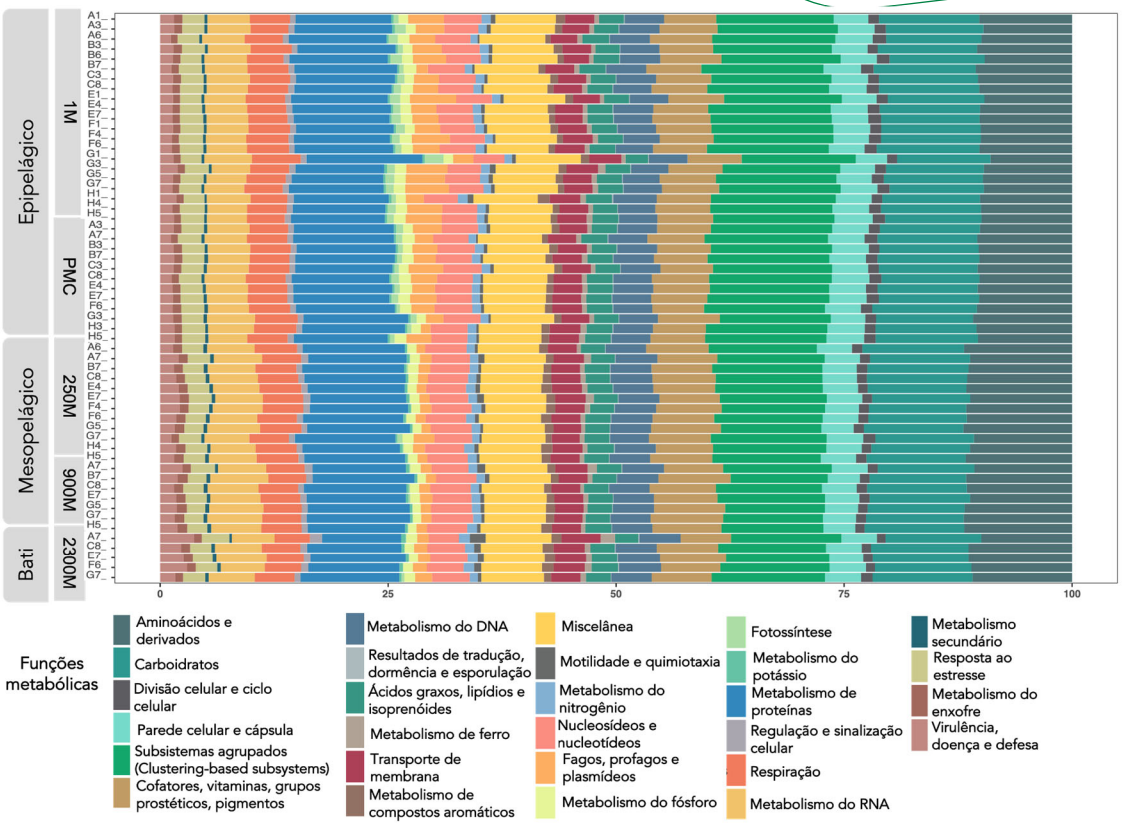


Figura III.3.3.4-1: *Distribuição vertical exibindo os perfis funcionais das comunidades microbianas nas zonas pelágicas (epipelágica: superfície e PMC - profundidade máxima de clorofila; mesopelágica: 250m, 900m; batipelágica: 1200m e 2300m) da Bacia de Santos detectados através dos dados de Metagenoma Funcional, utilizando ferramentas do MG-RAST e nível I do SEED Subsystem.*

Ao analisarmos o metabolismo fotoautotrófico destacamos os genes relacionados a bacteriorodopsina, clorossomo, fotosistema I, fotossistema I – centro de reação fotossintética, fotossistema II, fotossistema II – centro de reação fotossintética, ficobilissoma e proteodopsina. Através da Figura III.3.3.4-2 é possível observar uma clara distinção na presença destes genes, em que houve uma maior concentração nas amostras do sistema epipelágico em comparação com mesopelágico e batipelágico. Genes relacionados ao fotossistema I e II e o ficobilissoma foram os genes mais abundantes encontrados para esse metabolismo.

PÚBLICA

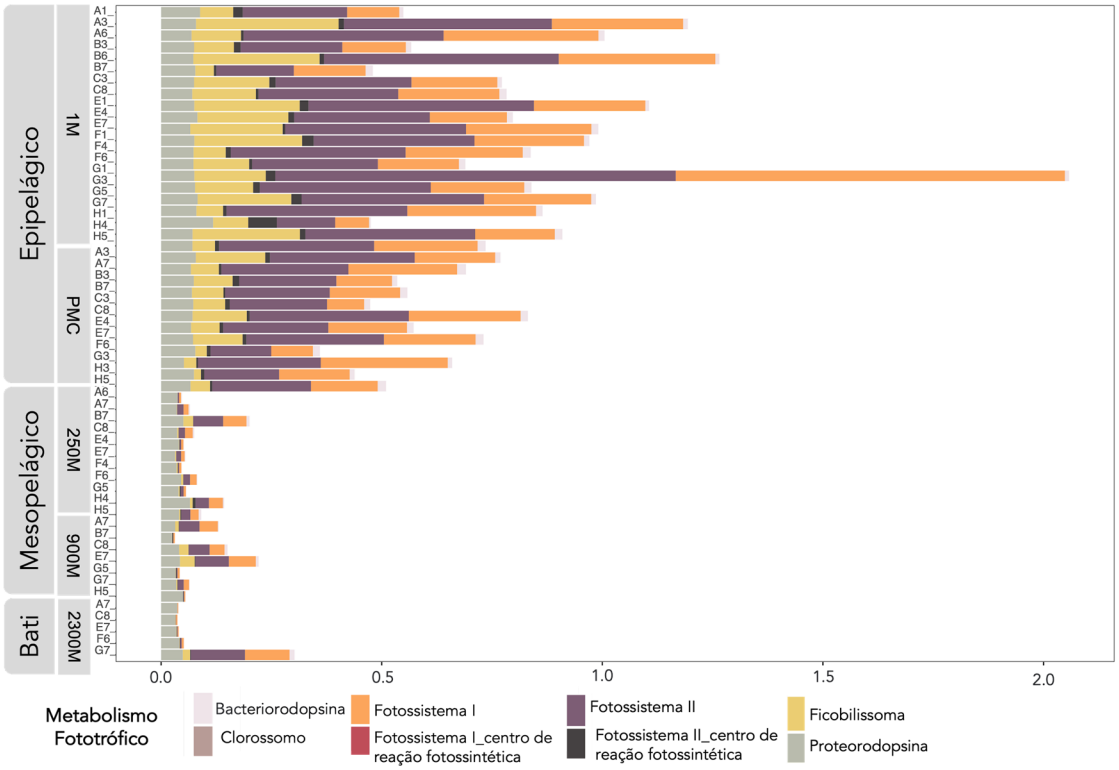


Figura III.3.3.4-2: *Distribuição vertical exibindo o perfil funcional das comunidades microbianas nas zonas pelágicas (epipelágica: superfície e PMC - profundidade máxima de clorofila; mesopelágica: 250m, 900m; batipelágica: 1200m e 2300m) na Bacia de Santos quanto ao metabolismo fototrófico, e nível II do SEED Subsystem. Somente as funções mais relevantes foram selecionadas para a discussão dos resultados.*

Para o metabolismo do enxofre destacamos os genes relacionados a oxidação do enxofre, redução de sulfato, assimilação de sulfato de enxofre inorgânico, quebra do dimetilsulfoniopropionato e liberação de dimetilsulfureto a partir do dimetilsulfoniopropionato. Na Figura III.3.3.4-3 é possível observar a dominância de genes relacionados à assimilação de sulfato de enxofre inorgânico, especialmente nas amostras do mesopelágico. Genes relacionados a quebra do dimetilsulfoniopropionato também foram abundantes, seguido dos genes relacionados a oxidação do enxofre, especialmente nas amostras e epipelágico.

PÚBLICA

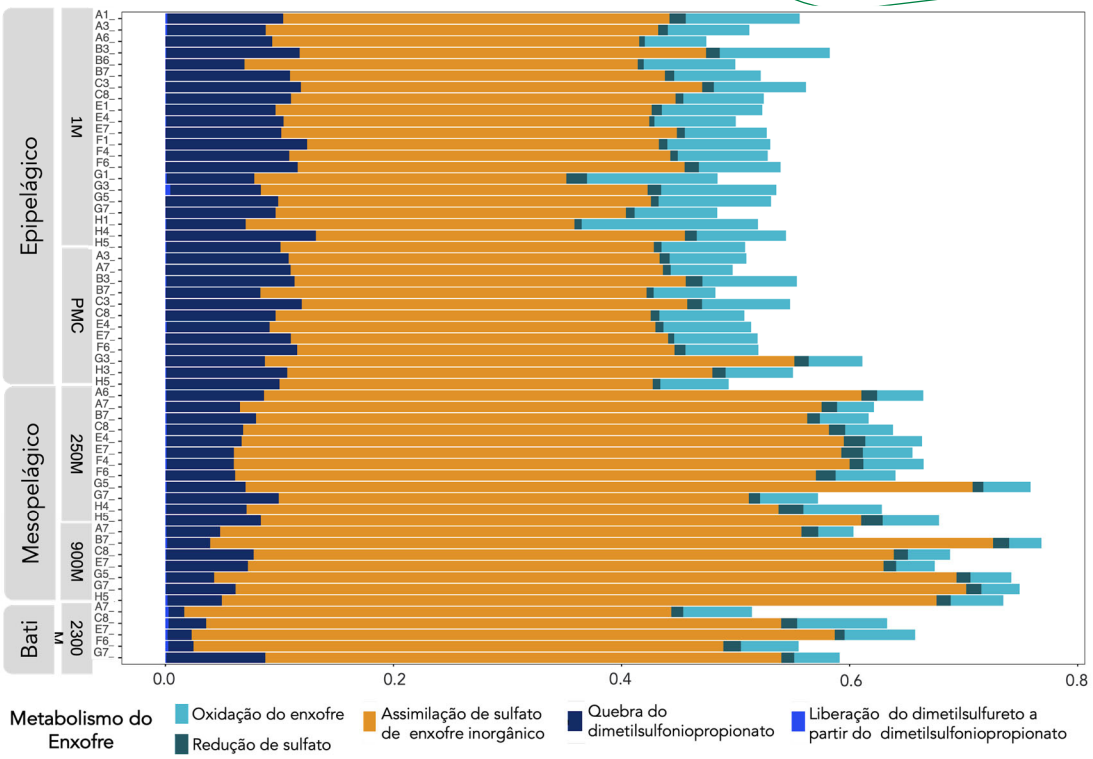


Figura III.3.3.4-3: *Distribuição vertical exibindo o perfil funcional das comunidades microbianas nas zonas pelágicas (epipelágica: superfície e PMC - profundidade máxima de clorofila; mesopelágica: 250m, 900m; batipelágica: 1200m e 2300m) na Bacia de Santos quanto ao metabolismo do enxofre, e nível II do SEED Subsystem. Somente as funções mais relevantes foram selecionadas para a discussão dos resultados.*

Ao analisarmos genes relacionados ao metabolismo do nitrogênio, destacamos os seguintes: assimilação de amônia, denitrificação, redução dissimilatória de nitrito, amonificação do nitrato e nitrito e fixação de nitrogênio. Ao observarmos a Figura III.3.3.4-4 observamos a clara dominância de genes relacionados a assimilação de amônia em todas as amostras, independente da profundidade. Genes da amonificação do nitrato e nitrito foi o segundo gene mais abundante em todas as amostras, principalmente nas amostras do batipelágico. Genes relacionados à desnitrificação também foram abundantes, especialmente nas amostras do mesopelágico e batipelágico.

PÚBLICA

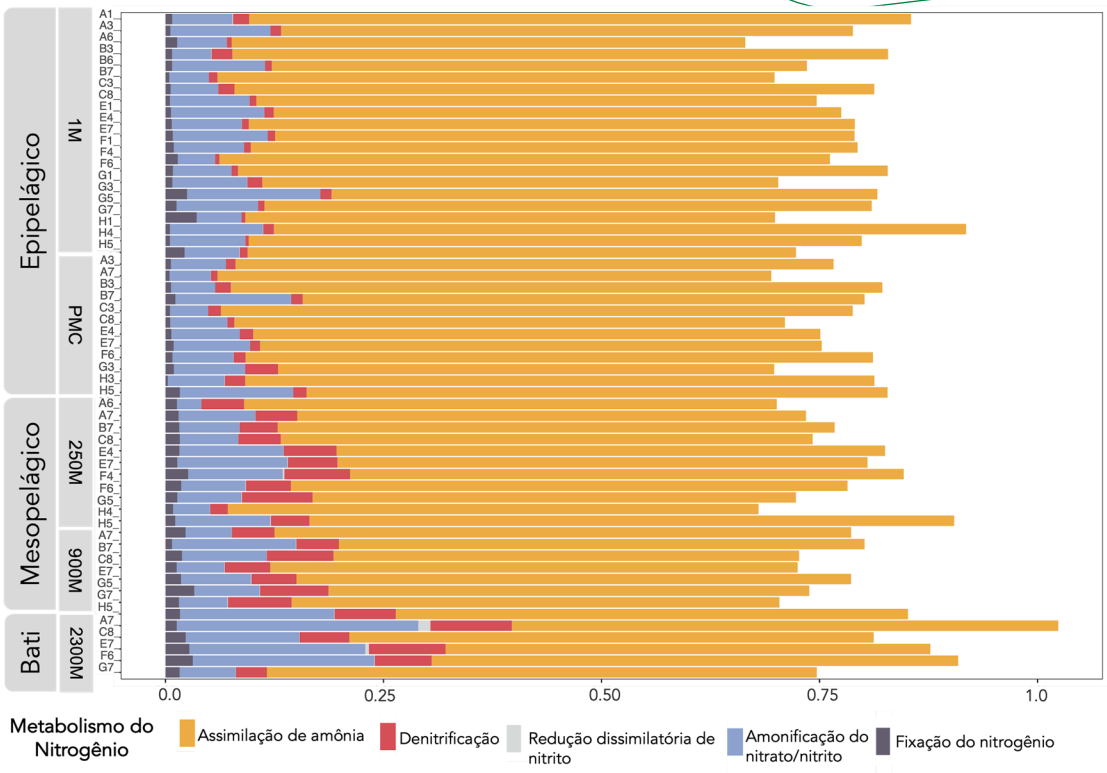


Figura III.3.3.4-4: *Distribuição vertical exibindo o perfil funcional das comunidades microbianas nas zonas pelágicas (epipelágica: superfície e PMC - profundidade máxima de clorofila; mesopelágica: 250m, 900m; batipelágica: 1200m e 2300m) na Bacia de Santos quanto ao metabolismo do nitrogênio, e nível II do SEED Subsystem. Somente as funções mais relevantes foram selecionadas para a discussão dos resultados.*

III.4 Discussão

III.4.1 Abundância, Biomassa de Carbono e Padrões de Distribuição do Pico e Nanoplâncton

A abundância de pico e nanoplâncton ao longo da Bacia de Santos obtida nas campanhas de 2019 e 2022 foi similar a outros trabalhos já realizados em um pequeno número de amostras no Oceano Atlântico Sudoeste (Cabral *et al.,* 2017; Ribeiro *et al.,* 2016; Zubkov *et al.,* 1998).

A maior abundância de *Prochlorococcus* observada nas estações localizadas no talude era esperada, uma vez que, de acordo com a literatura, esse grupo prefere águas oceânicas oligotróficas (Partenksy *et al.,* 1999).

PÚBLICA

Nossos resultados corroboram esse padrão. No entanto, os valores de abundância reportados para a região da Bacia de Santos possuem indicações contrastantes.

Ribeiro e colaboradores (2016) observaram valores de até 2,9 x 10^5 cél.mL^{-1}, enquanto Bergo *et al.* (2017) identificaram valores de até 6,37 x 10^4 cél.mL^{-1}. Nossos resultados estão de acordo com os publicados por Bergo *et al.* (2017). Contudo, Bergo *et al.* (2017), alertam que diferenças entre seus dados e os publicados na literatura podem ser decorrentes do uso de equipamentos diferentes, o que deve ser levado em consideração para futuras comparações.

A maior abundância de *Synechococcus* tem sido reportada com frequência em águas costeiras, o que está comumente associada com a presença de águas mesotróficas tropicais e subtropicais e a eventos de ressurgência (Zubkov *et al.,* 1998; Dongen-Vogels *et al.,* 2011). Esse foi o padrão de ocorrência reportado por Bergo *et al.* 2017, que relataram valores de até 1,19 x 10^5 cél.mL^{-1} em amostras superficiais na plataforma continental interna e média.

O valor de abundância média de *Synechococcus* de 1,27×10^4 células mL^{-1} para o inverno de 2019 e 1,54×10^4 células mL^{-1} para o verão de 2022, encontra-se dentro da faixa relatada por outros autores para a Bacia de Santos. Além disso, a abundância média de picoeucariotos identificada na Bacia de Santos (1,27×10^3 e 2,47×10^3 células mL^{-1} para o inverno de 2019 e verão de 2022, respectivamente) corrobora com os dados da literatura (Zubkov *et al.,* 1998; Kirkham *et al.,* 2013), inclusive para estudos realizados no Oceano Atlântico Sudeste (Ribeiro *et al.,* 2016; Bergo *et al.,* 2017).

A temperatura ótima para desenvolvimento dos *Synechococcus* está entre 17 e 20 °C, principalmente em águas ricas em nutrientes (altas concentrações de nitrato e fosfato) (Worden & Not, 2008; Pan *et al.,* 2007). Nanoeucariotos tiveram um padrão de distribuição similar ao de picoeucariotos, principalmente nas estações costeiras (Bergo *et al.,* 2017; Ribeiro *et al.,* 2016), assim como identificado em nossos resultados. A alta abundância de bactérias heterotróficas em estações costeiras, pode ser explicada pela maior entrada de matéria orgânica particulada e dissolvida oriunda da drenagem terrestre (Linacre *et al.,* 2015).

PÚBLICA

A biomassa de carbono de populações de picoplâncton autotróficos e heterotróficos é comparável a estudos anteriores realizados no Oceano Atlântico Sul (Bergo *et al.,* 2017; Ribeiro *et al.,* 2016). A contribuição relativa de cada grupo foi liderada por bactérias heterotróficas, seguidas por picoeucariotos, nanoeucarioto, *Synechococcus* e *Prochlorococcus*.

No geral, os padrões de distribuição do pico e nanoplâncton assim como a biomassa de carbono dessas populações corroboram com os poucos estudos já realizados na região. Os trabalhos anteriores avaliaram uma pequena área da BS enquanto este trabalho foi pioneiro no levantamento destas informações em larga escala.

III.4.2 Composição Microbiana do Sistema Pelágico da Bacia de Santos

Estudos mostraram que a diversidade de bactérias e arqueias do picoplâncton é estruturada por massas de água (Agogué *et al.,* 2011; Celussi *et al.,* 2018), zonas pelágicas (Walsh *et al.,* 2016) e profundidade (Mestre *et al.,* 2017). De fato, a análise nMDS (Figura III.3.2.2-2) com os dados gerados pelo sequenciamento do gene RNAr 16S mostrou que todas as amostras foram altamente divididas por profundidade amostrada, massas de água e região (oceânica e costeira). O que corrobora com os dados gerados pelo sequenciamento metagenômico. Além disso, a análise nMDS (Figura III.3.2.2-2) com os dados gerados pelo sequenciamento do gene RNAr 16S mostrou que a amostra coletada durante o *bloom* (estação F3 em 07/10/2019) ficou agrupada próximo as amostras superficiais. As diferentes disponibilidades de nutrientes em cada massa de água podem ser uma importante característica oceanográfica na formação das comunidades microbianas na Bacia de Santos.

O microbioma do ambiente pelágico da Bacia de Santos teve a dominância das classes Alphaproteobacteria e Gammaproteobacteria, dentro do filo Proteobacteria, como descrito para outros estudos realizados em menor escala no Oceano Atlântico Sul (Coutinho *et al.,* 2021; Ferreira *et al.,* 2022). O bacterioplâncton dominante em toda a Bacia de Santos consiste em membros fototróficos, Cyanobacteria (sequenciamento

do gene RNAr 16S) e *Synechococcus* (sequenciamento metagenômico) além dos heterotróficos, SAR11 clado I e SAR11 clado II (sequenciamento do

PÚBLICA

gene RNAr 16S e metagenômico). O clado SAR11 compreende bactérias marinhas com genomas simplificados e tamanho celular diminuto (0,12 a 0,20 µm) (Partensky *et al.,* 1999; Giovannoni *et al.,* 2017), consideradas membros dominantes do plâncton. Synechococcales é o grupo fotossintético dominante em muitas regiões epipelágicas costeiras (Coutinho *et al.,* 2021), enquanto o clado SAR11 é o grupo heterotrófico mais abundante em zonas mesopelágicas (Frank *et al.,* 2016) e em diferentes massas de água (Celussi *et al.,* 2018). Na Bacia de Santos, SAR11 clade I e SAR11 clade II foram mais abundantes na zona epipelágica (0-200m, superfície e DCM). Já as Flavobacteriales, bactérias heterotróficas aeróbias adaptadas a ambientes de alta luminosidade também foram mais abundantes na zona eufótica da Bacia de Santos. Estudos anteriores mostraram que os filotipos de flavobactérias respondem à presença das florações de fitoplâncton (Teeling *et al.,* 2012).

A abundância relativa de Gammaproteobacteria e membros do domínio *Archaea* aumentaram com a profundidade para os resultados obtidos tanto por sequenciamento do gene RNAr 16S quanto por sequenciamento metagenômico. O mesmo padrão de distribuição de Gammaproteobacteria foi relatado anteriormente para o Oceano Atlântico Norte (Lauro & Bartlett, 2008) e Sul (Coutinho *et al.,* 2020). Dentro de Gammaproteobacteria, membros da família Alteromonadaceae e Pseudoalteromonadaceae foram os mais abundantes.

Da mesma forma, a abundância de arqueias quimiolitoautotróficas, Nitrosopumilales (classe Nitrososphaeria), pelo método de sequenciamento do gene RNAr 16S, e dos gêneros *Candidatus Nitrosope*lagicus, *Candidatus Nitrosomarinus, Nitrosopumilus* e *Candidatus Nitrosotenuis,* através do método de sequenciamento metagenômico, aumentou com a profundidade. Esse resultado também foi observado por Semedo e colaboradores (2021) no Norte do Pacífico. Nesse trabalho a presença do gênero *Candidatus Nitrosopelagicus* ocorreu em maior abundância na PCM e em 250m de profundidade. Arqueias são conhecidas por serem um componente importante na comunidade microbiana marinha em massas de água profundas, atuando principalmente nos ciclos do nitrogênio e do carbono. É importante ressaltar que as análises de sequenciamento do gene RNAr 16S e de sequenciamento metagenômico utilizam bases de dados que diferem em algumas classificações taxonômicas.

PÚBLICA

III.4.3 Classificação de Genes Funcionais Obtidos pela Análise Metagenômica

A biodiversidade de micro-organismos nos oceanos é muito extensa. A metagenômica desempenha um papel essencial em estudos no ambiente marinho para compreendermos os papéis metabólicos e as interações com fatores bióticos e abióticos desses organismos, especialmente os não cultiváveis. Essas informações fornecem as primeiras pistas sobre as diferentes transformações, produção de compostos e ciclagem de matéria orgânica (Baker, Appler, Gong, 2021). A análise da composição de genes funcionais realizada neste estudo indicou a presença de uma grande diversidade de metabolismos microbianos na coluna de água. Os genes dominantes identificados nas análises estão ligados principalmente a processos biológicos e celulares. Os metabolismos específicos que foram aprofundados neste estudo foram: metabolismo fototrófico, metabolismo do enxofre e metabolismo do nitrogênio.

Para o metabolismo fototrófico, como era esperado, encontramos uma grande diferença na concentração dos genes relacionados a esse metabolismo quando comparamos as amostras do epipelágico com as amostras do mesopelágico e batipelágico. Genes relacionados ao fotossistema I e II e genes relacionados ao ficobilissoma foram mais expressos nas amostras superficiais.

Como já descrito na literatura, a presença de luz solar se torna escassa na região mesopelágicas e ausente na região batipelágica (Warrant & Locket, 2004), em que o padrão de maior abundância de organismos fototróficos acontece na superfície do oceano. Esse padrão observado a partir dos genes do metabolismo fototrófico está de acordo com os demais dados apresentados neste trabalho e em outros estudos realizados em ambientes marinhos (Coutinho *et al.,* 2021). O fotossistema I possui pigmentos que são responsáveis pela absorção de ondas com comprimentos de 700 nm ou maiores e o fotossistema II é responsável pela absorção de ondas com comprimentos de 680 nm ou menores. Já a ficobilissoma são estruturas responsáveis pela captação de luz (Geada, 2018), justificando a maior presença desses genes nas amostras superficiais.

PÚBLICA

Nossos resultados de citometria de fluxo indicaram alta abundância de *Synechococcus spp*. (um micro-organismo fototrófico) (Coutinho *et al.,* 2020) nas camadas superficiais nas estações mais internas da plataforma continental no inverno de 2019 e verão de 2022, diminuindo com o aumento da profundidade, assim como apresentado na Figura III.3.1.4-2. Os resultados taxonômicos também corroboram com essas informações, em que membros do bacterioplâncton mais abundante em toda a Bacia de Santos foram os fototróficos Cyanobacteria (através do sequenciamento do gene RNAr 16S) e *Synechococcus* (através do sequenciamento metagenômico).

Para o metabolismo de genes relacionados ao metabolismo do enxofre foram destacados em nossos resultados: oxidação de enxofre, redução de sulfato, quebra do dimetilsulfoniopropionato, liberação de dimetilsulfureto a partir do dimetilsulfoniopropionato e especialmente a assimilação de enxofre inorgânico. O enxofre é um elemento de extrema importância na biosfera marinha, e os micro-organismos desempenham papéis fundamentais no ciclo biogeoquímico deste elemento (Moran & Durham, 2019). O enxofre inorgânico, na forma de sulfeto, está presente em grandes concentrações na água do mar. Esse elemento é absorvido pelos micro-organismos marinhos e sintetizado em uma variedade de moléculas orgânicas (Kawano, Suzuki, Ohtsu, 2018). Nesses ambientes, os processos metabólicos envolvidos no ciclo do enxofre são segregados espacialmente de acordo com a oferta de compostos reduzidos e oxidados (Fike; Bradley; Rose, 2015; Moran & Durham, 2019).

Grande parte do enxofre no ambiente marinho é fixado pelo fitoplâncton (aproximadamente 1.320 Tg) e uma parcela é posteriormente liberada como enxofre orgânico dissolvido através de diversos processos biológicos. Uma grande fração desses metabólitos derivados do fitoplâncton é rapidamente absorvida por bactérias marinhas. Dependendo o quão reduzido esses compostos estão, mais facilmente serão incorporados ao material celular.

Alguns micro-organismos do ambiente marinho são capazes de sintetizar metabólitos voláteis de enxofre, em que uma fração destes compostos escapa através da interface ar-mar (Andreae, 1990, Moran & Durham, 2019). A quantidade desse composto volátil que é liberada é baixa, porém constitui a maior fonte natural de emissão de enxofre para a atmosfera (Moran & Durham,

PÚBLICA

2019). Esses compostos voláteis tornam-se de grande importância, uma vez que influenciam o equilíbrio ácido-base dos aerossóis e da água da chuva, afetando a nucleação das nuvens em uma escala global (Quinn & Bates, 2011). O dimetilsufoniopropionato (DMSP), destacado em nossos resultados, é reconhecido como principal precursor destes compostos voláteis, denominado dimetilsulfeto marinho (DMS) (Quinn & Bates, 2011).

O nitrogênio é um elemento essencial para todas as formas de vida no planeta, atuando como nutriente de grande importância para a biossíntese de componentes celulares, como ácidos nucleicos e proteínas. Apesar de sua grande importância, a disponibilidade de nitrogênio é diretamente influenciada por reações de transformação (de suas diversas formas químicas) realizadas por micro-organismos (Kuypers, Marchant, Kartal, 2018). A fonte de nitrogênio mais acessível no planeta é o dinitrogênio atmosférico, porém a maioria dos organismos é incapaz de utilizá-lo, necessitando de outras formas que estejam biodisponíveis, como amônio e nitrato. Nos ambientes naturais, os micro-organismos transformadores de nitrogênio são metabolicamente e taxonomicamente muito diversos, formando redes complexas que conectam reações de transformação do nitrogênio (Kuypers, Marchant, Kartal, 2018).

Em ambientes marinhos as cianobactérias filamentosas são capazes de reduzir nitrogênio a amônio, uma forma altamente biodisponível. O amônio gerado é consumido por assimilação (gene mais abundante apontado neste estudo) e nitrificação pelo bacterioplâncton e fitoplâncton (Klawonn et. al., 2019). A ciclagem do nitrogênio é complexa e envolve diferentes fontes e sumidouros nas comunidades planctônicas.

Em nossos resultados, destacamos também a presença de organismos que estão diretamente relacionados ao ciclo do nitrogênio, especialmente a oxidação de amônia, como a arqueias quimiolitoautotróficas Nitrosopumilales (classe Nitrososphaeria) (sequenciamento do gene RNAr 16S) e dos gêneros *Candidatus Nitrosopelagicus*, *Candidatus Nitrosomarinus*, *Nitrosopumilus*e *Candidatus Nitrosotenuis* (sequenciamento metagenômico) (Grzymski *et al.,* 2012; Tully & Heidelberg, 2013; Zhang *et al.,* 2015). Em nossos resultados de taxonomia observamos o aumento desses micro-organismos com o aumento da profundidade da coluna d'água, porém, esse mesmo padrão não foi observado

PÚBLICA

na presença dos genes relacionados a assimilação de amônia, que seguiu um padrão mais uniforme entre as amostras.

Nesta pesquisa, a análise da composição de genes funcionais indicou a presença de uma grande diversidade de metabolismos microbianos na coluna d'água. O grande esforço amostral realizado neste estudo nos permitiu, pela primeira vez, obter uma visão geral dos potenciais metabolismos que estão sendo realizados em diferentes áreas da BS. Os resultados aqui apresentados poderão ser correlacionados com demais trabalhos que serão realizados em outras regiões brasileiras, além de permitir uma correlação com demais estudos em escala global, assim como ser empregado para estudos preditivos como resposta a alterações ambientais.

III.5 Referências Bibliográficas

Agogué, H.,Lamy, D., Neal, P.R., Sogin, M.L., Herndl, G.J. 2011. Water mass-specificity of bacterial communities in the North Atlantic revealed by massively parallel sequencing. **Molecular Ecology**, 20: 258–274.

Alldredge, A.L., Silver, M.W. 1988. Characteristics, dynamics and significance of marine snow. **Progress in oceanography**. 20.1: 41-82.

Allison, S.D.,Martiny. J.B.H. 2008.Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences,** 532: 11512-11519.

Alves Junior, N., Meirelles, P.M., de Oliveira Santos, E., Dutilh, B., Silva, G.G., Paranhos, R., Cabral, A.S., Rezende, C., Iida, T., de Moura, R.L., Kruger, R.H., Pereira, R.C., Valle, R., Sawabe, T., Thompson, C., & Thompson, F. 2015. Microbial community diversity and physical-chemical features of the Southwestern Atlantic Ocean. **Archives of microbiology**, *197*: 165–179.

Andreae, M.O. 1990. Ocean-atmosphere interactions in the global biogeochemical sulfur cycle, **Marine Chemistry**, 30: 1-29.

Azam, F., Fenchel, T., Field, J.G., Gray, J.S., Meyer-Reil, L.A., Thingstad, F. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. **Marine Ecology Progress Series**, 10: 257-263.

Azam, F., Smith, D.C., Steward, G.F., Hangstrom, A. 1994.. Bacteria-organic matter coupling and its significance for oceanic carbon cycling. **Microbial Ecology**, 28: 167–179.

Azam, F., & Malfatti, F. 2007. Microbial structuring of marine ecosystems. **Nature reviews. Microbiology**, 5: 782–791.

Baker, B.J., Appler, K.E., Gong, X. 2021. New Microbial Biodiversity in Marine Sediments. **Annual review of marine science**, 13: 161–175.

Berg, G., Rybakova, D., Fischer, D., Cernava, T., Vergès, M.C., Charles, T., Chen, X., Cocolin, L., Eversole, K., Corral, G.H., Kazou, M., Kinkel, L., Lange, L., Lima, N., Loy, A., Macklin, J.A., Maguin, E., Mauchline, T., McClure, R., Mitter, B., Ryan, M., Sarand, I., Smid, H., Schelkle, B., Roume, H., Kiran, G.S., Selvin, J., de Souza, R.S.C., van Overbeek, L., Singh, B.K., Wagner, M., Walsh, A., Sessitsch, A., Schloter, M. 2020. Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. **Microbiome,** 8: 103.

Bergo, N.M., Signori, C., Amado, A.M., Brandini, F., Pellizari, V. 2017 The Partitioning of Carbon Biomass among the Pico- and Nano-plankton Community in the South Brazilian Bight during a Strong Summer Intrusion of South Atlantic Central Water. **Frontiers in Marine Science**, 4: 238.

Bolyen, E., Rideout, J.R., Dillon, M.R., Bokulich, N.A., Abnet, C.C., Al-Ghalith, G.A., Alexander, H., Alm, E.J., Arumugam, M., Asnicar, F., Bai, Y., Bisanz, J.E., Bittinger, K., Brejnrod, A., Brislawn, C.J., Brown, C.T., Callahan, B.J., Caraballo-Rodríguez, A.M., Chase, J., Cope, E.K., Caporaso, J.G. 2019. Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. **Nature biotechnology**, 37: 852–857.

Cabral, A.S., Carvalho, K., Pinto, F.N., Omena, E.P., Paranhos, R. 2017. Abundância de bactérias e fitopigmentos nos sedimentos da plataforma e talude continental da Bacia de Campos. *In*: A.P.C, Falcão A. P. C., Lavrado, H. P. 2017. **Ambiente Bentônico: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, AtlânticoSudoeste**, p. 41-64.

Callahan, B.J., McMurdie, P.J., Rosen, M.J., Han, A.W., Johnson, A.J., & Holmes, S.P. 2016. DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. **Nature Methods**,13: 581–583.

Cantarel, B.L., Coutinho, P.M., Rancurel, C., Bernard, T., Lombard, V., & Henrissat, B. 2009. The Carbohydrate-Active EnZymes database (CAZy): an expert resource for Glycogenomics. **Nucleic Acids Research**, 37: 233–238.

Casey, J.R., Aucan, J.P., Goldberg, S.R., Lomas, M.W. 2013. Changes in partitioning of carbon amongst photosynthetic pico- and nano-plankton groups in the Sargasso Sea in response to changes in the North Atlantic Oscillation. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in cantaceanography**, 93: 58–70.

Celussi, G.M., Quero, G.M., Zoccarato L., Franzo, A., Corinaldesi, C., Rastelli, E., LoMartire, M., Galand, P. E., Ghiglione, J.F., Chiggiato, J., Coluccelli, A., Russo, A., Pallavicini, A., Fonda Umani, S., Del Negro, P., Lunam G.M. 2018. Planktonic prokaryote and protist communities in a submarine canyon system in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). **Progress in Oceanography**, 168: 210–221.

Coutinho, F.H., von Meijenfeldt, F., Walter, J.M., Haro-Moreno, J.M., Lopéz-Pérez, M., van Verk, M.C., Thompson, C.C., Cosenza, C., Appolinario, L., Paranhos, R., Cabral, A., Dutilh, B.E., & Thompson, F.L. 2021. Ecogenomics and metabolic potential of the South Atlantic Ocean microbiome. **Science of The Total Environment**, 765: 142758.

DeLong, E.F., Preston, C.M., Mincer, T., Rich, V., Hallam, S.J., Frigaard, N.U., Martinez, A., Sullivan, M.B., Edwards, R., Brito, B.R., Chisholm, S.W., & Karl, D.M. 2006. Community genomics among stratified microbial assemblages in the ocean's interior. **Science**, 311:496–503.

Dongen-Vogels, V., Seymour, J.R., Middleton, J.F., Mitchell, J.G., Seuront, L. 2011. Influence of local physical events on picophytoplankton spatial and temporal dynamics in South Australian continental shelf waters. **Journal of Plankton Research**, 33: 1825–1841.

Ferreira, J.C.N., Bergo, N.M., Tura, P.M., Chuqui, M.G., Brandini, F.P., Jovane, L.J., Pellizzari, V.H. 2022. Abundance and microbial diversity from surface to deep water layers over the Rio Grande Rise, South Atlantic. **Progress in Oceanography**, 201: 102736.

Fike, D.A., Bradley, A.S., Rose, C.V. 2015. Rethinking the ancient sulfur cycle. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 43, p. 593–622.

Frank A.H., Garcia J.A., Herndl G.J., Reinthaler T. 2016. Connectivity between surface and deep waters determines prokaryotic diversity in the North Atlantic Deep Water. **Environ Microbiol**,18: 2052-2063.

Fuhrman, J.A., Sleeter, T.D., Carlson, C.A., Proctor, L.M. 1989. Dominance of bacterial biomass in the Sargasso Sea and its ecological implications. **Marine Ecology Progress Series**, 57: 207-217.

Fuhrman J.A. 2009. Microbial community structure and its functional implications. **Nature**, *459*: 193–199.

Garrison, D.L., Gowing, M.M., Hughes, M.P., Campbell, L., Caron, D.A., Dennett, M.R., Shalapyonok, A., Olson, R.J., Landry, M.R., Brown, S.L., Liu, H., Azam, F., Steward, G.F., Ducklow, H.W., Smith, D.C. 2000. Microbial food web structure in the Arabian Sea: a US JGOFS study. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, 47: 1387–1422.

Geada, P. Rodrigues, R., Loureiro, L. Pereira, R., Fernandes, B., Teixeira, J.A., Vasconcelos, V., Vicente, A.A. 2018.Electrotechnologies applied to microalgal biotechnology – Applications, techniques and future trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 94: 656-668.

Giovannoni, S.J. 2017. SAR11 bacteria: the most abundant plankton in the oceans. **Annual Review of Marine Science,** 9: 231-255.

Grzymski, J.J., Riesenfeld, C.S., Williams, T.J., Dussaq, A.M., Ducklow, H., Erickson, M., Cavicchioli, R., Murray, A.E. 2012. A metagenomic assessment of winter and summer bacterioplankton from Antarctica Peninsula coastal surface waters. **The ISME journal**, 6.10: 1901.

Hogle, S.L., Thrash, J.C., Dupont, C.L., & Barbeau, K.A. 2016. Trace Metal Acquisition by Marine Heterotrophic Bacterioplankton with Contrasting Trophic Strategies. **Applied and environmental microbiology**, 82: 1613–1624.

Karner, M.B., DeLong, E.F., Karl, D.M. 2001. Archaeal dominance in the mesopelagic zone of the Pacific Ocean. **Nature**, 409: 507-510.

Kawano, Y., Suzuki, K., Ohtsu, I. 2018. Current understanding of sulfur assimilation metabolism to biosynthesize L-cysteine and recent progress of its fermentative overproduction in microorganisms. **Applied microbiology and biotechnology**, 102: 8203–8211.

PÚBLICA

Kirkham, A.R., Lepère, C., Jardillier, L.E., Not, F., Bouman, H., Mead, A., & Scanlan, D.J. 2013. A global perspective on marine photosynthetic picoeukaryote community structure. **The ISME Journal**, 7: 922–936.

Klawonn, I., Bonaglia, S., Whitehouse, M.J. Littmann, S., Tienken, D., Kuypers, M.M.M., Brüchert, V., Ploug, H. 2019. Untangling hidden nutrient dynamics: rapid ammonium cycling and single-cell ammonium assimilation in marine plankton communities. **The ISME Journal**, 13, 1960–1974.

Kuypers, M., Marchant, H.K., Kartal, B. 2018. The microbial nitrogen-cycling network. **Nature reviews**. **Microbiology,** 16: 263–276.

Langmead, B., Salzberg, S.L. 2012. Fast gapped-read alignment with Bowtie 2. **Nature Methods**, 9: 357–359.

Lauro, F.M., Bartlett, D.H. 2007. Prokaryotic lifestyles in deep sea habitats. **Extremophiles**, 12: 15–25.

Linacre, L., Lara-Lara, R., Camacho-Ibar, V., Herguera, J. C., Bazán-Guzmán, C., Ferreira-Bartrina, V. 2015. Distribution pattern of picoplankton carbon biomass linked to mesoscale dynamics in the southern gulf of Mexico during winter conditions. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers,** 106: 55–67.

Mestre, M., Borrull, E., Sala, M.M., Gasol, J.M. 2017. Patterns of bacterial diversity in the marine planktonic particulate matter continuum. **ISME J**, 11: 999-1010.

Marie, D., Brussaard, B., Partensky, F., Vaulot, D. 1999.Flow cytometric analysis of phytoplankton, bacteria and viruses. **Current Protocols in Cytometry**, 11: 1–15.

Marie, D., Rigaut-Jalabert, F., Vaulot, D. 2014. An improved protocol for flow cytometry analysis of phytoplankton cultures and natural samples. **Cytometry Part A**, 85: 962–968.

McMurdie, P.J., Holmes, S. 2012. Phyloseq: a bioconductor package for handling and analysis of high-throughput phylogenetic sequence data. **Pacific Symposium on Biocomputing**, 46: 235–246.

Meyer, F., Paarmann, D., D'Souza, M., Olson, R., Glass, E.M., Kubal, M., Paczian, T., Rodriguez, A., Stevens, R., Wilke, A., Wilkening, J., & Edwards, R. A. 2008. The metagenomics RAST server - a public resource for the

automatic phylogenetic and functional analysis of metagenomes. ***BMC bioinformatics***, *9:* 386.

Moran, M.A., Durham, B.P. 2019. Sulfur metabolites in the pelagic ocean. **Nature reviews. Microbiology**, 17: 665–678.

Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., Wagner, H. 2013. Package 'vegan'. **Community Ecology Package**, 2: 1-295.

Orcutt, B.N., Sylvan, J.B., Knab, N.J., & Edwards, K.J. 2011. Microbial ecology of the dark ocean above, at, and below the seafloor. **Microbiology and molecular biology reviews**,*75:* 361–422.

Palenik, B., Ren, Q., Dupont, C.L., Myers, G.S., Heidelberg, J.F., Badger, J.H., Madupu, R., Nelson, W.C., Brinkac, L.M., Dodson, R.J., Durkin, A.S., Daugherty, S.C., Sullivan, S.A., Khouri, H., Mohamoud, Y., Halpin, R., Paulsen, I.T. 2006. Genome sequence of Synechococcus CC9311: Insights into adaptation to a coastal environment. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 103: 13555–13559.

Pan, L.A., Zhang, J., Zhang, L.H. 2007. Picophytoplankton, nanophytoplankton, heterotrophic bacteria and viruses in the Changjiang Estuary and adjacent coastal waters. **Journal of Plankton Research**,29: 187–197.

Parada, A.E., Needham, D.M., Fuhrman, J.A. 2015. Every base matters: assessing small subunit rRNA primers for marine microbiomes with mock communities, time series and global field samples. **Environmental Microbiology**, 18: 1403–1414.

Partensky, F., Hess, W.R., Vaulot, D. 1999. *Prochlorococcus*, a Marine Photosynthetic Prokaryote of Global Significance. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, 63: 106–127.

Quinn, P.K., Bates, T.S. 2011. The case against climate regulation via oceanic phytoplankton sulphur emissions. **Nature,** 480: 51–56.

Ribeiro, C.G., dos Santos, A.L., Marie, D., Pellizari, V.H., Brandini, F.P., Vaulot, D. 2016. Pico and nanoplankton abundance and carbon stocks along the Brazilian Bight. **PeerJ,** 4: 2587.

Segata, N., Izard, J., Waldron, L., Gevers, D., Miropolsky, L., Garret, W.S., Huttenhower, C. 2011. Metagenomic biomarker discovery and explanation. **Genome Biology,** 12: 60

Semedo, M., Lopes, E., Baptista, M.S., Oller-Ruiz, A., Gilabert, J., Tomasino, M. P., Magalhães, C. 2021. Depth profile of nitrifying archaeal and bacterial communities in the remote oligotrophic waters of the north Pacific. **Frontiers in Microbiology,** 12:1-18.

Singh, B.K., Bardgett, R.D., Smith, P., & Reay, D.S. 2010. Microorganisms and climate change: terrestrial feedbacks and mitigation options. **Nature reviews. Microbiology,** *8:* 779–790.

Strom S.L. 2008. Microbial ecology of ocean biogeochemistry: a community perspective. **Science**, 320:1043–1045.

Sutton, T.T., Clark, M.R., Dunn, D.C., Halpin, P.N., Rogers, A.D., Guinotte, J., Bograd, S.J., Angel, M.V., Perez, J.A.A., Wishner, K., Haedrich, R.L., Lindsay, D.J., Drazen, J.C., Vereshchaka, A., Piatkowski, U., Morato, T., Blachwiak-Samolyk, K., Robison, B.H., Gjerde, K.M., Pierrot-Bults, A., Bernal, P., Reygondeau, G., Heino, M. 2017. A global biogeographic classification of the mesopelagic zone. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, 126: 85-102.

Tarran, G.A., Heywood, J.L., Zubkov, M.V. 2006. Latitudinal changes in the standing stocks of nano- and picoeukaryotic phytoplankton in the Atlantic Ocean.**Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography***,* 53: 1516–1529.

Teeling, H., Fuchs, B.M., Becher, D., Klockow, C., Gardebrecht, A., Bennke, C.M., Kassabgy, M., Huang, S., Mann, A.J., Waldmann, J., Weber, M., Klindworth, A., Otto, A., Lange, J., Bernhardt, J., Reinsch, C., Hecker, M., Peplies, J., Bockelmann, F.D., Callies, U., Gerdts, G., Wichels, A., Wiltshire, K.H., Glockner, O., Schweder, T., Amann, R. 2012. Substrate-Controlled Succession of Marine Bacterioplankton Populations Induced by a Phytoplankton Bloom. **Science,** 336: 608–611.

Tréguer, P., Bowler, C., Moriceau, B., Dutkiewicz, S., Gehlen, M., Aumont, O., Bittner, L., Dugdale, R.C., Finkel, Z., Ludicone, D., Jahn, O., Guidi, L.,

Lasbleiz, M., Leblanc, K., Lévy, M., Pondaven, P. 2018. Influence of diatom diversity on the ocean biological carbon pump. **Nature Geoscience**, 11:27-37.

Tully, B.J., Heidelberg, J.F. 2013. Microbial communities associated with ferromanganese nodules and the surrounding sediments. **Front. Microbiol.**, v. 4, p. 1–10.

UNESP, 2022. In: Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Campos - PCR-BS/GEOPROCESSAMENTO E CARTAS SAO DA BACIA DE SANTOS. Rio de Janeiro (RJ): PETROBRAS/CENPES, 2022.

Volk, T., Hoffert, M.I. 1985. Ocean carbon pumps: Analysis of relative strengths and efficiencies in ocean-driven atmospheric CO2 changes. **The carbon cycle and atmospheric CO2: natural variations Archean to present**, 32: 99-110.

Walsh, E.A., Kirkpatrick, J.B., Rutherford, S.D., Smith, D.C., Sogin, M., D'Hondt, S. 2016. Bacterial diversity and community composition from sea surface to subseafloor. **The ISME Journal,** 10: 979–989.

Warrant, E.J., Locket, N.A. 2004. Vision in the deep sea. **Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society**, *79*: 671–712.

Wickham, H. 2009. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. **New York: Springer Publishing Company, Incorporated**.

Wood, D.E., Salzberg, S.L. 2014. Kraken: ultrafast metagenomic sequence classification using exact alignments. **Genome Biology,** 15: 46

Worden, A.Z., Not, F. 2008. Ecology and Diversity of Picoeukaryotes. *In:* D.L., KIRCHMAN. **Microbial Ecology of the Oceans**, Nova Iorque: John Wiley & Sons, Inc: 159–205.

Wutcher, C., Abbas, B., Coolen, M.J.L., Herfort, L., van Bleijswijk, J., Timmers, P., Strous, M., Teira, E., Herndl, G.J., Middelburg, J.J., Schouten, S., Damsté, J.S.S. 2006. Archaeal nitrification in the ocean. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**,103: 12317-12322.

Zhang, D.C., Liu, Y.X., Li, X.Z. 2015. Characterization of bacterial diversity associated with deep sea ferromanganese nodules from the South China Sea. Journal of Microbiology, v. 53, p.598-605.

Zubkov, M.V., Sleigh, M.A., Tarran, G.A., Burkill, P.H., Leakey, R.J.G. 1998. Picoplanktonic community structure on an Atlantic transect from 50°N to 50°S.

PÚBLICA

Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers,45: 1339–1355.

PÚBLICA

III.6 Equipe Técnica

Nomes	Formação	Atuação
Profa. Dra. Vivian Helena Pellizari	Doutora em Ciências Biológicas (Microbiologia), Professora associada.	Coordenação geral
Dra. Natascha Menezes Bergo	Doutora em Oceanografia Biológica	Bolsista Pós Doc: coleta de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Dra. Francielli Vilela Peres	Doutora em Microbiologia	Bolsista Pós Doc: coleta de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Dr. Julio Cezar Fornazier Moreira	Doutor em Agronomia	Bolsista Pós Doc: coleta de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Dra. Fabiana da Silva Paula	Pós-Doutora em Oceanografia Biológica	Bolsista Pós Doc: coleta de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Msc. Rebeca Graciela Matheus Lizárraga	Mestra em Microbiologia	Bolsista de Doutorado: análises laboratoriais e processamento de dados
Msc. Diana Carolina Duque Castano	Mestra em Microbiologia	Bolsista de Doutorado: coleta de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Alice Moura Emilio	Aluna de Pós-Graduação em Microbiologia	Bolsista de Mestrado: análises laboratoriais e processamento de dados
Renato Gamba Romano	Oceanógrafo	Bolsista Iniciação Científica: coleta de campo e análises laboratoriais
Augusto Miliorini Amendola	Aluno de Graduação em Oceanografia Biológica	Bolsista Iniciação Científica: coleta de campo, análises laboratoriais e processamento de dados

PÚBLICA

IV. Caracterização do fitoplâncton da Bacia de Santos por pigmentos marcadores

IV.1 Introdução

Os microrganismos marinhos são um componente importante dos ciclos globais de nutrientes por serem capazes de se reproduzir rapidamente (Arrigo, 2005). A produção primária fitoplanctônica é o ponto de entrada de nutrientes e carbono nas teias tróficas e por isto é essencial para os processos ecológicos e biogeoquímicos marinhos. Dentre eles destaca-se a transformação do CO_2 atmosférico em carbono orgânico através da fotossíntese. Mudanças na produção ou na composição da comunidade fitoplanctônica pode, em princípio, influenciar a taxa de absorção de CO_2, incluindo o carbono antropogênico liberado para a atmosfera (Ferland et al., 2011).

A compreensão do significado quantitativo do fitoplâncton nos ciclos biogeoquímicos requer o conhecimento de sua biomassa total e de sua composição, tanto em relação às classes de tamanho quanto aos tipos funcionais. Diferenças no tamanho e na composição da parede celular (p.ex., SiO_2 e $CaCO_3$ em diatomáceas e cocolitoforídeo, respectivamente) influenciam a taxa de sedimentação e consequentemente o fluxo vertical de carbono. Do mesmo modo, o ciclo do nitrogênio é influenciado por cianobactérias capazes de fixá-lo (Zeng et al., 2018), aumentando a incorporação de nitrogênio novo nos ecossistemas marinhos e, consequentemente, as vias alternativas de fixação de exportação de carbono para as bacias oceânicas.

A clorofila *a*, cuja função principal é absorver a energia solar e iniciar a cadeia de transferência de elétrons durante a fotossíntese, está presente em todos os organismos fotoautotróficos e por isso é utilizada como indicador da biomassa fitoplanctônica. As células fitoplanctônicas também possuem pigmentos acessórios "fotocoletores", como as clorofilas *b*, *c* e vários carotenóides, como peridinina, fucoxantina, 19'hexanoiloxifucoxantina, 19'butanoiloxi-fucoxantina e prasinoxantina, cuja função é ampliar a faixa de absorção do espectro de luz, otimizando a aquisição da energia luminosa. Outros

PÚBLICA

carotenóides, denominados “pigmentos fotoprotetores”, como violaxantina, diadinoxantina, diatoxantina, zeaxantina e luteína, servem para proteger as células contra os efeitos de elevadas irradiâncias, que podem danificar o aparato fotossintético (Barlow *et al*., 2002; Carreto *et al*., 2008). Os pigmentos acessórios presentes nas células variam entre os diferentes grupos taxonômicos e, dentre eles, alguns são específicos para uma determinada classe taxonômica (p. ex. aloxantina nas criptofíceas e peridinina nos dinoflagelados) enquanto outros ocorrem em vários grupos (beta-caroteno, diadinoxantina, clorofilas *c*).

A determinação da clorofila *a* pela técnica de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) é recomendada porque sua quantificação é livre de qualquer interferência de outros pigmentos ou produtos de degradação. Os pigmentos acessórios são simultaneamente separados e podem ser identificados e quantificados. A partir destes dados, podem ser conhecidas as contribuições das principais classes ou mesmo de alguns gêneros de microalgas presentes, incluindo o picoplâncton e células frágeis cuja identificação é dificultada devido às limitações impostas por outras técnicas, como a citometria e a microscopia ótica. Quanto maior a capacidade de separação de um método cromatográfico, mais informação é obtida para o reconhecimento dos grupos fitoplanctônicos. Atualmente, os métodos de Zapata e colaboradores (2000) e de Van Heukelem e Thomas (2001) são os mais utilizados.

A variação do conteúdo dos pigmentos ao longo do tempo pode ser ~~por si só~~ usada para analisar a distribuição dos grupos taxonômicos (Ston-Egiert, 2022). Índices também são usados para relacionar os pigmentos a grupos específicos do fitoplâncton ou a diferentes classes de tamanho: micro-, nano- e picoplâncton (Uitz *et al.,* 2006; Agirbas *et al.,* 2020). Os índices que determinam a composição por tamanho são também aplicados na verificação de parametrizações baseadas apenas na concentração da clorofila *a*, que pode ser usada em escala global (Uitz *et al.,* 2006; Hirata *et al.,* 2010, Brewin *et al.,* 2010, Zeng 2018).

Mackey *et al.* (1996) propuseram o cálculo da contribuição de cada classe para a comunidade fitoplanctônica total, com base numa fatorização de matrizes onde, para cada classe, todos os pigmentos representativos são simultaneamente considerados por meio de um *software* (Chemical Taxonomy -

PÚBLICA

CHEMTAX). Na análise pelo CHEMTAX, razões pigmento marcador/clorofila *a* para diferentes grupos taxonômicos são determinadas como “valores de entrada”, com base na literatura ou em dados de cultivos em laboratório. O algoritmo ajusta estas razões de modo a explicar os dados obtidos no ambiente natural analisado e a derivar a composição taxonômica das populações nas amostras ambientais. O CHEMTAX otimiza as razões de pigmentos usando iteração e um algoritmo de minimização, de modo a encontrar um resíduo mínimo (conteúdo de pigmento inexplicado pela solução do CHEMTAX) (Wright *et al.,* 2009). Essa abordagem tem sido utilizada por muitos autores, para estudar a composição e a dinâmica do fitoplâncton em diversos ecossistemas: na fronteira leste do Atlântico (Barlow *et al*., 2016), no estuário do rio Neuse, na Carolina do Norte (Pinckney *et al*., 1998), em sistemas costeiros nos Estados Unidos (Reed *et al*., 2016), no Oceano Índico (Schlüter *et al.*, 2011), na Antártida (Wright *et al*., 2010; Wright *et al.,* 2009; Antoni et al., 2020), no Mar Mediterrâneo (Marty *et al*., 2008, Latasa *et al.*, 2022), no Oceano Pacífico Equatorial (Mackey *et al.*, 2002), no Pacífico, Baixa Califórnia (Gonzalez-Silvera, 2020). Esse método foi usado num reservatório de água doce no Brasil (Marinho e Rodrigues, 2003). No Atlântico Sul pode-se citar trabalhos na frente marítima do Rio da Prata (Carreto et al., 2008), na zona de confluência Brasil-Malvinas (Gonçalves-Araújo et al., 2012), na Bacia de Campos (Rodrigues, Marinho et al., 2014), na Bacia do Espírito Santo e porção norte da Bacia de Campos (Rodrigues, Marinho et al., 2015), a 30º S do Atlântico (Araújo et al., 2017), de Cabo Frio ao Chuí (Lima et al., 2019) e entre as margens sudoeste (África) e sudeste (Brasil) do Atlântico (Carvalho et al., 2019 e Carvalho et al., 2021).

No presente trabalho foi feita uma análise por pigmentos/CHEMTAX do fitoplâncton na Bacia de Santos, com o objetivo de caracterizar, por meio de pigmentos marcadores, os principais grupos taxonômicos, sua variabilidade espacial e temporal e como os fatores ambientais as explicam. Este estudo complementa os já realizados nas Bacias de Campos e do Espírito Santo com malhas amostrais e metodologias semelhantes e poderá ser usado para uma análise integrada dessas regiões.

IV.2 Métodos

IV.2.1 Atividades de campo

Foram realizadas duas campanhas, durante as estações de inverno (agosto a novembro de 2019) e de verão (dezembro de 2021 a março de 2022). A malha amostral abrangeu oito transectos nomeados de sul para norte de A H, totalizando 60 estações coletadas em três profundidades: superfície (SUP; aproximadamente 1 metro), início da profundidade de máximo de clorofila (Início PMC; amostrado quando detectado) e profundidade de máximo de clorofila (PMC).

Foram coletados entre 4 e 5 L de amostras para serem filtrados a bordo em duas réplicas, com iluminação de lâmpada verde, sob vácuo inferior a 200 mm Hg, através de filtro de porosidade de 0,7 µm (Whatmann GF/F, 25 mm de diâmetro). As filtrações foram feitas durante cerca de 20 minutos, com aproximadamente 2 L de amostra para cada réplica. Ao final do processo, os filtros foram dobrados ao meio para retirar o excesso de água com papel absorvente, armazenados em criotubos e conservados em nitrogênio líquido.

IV.2.2 Análises de laboratório

IV.2.2.1 Extração, separação e quantificação dos pigmentos

A primeira etapa da análise consistiu na extração dos pigmentos a partir do método *eco-friendly* em mini moinho, modificado de Wright *et al.* (2010). A modificação introduzida neste trabalho foi a substituição do solvente de extração original, dimetilformamida (DMF), por um solvente de menor toxicidade, o etanol. A eficiência de extração dos dois solventes foi testada e apresentou resultados equivalentes (Figura IV.7-1). Após retirados do nitrogênio líquido, os filtros foram cortados em tiras e realocados em criotubos do tipo Biospec com 1 mL da solução de extração, composta por etanol como solvente e pelo padrão DL acetato de alfa-tocopherol (*Sigma-Aldrich*), usado para controle da extração. Os criotubos foram então refrigerados a uma temperatura de -20 ºC por 1 hora. Finalizado este período, foram adicionados 0,6 g de pérolas de zircônio ao criotubo, que foi deixado resfriar durante 20 s em nitrogênio líquido e levado ao

moinho (Mini Bead-Beater 16, Biospec) por 25 s. Foi feita a inversão do criotubo Biospec para realizar um furo na base e acoplar a outro criotubo (Corning). Este conjunto foi inserido dentro do tubo Falcon e levado para centrifugação (4 ºC, 4000 rpm, 5 minutos, em centrífuga Hettich). O volume de extrato recuperado foi aferido em seringa Hamilton de 1 mL, filtrado em membranas descartáveis de PTFE com 13 mm de diâmetro e 0,22 µm de porosidade (Allcrom) e levado para injeção no cromatógrafo.

A segunda etapa de análise cromatográfica utilizou um cromatógrafo a líquido Metrohm com uma coluna ACE 3 C18-PFP com dimensões de 150 mm x 3.0 mm e pré-coluna com partícula de 5 µm para separação analítica, acoplado a um detector de arranjo de diodos (Thermo Scientific). O método de separação utilizado foi de Sanz e colaboradores *(*2015) com gradiente de fase móvel utilizando o solvente A (metanol e acetato de amônio; 82:18, v:v) e o solvente B (etanol 100%) a uma vazão e temperatura constantes de 0.42 mL.min^{-1} e 33 ºC, respectivamente. Os resultados de absorbância foram obtidos a partir do *software ChromQuest* entre os comprimentos de onda de 250 e 700 nm. Para injeção manual no HPLC, foram preparadas soluções do extrato das amostras com tampão de acetato de amônio (77.08 g/mol) com fator de diluição de 1,25. O controle diário qualitativo da coluna foi realizado com a injeção de um padrão misto (*DHI - Water and Environment - Hørsholm, Denmark*). Os pigmentos foram quantificados a partir de curvas analíticas, em pelo menos 5 níveis de concentração, feitas a partir de diluições com o solvente de extração e os padrões individuais: clorofila *c*3 (Cl *c*3), clorofila *c*2 (Cl *c*2), clorofila *c*1 (Cl *c*1) clorofila *b* (Cl *b*), divinilclorofila *a* (DVCl *a*), clorofila *a* (Cl *a*), peridinina (Peri), 19'butanoiloxi-fucoxantina (19'But), fucoxantina (Fuco), 19'hexanoiloxi-fucoxantina (19'Hex), zeaxantina (Zea) luteína (Lut), prasinoxantina (Pras), neoxantina (Neox), violaxantina (Viola), diadinoxantina (Diad), diatoxantina (Diat), aloxantina (Alo), clorofila *c*2 MGDG (Cl *c*2 MGDG), Mg-2,4-divinil-feoporfirina (MgDVP), alfa-caroteno (Alfa-car), beta-caroteno (Beta-car), 19'Hexanoiloxi-ketofucoxantina (Keto-hex) adquiridos de *DHI - Water and Environment (Hørsholm, Denmark)*. Os cálculos de limite de detecção e quantificação foram baseados em Grob e Barry (2004), a partir da razão

sinal/ruído obtida nos cromatogramas dos pontos de menores concentrações das curvas de calibração de cada pigmento.

Todos os reagentes foram obtidos em grau HPLC e, quando necessário foi utilizada água ultra-purificada (Milli Q Gradient – Millipore) no preparo de soluções. Durante todo o processo, as amostras foram mantidas refrigeradas e sob abrigo da luz, com auxílio de iluminação verde quando preciso. Cerca de metade das amostras analisadas na campanha de verão apresentaram contaminação desconhecida no tempo de retenção do pigmento 19'But, importante marcador de grupos fitoplanctônicos. Como solução para quantificação deste pigmento, essas amostras foram analisadas por um cromatógrafo líquido acoplado a um detector por espectrometria de massas (LC-MS).

IV.2.3 Quimiotaxonomia do fitoplâncton

A partir da concentração dos pigmentos normalizados pela clorofila *a* foi realizada uma análise de agrupamentos no software PAST (método Ward). Para a campanha amostral de inverno foram identificados 4 agrupamentos: amostras de SUP e Início PMC da região nerítica, amostras de PMC da região nerítica, amostras de SUP e Início PMC da região oceânica e amostras de PMC da região oceânica. Enquanto para campanha de verão foram apontados 3 conjuntos: amostras de SUP e Início PMC da região oceânica, amostras da região nerítica e amostras de PMC da região oceânica. Assim, as amostras foram analisadas em grupos específicos pelo software CHEMTAX.

O CHEMTAX é um software de taxonomia química por fatoração de matrizes, que estima a contribuição de distintos grupos fitoplanctônicos para a biomassa de clorofila *a* total em cada amostra (Mackey et al., 1996). Existem duas matrizes de base: o perfil pigmentar de cada amostra e a matriz, chamada de "matriz *input*" (ou de entrada), das razões pigmentares de cada um dos grupos de fitoplâncton determinados para a região. O processamento realizado no CHEMTAX ocorreu de acordo com Wright *et al.* (2009): foram geradas 60 matrizes aleatórias com as razões pigmentares, nas quais cada célula da matriz inicial é multiplicada por um fator arbitrário F, onde F = 1 + S*(R – 0,5); S é um termo igual a 0,7, normalmente, e R é um número aleatório entre 0 e 1. Cada

PÚBLICA

uma das matrizes aleatórias criadas foi utilizada como início da otimização pelo *software*, fornecendo 60 respostas de contribuição de cada grupo taxonômico para a clorofila a total e 60 matrizes *"output"* (de saída) de perfis pigmentares dos grupos taxonômicos. As 6 melhores respostas (com menores resíduos) foram selecionadas e a média das respectivas matrizes de saída foi usada como uma nova matriz de entrada. Todo o processo de geração de matrizes aleatórias e processamento foi repetido, gerando o resultado final.

Os seguintes grupos taxonômicos foram definidos por meio do levantamento de dados da literatura e da análise crítica do resultado pigmentar: dictiofíceas, criptofíceas pelagofíceas, haptofíceas dos tipos pigmentares 6 e 8 prasinofíceas dos tipos pigmentares 1 e 3, dinoflagelados dos tipos pigmentares 1 e 2, diatomáceas dos tipos pigmentares 1 e 2, cianobactérias do tipo pigmentar 2 e do gênero *Prochlorococcus* sp. (Wright, 2017). Os seguintes pigmentos foram usados na matriz de entrada do CHEMTAX: Cl *c3*, MVCl *c*3, MgDVP, Cl *c2*, Cl *c*1, Peri, Keto-hex, Cl *c*2 MGDG, DVCl *b*, Cl *b*, DVCl *a,* Cl *a*, 19'But, Fuco, 19'Hex, Zea, Lut, Pras, Neox e Alo.

IV.2.4 Análises Estatísticas

As finalidade das análises estatísticas foi auxiliar na interpretação dos seguintes tópicos: i) comparar a distribuição dos grupos taxonômicos ao longo dos transectos (região nerítica X região oceânica); ii) entre as profundidades de coleta (distribuição vertical: SUP, Início PMC e PMC) e iii) entre as campanhas realizadas (inverno *vs* verão). A variação de biomassa fitoplanctônica na malha amostral foi obtida por meio de análises de variância com base em modelos mistos. A biomassa dos grupos encontrados foi obtida através da função log (x+1).

IV.2.4.1 Programa CANOCO

Análises de redundância (RDA) foram feitas para estudar a influência das variáveis ambientais sobre a distribuição fitoplanctônica utilizando o programa CANOCO versão 5.0 (Ter Braak e Smilauer, 2002). Os seguintes dados abióticos foram utilizados: salinidade, oxigênio dissolvido (OD), temperatura da água, silicato (SiO_4), fosfato (PO_4), nitrito (NO_2), nitrato (NO_3), amônio (NH_4),

PÚBLICA

profundidade de zona eufótica (Z_{euf}), profundidade da camada de mistura (Z_{mix}) e razão Z_{euf}/Z_{mix}.

IV.2.4.2 Método de aprendizado de máquinas

O método de aprendizado de máquinas foi aplicado para entender a distribuição espaço-temporal, a composição e abundância do fitoplâncton em relação às variáveis ambientais. Através das análises de mapa auto-organizado (Self-Organizing Method, SOM) e agrupamento hierárquico, as 337 amostras foram discriminadas em grupos baseados na composição e abundância do fitoplâncton. Os agrupamentos ou classes foram analisados juntamente com as varáveis ambientais (as mesmas descritas no item IV.2.4.1) através da análise de floresta aleatória (Random Forest, RF). Essas análises foram feitas através do aplicativo iMesc, desenvolvido especialmente para o projeto utilizando os Programas R e Rstudio.

IV.3 Resultados

IV.3.1 Assinatura pigmentar do fitoplâncton

O método de extração adotado (Wright et al. 2010, modificado) e a separação segundo Sanz e colaboradores (2015) permitiram a separação com resolução adequada dos pigmentos marcadores dos principais grupos taxonômicos presentes nas amostras da Bacia de Santos, com exceção do par zeaxantina/luteína, que é uma limitação do método (Figura IV.3.1). Os pigmentos foram identificados por seus tempos de retenção, comparados ao da mistura-padrão e por seus respectivos espectros de absorção na região da luz visível.

As amostras de SUP (1 m), início da PMC e PMC de todas as estações amostradas foram extraídas e analisadas por CLAE. Um total de 29 pigmentos foram identificados, indicando uma grande diversidade nos grupos fitoplanctônicos. Vinte e quatro pigmentos foram quantificados e as respectivas curvas analíticas constam no Anexo IV-23.

PÚBLICA

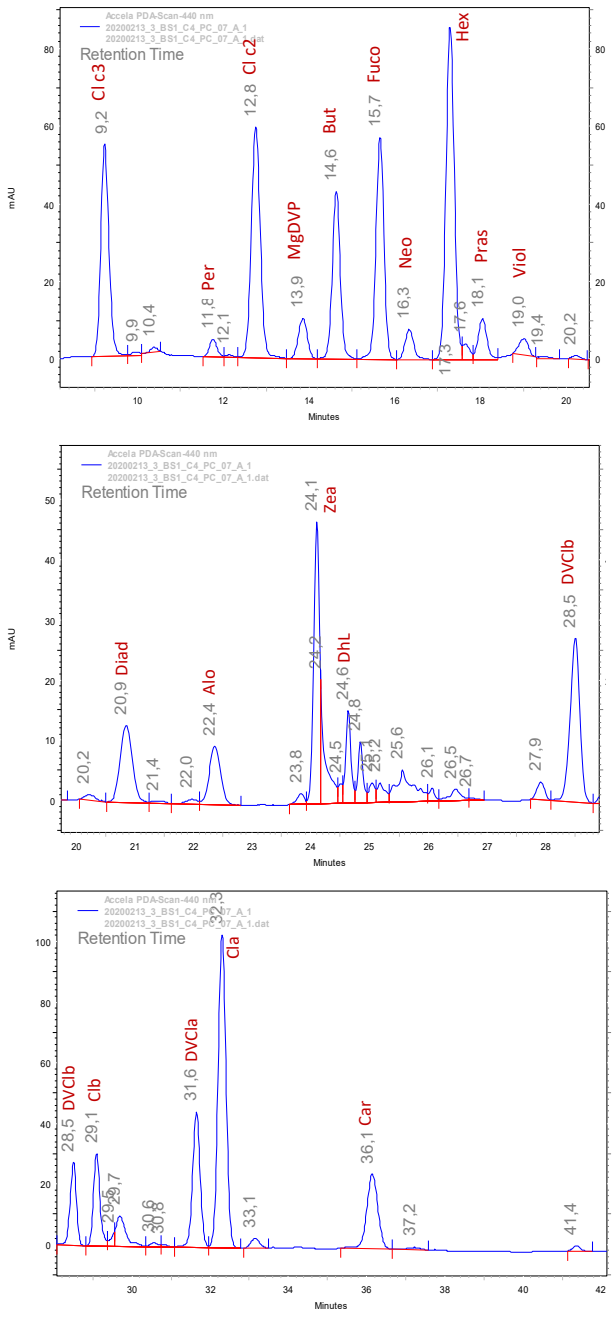


Figura IV.3.1-1: *Cromatograma do extrato obtido na estação C4, inverno, PMC, com os principais pigmentos identificados em ordem crescente de tempo de retenção: Cl c3, Per, Cl c2, MgDVP, But, Fuco, Neo, Hex, Pras, Viol, Diad, Alo, Zea, DhL, DVclb, Clb, DVCla, Cla, Car (aCar + bCar).*

PÚBLICA

IV.3.2 Abundância fitoplanctônica (Cla + DVCla): distribuição temporal e espacial

A concentração de clorofila a total (TCl *a*) variou entre 0,06 e 6,05 µg L^{-1}. Os valores máximos foram observados durante o inverno de 2019 na superfície ao largo da Ilha Grande e no nível de PMC ao largo da Baia de Guanabara. No mesmo período, a TCl *a* foi maior na região nerítica, quando comparada à região oceânica. Também foi observada maior TCl *a* na porção norte da Bacia em relação à porção sul, tanto na superfície quanto no PMC. No setor sul, a concentração de clorofila variou de 0,06 a 1,58 µg L^{-1} nas regiões nerítica e oceânica. Já no setor norte, os valores na superfície variaram entre 0,56 e 1,58 µg L^{-1} nas áreas mais próximas à costa (estações 1), exceto em frente à Baia de Guanabara, onde verificou-se a maior concentração (6,05 µg L^{-1}) registrada durante todo o estudo. Também houve a mesma tendência de maiores concentrações na região nerítica, PMC, do setor norte, mas agora se estendendo para as áreas internas costeiras na maioria dos transectos. Ao largo da Ilha Grande e Cabo Frio foram observados os maiores valores, cerca de 4,0 e 1,7 µg L^{-1}, respectivamente (Figura IV.3.2-1).

No verão de 2021/2022, as concentrações de clorofila a total foram menores do que no inverno, variando de 0,06 a 3,24 µg L^{-1}. Na superfície variou em geral entre, 0,06 e 1,58 em toda plataforma, exceto pelo pico de 2,38 µg L^{-1} em frente a Cabo Frio. Nas estações neríticas do setor norte os picos subsuperficiais (PMC's) variaram entre 0,57 e 3,24 µg L^{-1}, enquanto nas demais estações, a TCl *a* foi mais homogênea, variando entre 0,06 e 0,56 µg L^{-1}. PMC's no setor sul com altas concentrações foram detectados especificamente sobre o talude continental. Além disso, destacam-se os altos valores observados na plataforma interna e média ao largo de Santos (Figura IV.3.2-2).

PÚBLICA

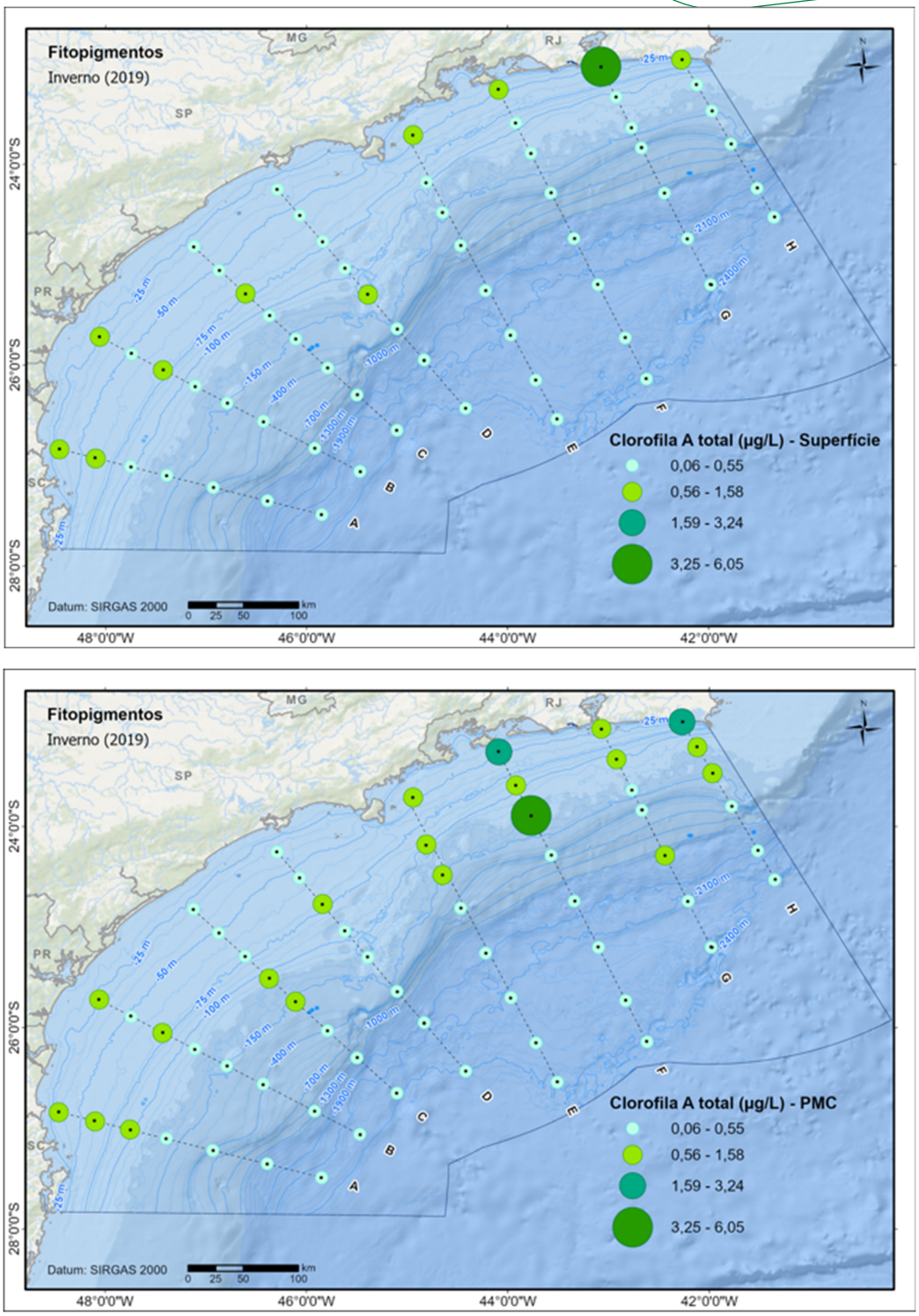


Figura IV.3.2-1: *Biomassa total fitoplanctônica nos estratos de superfície (1m da coluna d'água, mapa superior) e profundidade do máximo da clorofila (mapa inferior), durante o inverno de 2019.*

PÚBLICA

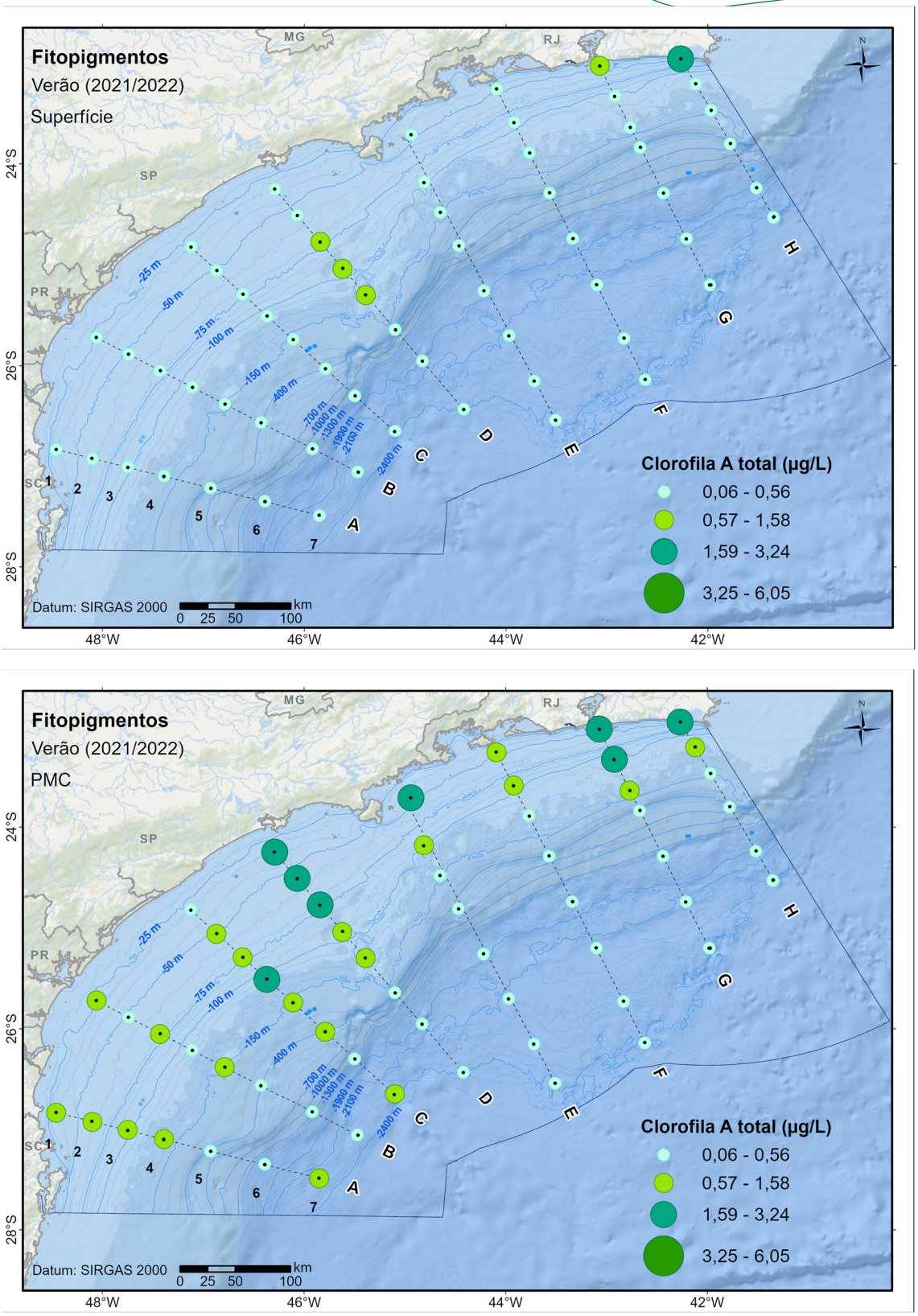


Figura IV.3.2-2: *Biomassa total fitoplanctônica nos estratos de superfície (1m da coluna d'água, mapa superior) e profundidade do máximo da clorofila (mapa inferior), durante o verão de 2022.*

PÚBLICA

IV.3.3 Pigmentos marcadores: distribuição temporal e espacial

A concentração de cada pigmento na água do mar pode ser considerada um indicativo da ocorrência dos grupos taxonômicos, uma vez que existem pigmentos que são inequívocos. Nesse sentido, a distribuição temporal e espacial dos pigmentos é uma importante ferramenta para o entendimento da estrutura da comunidade do fitoplâncton.

As concentrações máximas, mínimas e medianas dos principais pigmentos fitoplanctônicos do ambiente pelágico da Bacia de Santos foram calculadas para as estações de inverno (2019; Tabela IV.3.3-1) e verão (2022; Tabela IV.3.3-2). Alguns pigmentos quantificados não constam da tabela: alfa- e beta-Car por não terem especificidade taxonômica e terem tido resolução parcial, Lut por ter sido minoritário e também ter tido resolução parcial. Alguns pigmentos importantes taxonomicamente também não constam da tabela, por terem sido minoritários: e Diato, Cl c1, MVCl c3, Cl c2-MGDG e KetoHex.

No inverno de 2019, os cinco pigmentos mais abundantes, após a Cla, foram Fuco, 19'-Hex, Cl b, DVCl a e Cl c2; dentre eles, os valores de mediana estiveram mais altos na zona nerítica para Fuco, Cl b e Cl c2, enquanto 19'-Hex esteve bem distribuída nas regiões nerítica e oceânica e DVCl a predominou na região oceânica (Tabela IV.3.3-1). Já no verão de 2022, os pigmentos com maiores concentrações foram DVCl a, Zea, 19'Hex, Cl b e Fuco. Assim como no inverno, DVCl a ocorreu principalmente na região oceânica, Fuco e Cl b na região nerítica e Zea esteve bem distribuída nas duas regiões. 19'-Hex teve uma ocorrência um pouco maior na região nerítica (Tabela IV.3.3-2).

Tabela IV.3.3-1: *Máximo (max), mediana (med) e mínimo (min) das concentrações (µg.L-[1]) dos principais pigmentos encontrados durante a estação do inverno na região nerítica (isóbatas < 150 m) e região oceânica (isóbatas > 150 m) nas três profundidades amostradas.*

Pigmentos		Nerítico SUP (n=30)	Nerítico Início PMC (n=26)	Nerítico PMC (n=30)	Oceânico SUP (n=28)	Oceânico Início PMC (n=28)	Oceânico PMC (n=28)
	max	*6,0543*	*4,9610*	*3,9622*	*0,3086*	*0,4337*	*0,4911*
Cl a	*med*	*0,2963*	*0,5051*	*0,6610*	*0,1209*	*0,1607*	*0,1941*
	min	*0,0520*	*0,2491*	*0,2706*	*0,0432*	*0,0528*	*0,1099*

PÚBLICA

(continuação Tabela IV.3.3-1)

	max	1,7614	1,6225	1,4836	0,1302	0,0802	0,0972
Fuco	med	0,0889	0,1055	0,2372	0,0162	0,0157	0,0170
	min	0,0056	0,0292	0,0444	0,0047	0,0038	0,0041
	max	*0,0913*	*0,1824*	*0,1603*	*0,0751*	*0,1700*	*0,1461*
Hex	*med*	*0,0328*	*0,0609*	*0,0614*	*0,0280*	*0,0403*	*0,0653*
	min	*0,0123*	*0,0259*	*0,0281*	*0,0101*	*0,0171*	*0,0381*
	max	0,2741	0,3839	0,3000	0,0515	0,0839	0,1400
Cl b	med	0,0327	0,0682	0,0995	0,0174	0,0279	0,0398
	min	0,0021	0,0232	0,0313	0,0013	0,0039	0,0175
	max	*0,0531*	*0,0800*	*0,1346*	*0,1473*	*0,1629*	*0,1498*
DV Cl a	*med*	*0,0019*	*0,0175*	*0,0056*	*0,0592*	*0,0958*	*0,0868*
	min	*0,0000*	*0,0000*	*0,0000*	*0,0130*	*0,0235*	*0,0164*
	max	0,3758	0,5978	0,4855	0,0388	0,0649	0,0614
Cl c2	med	0,0359	0,0559	0,0699	0,0121	0,0173	0,0247
	min	0,0051	0,0210	0,0354	0,0045	0,0057	0,0141
	max	*0,1277*	*0,6539*	*0,6191*	*0,0381*	*0,1024*	*0,0868*
Cl c3	*med*	*0,0222*	*0,0479*	*0,0733*	*0,0121*	*0,0194*	*0,0334*
	min	*0,0030*	*0,0214*	*0,0277*	*0,0022*	*0,0069*	*0,0190*
	max	0,1013	0,1016	0,0456	0,0834	0,0810	0,0564
Zea	med	0,0268	0,0330	0,0164	0,0397	0,0574	0,0257
	min	0,0032	0,0006	0,0003	0,0134	0,0093	0,0065
	max	*0,0266*	*0,1007*	*0,1126*	*0,0395*	*0,1459*	*0,1166*
But	*med*	*0,0107*	*0,0256*	*0,0276*	*0,0163*	*0,0258*	*0,0444*
	min	*0,0010*	*0,0094*	*0,0010*	*0,0008*	*0,0000*	*0,0183*
	max	0,1889	0,0686	0,0827	0,0228	0,0213	0,0125
Diadino	med	0,0283	0,0178	0,0197	0,0097	0,0062	0,0068
	min	0,0053	0,0077	0,0089	0,0068	0,0019	0,0047
	max	*0,0377*	*0,0773*	*0,0563*	*0,0080*	*0,0136*	*0,0203*
Prasino	*med*	*0,0050*	*0,0124*	*0,0132*	*0,0019*	*0,0030*	*0,0048*
	min	*0,0000*	*0,0000*	*0,0053*	*0,0000*	*0,0000*	*0,0012*
	max	0,0719	0,0593	0,0750	0,0071	0,0061	0,0109
Alox	med	0,0077	0,0098	0,0159	0,0011	0,0011	0,0030
	min	0,0000	0,0020	0,0055	0,0000	0,0000	0,0005
	max	*0,0905*	*0,0393*	*0,0302*	*0,0089*	*0,0083*	*0,0072*
Perid	*med*	*0,0098*	*0,0090*	*0,0099*	*0,0024*	*0,0032*	*0,0033*
	min	*0,0017*	*0,0000*	*0,0052*	*0,0008*	*0,0009*	*0,0004*

PÚBLICA

(continuação Tabela IV.3.3-1)

Neo	max	0,0231	0,0485	0,0346	0,0054	0,0090	0,0133
	med	0,0037	0,0090	0,0097	0,0015	0,0023	0,0034
	min	0,0006	0,0018	0,0029	0,0000	0,0005	0,0010
MGDVP	*max*	*0,0348*	*0,0254*	*0,0191*	*0,0062*	*0,0094*	*0,0110*
	med	*0,0037*	*0,0063*	*0,0071*	*0,0031*	*0,0046*	*0,0049*
	min	*0,0005*	*0,0027*	*0,0012*	*0,0004*	*0,0009*	*0,0010*

Tabela IV.3.3-2: *Máximo (max), mediana (med) e mínimo (min) das concentrações (µg.L-[1]) dos principais pigmentos encontrados durante a estação do verão na região nerítica (isóbatas < 150 m) e região oceânica (isóbatas > 150 m) nas três profundidades amostradas.*

Pigmentos		Nerítico SUP (n=30)	Nerítico Início PMC (n=26)	Nerítico PMC (n=30)	Oceânico SUP (n=28)	Oceânico Início PMC (n=28)	Oceânico PMC (n=28)
Cl a	max	2,3798	2,1124	3,2431	0,1606	0,4000	0,4173
	med	0,1844	0,4413	0,9605	0,0538	0,1218	0,2143
	min	0,0481	0,0569	0,2174	0,0294	0,0442	0,1415
DV Cl a	max	0,1456	0,2122	0,2611	0,0898	0,2718	0,2474
	med	0,0246	0,0459	0,0541	0,0417	0,1143	0,1589
	min	0,0000	0,0000	0,0000	0,0143	0,0004	0,0390
Zea	max	0,2699	0,1559	0,1191	0,1207	0,1367	0,0833
	med	0,0791	0,0707	0,0562	0,0725	0,0678	0,0440
	min	0,0301	0,0137	0,0003	0,0396	0,0449	0,0139
Hex	max	0,1255	0,3145	1,0189	0,0356	0,1478	0,1592
	med	0,0230	0,0592	0,1402	0,0141	0,0379	0,0814
	min	0,0006	0,0171	0,0361	0,0076	0,0082	0,0583
Cl b	max	0,1498	0,4287	0,6467	0,0158	0,1846	0,1126
	med	0,0106	0,0460	0,1727	0,0026	0,0155	0,0571
	min	0,0023	0,0047	0,0344	0,0008	0,0033	0,0296
Fuco	max	1,2430	0,7457	1,0178	0,0491	0,0169	0,0467
	med	0,0238	0,0654	0,1849	0,0072	0,0090	0,0122
	min	0,0038	0,0054	0,0131	0,0026	0,0033	0,0056
Cl c3	max	0,0976	0,2116	0,4524	0,0091	0,0744	0,0975
	med	0,0075	0,0358	0,1029	0,0032	0,0143	0,0485
	min	0,0023	0,0050	0,0146	0,0009	0,0029	0,0292

PÚBLICA

(continuação Tabela IV.3.3-2)

But	max	0,0780	0,0937	0,2701	0,0277	0,0683	0,1687
	med	0,0100	0,0286	0,0685	0,0055	0,0167	0,0655
	min	0,0002	0,0003	0,0004	0,0002	0,0018	0,0005
Cl c2	max	0,1844	0,2401	0,3767	0,0120	0,0485	0,0537
	med	0,0136	0,0394	0,0889	0,0052	0,0143	0,0271
	min	0,0047	0,0062	0,0156	0,0023	0,0042	0,0188
Diadino	max	0,3229	0,1179	0,0870	0,0185	0,0145	0,0126
	med	0,0135	0,0199	0,0305	0,0085	0,0059	0,0063
	min	0,0043	0,0047	0,0075	0,0033	0,0034	0,0045
Perid	max	0,1772	0,4687	0,0952	0,0050	0,0120	0,0094
	med	0,0064	0,0104	0,0223	0,0019	0,0052	0,0047
	min	0,0009	0,0015	0,0016	0,0000	0,0000	0,0027
Neo	max	0,0211	0,0611	0,1023	0,0012	0,0154	0,0113
	med	0,0011	0,0062	0,0228	0,0005	0,0012	0,0050
	min	0,0005	0,0005	0,0036	0,0004	0,0004	0,0019
MGDVP	max	0,0223	0,0261	0,0368	0,0030	0,0151	0,0198
	med	0,0015	0,0056	0,0112	0,0005	0,0039	0,0102
	min	0,0004	0,0006	0,0026	0,0004	0,0004	0,0005
Prasino	max	0,0119	0,0682	0,0996	0,0010	0,0169	0,0128
	med	0,0000	0,0076	0,0189	0,0000	0,0000	0,0045
	min	0,0000	0,0000	0,0021	0,0000	0,0000	0,0000
Alox	max	0,0534	0,1701	0,2925	0,0017	0,0065	0,0085
	med	0,0007	0,0036	0,0216	0,0000	0,0000	0,0029
	min	0,0000	0,0000	0,0017	0,0000	0,0000	0,0000

O pigmento fucoxantina é dominante em diatomáceas e em quase todas as classes de algas vermelhas, com algumas exceções importantes como dinoflagelados dos tipos 1 e 2 e criptofíceas. No inverno, esteve especialmente na porção norte da Bacia de Santos (F, G e H), tendo como exceção a alta concentração em D5 na superfície. No verão, destacaram-se as estações costeiras de Norte (transectos G e H, estações 1 e 2), em todos os estratos, mas também as estações de 2 a 4, do transecto de Santos (D) (Figura IV.7-3).

Diadinoxantina e diatoxantina ocorrem em praticamente todas as classes da linhagem de algas vermelhas e em algas verdes da classe das euglenofíceas. No inverno, as maiores concentrações de Diadino foram observadas nas

estações D5, na SUP e F2, na PMC (Figura IV.7-4) e, no verão nas estações D3, D4, D5 e H1 na SUP em maiores concentrações (Figura A3). Diatoxantina foi um pigmento predominante na SUP, especialmente em G1 e amplamente distribuído na Bacia de Santos durante o inverno. E, no verão, esteve em maiores concentrações na estação H1 da SUP e PMC, e F2 SUP e G2 início de PMC (Figura IV.7-5).

Zeaxantina, no inverno, foi detectada em concentrações mais elevadas na SUP e nesta profundidade foi abundante tanto em estações da região oceânica quanto da região nerítica. No verão, houve a mesma tendencia de ampla distribuição, com predomínio na superfície da estação H1. Este pigmento está presente em cianobactérias picoplanctônicas e coloniais, mas também em algas da linhagem vermelha, como crisofíceas, eustigmatofíceas e pelagofíceas (Figura IV.7-6).

O pigmento peridinina, indicador inequívoco de dinoflagelados do tipo 1, no inverno, esteve mais presente ao longo da plataforma continental que no talude. No inverno, se destacou na região sul da Bacia de Santos na superfície e, na PMC, em frente a Arraial do Cabo (H) e na região entre Ilha Grande (F) e Ilha de São Sebastião (E). Em D5 (Santos), na superfície, também foi observada maior concentração de peridinina, acompanhando o aumento de biomassa fitoplanctônica total observado nesta estação. No verão, as concentrações de plataforma também foram maiores que de talude, especialmente nas estações costeiras de superfície: H1 e G1, de início de PMC: D2 e, de PMC: D2, H1 e G1 (Figura IV.7-7).

As clorofilas c1, c2 e c3 estão presentes em muitas classes das algas vermelhas. A Cl c2 ocorre em todos os 3 tipos pigmentares de diatomáceas, de haptofíceas e de dinoflagelados, além de ocorrer em dictiofíceas e pelagofíceas. As clorofilas c1 e c3 são menos inespecíficas. Clc1 ocorre nos grupos pigmentares 1 e 3 das diatomáceas, em crisofíceas, nos grupos pigmentares 1 a 5 de haptofíceas e em dinoflagelados do tipo 3. A Clc3 ocorre nos tipos 2 e 3 de diatomáceas, nos grupos 4 a 8 de haptofíceas e em dinoflagelados do tipo 2. No inverno, a clorofila c1 predomínio na superfície da estação G1, enquanto no verão predominou na estão D5 superfície e início de PMC (Figura IV.7-8). As clorofilas c2 e c3 apresentaram distribuição semelhante, com maiores

PÚBLICA

concentrações em frente à Ilha Grande (F3 início de PMC e PMC), no inverno. Já no verão, se destacaram em várias estações neríticas na PMC e, na estação D2, G2 e H2, do início da PMC (Figuras IV.7-9 e IV.7-10).

Vários pigmentos pertencentes às linhagens de algas verdes foram encontrados: Neoxantina (Figura IV.7-11) e Luteína (Figura IV.7-12) - presentes na maioria das classes das algas verdes, Clorofila b - presente em todas as classes dessa linhagem (Figura IV.7-13), Prasinoxantina (Figura IV.7-14) e Mg-2,4-Divinil-Feoporfirina (MgDVP, Figura IV.7-15) – presentes em prasinofíceas do grupo pigmentar 3. No inverno, todos estes pigmentos apresentaram maiores concentrações na PMC, onde ocorreram principalmente na região nerítica, em frente a Arraial do Cabo e à Baía de Guanabara e na região da Ilha de São Sebastião, mas também, em menor quantidade, ao sul da Bacia de Santos. No verão, as maiores concentrações também foram observadas na PMC da região nerítica, mas agora, tanto na porção norte e sul da Bacia (Figuras IV.7-11 a IV.7-15).

Diversos pigmentos pertencentes às linhagens de algas vermelhas foram observados. Aloxantina, marcador de criptofíceas, no inverno, destacou-se na região nerítica tanto na SUP quanto na PMC ao sul da Bacia de Santos e na PMC da plataforma interna norte da Bacia, especialmente entre Arraial do Cabo e Ilha Grande (F2, G2, H2). No verão, as concentrações mais altas foram observadas na PMC, regiões neríticas, especialmente no norte da Bacia (G1, G2, H1) (Figura IV.7-16).

Pigmentos da linhagem de algas vermelhas mais específicos também foram detectados: 19'hexanoiloxi-fucoxantina, presente em Haptofíceas dos tipos 6, 7 e 8 e em dinoflagelados do tipo 2 (Karenia brevis, anteriormente Gymnodinium brevis) e 19'butanoiloxi-fucoxantina, importante em dictiofíceas e pelagofíceas e que pode também ocorrer em haptofíceas. No inverno, 19'-hexanoiloxi-fucoxantina foi maior na PMC do que na SUP, com importância tanto na região nerítica quanto na oceânica, enquanto no verão, este pigmento foi mais abundante na PMC, zonas costeiras e da porção sul da Bacia (Figura IV.7-17). No inverno, o pigmento 19'butanoiloxi-fucoxantina foi predominante na PMC (Figura IV.7-18), com padrão similar ao observado para a 19'hexanoiloxi-fucoxantina durante esta mesma estação. No verão, 19'butanoiloxi-fucoxantina

teve maiores concentrações registradas na PMC, da porção sul da Bacia, especialmente na estação C4 (Figura IV.7-18).

O pigmento 19'Hexanoiloxi-ketofucoxantina, que ocorre apenas em haptofíceas dos tipos pigmentares 6, 7 e 8, foi detectado e apresentou seus maiores teores na PMC da zona costeira desde a Ilha Grande até Cabo Frio, além das nas estações A1 e A2, onde foram observados valores de concentração relativamente altos, em ambas as profundidades (SUP e PMC), durante o inverno. Já no verão, as maiores concentrações foram observadas em frente à Baia de Guanabara (SUP e PMC) e estação C4 (na PMC) (Figura IV.7-19).

Notou-se um aumento da concentração de DVCla, indicadora de Prochlorococcus, em direção à região oceânica em todos os estratos (SUP, Início da PMC e PMC), tanto no inverno como no verão de 2022 (Figura IV.7-20).

Finalmente, os carotenos, que ocorrem em todas as linhagens de algas, foram também detectados. No inverno, o pigmento alfa-caroteno foi observado em concentrações mais latas na PMC, zona oceânica. No verão, a PMC também foi o estrato com maiores concentrações, com destaque para a estação G2, na porção norte e, estações C4, C5, na porção sul (Figura IV.7-21). No inverno, o beta-caroteno apresentou maiores concentrações na região nerítica do norte da Bacia de Santos, especialmente na estação G1 superfície. Enquanto no verão, este pigmento se concentrou nas estações costeiras da Bacia, destaque ao norte para as estações G1 e H1 (SUP e PMC) e, ao sul, estações D3, D4 e D5 (SUP) (Figura IV.7-22).

IV.3.4 CHEMTAX – Grupos Taxonômicos

Pigmentos inequívocos indicaram a presença de criptofíceas (aloxantina), dinoflagelados do tipo pigmentar 1 sensu Zapata *et al.* (2012) (peridinina), prasinofíceas (prasinoxantina) e Prochlorococcus (divinil-clorofila a). Segundo Schlüter e Mohlenberg (2003), razões Lut/Cl b menores que 0,3 indicam ausência de clorofíceas e razões Pras/Cl b menores que 0,17 indicam a presença de prasinofíceas de tipo pigmentar semelhante ao das clorofíceas (sem prasinoxantina). As razões Lut/Cl b na Bacia de Santos foram menores do que

0,20 em ambos os períodos amostrados, indicando a ausência de clorofíceas e as medianas das razões Pras/Cl b foram 0,13 no inverno e 0,067 no verão, indicando a presença de mais um tipo de prasinofíceas. Os resultados da microscopia obtidos para as mesmas amostras revelaram que as clorofíceas estiveram praticamente ausentes (ver V: Taxonomia, distribuição e abundância do nano- e do microplâncton da Bacia de Santos). A presença de Gymnodiniáceos e de silicoflagelados, detectados pela microscopia, levaram à inclusão de dinoflagelados do tipo pigmentar 2 e 3 (Zapata *et al*., 2012) e de dictyocofíceas. A presença de cianobactérias foi confirmada pelas 0,62 e 1,7 para a razão Zea/Cl b nas campanhas de inverno e verão, respectivamente, superiores ao valor máximo desta razão para as prasinofíceas (Schlüter e Mohlenberg, 2003). A alta concentração de fucoxantina indicou a presença de diatomáceas. A detecção de MV Cl c3, 19'Hex e 19'But indicaram a presença de haptofíceas dos tipos 6 e possivelmente do tipo 8, sensu Zapata (Zapata *et al.*, 2004). A avaliação das razões 19'But/19'Hex e 19'But/(19'But+ Fuco+19'Hex), que foram em geral superiores a 0,23 e 0,12, respectivamente, indicaram a presença de pelagofíceas, de acordo com cálculos feitos com dados de Seoane *et al.* (2009). O Anexo IV-24 lista os grupos taxonômicos selecionados e seus pigmentos característicos.

Como preparação para a análise de composição taxonômica, os dados de pigmentos das amostras campanhas de inverno e verão foram normalizados pelos respectivos valores de Cla e submetidos separadamente à análise de agrupamentos. As matrizes de razões [pigmento]/[Cl a] foram compostas pelos seguintes pigmentos: Cl *c*3, MVCl *c*3, Cl *c*2, Cl *c*1, Cl b, DVCl b, DvCl a, Peri, MgDVP, Fuco, 19'Hex, KetoHex, 19'But, Pras, Viola, Neo, Lut, Dihidro-Lut, Diad, Diat, Alo, Zea, Cl *c*2 MGDG, Alfa-car, Beta-car. As amostras foram separadas em 7 grupos: 4 no inverno (superfície + início de PMC neríticos; PMC nerítico; superfície + início de PMC oceânicos e PMC oceânico) e 3 no verão (superfície + início PMC + PMC neríticos; superfície + início de PMC oceânicos e PMC oceânico) (Figura IV.7-2).

As razões (pigmento marcador /clorofila a) dos pigmentos que compõem cada um dos grupos taxonômicos identificados foram pesquisadas na literatura. Os valores escolhidos foram os calculados por Wright (2017), com base numa

vasta compilação de dados e compuseram a matriz de entrada para o processamento CHEMTAX (Tabela IV.3.4-1), que foi feito separadamente para cada um dos 7 grupos de amostras, usando razões de 17 pigmentos (além da Cl a), selecionados dentre o total de pigmentos quantificados, por terem uma maior especificidade taxonômica. As matrizes de saída de razões pigmentares, para os 7 grupos processados, encontram-se nas tabelas IV.7-3 e IV.7-4, para as campanhas de inverno e verão, respectivamente.

Tabela IV.3-4-1: *Pigmentos e razões pigmentares (pigmento/Cla) de entrada para a análise de composição taxonômica através do software CHEMTAX.*

Classe/ Pigmento	Chlc3	MVChlc3	MgDVP	Chlc1	Peri	But-fuco	Fuco	Neo	Hex-kfuco	Hex-fuco	MGDG	Pras	Allo	Zea	DVChlb	Chlb	DVChla
Ciano-2														0.524			
Prochl														0.224	0.495		1.000
Cripto													0.463				
Dino-1			0.566		0.541												
Dino-2	0.787		0.566			0.699	0.964			0.128							
Hapto-6	0.156	0.158	0.400			0.800	0.658		0.139	0.686	0.847						
Hapto-8	0.759	0.250	0.195			0.130	0.959		0.266	0.371	0.316						
Dictyo-1	0.590					0.370	0.239										
Pelago	0.220					0.547	0.660										
Diato-1				0.520			0.711							0.141			
Diato-2	0.654						1.255										
Prasino-1			0.387					0.465						0.132		0.794	
Prasino-3B			0.223					0.556				0.145		0.580		0.368	

IV.3.5 Variação espacial e temporal dos grupos fitoplanctônicos

IV.3.5.1 Estrutura da comunidade fitoplanctônica – Inverno

O processamento CHEMTAX dos pigmentos encontrados nas amostras resultou na determinação quantitativa da Cla oriunda de cada grupo taxonômico, em cada amostra. A contribuição de cada grupo taxonômico em cada estação de coleta, em termos de valores absolutos de Cla (µg L^{-1}), pode ser vista nas figuras IV.3.5.1-1 a IV.3.5.1-4.

Ao largo de Itajaí e Paranaguá (transectos, A e B) foram observadas maiores biomassas, com predomínio de diatomáceas, na plataforma continental interna e média (três primeiras estações) (Figura IV.3.5.1-1). A Plataforma continental se alarga de Itajaí para Paranaguá, mas em ambos a mudança, tanto da abundância do fitoplâncton total quanto da estrutura da comunidade, não se deu na quebra de plataforma: a plataforma externa se assemelhou mais à região oceânica do que à plataforma interna. A partir da plataforma externa ocorreu menor abundância do fitoplâncton e sua composição se alterou nitidamente:

cianobactérias (tons azuis), prasinofíceas (tons verdes) e haptofíceas (tons cinza) passam a predominar. Os diferentes extratos verticais foram semelhantes num mesmo transecto, mas a presença de cianobactérias na região oceânica foi mais marcante ao largo de Itajaí.

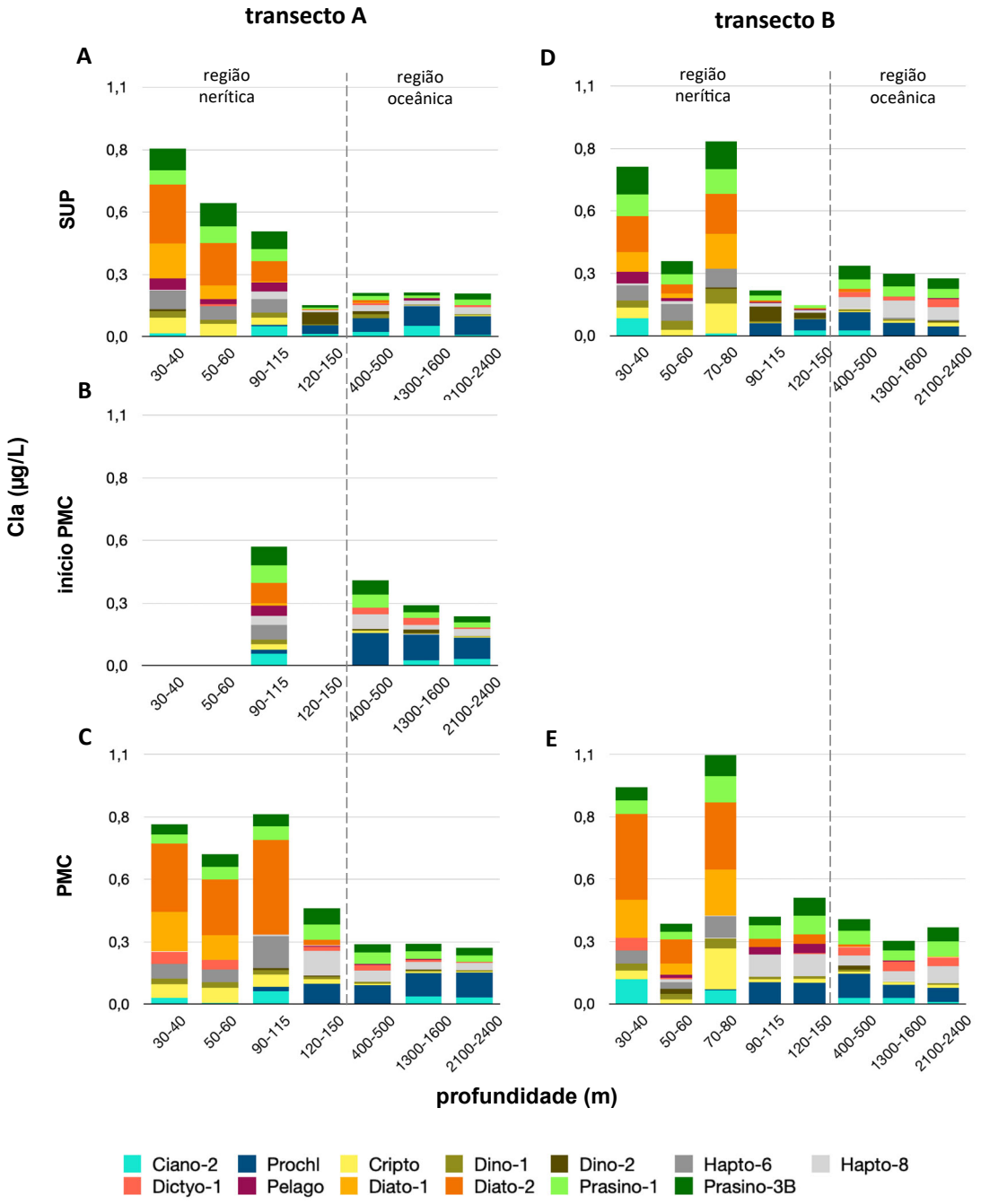


Figura IV.3.5.1-1: *Estrutura da comunidade fitoplanctônica nos transectos A e B durante o inverno de 2019, nas diferentes profundidades. Linha tracejada: delimitação região nerítica/oceânica, em cada transecto.*

PÚBLICA

Ao largo do norte de Cananéia e de Santos (transectos C e D), a plataforma continental continua larga, semelhante ao visto ao largo de Paranaguá (Figura IV.3.5.1-2). Parece ter ocorrido uma estratificação maior, revelada pelo aumento do predomínio de diatomáceas, principalmente nas 3 primeiras estações da região nerítica da PMC. Fugindo ao padrão esperado, observou-se na superfície ao largo de Santos (transecto D) um máximo de biomassa na quebra da plataforma (D5), composta principalmente por diatomáceas. Na região oceânica observou-se diversidade nos grupos fitoplanctônicos ao largo de Cananéia e de Santos, semelhante ao verificado ao largo de Paranaguá.

Ao largo das Ilhas de São Sebastião e Ilha Grande (Transectos E e F) a plataforma continental se estreita (Figura IV.3.5.1-3). Ao largo da Ilha de São Sebastião observou-se um comportamento distinto de todos os outros: a estação mais costeira foi a única em que diatomáceas predominaram, mais fortemente na PMC. Ao largo da Ilha Grande (transecto F) houve uma nítida diferença entre as regiões nerítica e oceânica e entre a superfície e a PMC, tanto pela biomassa quanto pela predominância de diatomáceas; na PMC as diatomáceas do tipo pigmentar 2 representaram 70-80% da clorofila a total. As cianobactérias (Ciano tipo 2 e *Prochlorococcus* sp.) predominaram na região oceânica. O início da PMC se assemelhou tanto à superfície ou à PMC, dependendo da distância à costa.

Ao largo da Baía de Guanabara e de Cabo Frio (transectos G e H) a plataforma continental é estreita (Figura IV.3.5.1-4). Os padrões na SUP e PMC foram distintos. Na SUP, em ambos os transectos se destaca a estação mais rasa com maior abundância do fitoplâncton, quase toda devida a diatomáceas. Ao largo da Baía de Guanabara, observou-se predomínio de cianobactérias a partir da plataforma externa (detalhe Figura IV.3.5.1-4). Na PMC, as diatomáceas dominaram a primeira estação da região nerítica; parece haver um gradiente na composição do fitoplâncton da região nerítica para a oceânica, com maior diversidade do que a observada na SUP do Transecto G.

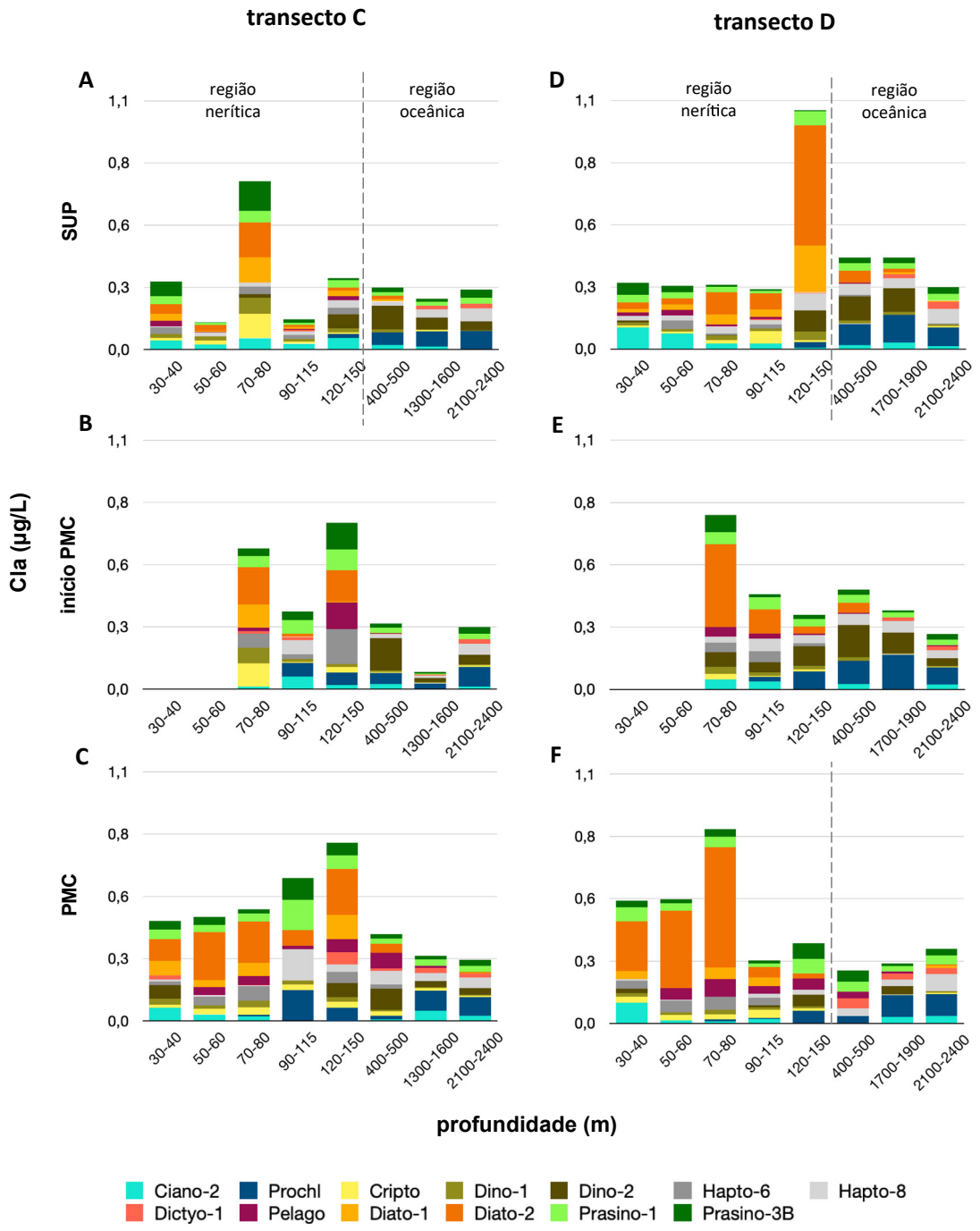


Figura IV.3.5.1-2: *Estrutura da comunidade fitoplanctônica nos transectos C e D,, durante o inverno de 2019, nas diferentes profundidades (SUP, Início da PMC e PMC). A linha tracejada representa a delimitação região nerítica/ oceânica, em cada transecto.*

PÚBLICA

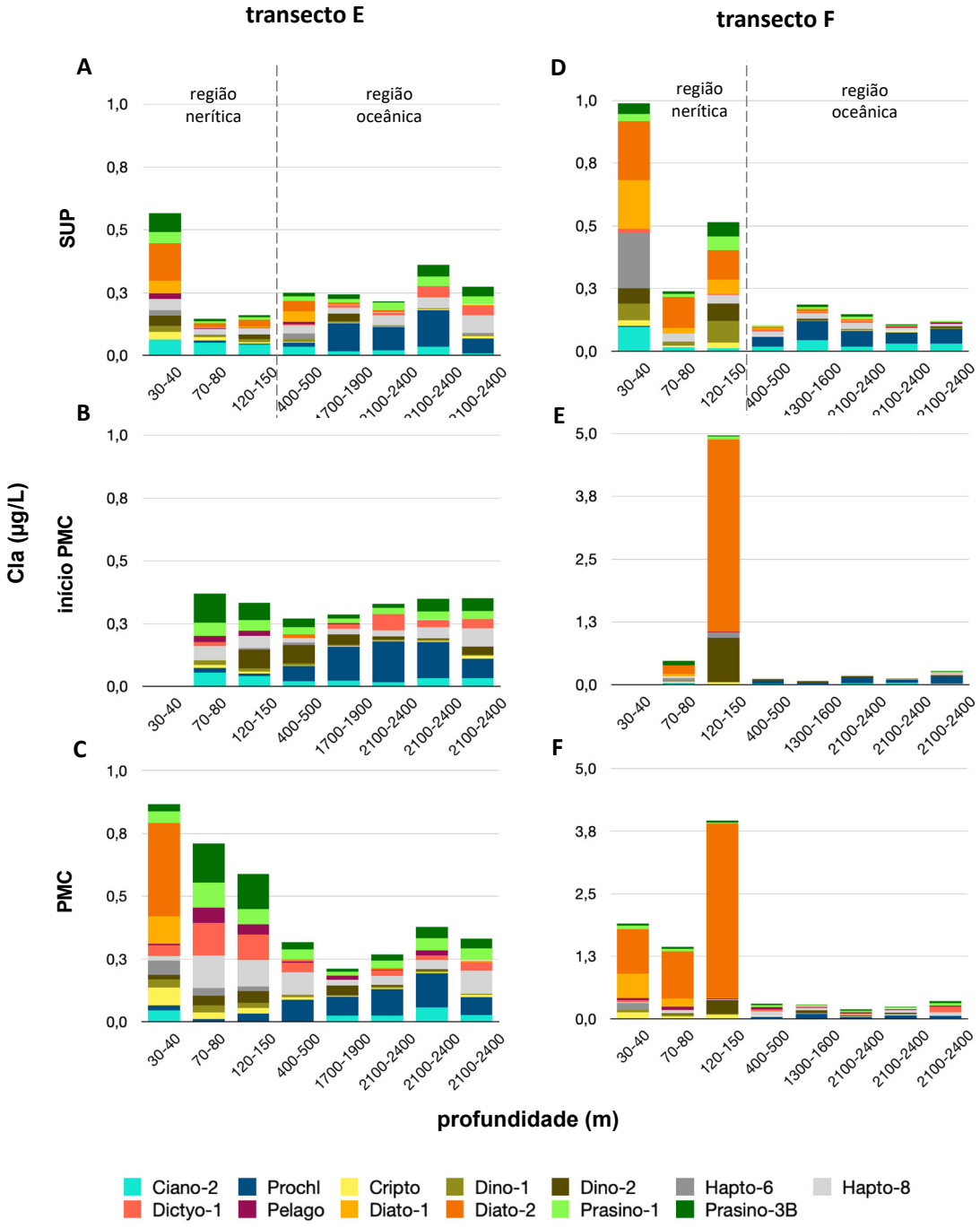


Figura IV.3.5.1-3: *Estrutura da comunidade fitoplanctônica nos transectos E e F, durante o inverno de 2019, nas diferentes profundidades (SUP, Início da PMC e PMC). A linha tracejada representa a delimitação região nerítica/oceânica, em cada transecto.*

PÚBLICA

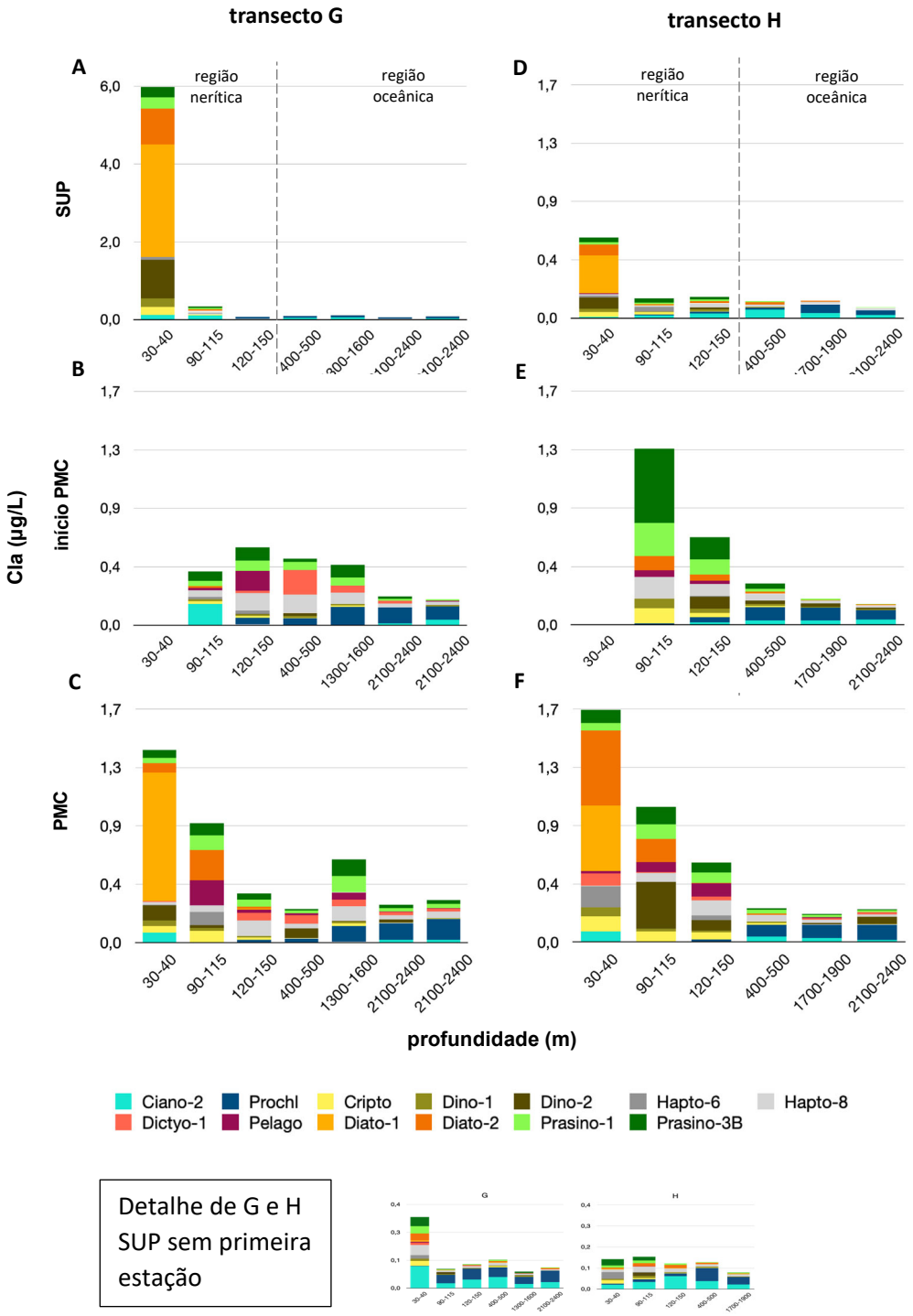


Figura IV.3.5.1-4: *Estrutura da comunidade fitoplanctônica nos transectos G e H, durante o inverno de 2019, nas diferentes profundidades (SUP, Início da PMC e PMC). A linha tracejada representa a delimitação região nerítica/oceânica, em cada transecto.*

PÚBLICA

IV.3.5.2 Estrutura da comunidade fitoplanctônica – Verão

Durante o verão, a contribuição de cada grupo taxonômico em cada estação de coleta, em termos de valores absolutos de Cla (µg L^{-1}), pode ser vista nas figuras IV.3.5.2-1 a IV.3.5.2-4.

Ao largo de Itajaí e Paranaguá (transectos A e B) verificou-se no verão uma menor biomassa na SUP, quando comparada com ao início de PMC e PMC (Figuras IV.3.5.2-1 A e D). Ao contrário do observado na maioria das áreas estudadas, também não houve diferença marcante entre as biomassas das regiões nerítica e oceânica no estrato de superfície, que em ambos os transectos teve como principal grupo taxonômico as cianobactérias. O estrato Início PMC se assemelhou mais à PMC ao largo de Itajaí e à SUP ao largo de Paranaguá. As diatomáceas só foram majoritárias nas duas estações mais costeiras, na PMC, ao largo de Itajaí (Figura IV.3.5.2-1 C). Nas demais estações da PMC houve diversidade de grupos taxonômicos, com destaque para cianobactérias (Ciano 2 e *Prochlorococcus*), prasinofíceas, haptofíceas e dinoflagelados. (Figuras IV.3.5.2-1 C e F). Em algumas estações houve maior contribuição de haptofíceas, como B3 e B5, na PMC (Figura IV.3.5.2-1 F).

Ao largo do norte de Cananéia, transecto C (Figura IV.3.5.2-2 A, B e C)), as diatomáceas, características da zona nerítica, não tiveram grande representatividade nos três estratos amostrados. O estrato de SUP é muito semelhante ao observado ao largo de Itajaí e Paranaguá, com predomínio de cianobactérias e indicando que toda a região deve estar sofrendo uma mesma influência. Nos estratos Início PMC e PMC os grupos e a biomassa do fitoplâncton não apresentam uma mudança precisa entre as regiões nerítica e oceânica: na PMC a plataforma externa se assemelha mais à região oceânica do que à nerítica. Nas plataformas interna e média as haptofíceas e prasinofíceas foram grupos abundantes além de serem observadas contribuições de criptofíceas, pelagofíceas e dinoflagelados (Figura IV.3.5.2-2 C).

Ao largo de Santos, transecto D (figura IV.3.5.2-2 D, E e F), a plataforma continental continua larga, mas a biomassa, a composição e a variação nerítico-oceânico do fitoplâncton foram completamente distintas da região de Cananéia.

PÚBLICA

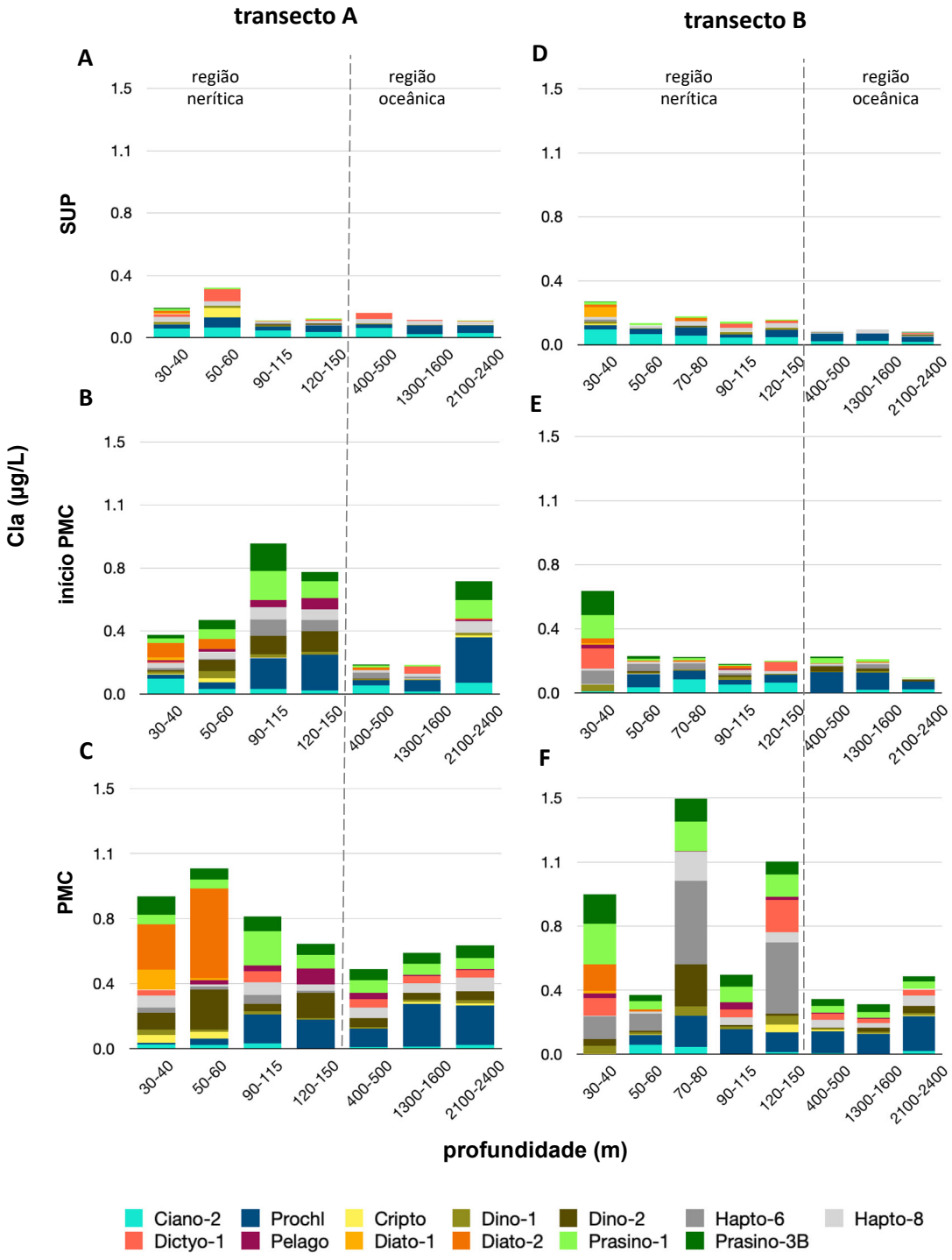


Figura IV.3.5.2-1: *Estrutura da comunidade fitoplanctônica nos transectos A e B, durante o verão de 2022, nas diferentes profundidades (SUP, Início da PMC e PMC). A linha tracejada representa a delimitação região nerítica/oceânica, em cada transecto.*

PÚBLICA

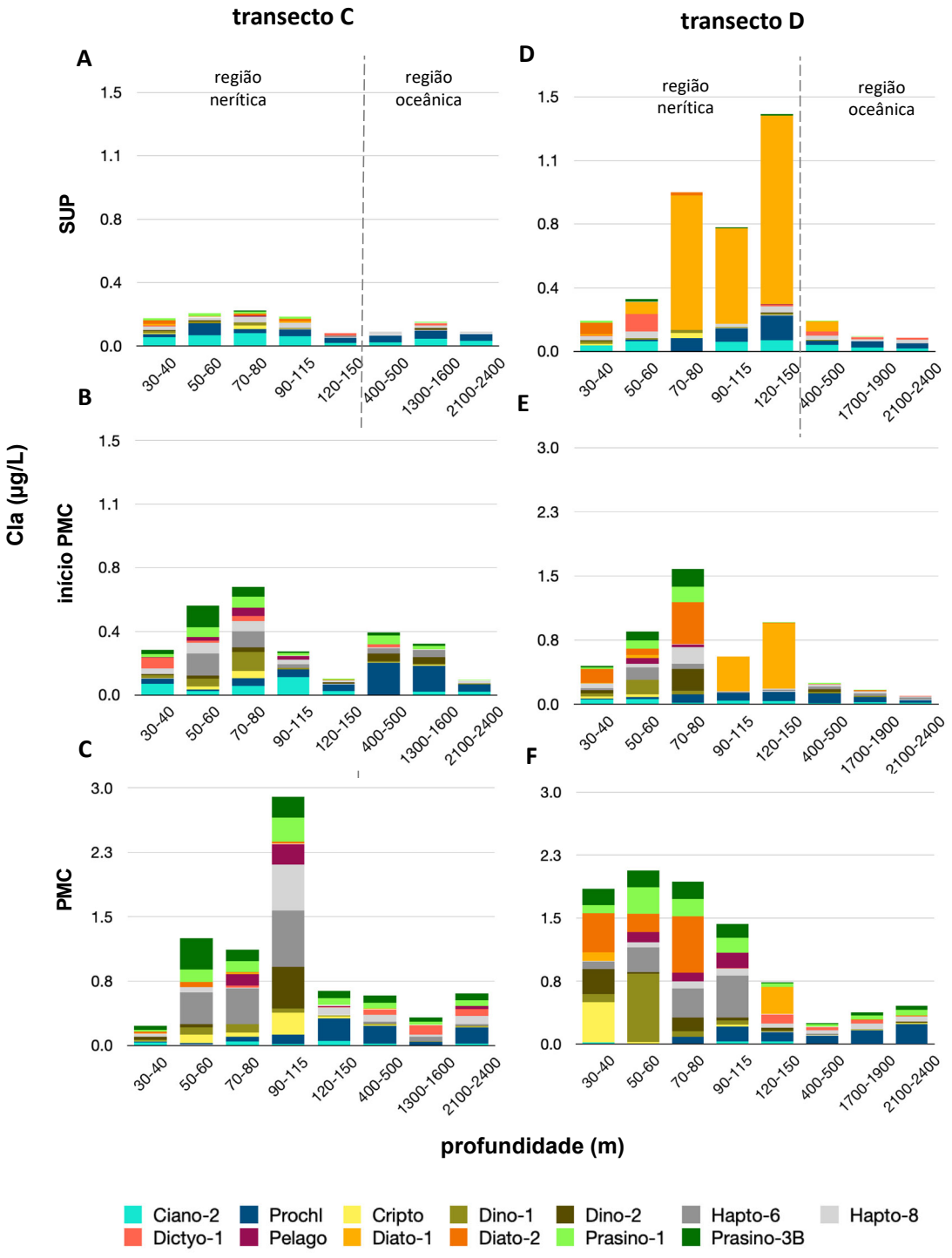


Figura IV.3.5.2-2: *Estrutura da comunidade fitoplanctônica nos transectos C e D, durante o verão de 2022, nas diferentes profundidades (SUP, Início da PMC e PMC). A linha tracejada representa a delimitação região nerítica/oceânica, em cada transecto.*

PÚBLICA

A distinção da clorofila a total entre a região nerítica e a oceânica foi nítida. No estrato de SUP, ao contrário do usual, as biomassas foram maiores nas plataformas médias e externa, devido a diatomáceas, com máximo na estação 5, também observado nesta estação no inverno. A plataforma interna também foi dominada por diatomáceas, mas a biomassa fitoplanctônica total foi menor. Nos estratos InicPMC e PMC, destacaram-se as prasinofíceas, haptofíceas e dinoflagelados. Em D2 PMC (Figura IV.3.5.2-2 F), cerca de 50% da biomassa foi representada por dinoflagelados do tipo 1.

A partir da região ao largo Ilha de São Sebastião, Transecto E (Figura IV.3.5.2-3 A, B e C), em direção ao norte, a plataforma continental passa a ser mais estreita. Nesse transecto, tanto no inverno quanto no verão, nos estratos superiores (SUP e InicPMC) houve pouca variação da biomassa de clorofila a entre as regiões nerítica e oceânica, com exceção da estação mais costeira. No entanto, no verão, na SUP e no Inic PMC houve menor diversidade do que no inverno: cerca de 80% do fitoplâncton foi constituído por cianobactérias (Ciano 2 e Prochlorococcus) em todas as estações, exceto a mais costeira, onde, apesar do predomínio de cianobactérias, houve maior diversidade, pela contribuição de haptofíceas, diatomáceas e prasinofíceas. Na PMC a biomassa de Cl a foi bem maior do que nos outros estratos e atingiu um máximo de ≈ 2,8 μg/L na estação mais costeira. Houve maior diversidade do que nos estratos superiores, e nas duas estações mais costeiras as cianobactérias não foram importantes: haptofíceas e prasinofíceas foram dominantes e criptofíceas tiveram contribuição relevante.

Ao largo da Ilha Grande, Transecto F (Figura IV.3.5.2-3 D, E F)), não foram observados no verão picos de biomassa na região nerítica, ao contrário do inverno. As cianobactérias foram dominantes em toda a região oceânica e na plataforma externa. Na plataforma interna diatomáceas, prasinofíceas, haptofíceas, criptofíceas e cianobactérias estiveram presentes.

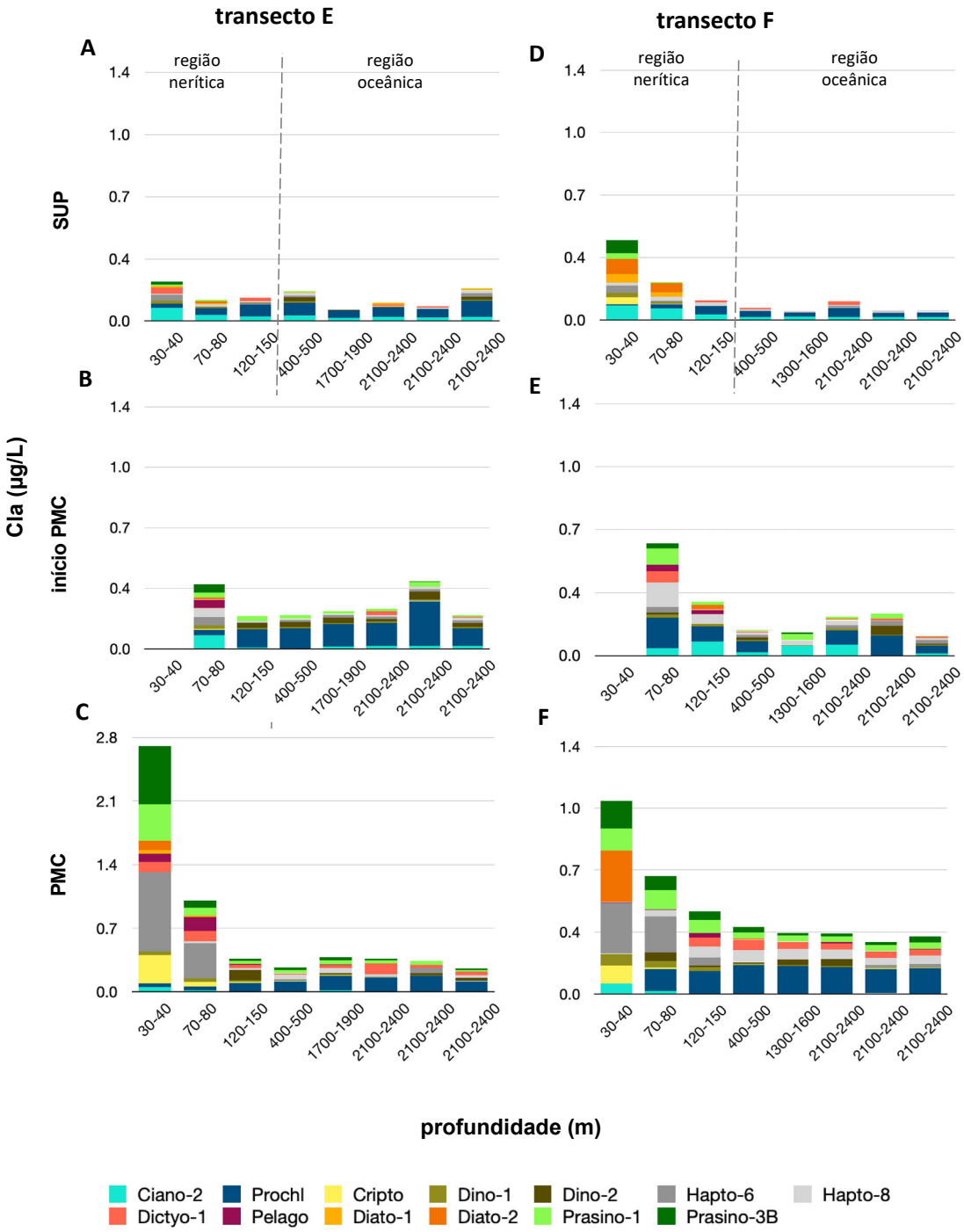


Figura IV.3.5.2-3: *Estrutura da comunidade nos transectos E e F, no verão de 2022, nas diferentes profundidades (SUP, Início da PMC e PMC). A linha tracejada representa a delimitação região nerítica/oceânica, em cada transecto. Note-se a diferença na escala na figura C.*

PÚBLICA

Ao largo da Baía de Guanabara (Figura IV.3.5.2-4 A, B e C), a região nerítica foi nitidamente diferente da oceânica, com maior diversidade e biomassa (≈ 0,5 μg/L). Os principais grupos taxonômicos observados foram as diatomáceas, as prasinofíceas, haptofíceas e cianobactérias (Ciano2). Na PMC a biomassa de clorofila foi bem maior (≈ 3 μg/L), e nas duas estações mais costeiras foram observadas diatomáceas, prasinofíceas, haptofíceas e criptofíceas. A biomassa e a composição da plataforma externa foi semelhante à da região oceânica, com bastante *Prochlorococcus* mas mais diversa do que nos estratos superiores. O padrão longitudinal na PMC foi semelhante ao observado no inverno.

Ao largo de Cabo Frio, Transecto H, (Figura IV.3.5.2-4 D, E e F), assim como no inverno, a estação mais costeira se diferenciou das demais em relação à composição do fitoplâncton e à biomassa total: no verão TCl a ≈ 3 □g/L foi observada tanto na SUP quanto na PMC, composta principalmente por diatomáceas, prasinofíceas, criptofíceas, dinoflagelados, haptofíceas e cianobactérias. Nas plataformas média e externa a TCl a se reduziu (≈ 0,4 e ≈1, respectivamente na SUP e nos demais estratos); as diatomáceas estiveram pouco presentes. A composição da região oceânica foi dominada pelas cianobactérias, principalmente Prochlorococcus.

PÚBLICA

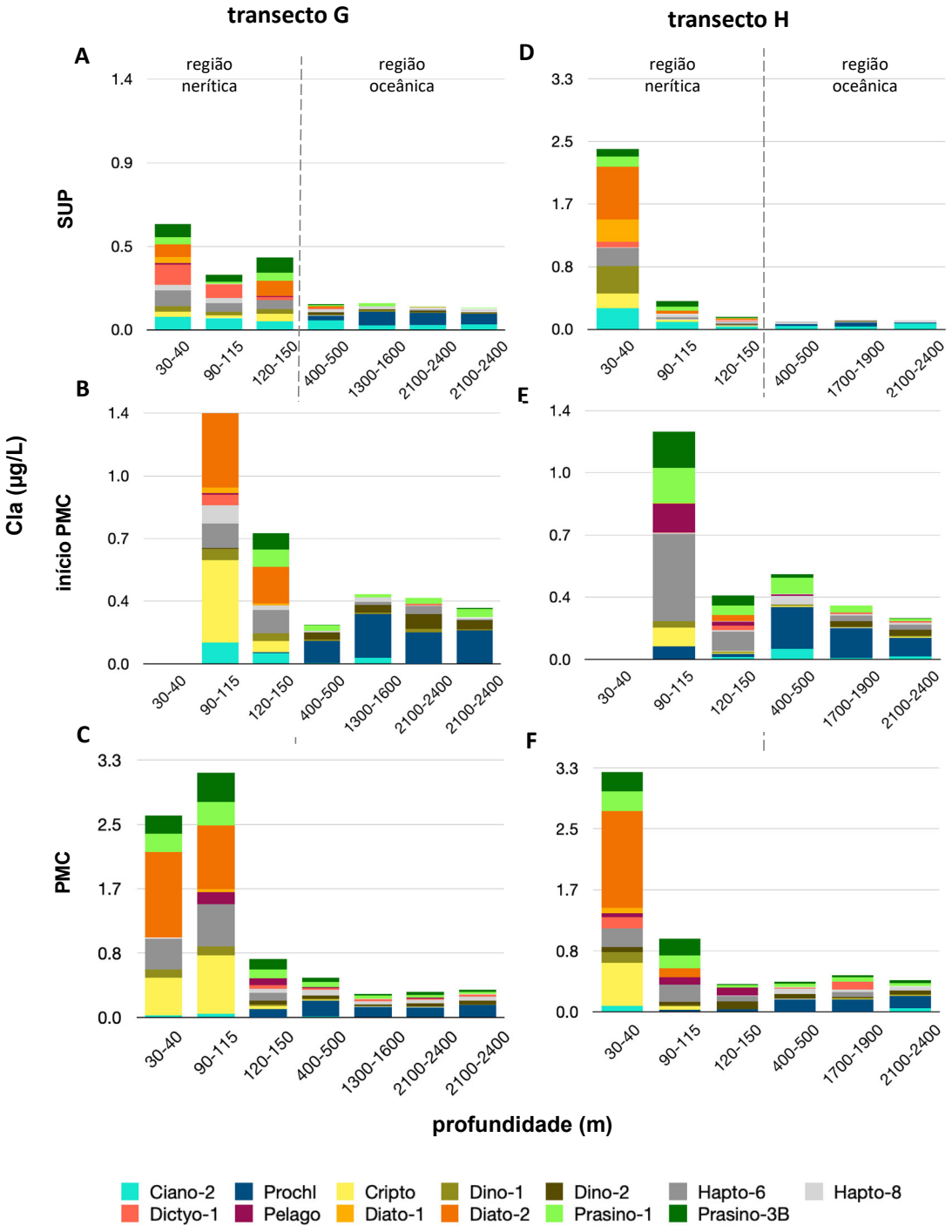


Figura IV.3.5.2-4: *Estrutura da comunidade fitoplanctônica nos transectos G e H, durante o verão 2022, nas diferentes profundidades (SUP, Início da PMC e PMC). A linha tracejada representa a delimitação região nerítica/oceânica, em cada transecto. Note-se as diferentes escalas nas figuras C, D e F.*

PÚBLICA

IV.3.5.3 Padrões espaço/temporais da comunidade fitoplanctônica

Os dados de composição e abundância do fitoplâncton relativos ao inverno de 2019 e verão de 2022 (337 amostras) foram submetidos ao estudo de aprendizado de máquinas visando o entendimento de um possível padrão de ocorrência e variação espaço-temporal do fitoplâncton na Bacia de Santos. Através da análise de SOM foi obtido o mapa de neurônios do conjunto amostral (rede de 90 neurônios, distância de BrayCurtis/Bubble, 500 treinamentos), posteriormente utilizado como referência para a análise de agrupamento (Agrupamento hierárquico/ método de Ward[2]; Figura IV.3.5.3-1). Como resultado, observou-se 5 principais conjuntos/classes de amostras na rede de neurônios (Figura IV.3.5.3-2).

A distribuição espacial destas 5 classes pode ser vista na Figura IV.3.5.3-3. Na PMC (Figura IV.3.5.3-3C e F) observou-se uma mesma estrutura nas duas estações amostradas, definida por uma classe de amostras tipicamente oceânica (círculos azuis claros e explicada por *Prochlorococcus* e Hapto 8 (Figura IV.3.5.3-2); a região nerítica foi dominada apenas pelos grupos verde (explicado por Diatomáceas do tipo 2, Dinoflagelados do tipo 1 e Criptofíceas) e roxo (explicado por Haptofíceas do tipo 6, Prasinofíceas e Pelagofíceas). Na SUP houve uma variação entre os padrões observadas no inverno e no verão. No inverno (Figura IV.3.5.3-3A), a região oceânica foi representada ao sul e na parte central da Bacia pela mesma classe observada na PMC (azul) e ao norte pela classe laranja, para a qual não ficam definidos, pelo mapa de neurônios, grupos taxonômicos marcantes; na região nerítica ocorreram os grupos roxo (explicado por Haptofíceas do tipo 6, Prasinofíceas e Pelagofíceas), verde (explicado por Diatomáceas do tipo 2, Dinoflagelados do tipo 1 e Criptofíceas) e laranja. No verão, junto à superfície (Figura IV.3.5.3-3D), houve um grande predomínio do grupo laranja; em estações específicas houve destaque para o grupo vermelho (D3, D4 e D5) e grupo verde (estações costeiras dos transectos F, G e H). O estrato do início da PMC se apresentou características de transição entre a superfície e a PMC, tanto no inverno quanto no verão (Figura IV.3.5.3-3B e E).

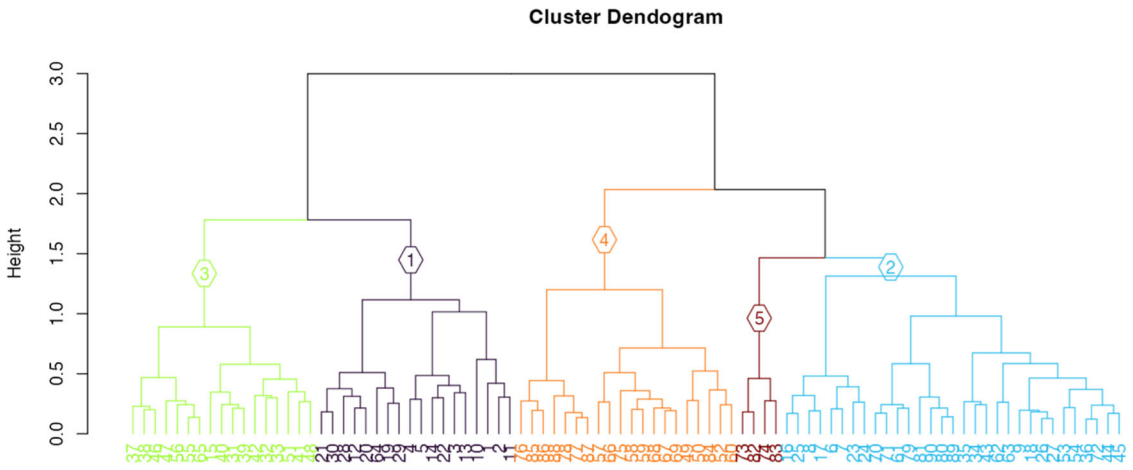


Figura IV.3.5.3-1: *Agrupamento hierárquico dos neurônios obtidos através do SOM baseado na composição e abundância do fitoplâncton, nas 337 amostras coletadas na Bacia de Santos, durante o inverno de 2019 e verão de 2022.*

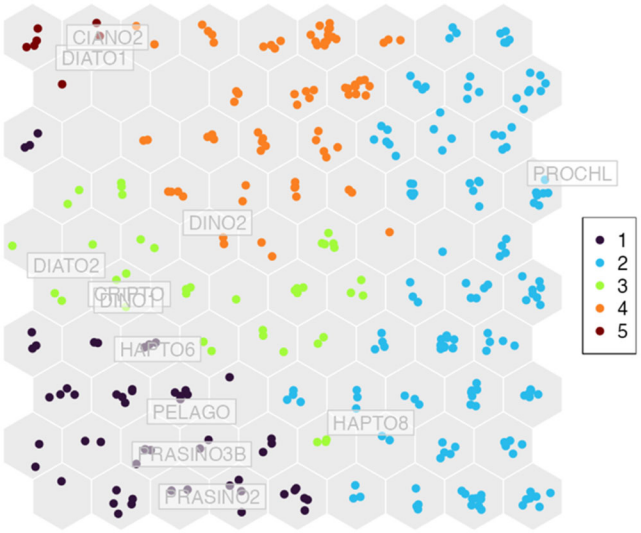


Figura IV.3.5.3-2: *Mapa auto-organizado (SOM) sobreposto a análise de agrupamento hierárquico das 337 amostras de fitoplâncton coletadas na Bacia de Santos, durante o inverno de 2019 e verão de 2022.*

PÚBLICA

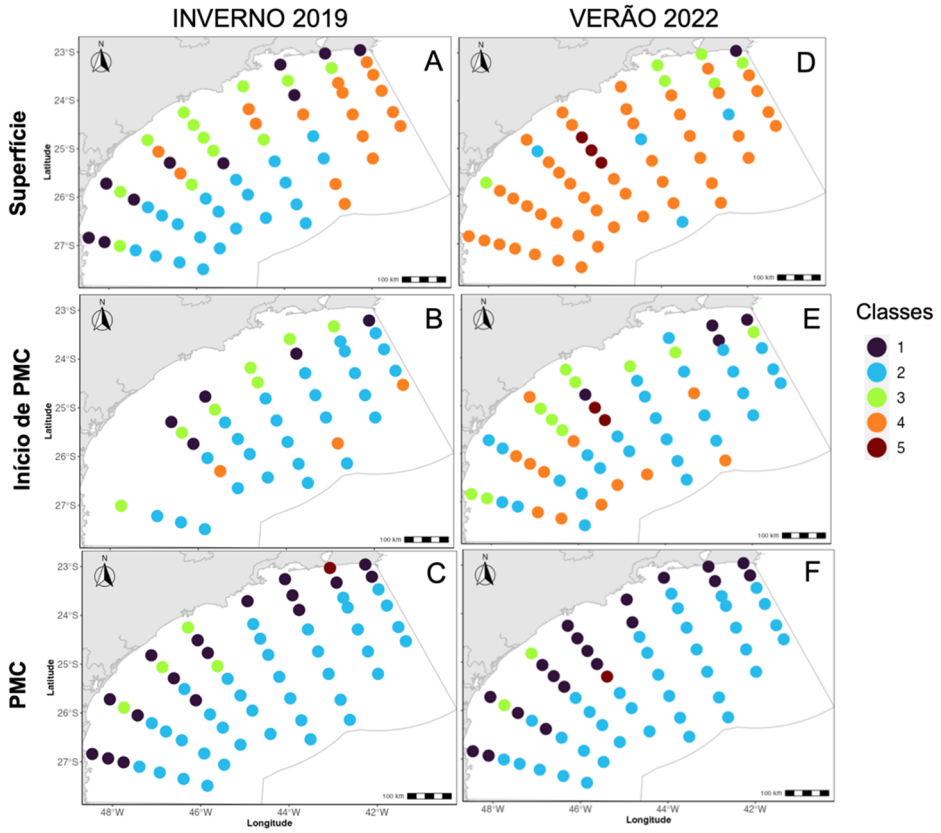


Figura IV.3.5.3-3: *Distribuição espacial das 5 classes obtidas por agrupamento hierárquico dos neurônios, no inverno de 2019 e verão de 2022 (A e D, superfície; B e E, Início de PMC; C e F, PMC).*

IV.3.6 Variações espaço/temporais do fitoplâncton e variáveis ambientais

As variáveis ambientais que contribuíram de forma significativa para estes agrupamentos estão relacionadas às características das massas de água: temperatura, salinidade, densidade e oxigênio dissolvido, identificadas através da análise de florestas aleatórias (Figura IV.3.6-1A). Além destas, que ocupam o topo dos nós na árvore de decisão, aparecem também as variáveis ambientais de profundidades de camada de mistura e zona eufótica e alguns nutrientes (nitrito, silicato, fosfato e nitrato) (Figura IV.3.6-1B). O modelo treinado proposto para explicar a distribuição espaço-temporal do fitoplâncton baseado nas 5 classes de agrupamento atingiu 76,4% de acurácia, sendo os grupos azul e roxo aqueles com menores erros, 12 e 13%; seguido dos grupos laranja e verde, com cerca de 40% de erro. A ocorrência do grupo vermelho não foi satisfatoriamente explicada, apresentando erro de 100% (Figura IV.3.6-2A). A acurácia do modelo teste foi de 75% (Figura IV.3.6-2B).

PÚBLICA

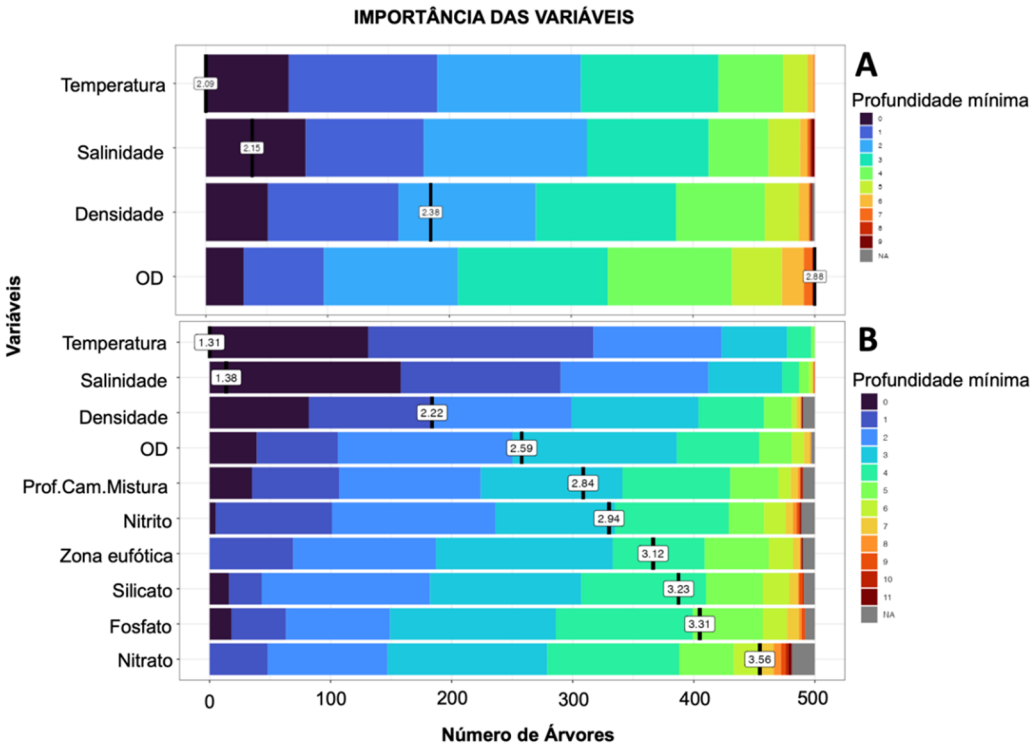


Figura IV.3.6-1: *Resultado da análise de floresta aleatória com variáveis significativas (A) e dez primeiras variáveis (B) presentes na árvore de decisão para explicar os dados de distribuição das 5 classes de fitoplâncton obtidas no agrupamento hierárquico de neurônios. A ordem das variáveis foi definida de acordo com o número médio da posição da variável entre os nós das árvores geradas (n= 500). A posição dos nós está representada no gradiente de cores. Quanto menor o número mais importante é a variável.*

A análise de redundância (RDA) corrobora e ajuda a explicar alguns dos resultados obtidos através do SOM e seus agrupamentos. A salinidade e temperatura foram os fatores mais importantes para a distribuição do fitoplâncton. O padrão nerítico-oceânico foi associado à influência das massas de água AM (água de mistura), AC (água costeira) e ACAS (água central do Atlântico Sul), principalmente na região nerítica e AT (água tropical), na oceânica (Figura IV.3.6-3A). Na zona nerítica, foi evidenciada a ocorrência dos grupos de diatomáceas (Diato1 e Diato2), dinoflagelados do tipo-1 e nanoflagelados dos grupos Criptofíceas, Prasinofíceas Pelagofíceas e Haptofíceas tipo-6. A região oceânica se caracterizou pela ocorrência de *Prochlorococcus*, Haptofíceas tipo-8, dinoflagelados tipo2 e Dictyochofíceas. A ACAS, influenciou, com maior disponibilidade de nutrientes, os nanoflagelados da região nerítica (Figura IV.3.6-

PÚBLICA

3 A e B). Nanoflagelados, da região nerítica, ocorreram preferencialmente na PMC. A distinção do fitoplâncton entre os extratos de superfície e PMC foi clara. O início da PMC ora se aproximou do extrato de superfície, ora do da PMC. Na SUP houve uma maior abundância de cianofíceas do tipo 2 e diatomáceas do tipo 1, ao passo que os demais grupos tiveram uma maior abundância associada à PMC (Figura IV.3.6-3C).

A

	1	2	3	4	5	class.error
1	0.142	0.004	0.015	0.004	0	0.136
2	0.015	0.408	0.011	0.03	0	0.121
3	0.019	0.011	0.071	0.019	0	0.406
4	0.007	0.067	0.015	0.142	0	0.387
5	0.004	0	0	0.015	0	1

B

	1	2	3	4	5	class.error
1	12.857	2.857	1.429	0	0	0.25
2	0	38.571	0	5.714	0	0.129
3	7.143	0	4.286	1.429	0	0.667
4	0	4.286	0	18.571	0	0.188
5	1.429	0	0	0	1.429	0.5

Figura IV.3.6-2: *Matriz de acurácia da análise de floresta aleatória para explicar a distribuição espaço-temporal das 5 classes de fitoplâncton obtidas no agrupamento hierárquico de neurônios. (A) Matriz de treinamento, com 76,4% de acurácia. (B) Matriz de teste, com 75,7% de acurácia.*

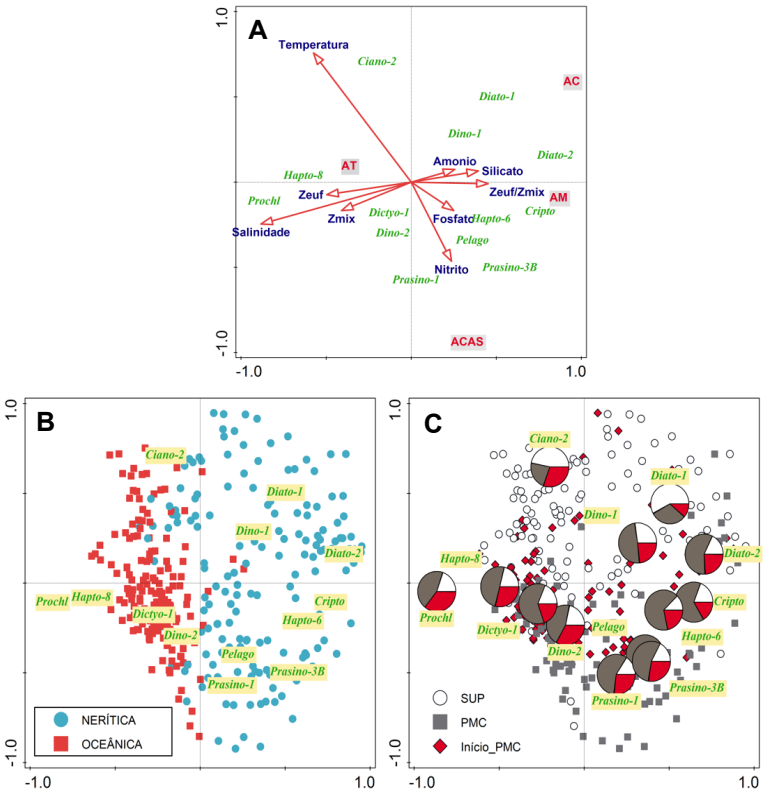


Figura IV.3.6-3: *Efeito das variáveis ambientais (A), dos perfis horizontal (B) e vertical (C) da camada de água na distribuição do fitoplâncton verificados por análise de redundância.*

PÚBLICA

IV.4 Discussão

Os principais artigos publicados que usam a técnica de extração assistida por moinho utilizam DMF como solvente (Wright et al., 2010, Suzuki et al., 2015), já que ele é reportado como o solvente mais eficiente para a extração de pigmentos (Pinckney, 2011, Wright et al., 1997). Embora o DMF apresente melhor eficiência de extração para a maioria dos pigmentos e uma menor volatilidade, seus efeitos potencialmente carcinogênicos se sobressaem como uma grande desvantagem.

Com o objetivo de implementar um método eficiente e não-tóxico, testamos a substituição do DMF pelo etanol. O etanol permite a extração de uma grande variedade de pigmentos com diferentes polaridades e evita a esterificação do anel porfirínico, como pode ocorrer com solventes como metanol ou acetona (Serive et al., 2012). Segundo Ritchie et al. (2006) etanol e metanol são frequentemente solventes mais eficientes do que a acetona para a extração de clorofila, especialmente de algas verdes, como *Scenedesmus, Chlorella* e *Nannochloris*, mas o etanol tem a vantagem de ser menos tóxico. Adicionalmente, o etanol é um solvente de mais fácil manuseio e aquisição (não controlado pela Receita Federal). A eficiência do etanol na extração de carotenoides e clorofilas foi reportada por Serive e colaboradores (2017), usando *pellets* obtidos de cultivos de 37 diferentes espécies de fitoplâncton.

O uso de DMF como solvente, comparado com o etanol, foi estatisticamente melhor para os pigmentos Clorofila c2, Clorofila c1, Zeaxantina e mistura de alfa- e beta-caroteno. No entanto, os valores de significância para estes pigmentos foram marginais ($p \approx 0,04$). Assim, os resultados justificam a substituição do solvente tóxico DMF pelo etanol.

Os métodos de Suzuki e Wright modificados por nós foram estatisticamente equivalentes para os pigmentos marcadores, com exceção de Peridinina e mistura de alfa- e beta-caroteno, também com valores de p muito próximos a 0,04. No entanto, o volume recuperado após a extração é bem maior no método de Wright modificado, o que representa uma vantagem metodológica, caso seja necessária uma reinjeção do extrato. Além disso, a precisão do método de Wright modificado foi superior, com C.V. da ordem de 2 % para vários pigmentos

importantes, o que corrobora a análise de todas as amostras em réplica única. Este último método foi escolhido para aplicação nas amostras da Bacia de Santos.

O método de separação escolhido (Sanz et al., 2015) ainda não foi amplamente aplicado em estudos oceanográficos, até onde sabemos. Apesar de apresentar co-eluição parcial dos marcadores Zeaxantina e Luteína, esse método tem uma resolução favorável para as clorofilas, inclusive as Divinil Clorofilas a e b, presentes no importante gênero oceânico *Prochlorococcus*. Portanto, apresenta vantagens quando comparado a outros métodos tradicionalmente usados em CLAE para separação e quantificação de pigmentos fitoplanctônicos (*e.g.* Van Heukelem et al., 2001; Zapata et al., 2000).

As análises das amostras da Bacia de Santos apresentadas são resultados da campanha de inverno, nas 60 estações amostradas, em 3 profundidades.

Os resultados obtidos por CLAE para a TCla (Cl a + clorofilídeo a + DVCl a) foram validados, com um fator de correlação altamente significativo, ao serem comparados com os dados fluorimétricos, obtidos por outros pesquisadores do projeto. A análise das concentrações de TCla na campanha de inverno revelou algumas estações de destaque quanto à biomassa fitoplanctônica. A primeira foi a localizada em frente à Baía de Guanabara, onde se observou na camada superficial o segundo maior valor de TCla - um alto valor era esperado, devido ao alto grau de eutrofização da Baía. A segunda foi a estação F3, localizada na plataforma externa, em frente à Ilha Grande, onde foram observados, no início da PMC e na PMC, os maiores valores de TCla de toda a malha amostral. Nessa estação, as amostras de início da PMC e PMC foram coletadas respectivamente a 30 e 40 m, onde, segundo os dados da oceanografia física apresentados no relatório de contexto oceanográfico do cruzeiro SANAGU (03/08/2019-28/10/2019), a massa d'água presente era a ACAS, soerguida possivelmente pela borda de um vórtice anticiclônico, e que estaria trazendo provavelmente os nutrientes que favorecem a proliferação do fitoplâncton. Duas outras feições relevantes foram os valores de TCla na região nerítica sul da Bacia, associados possivelmente à pluma do Rio da Prata e um aumento de TCla superficial em D5, que deve ainda ser mais profundamente investigado, apesar de se saber

que no transecto D a topografia do assoalho oceânico é mais irregular e que a intrusão da ACAS é mais evidente que em áreas adjacentes.

A contribuição das cianobactérias picoplanctônicas do gênero *Prochlorococcus,* crescente em direção a zona oceânica, pode ser inferida através da quantificação da DVCla, pigmento inequívoco para o grupo. Como este gênero não possui Cla, sua contribuição para a biomassa total foi acrescida à quantificação da Cla, como DVCla + Cla (Figura 8). A DVCla não pode ser detectada por métodos fluorimétricos e espectrofotométricos; células de *Prochlorococcus* tampouco podem ser quantificadas por microscopia, mas são detectadas e quantificadas por citometria de fluxo. Portanto os dados de CLAE, associados aos da citometria são de grande relevância para o estudo desse grupo taxonômico, pois permitirão a verificação de efeitos intracelulares relacionados à quantidade de luz disponível, com base na concentração de DVCla por célula.

A interpretação dos dados de zeaxantina é mais complexa. Este pigmento é majoritário e apresenta alta razão Zea/Cla em Cianobactérias do gênero *Synechococcus* spp., mas está presente também em cianobactérias coloniais como *Trichodesmium* spp. e em algas da linhagem vermelha, como crisofíceas, eustigmatofíceas e pelagofíceas e em algas verdes (Jeffrey et al. 2011).

Pigmentos marcadores inequívocos de grupos taxonômicos como prasinofíceas do tipo pigmentar 3 (Prasinoxantina), criptofíceas (Aloxantina), dinoflagelados tipo 1 (Peridinina) e haptofíceas tipos 6 e 8 (19'Hexanoiloxi-ketofucoxantina) (Figuras 11, 12, 13 e 19) permitem afirmar a presença desses grupos (Jeffrey et al. 2011).

Diatomáceas costumam ocorrer com abundância nas estações mais próximas à costa. O pigmento fucoxantina, presente nas diatomáceas com alta razão Fuco/Cl*a*, foi observado em maiores concentrações nas radiais F, G e H da região nerítica, na PMC. Nas radiais G e H ocorre o estreitamento da plataforma continental, o que intensifica a intrusão da ACAS, fertilizando a zona costeira, podendo eventualmente explicar os resultados observados.

A 19'butanoiloxi-fucoxantina (Figura 18B) é importante em dictiofíceas e pelagofíceas e pode também ocorrer em haptofíceas (Jeffrey et al. 2011). Observou-se uma similaridade entre as distribuições espaciais de 19'butanoiloxi-

fucoxantina e de 19'hexanoiloxi-fucoxantina (Figura 18A), o que poderia significar que sua origem estaria ligada às haptofíceas. A grande quantidade relativa But/Hex, não explicada simplesmente pela presença de haptofíceas, e a verificação da presença de dictyofíceas por microscopia ótica levaram à inclusão dos grupos taxonômicos dictyofíceas e pelagofíceas.

As análises de microscopia do subprojeto 4 chamaram a atenção para a alta frequência de dinoflagelados do gênero *Gymnodinium* e dinoflagelados heterótrofos de grandes dimensões. Sabe-se que espécies pertencentes ao gênero *Gymnodinium* podem apresentar fucoxantina e seus derivados (Jeffrey et al. 2011). Espécies deste gênero foram incluídas separadamente na matriz de grupos taxonômicos presentes como Dino-2.

A microscopia também revelou a presença de diatomáceas do gênero *Pseudo-nitzschia* (potencialmente produtora de toxinas), *Thalassion*, *Skeletonema*, *Proboscia*; e para a forte contribuição de grupos hetero/mixotróficos. Como *Pseudo-nitzschia* tem perfil pigmentar de um sub-grupo de diatomáceas (Jeffrey et al. 2011), esse tipo pigmentar foi incluído na matriz de grupos taxonômicos, como Diato-2.

Após a identificação, pelos pigmentos, dos grupos taxonômicos presentes, é importante utilizar dados consistentes dos respectivos perfis pigmentares, obtidos na literatura, como matriz de entrada para o processamento dos dados com o software CHEMTAX. Para isso, utilizou-se aqui a síntese do levantamento de dados publicados sobre perfis pigmentares de amostras de culturas e de campo, feita por Wright (2017).

Os resultados finais após as rodadas de processamento foram representados tanto sob a forma de mapas, que mostram a distribuição espacial de cada grupo (Figuras 25 a 30), quanto como gráficos de barras, que revelam a estrutura da comunidade em cada estação (Figuras 21 a 24).

A RDA evidenciou uma clara distinção entre as estações de coleta das regiões nerítica e oceânica como esperado (Figura 31). Esta separação esteve relacionada ao gradiente ambiental de nutrientes (Fosfato 14% e Nitrito 10%), temperatura (13%) e salinidade (11,7%). Os grupos fitoplanctônicos respondem a este padrão, sendo a região oceânica caracterizada por cianobactérias, principalmente, picoplanctônicas (*Prochlorococcus* sp.). Já a região nerítica da

PÚBLICA

plataforma continental, foi caracterizada pelo predomínio de nanoflagelados dos grupos das criptofíceas, prasinofíceas e haptofíceas, além de diatomáceas. Os dinoflagelados em geral estiveram mais presentes também na região nerítica.

A interpretação do gradiente ambiental resultante da RDA, com base nos valores de t dos coeficientes canônicos evidenciou respostas significativas dos grupos fitoplanctônicos em particular, em relação às variáveis ambientais preditoras. Assim, em relação ao gradiente ambiental, *Prochlorococcus* sp. esteve associado a águas mais transparentes, com salinidade e temperaturas mais elevadas na região oceânica. Por outro lado, os grupos fitoplanctônicos de nanoflagelados predominantes (prasinofíceas, criptofíceas, haptofíceas tipo 6 e pelagofíceas) na região da plataforma estiveram, então, associados a uma maior disponibilidade de nutrientes, especialmente fosfato e nitrito. Criptofíceas e prasinofíceas também apresentaram preferência por estações com menor profundidade de zona eufótica. Ciano-2 e Dino-1 se associaram negativamente ao gradiente de salinidade, ao contrário das haptofíceas do tipo 8. As diatomáceas tipo 1 mostraram preferência por águas com maior temperatura.

IV.5 Referências Bibliográficas

Araujo, M.L.V., Mendes, C.R.B., Tavano, V.M., Garcia, C.A.E., Baringer, M.O., 2017. Contrasting patterns of phytoplankton pigments and chemotaxonomic groups along 30 degrees S in the subtropical South Atlantic Ocean**. Deep-Sea Research Part I,** 120: 112-121. Doi: 10.1016/j.dsr.2016.12.004:

Antoni, J.S., Almandoz, G.O., Ferrario, M.E., Hernando, M.P., Varela, D.E., Rozema, P.D., Buma, A.G.J., Paparazzo, F.E., Schloss, I.R., 2020. Response of a natural Antarctic phytoplankton assemblage to changes in temperature and salinity. **Journal Of Experimental Marine Biology and Ecology**, 532: 151444. Nov 2020. Doi: 10.1016/j.jembe.2020.151444.

Agirbas, E., Karadeniz, M.N., 2020. Phytoplankton pigment indices and pigment-based phytoplankton size classes along the south-eastern Black Sea. **Regional Studies in Marine Science**, 39: 101393. Doi: 10.1016/j.rsma.2020.101393.

PÚBLICA

Arrigo, K. R. 2005. Marine microorganisms and global nutrient cycles. **Nature**, 437: 15 September 2005 doi:10.1038/nature04158.

Barlow, R.G., Aiken, J., Holligan, P.M., Cummings, D.G., Maritorena, S., Hooker, S., 2002. Phytoplankton pigment and absorption characteristics along meridional transects in the Atlantic Ocean S. **Deep-Sea Research I,** 47: 637–660.

Barlow, R., Gibberd, M-J, Lamont, T., Aiken, J., Holligan, P., 2016. Chemotaxonomic phytoplankton patterns on the eastern boundary of the Atlantic Ocean. **Deep-Sea Research Part I**, 111: 73-78 doi: 10.1016 /j.dsr.2016.02.011.

Brewin, R. J. W. et al. A three-component model of phytoplankton size class for the Atlantic Ocean. **Ecological Modelling**, 221 (11): 1472–1483.

Carreto, J.I., Montoya, N.G., Akselman, R., Carignan, M.O., Silva, R.I., Cucchi-Colleoni, D.A., 2008. Algal pigment patterns and phytoplankton assemblages in different water masses of the Rio de la Plata maritime front. **Continental Shelf Research,** 28:1589–1606.

Carvalho, A.D.D., Mendes, C.R.B. Kerr, R., de Azevedo, J.L.L., Galdino, F., Tavano, V.M., 2019. The impact of mesoscale eddies on the phytoplankton community in the South Atlantic Ocean: HPLC-CHEMTAX approach. **Marine Environmental Research,** 144: 154-165. Doi: 10.1016/j.marenvres. 2018.12.003

Carvalho, A.C.O., Kerr, R., Mendes, C.R.B., Azevedo, J.L.L., Tavano, V.M., 2021. Phytoplankton strengthen CO2 uptake in the South Atlantic Ocean. **Progress In Oceanography** 190, 102476. Doi: 10.1016/ j.pocean.2020.102476

Ediger, D., Soydemir, N., A.E. Kideys, A.E. 2006. Estimation of phytoplankton biomass using HPLC pigment analysis in the southwestern Black Sea. **Deep-Sea Research II,** 53: 1911–1922.

Ferland, J., Gosselin, M., Starr, M. 2011. Environmental control of summer primary production in the Hudson Bay system: The role of stratification. **Journal of Marine Systems,** 88: 385–400.

Gonçalves-Araujo, R. et al. Brazil-Malvinas confluence: Effects of environmental variability on phytoplankton community structure. **Journal of Plankton Research**, 34 (5): 399–415.

Gonzalez-Silvera, A., Santamaria-del-Angel, E., Camacho-Ibar, V., Lopez-Calderon, J., Santander-Cruz, J., Mercado-Santana, A., 2020. The Effect of Cold and Warm Anomalies on Phytoplankton Pigment Composition in Waters off the Northern Baja California Peninsula (Mexico): 2007-2016. **Journal Of Marine Science and Engineering,** 8, 533. Doi: 10.3390/jmse8070533.

Grob, R.L., Barry, E.F. 2004. **Modern Practice of Gas Chromatography**, 4th Ed., Wiley, USA

Hirata, T. 2010. Synoptic relationships quantified between surface Chlorophyll- a and diagnostic pigments specific to phytoplankton functional types. **Biogeosciences Discussions** p. 6675–6704.

Latasa, M., Scharek, R., Moran, X.A.G., Gutierrez-Rodriguez, A., Emelianov, M., Salat, J., Vidal, M., Estrada, M., 2022. Dynamics of phytoplankton groups in three contrasting situations of the open NW Mediterranean Sea revealed by pigment, microscopy, and flow cytometry analyses. **Progress in Oceanography,** 201: 102737. Doi: 10.1016/j.pocean.2021.102737.

Lima, C. R., Mendes, C.R.B., Tavano, V.M., Detoni, A.M.S., Secchi, E.R. 2019. Chemotaxonomy-based mapping of phytoplankton communities in the subtropical Southwestern Atlantic Ocean, with emphasis on the marine cyanobacterium Trichodesmium. **Progress In Oceanography**, 172: 77-88.. doi: 10.1016/j.pocean.2019.01.008

Mackey, M., Mackey, D., Higgins, H., Wright, S. 1996. CHEMTAX - a program for estimating class abundances from chemical markers: application to HPLC measurements of phytoplankton. **Marine Ecology Progress Series**, 144: 265-283.

Mackey, M.D., Blanchot, J., Higgins, H.W., Neveux, J., 2002. Phytoplankton abundances and community structure in the equatorial Pacific. **Deep-Sea Research II,** 49: 2561-2582-

Marinho, M., Rodrigues, S.V., 2003. Phytoplankton of an eutrophic reservoir: comparison of biomass estimated from counts with chlorophyll-a biomass from HPLC measurements. **Hydrobiologia,** 505: 77-88.

Marty, J.C., Garcia, N., Raimbault, P., 2008. Phytoplankton dynamics and primary production under late summer conditions in the NW Mediterranean Sea. **Deep-Sea Research I,** 55: 1131– 1149.

Reed, M.L., Pinckney, J.L., Keppler, C.J., Brock, L.M., Hogan, S. B., Greenfield, D.I. 2016. The influence of nitrogen and phosphorus on phytoplankton growth and assemblage composition in four coastal, southeastern USA systems. **Estuarine, Coastal and Shelf Science,** 177: 71-82.

Rodrigues, S.V, Marinho, M.M., Brant, V.F., França-Júnior J.A.A, González-Rodriguez, E., Carvalho, W.F. 2015. Fitoplâncton a partir de Pigmentos Marcadores e Produção Primária da Bacia do Espírito Santo e porção norte da Bacia de Campos. **Relatório PETROBRAS/IBAMA**.

Pinckney, J.I., Paerl, H.W., Harrington, M:B., Howe, K.E. 1998. Annual cycles of phytoplankton community-structure and bloom dynamics in the Neuse River Estuary, North Carolina. **Marine Biology,** 131: 371-381.

Rodrigues, S. V., Marinho, M. M., Cubas Jonck, C. C., Gonçalves, E. S., Brant, V. F., Paranhos, R., Curbelo, M. P., Falcão, A. P., 2014. Phytoplankton community structures in shelf and oceanic waters off southeast Brazil (20 -25 S), as determined by pigment signatures. **Deep-Sea Research. Part 1. Oceanographic Research Papers**, 88:47-62.

Sanz N, García-Blanco A, Gavalás-Oleas A, Loures P, Garrido Jl. 2015. Phytoplankton pigment biomarkers: HPLC separation using a pentafluorophenyloctadecyl silica column. **Methods in Ecology and Evolution,** 6:1199-1209.

Schlüter, L., Henriksen, P., Nielsen,T.G., Jakobsen,H.H., 2011. Phytoplankton composition and biomass across the southern Indian Ocean, **Deep Sea Research I**, 58: 546-556.

Schlüter, L., Mohlenberg, F. 2003. Detecting presence of phytoplankton groups with non-specific pigment signatures. **Journal of Applied Phycology,** 15: 465-476.

Seoane, S., Zapata, M., Orive, E., 2009. Growth rates and pigment patterns of haptophytes isolated from estuarine waters. **Journal of Sea Research** 62: 286–294.

PÚBLICA

Ston-Egiert, J., Ostrowska, M., 2022. Long-term changes in phytoplankton pigment contents in the Baltic Sea: Trends and spatial variability during 20 years of investigations. **Continental Shelf Research,** 236: 104666. Mar 2022. Doi: 10.1016/j.csr.2022.104666.

Ter Braak Cjf, Smilauer P. 2002. CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). **Biometris, Wageningen**.

Uitz, J., Claustre, H., Morel, A., Hooker, S., 2006. Vertical distribution of phytoplankton communities in open ocean: An assessment based on surface chlorophyll. **Journal of Geophysical Research-Oceans**, 111 (C8): Art. No. C08005.

Van Heukelem, L., Thomas, C.S.,2001. Computer-assisted high performance liquid chromatography method development with applications to the isolation and analysis of phytoplankton pigments. **J. Chromatography A**, 910: 31–49.

Wright, S. W., Ishikawa, A., Marchant, H. J., Davidson,A. T., Van den Enden, R. L., Nash, G. V., 2009. Composition and significance of picoplankton in Antarctic waters. **Polar Biology**, 32: 797–808.

Wright, S. W., Van den Enden, R. L., Pearce, I., Davidson, A. T., Scott, F. J. , Westwood , K. J., 2010. Phytoplankton community structure and stocks in the southern Ocean (30 – 80º E) determined by CHEMTAX analysis of HPLC pigments signatures. **Deep Sea Res. Part II,** 57: 758–778.

Wright, S. 2017. Chemtax version 1.95 for calculating the taxonomic composition of phytoplankton populations, Ver. 1, *Australian Antarctic Data Centre* - doi:10.4225/15/59fff1c5ea8fc, Acessado: 2022-03-07

Zapata, M., Fraga, S., Rodríguez, F., Garrido, J.L. 2012. Pigment-based chloroplast types in dinoflagellates. **Marine Ecology Progress Series,** 465: 33–52. doi: 10.3354/meps09879

Zapata, M., Jeffrey, S.W., Wright, S.W., Rodríguez, F., Garrido, J.L., Clementson, L., 2004. Photosynthetic pigments in 37 species (65 strains) of Haptophyta: implications for oceanography and chemotaxonomy. **Marine Ecology Progress Series** 270: 83–102.

Zapata, M., Rodríguez, F., Garrido, J.L., 2000. Separation of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton: a new HPLC method using a reversed

phase C8 column and pyridine- containing mobile phases. **Marine Ecology Progress Series**, 195: 29–45.

Zeng, C. et al., 2018. Optically-derived estimates of phytoplankton size class and taxonomic group biomass in the Eastern Subarctic Pacific Ocean. **Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, 136: 107–118.

PÚBLICA

IV.6 Equipe Técnica

Nomes	Formação	Atuação
Silvana V. Rodrigues	Química Doutora em Química Analítica	Coordenação
Marcelo M. Marinho	Química Doutora em Química Analítica	Vice-Coordenação
Daniela Bueno Sudatti	Bióloga Mestre e Doutora em Biologia Marinha	Bolsista Pós Doc: análises laboratoriais, análises de dados e resultados
Daniel Tremmel	Químico Mestre em Geociências	Bolsista de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geociências (Geoquímica)/UFF: coleta de dados de campo e análises laboratoriais
Ingrid Bernardo	Oceanógrafa	Bolsista de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal/UERJ: coleta de dados de campo, análises laboratoriais, análises de dados e resultados
Vanessa M. M. Lacerda	Estudante de Graduação em Ciências Biológicas	Bolsista de iniciação científica: coleta de dados de campo e análises laboratoriais
Ana Luisa Chagas	Estudante de Graduação em Química	Bolsista de iniciação científica: coleta de dados de campo e análises laboratoriais
Lia Magalhães	Estudante de Graduação em Química	Bolsista de iniciação científica: coleta de dados de campo e análises laboratoriais
Rafael Ribeiro de Lacerda	Estudante de Graduação em Química	Bolsista de iniciação científica: análises laboratoriais
Tacio C. Monteiro	Estudante de Graduação em Ciências Ambientais	Bolsista de iniciação científica FAPERJ: análises laboratoriais

PÚBLICA

V. Diversidade, distribuição e abundância do nano- e do microplâncton da Bacia de Santos

V.1 Introdução

O fitoplâncton marinho pode ser conceituado como a comunidade de organismos microscópicos foto-autótrofos que habitam a coluna de água, e sem capacidade locomotora suficiente para impedir seu deslocamento pelos movimentos da água. A comunidade apresenta estratégias ecológicas altamente diversificadas, e é composta por uma miríade de grupos de microalgas, sem qualquer afinidade filogenética, especialmente relacionada aos processos evolutivos conduzidos pelas endossimbioses primária e secundária que originaram os diferentes tipos de plastídeos a partir de uma cianobactéria ancestral, ao longo de aproximadamente 1 bilhão de anos (Falkowski *et al*., 2004; Hackett *et al.*, 2007; Nogueira Jr *et al*., 2021). O fitoplâncton desempenha papel fundamental na vasta maioria dos ecossistemas marinhos, respondendo por 50-60% da produção primária global de carbono que será veiculado para níveis tróficos superiores e, portanto, afeta profundamente os ciclos biogeoquímicos na Terra (Field *et al*., 1998). Em consequência, qualquer investigação sobre impactos ambientais futuros, originados de mudanças climáticas ou atividade antropogênica, deve envolver a diversidade e a contribuição dos diferentes grupos fitoplanctônicos para o funcionamento dos ecossistemas marinhos (Richardson & Jackson, 2007). Infelizmente, a limitação de conhecimento relativo a aspectos básicos como a composição, distribuição e ecologia das espécies "diminutas" do fitoplâncton (pico- e nanoplâncton, ver adiante) tem prejudicado o desenvolvimento de modelagem ecossistêmica confiável sobre os ciclos biogeoquímicos globais; por exemplo, modelos preditivos relacionados ao fluxo de carbono (Sherr *et al*., 2007; Le Quéré *et al.*, 2005). Novas ferramentas metodológicas que permitem a enumeração e separação entre espécies autótrofas e heterótrofos (epifluorescência, citometria), e o mapeamento genético de comunidades tem auxiliado a desvendar os vazios mencionados acima (Li, 2009; Ribeiro *et al*., 2016; Bergo *et al*., 2017 no Sudeste do Brasil).

PÚBLICA

Usualmente, as espécies do fitoplâncton são separadas em classes de tamanho, que refletem genericamente sua ecofisiologia e papel funcional no ecossistema pelágico, associadas à relação superfície/volume da célula e a eficiência de absorção de compostos inorgânicos dissolvidos na água (Sieburth *et al*., 1978). Detalhando, o picoplâncton (0,1-2,0 µm) engloba organismos procariontes como cianobactérias (conhecidas como bacterioplâncton), e eucariontes realmente diminutos como algas da Classe Chlorophyceae, na qual *Micromonas pusilla* tem sido registrada como ubíqua e abundante nos diferentes oceanos do mundo (Vaulot *et a*l., 2008). Em seguida, o nanoplâncton (2,0-20,0 µm) inclui vários grupos algais, com predominância de Primnesiophyceae, Prasinophyceae, Bacillariophyceae, cocolitoforídeos e Chlorophyceae. Investigações recentes estabeleceram que estas frações de tamanho contribuem com a maior proporção da produção primária marinha em ambientes oceânicos profundos (que representam mais do que 70% da superfície marinha!) (Sherr *et al*., 2007), e particularmente as cianobactérias picoplanctônicas dos gêneros *Synecoccocus* e *Prochlorococcus* (Flombaum *et al*., 2013). Finalmente, o microplâncton compreende espécies com dimensões entre 20,0 µm e 200 µm, e são amplamente dominadas por diatomáceas e dinoflagelados, além de ciliados, e mais importantes nas áreas costeiras produtivas. Esporadicamente, durante as florações - ou seja, eventos de crescimento intensivo de uma única espécie em curto espaço de tempo - espécies tóxicas de dinoflagelados (*Dinophysis, Gymnodinium, Alexandrium*) e diatomáceas (*Pseudo-nitzschia*) podem causar problemas econômicos em áreas de cultivo de organismos marinhos. Na Bacia de Santos, florações de *Dinophysis acuminata* e *Pseudo-nitzschia* spp. tem sido registradas regularmente, inclusive com acúmulos perigosos de toxinas em moluscos cultivados de fazendas marinhas, ao longo de Santa Catarina, e alguns registros no Paraná e sul de São Paulo (Fernandes *et al*., 2013; Alves *et al*., 2018; Proença *et al*., 2018). Um aumento deste fenômeno tem sido observado nos últimos 30 anos, associados a alterações climáticas que favorecem estratégias adaptativas de espécies nocivas (Smayda & Reynolds, 2001). Outros grupos podem ser também importantes como Rhaphidophyceae (*Chattonella* e *Heterosigma*) e Cyanobacteria (*Trichodesmium*). A diversidade do microplâncton é elevada no ambiente pelágico do oceano profundo, apesar de sua contribuição

PÚBLICA

menor no fluxo de carbono, quando comparada ao nanoplâncton e picoplâncton. Entretanto, nos ambientes costeiros e de plataforma aquela classe de tamanho tende a ser dominante e significativamente mais importante na teia trófica, gerando carbono orgânico que sustenta a elevada produção pesqueira em determinadas áreas como o Sudeste-Sul do Brasil, as margens ocidentais da América do Sul e da África, etc. Nestas regiões, as diatomáceas são particularmente importantes devido ao seu rápido crescimento em presença de concentrações elevadas de nutrientes e turbulência suficiente para mantê-las circulando verticalmente na coluna de água e dentro da zona fótica (Smetacek, 1985).

Paralelamente, os microrganismos planctônicos também foram compartimentalizados em plâncton autótrofo (fotossintetizantes), heterótrofo (ingestão de alimento e compondo o protozooplâncton) e mixótrofo, este último pouco investigado quanto a sua ecofisiologia e sua importância ecológica, até recentemente. O protozooplâncton consiste de eucariontes heterótrofos, e são os herbívoros dominantes no ambiente pelágico, aumentando de importância à medida que as águas costeiras - nas quais a produção nova é intensa e mais regulada pelo mesoplâncton como copépodos – são gradualmente substituídas por águas oligotróficas mais profundas da plataforma e oceânicas. Nestas províncias, o protozooplâncton aumenta sua importância ecológica, otimizando o fluxo de Carbono orgânico na alça microbiana devido a sua intensa taxa herbívora sobre o picoplâncton bacteriano e nanoflagelados. Por sua vez, a comunidade é ingerida por consumidores de maior porte do plâncton como microcrustáceos e outros invertebrados gelatinosos (Azam & Malfatti, 2007). Os ciliados planctônicos formam um grupo abundante e altamente diversificado do protozooplâncton, contribuindo significativamente para os fluxos de Carbono e reciclagem de nutrientes, processo fundamental especialmente nas áreas oceânicas, onde o fitoplâncton é limitado pela escassez de nitrogênio, fósforo e, em alguns giros oceânicos, por Ferro. Infelizmente, a determinação da abundância celular e biomassa dos ciliados, passo essencial para estudos de seu papel ecológico, até hoje apresenta dificuldades metodológicas como a eliminação ou deformação das células, decorrentes de aplicação de fixadores vitais, limitando estimativas confiáveis de fluxo trófico ou de modelagem

ecológica (Leakey *et al*., 1994). Outro desafio recentemente exposto pela comunidade científica é a percepção crescente de que a visão tradicional dos compartimentos planctônicos separados em fitoplâncton predominantemente fotoautótrofo e microzooplâncton heterótrofo constitui-se em uma representação simplista do ecossistema marinho. Na realidade, as informações acumuladas sobre as atividades nutricionais de várias espécies da comunidade planctônica evidenciaram que a grande maioria do fitoplâncton eucarionte e talvez a metade das espécies do microzooplâncton em verdade transitam entre a fotossíntese e a captura ativa de presas, "cultivo" de células ou simbiose para providenciar Carbono orgânico e nutrientes (p.e. Hansen & Tilmann, 2020 para dinoflagelados). Em consequência, um "paradigma do mixoplâncton" está emergindo para destacar os denominados "mixótrofos" do plâncton, e seu papel no fluxo de Carbono pelágico, obviamente aumentando a complexidade das teias tróficas marinhas. Seguindo-se este paradigma revisado, apenas as diatomáceas, clorófitas e primnesiófitas e uma pequena parte de outros filos "algais" seriam exclusivamente fotoautrótofas e, portanto, representando o fitoplâncton. Por outro lado, no mixoplâncton estaria a vasta maioria dos ciliados, dinoflagelados, zooflagelados, radiolários e foraminíferos, e algumas espécies de vários filos de algas (Mitra *et al*., 2014). A incorporação deste compartimento tão dinâmico em relação aos seus modos de nutrição implicará em desafios que deverão ser superados para permitir uma visão mais realística do funcionamento do ecossistema marinho. Por exemplo, será necessário desenvolver novas metodologias de amostragem, experimentos com espécies refratárias á cultivos de laboratório e técnicas que esclareçam a fisiologia de absorção do Carbono em condições que favorecem a heterotrofia ou autotrofia (Flynn *et al*., 2019). Em consequência, os atuais modelos ecossistêmicos ou biogeoquímicos baseados no paradigma clássico de fitoplâncton-zooplâncton e crescimento limitado por herbivoria ou disponibilidade de nutrientes-luz deverão ser revisados, e incorporar o mixoplâncton e sua diversidade nutricional nas equações descritoras e preditivas dos ecossistemas marinhos.

A Bacia de Santos – extensa área marinha compreendida entre a latitude 23°S e 28°S – é a região de maior produtividade pesqueira demersal do Brasil, e onde numerosas fazendas de cultivos de moluscos e crustáceos têm sido

implementadas por comunidades de pescadores artesanais e empresas privadas nos últimos 30 anos, incentivando o turismo ao longo das populações litorâneas. A Bacia de Santos também tem fornecido petróleo explorado em águas profundas da plataforma continental e regiões oceânicas, além de potencialmente armazenar jazidas ainda não prospectadas em suas águas. A principal razão para a elevada produção biológica (quando comparada a outras regiões ao Norte da bacia) são as características oceanográficas especiais como meandros, ressurgências costeiras e de borda de plataforma e as intrusões sazonais de massas de água enriquecidas, aliado a pluviosidade elevada (até 2.000mm anuais) e consequente drenagem continental ao longo da região costeira, com a presença de extensas baías (Paranaguá, Santos, Sepetiba, Guanabara). Portanto, a atuação combinada do regime climático e a oceanografia regional fertiliza com nutrientes diferentes áreas da plataforma continental (até 200 m) que frequentemente ascendem até a zona fótica, deste modo acelerando a "bomba" biológica de Carbono orgânico em um ambiente pelágico predominantemente oligotrófico dominado pela Água Tropical, além de exportar matéria orgânica para o bentos, afetando significativamente seu funcionamento.

Uma breve síntese sobre a evolução e o estado atual do conhecimento relativo às principais assembleias do fito- e protozooplâncton e os fatores que regulam seu crescimento está apresentada a seguir, separadas por regiões marinhas na Bacia de Santos com base em publicações revisionais, e algumas mais específicas. Para um levantamento mais completo das referências abordando a composição, distribuição e ecologia nas águas da Bacia de Santos, recomenda-se os trabalhos de Brandini *et al*. (1997), Fernandes & Brandini (2004), Tenenbaum *et al.* (2004 a, b), Procopiak *et al*. (2006), Villac & Noronha (2008) e Villac & Tenenbaum (2010). Historicamente, os primeiros trabalhos realizados que incluíram as águas da Bacia de Santos são procedentes de amostras costeiras de fitoplâncton e protozooplâncton coletadas em algumas áreas da Região Sul (Cunha & Fonseca 1918, para diatomáceas, dinoflagelados e ciliados), de coletas esparsas no litoral do Rio de Janeiro, na Baía de Guanabara (Faria & Cunha 1917; Faria *et al.,* 1922) e Santos (Zimmermann, 1913, 1915, 1918), ou a partir de amostragens na região oceânica durante as grandes

PÚBLICA

expedições oceanográficas no início do Século XX (Brandt, 1906, 1907 - com ciliados tintinidos). As publicações se intensificaram durante os anos 50, a medida em que profissionais eram formados e laboratórios em diferentes estados eram implantados. Iniciando pelos ecossistemas costeiros representados por baías e enseadas como a Baía de Paranaguá, Cananeia, Ubatuba, Sepetiba, e da Guanabara, as comunidades planctônicas em geral são regidas pela pluviosidade e suas variações sazonais, bem como forte estratificação salina horizontal, e pelas atividades antropogênicas que geram eutrofização (excessivo aporte de macronutrientes e matéria orgânica), resultando em densidades celulares extraordinariamente elevadas (10^7–10^9 cels.L^{-1}). Os grupos e espécies são altamente variáveis em cada sistema, alternando entre diatomáceas e dinoflagelados atecados do microplâncton, nanoflagelados e florações frequentes de espécies destes grupos, algumas delas toxigênicas. As diatomáceas mais comuns pertencem aos gêneros *Skeletonema*, *Pseudo-nitzschia*, *Thalassionema*, *Cylindrotheca* e *Thalassiosira*. Nas regiões costeiras neríticas (águas rasas da plataforma interna com profundidade <50m) as densidades celulares (na ordem 10^6 cels.L^{-1}) são menores em comparação com as baías e enseadas, embora os ciclos de maré mantenham interações entre os dois sistemas. O microplâncton aumenta sua contribuição para a comunidade (10^5–10^6 cels.L^{-1}), representando mais do que 50% da biomassa, e é dominado por diatomáceas coloniais como *Guinardia*, *Thalassiosira, Pseudo-nitzschia, Rhizosolenia, Chaetoceros* e *Dactyliosolen*, especialmente em períodos de maior pluviosidade na Primavera-Verão, embora as comunidades terminem por serem limitadas por nutrientes devido á mistura com Água Tropical. Nestas águas, a influência sazonal de massas de água é evidenciada pela presença de espécies trazidas por águas mais frias do sul durante o Outono e Inverno como *Corethron, Asteromphalus* e espécies de dinoflagelados *Tripos* de águas mais frias. A partir do inverno, a penetração gradual da pluma do Rio do Prata transporta a Frente Subtropical da Plataforma, enriquecendo as águas costeiras e de plataforma até aproximadamente o litoral sul de São Paulo (Brandini *et al*., 2018). As assembleias planctônicas respondem rapidamente, especialmente diatomáceas, e dinoflagelados e ciliados mixótrofos como *Dinophysis* spp., *Myrionecta rubra* e várias espécies de *Tintinnopsis*. Este

acoplamento entre drenagem continental elevada e intrusão de massas de água ricas em macronutrientes favoreceram a implantação de cultivos de bivalves filtradores de plâncton e detritos, hoje representando importante fonte de renda de comunidades litorâneas, especialmente em Santa Catarina. Esporadicamente, a Frente Subtropical também promove florações do dinoflagelado toxigênico *Dinophysis* aff. *acuminata*, produtor de toxinas diarreicas (Proença, 2006; Villac *et al.*, 2008; Proença *et al*., 2011), cujas densidades podem chegar a $58x10^4$ cels.L^{-1} (Proença *et al*., 2018; Alves & Mafra, 2018). Diatomáceas toxigênicas como *Pseudo-nitzschia australis*, *P. calliantha, P. pseudodelicatissima* e *P. multiseries* foram registradas em densidades entre $1,0x10^6$ e $21,0x10^6$ cels.L^{-1}, com acumulação de ácido domóico (até 98.5 $\mu gDAg^{-1}$ de carne) em moluscos cultivados no Paraná e Santa Catarina, (Fernandes & Brandini, 2010, Fernandes *et al*., 2013). Ao norte da Bacia de Santos, o ecossistema costeiro de Cabo Frio vem sendo investigado desde os anos 70 pela equipe da Marinha do Brasil em associação com pesquisadores de diferentes instituições universitárias. As águas são sazonalmente afetadas pela ressurgência costeira no final do Verão, alterando drasticamente a abundância (10^3-10^7 cels.L^{-1}) e composição do fitoplâncton, quando dominam diatomáceas (Thalassionemataceae e *Asterionellopsis glacialis)* e dinoflagelados (*Tripos, Prorocentrum*); com o relaxamento da ressurgência em Março-Abril, as espécies se alternam, passando a dominar *Pleurosigma* e *Chaetoceros* spp., e os dinoflagelados aumentam sua contribuição relativa para a comunidade (Moraes, 2006; Valentin, 1989).

Entre os anos 70 e início de 80, foram realizadas as grandes Operações Oceanográficas da Marinha do Brasil (DHN) e projetos do Instituto oceanográfico da USP, incorporando a coleta de material biológico às de amostragens de parâmetros físicos e químicos. Estas campanhas privilegiaram as águas da plataforma e oceânicas, fornecendo um quadro sinótico razoável da estrutura do plâncton e das massas de água na Bacia de Santos, bem como apontando os principais forçantes ambientais que regulam o crescimento da comunidade planctônica. Imediatamente, os resultados evidenciaram o clássico padrão de diminuição gradual da biomassa planctônica no sentido costa para o oceano, além da alteração profunda na composição e dominância de suas espécies. Na

plataforma rasa (clorofila-a >1,3-5,0 µg.L^{-1}) predominam diatomáceas e dinoflagelados (10^5–10^6 cels.L^{-1}), e sua contribuição relativa é superior à do nanoplâncton. Em águas progressivamente mais profundas, o nanoplâncton responde pela maior parte da biomassa (clorofila-a <1,0 µg.L^{-1}), enquanto as diatomáceas do microplâncton diminuem sua participação (10^3-10^4 cels.L^{-1}), especialmente devido à redução na concentração de macronutrientes, compostas por espécies grandes de *Actinocyclus*, *Coscinodiscus*, além de *Chaetoceros* e *Dactyliosolen* e *Guinardia*, mostrando que a turbulência na região ainda é suficiente para manter estas espécies em suspensão na coluna de água, através de sua recirculação na coluna de água. Os dinoflagelados e ciliados comparativamente tornam-se importantes e sua diversidade aumenta, já aparecendo espécies mixótrofas e heterótrofas no protozooplâncton como *Ornithocercus*, *Dinophysis*, *Amphisolenia* e espécies não identificadas de ciliados. A cianobactéria *Trichodesmium erythraeum* é registrada na primavera-verão desde a faixa mais costeira ao norte (Cabo Frio, litoral norte de São Paulo, baixada santista; Carvalho *et al*., 2008), até o Estado do Paraná, esporadicamente formando manchas entre 8 e 40 quilômetros na plataforma, sendo transportadas para dentro da Baía de Paranaguá (Siqueira *et al*., 2006). Devido à complexidade da oceanografia na Bacia de Santos, este padrão é alterado especialmente devido á atuação sazonal da ACAS. Ao Norte, as águas da ressurgência são transportadas para sudoeste, e induzem a formação de termoclina que se estende em uma faixa de até 120 km e cria condições para uma sucessão que se inicia com células pequenas (*Nitzschia* spp. e *Skeletonema costatum*) e evolui para uma maior diversidade específica em função do crescimento do microfitoplâncton (*Guinardia, Rhizosolenia, Thalassiothrix*). Em frente à Baía de Guanabara, a estratificação torna-se bem estabelecida devido á águas de drenagem continental eutrofizadas que fluem superficialmente (maior temperatura e menor salinidade), contendo abundância elevada de cianobactérias filamentosas e nanoplâncton. As intrusões sazonais da ACAS sobre a plataforma e o deslocamento da termoclina criam condições para o crescimento do fitoplâncton, seguido pelo protozooplâncton (ou seja, bombeamento da teia trófica), sempre que a termoclina atinja a camada fótica e concentração de nutrientes aumente em função das interações químicas com a

ACAS subjacente á Água da Plataforma (Brandini *et al*., 2018). Em consequência, forma-se uma camada de maior produção biológica (clorofila-a >1-4 µg.L^{-1}), conhecida como Profundidade de Máximo de Clorofila-a (PMC), e promovendo o bombeamento da produção biológica, inclusive sustentado os estoques comerciais de peixes como a sardinha, tainha e atum. As diatomáceas compostas por *Pseudo-nitzschia* spp, *Coscinodiscus*, *Hemiaulus*, *Thalassiosira* e *Chaetoceros* (Brandini, 1990 a, b; Simião, 2010) e células não identificadas do nanoplâncton dominam a comunidade, seguidas por dinoflagelados Gymnodiniáceos. Em alguns setores da plataforma a ACAS também ascende devido em parte ao meandramento ciclônico da Corrente do Brasil, e então ocorrem as ressurgências de borda de plataforma (Mesquita *et al*., 1983; Brandini *et al.,* 1989; Brandini *et al*., 2014) com predomínio das mesmas espécies de diatomáceas, além de cocolitoforídeos (*Umbillichosphaera sibogae*, *Emiliania huxleyi* e *Gephirocapsa oceanica)* e a cianobactéria *Trichodesmium* sp. e aumento de protozooplâncton. Finalmente, investigações recentes utilizando ferramentas biomoleculares aliadas a citometria de fluxo começaram a revelar a importância do picoplâncton fotoautótrofo em águas tropicais brasileiras, já demonstrando que as cianobactérias croococóides, *Synechococcus* e *Prochlorococcus,* são responsáveis por parte da produção primária nas águas oligotróficas da plataforma externa (Alves *et al*., 2015; Ribeiro *et al*., 2016; Bergo *et al*., 2017).

Nas regiões do talude continental e oceânica poucas investigações foram realizadas na Bacia de Santos, e a escassa informação disponível relaciona-se a levantamentos da composição preliminar do fito- e protozooplâncton, naturalmente privilegiando grupos como diatomáceas, dinoflagelados tecados e ciliados tintinidos (pois as células resistem melhor ao fixadores utilizados formaldeído ou Lugol), bem como descrições da estrutura da comunidade e alguns fatores reguladores baseados em abundância celular e conteúdo de carbono celular. Na região oceânica da Bacia de Santos (na qual a informação é limitada, como Soares, 1983; Silva, 1991; Gaeta, 1999), a Água Tropical oligotrófica regula o ecossistema, mantendo a comunidade planctônica limitada por nutrientes, implicando em concentrações de clorofila-a extremamente baixas (<0,2 µg.L^{-1}). A dominância de nanoplâncton (>90% das densidades celulares e

biomassa) é marcante por toda a região, especialmente nanoflagelados e cocolitoforídeos *Emiliania huxleyi* e *Gephirocapsa oceanica*. Por outro lado, é interessante ressaltar a ocorrência de formas exóticas de dinoflagelados hetero- ou mixótrofos como *Ornithocercus*, *Histioneis*, *Triposolenia*, *Tripos praelongum*, *Tripos ranipes*, *Ceratocorys* e outras. Estas espécies desenvolveram extensões na parede celular, bem como estratégias ecológicas fundamentais para superar a limitação de recursos como associações simbióticas (com cianobactérias, cocolitoforídeos, pelagofíceas e radiolários ou acantários) ou parasitismo, e otimização de busca por recursos pela locomoção flagelar.

Apesar da importância do fitoplâncton e protozooplâncton no ecossistema pelágico marinho na Bacia de Santos, e das características oceanográficas regionais complexas que afetam a dinâmica das comunidades planctônicas na região, poucos estudos foram desenvolvidos para elucidar a diversidade planctônica e quantificar sua biomassa e contribuição para o ecossistema, permitindo estabelecer definitivamente um modelo de fluxo de energia em diferentes compartimentos do ecossistema no pelagial, bem como sua exportação para a comunidade bentônica (Guenther & Valentin, 2008). Portanto, há necessidade de enfrentar estas lacunas do conhecimento através de projetos integrados que investiguem a oceanografia, a biologia e a biogeoquímica marinha na região, especialmente em águas mais profundas do oceano. Com este propósito, no âmbito do projeto Caracterização Ambiental da Bacia de Santos (Petrobras/CENPES), duas Campanhas Oceanográficas de mesoescala foram executadas (Primavera 2019 e Verão 2022), e um dos vários objetivos foi investigar a diversidade, distribuição e ecologia do nanoplâncton e microplâncton na Bacia de Santos com base em 60 estações oceanográficas amostradas desde áreas costeiras até a região oceânica.

V.2 V.Métodos

V.2.1 Amostragens, filtração e contagem do plâncton

As amostragens foram realizadas durante 2 campanhas oceanográficas (Agosto a Outubro de 2019 – Primavera, e Dezembro/2021 a Março/2022 – Verão) em 60 estações oceanográficas em cada campanha, distribuídas em

PÚBLICA

perfis (A à H) perpendiculares à linha de costa, cobrindo as áreas de plataforma interna (<50 m), média (50-100 m), externa (100-200 m), zona do talude (200-1000 m) e área oceânica contigua (1000-2400 m). Em cada estação, amostras para microplâncton e o nanoplâncton foram coletadas em 4 profundidades definidas *in situ* pelo perfil de fluorescência de clorofila-a (superfície, início da PMC, PMC e fim da PMC). Dois litros de água foram colocados em dois frascos de vidro escuro de 1 L e preservados pela adição de 5 mL de solução alcalina de Lugol tamponada com acetato de sódio em cada frasco, totalizando 456 amostras nas 2 campanhas. As amostras foram homogeneizadas e imediatamente filtradas gentilmente pelo método de filtração reversa (Holm-Hansen *et al*., 1970) em rede de 20 µm de abertura de malha, concentrando-se as células do microplâncton até um volume final de 130-200 mL em frascos de 200 mL. Em seguida, alíquotas destas amostras foram sedimentadas segundo proposto por Ütermohl (1958), utilizando cubas de 25 mL (amostras de plataforma) a 50 mL (talude-oceânica), dependendo da concentração de material particulado na amostra. A enumeração de células seguiu a metodologia proposta por Edler & Elbrächter (2010), utilizando transectos para estimar a abundância de células no volume de amostra sedimentado. As medidas obtidas em células por transecto foram convertidas em células por litro através da multiplicação por fatores de conversão, considerando o volume filtrado. Uma alíquota de 100 mL da amostra original (antes da filtração) foi utilizada para contar células do nanoplâncton, somando 456 amostras (2 campanhas). Além disso, 100 mL de água do mar foram retirados das garrafas de Niskin de 2 profundidades (Superfície e PMC, somando 240 amostras) para contagem exclusiva de cocolitoforídeos e cujas amostras foram colocadas em frascos de 100 mL, e preservado em formaldeído 0,5% (conc. final) tamponado com tetraborato de sódio deca-hidratado, uma vez que suas células soltariam os cocolitos da parede se preservadas em solução de Lugol. Pelo menos 400 células foram contadas ao microscópio invertido (200x e 400x), mantendo-se como erro de estimativa em torno de 10% (Venrick, 1978).

As contagens do fitoplâncton foram efetuadas através dos seguintes procedimentos:

PÚBLICA

1) em aumento de 100x, percorreu-se a cuba inteira para detectar espécies de tamanho relativamente grande (e.g. *Tripos* spp., *Coscinodiscus wailesii* spp., e *Odontella* spp.);

2) em aumento de 200x, utilizando-se transectos, todas as demais microalgas com tamanho superior a 20 µm foram enumeradas. Nessa etapa, foi contado um mínimo de 300 unidades (cadeias ou células) no total, a fim de se reduzir o erro de contagem para aproximadamente 10% (Edler & Elbrächter, 2010);

3) sempre que detectada a presença de espécies potencialmente nocivas (e.g. *Dinophysis acuminata*, *Pseudo-nitzschia* spp.), uma varredura foi feita em toda a cuba sob aumento de 200x para as células, de forma a reduzir ao mínimo possível o erro da contagem dessas espécies;

4) o nanoplâncton (microalgas entre 2 e 20 µm) foi enumerado utilizando-se transectos sob aumento de 400x. Nessa etapa, também foi utilizado um mínimo de 300 unidades contadas no total para minimizar o erro.

O cálculo do conteúdo celular de Carbono das espécies de fitoplâncton foi baseado nas estimativas de biovolume através da utilização de formas geométricas que se assemelham com a célula, como esfera, cone e cilindro (Hillebrand *et al*., 1999, Sun & Liu, 2003). Para o biovolume, foram medidos o comprimento, a altura e a largura das algas com régua micrométrica no aumento de 400x, e outras medidas necessárias para adaptar a forma geométrica das células. Para as diatomáceas, o volume celular do vacúolo foi descontado, que corresponde a 35% nas espécies naviculóides e 61% nas cêntricas (Round *et al*., 1990). As conversões para conteúdo de Carbono celular das espécies seguiram as fórmulas e recomendações de Menden-Deur & Lessard (2000). Fatores de conversão específicos foram utilizados para tintinidos (0,14 pg.µm^{-3}) (Verity & Langdon 1984; Choi & Stoecker, 1989), e descontando-se de 10 a 60% do volume da lórica para estimativas de biovolume, subtraído do volume ocupado pelo ciliado (calculado a partir de literatura e observações das espécies preservadas). Para outros ciliados, acrescentou-se 30% para compensar a contração causada pelo fixador Lugol (Choi & Stoecker, 1989).

V.2.2 Fitoplâncton de Rede para identificação de espécies

Amostras de plâncton de rede foram coletadas através de arrasto vertical com rede de 20 µm de abertura de malha, de 200 metros a superfície, nas 60 estações de coleta, para identificação das espécies. As amostras foram coletadas em duplicata, uma parte preservada em formaldeído (conc. final 2%) e outra preservada com Lugol não acético, portanto, diminuindo a destruição seletiva de células causada pelos fixadores. Estas amostras (120 amostras na Campanha de Inverno 2029, e 60 na Campanha de Verão 2022) foram utilizadas para a identificação dos organismos em microscopia ótica, e de espécies selecionadas de 40 amostras para microscopia eletrônica de varredura (MEV) e transmissão (MET), e ilustração dos exemplares. Adicionalmente, para identificação de espécies do nanoplâncton em microscopia eletrônica, as amostras utilizadas para a contagem de cocolitoforídeos (100 mL, preservadas em formol) foram filtradas em filtros Nuclepore com 2-3 µm de porosidade, utilizando uma seringa, e lavando com água destilada para remover água salgada e fixador.

V.2.3 Taxonomia do Nanoplâncton e Microplâncton

A identificação dos táxons do fitoplâncton foi realizada a partir de análise e registro fotográfico em microscopia ótica, utilizando-se periódicos especializados e manuais mais gerais (e.g. Cupp, 1943; Balech, 1988; Hasle & Syvertsen, 1997; Tomas, 1997; Faust & Gulledge, 2002; Hallegraeff *et al*., 2003; AFCD, 2008). Espécies de difícil identificação foram observadas em microscopia eletrônica de varredura e de transmissão (técnicas descritas abaixo). Dinoflagelados foram identificados com base na morfologia e posição das placas tecais de celulose. Para espécies pequenas, as placas foram dissociadas com Hipoclorito de Sódio e examinadas em microscópio ótico. Além disso, o fluorocromo Calcofluor White M2R foi usado para contrastar as suturas de celulose entre as placas tecais de acordo com Fritz & Triemer (1985). Um microscópio Olympus BX-51 equipado com sistema de fluorescência foi utilizado. A identificação foi baseada em Tomas (1997), Dodge (1982) e Hallegraeff *et al.* (2003), além de trabalhos mais específicos, disponíveis na biblioteca do Lab. de Ficologia da UFPR. O estudo

PÚBLICA

das diatomáceas foi efetuado com microscopias óptica e eletrônica, de acordo com Hasle & Fryxell (1970). As 180 lâminas permanentes foram montadas com resina Naphrax (r=1,74). As espécies encontradas foram medidas e fotografadas em microscópio óptico Olympus IX-70 equipado com contraste de fase e de interferência. Quando espécies pequenas ou raras foram detectadas, então as amostras foram preparadas para observação em microscópios eletrônicos de varredura Phillips XL30 (MEV) e de transmissão JEOL JM1200 EXII (MET). Os grids para MET recobertos por película Formvar (reforçada com carbono, mesh 150, Electron Microscope Supplies) foram utilizados para visualizar a estrutura das aréolas. As amostras para MEV foram colocadas em porta-amostras de alumínio e revestidas por ouro com 20 nm de espessura em metalizador Baltec. O enquadramento sistemático seguiu Round *et al.* (1990); a terminologia baseou-se em Hasle & Syvertsen (1997) e complementada por Round *et al.* (1990) e Barber & Haworth (1981). As atualizações das sinonímias foram realizadas com base no trabalho clássico de VanLandingham (1967-1979) e em publicações mais recentes como Hasle & Syvertsen (1997), Round *et al.* (1990) e Algaebase (http://www.algaebase.org/) entre outros.

V.2.4 Análises Estatísticas

Os parâmetros físicos e químicos utilizados nas análises estatísticas foram coletados durante as 2 campanhas simultaneamente às amostras de plâncton, e cedidos por outros projetos (v. Capítulo II neste Volume). As massas de água presentes na Bacia de Santos e citadas neste capítulo foram previamente delimitadas no Capítulo I deste volume.

Análise de Redundância (RDA) foi realizada para investigar os padrões de distribuição vertical do microplâncton nas profundidades “Superfície” e “PMC” e horizontal nos oito perfis definidos no plano amostral e cinco Zonas Oceânicas. Em relação aos parâmetros ambientais, foram utilizados os dados de profundidade (Prof), temperatura (Temp), salinidade (Sal), densidade (Den), oxigênio dissolvido (OD), clorofila (Chl), nitrito (NO_2), nitrato (NO_3), fosfato (PO_4) e silicato (SiO_4). Para a construção e interpretação da ordenação foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson e Kendall (r), considerando r > 0,5, porém para modelar o conjunto de dados das variáveis resposta em função das

variáveis preditoras, com base em modelo linear, foi utilizado o corte de r2= 0,02. As análises foram randomizadas no teste de Monte-Carlo (999 runs) e os dados foram normalizados através da transformação de log (x +1). As análises foram realizadas no software PC-Ord v6.0 (McCune & Mefford, 2011).

V.3 Resultados

V.3.1 Agosto-outubro 2019

V.3.1.1 Contribuição Global e Distribuição Espacial do Nano- e Microplâncton

Em 2019, as densidades celulares médias globais do fitoplâncton, ou seja, média de todas as estações oceanográficas, nas amostras de superfície variaram significativamente entre cada classe de tamanho considerada (Tabela V.3.1.1-1). Nas amostras de Superfície (Sup), a classe que mais contribuiu para a comunidade em média global foi o microplâncton, atingindo 46% do total, e até $1.026x10^3$ cels.L^{-1}. O nanoplâncton 1,8-5,0 µm correspondeu a 4%, enquanto que as frações de 5-10 µm e 10-20 µm apresentaram contribuição média semelhante, 25% cada; porém as densidades daquela classe foram pelo menos 10 vezes superiores às demais, com máximos até $52,4x10^5$ cels.L^{-1}. Nas amostras situadas na Profundidade de Máximos de clorofila-a (PMC), o microplâncton representou mais de 37% da comunidade, chegando a $196,4x10^3$ cels.L^{-1}. A contribuição do nanoplâncton 1,8-5,0 µm foi menor que 4%, porém esta classe de tamanho apresentou as maiores densidade celulares, chegando até $19,7x10^5$ cels.L^{-1}. As classes de tamanho de 5-10 µm e 10-20 µm do nanoplâncton corresponderam a aproximadamente 29%, cada.

PÚBLICA

Tabela V.3.1.1-1: *Valores globais de abundância celular (média de todas as estações, e máximo valor de todas as estações), conteúdo de Carbono (µgC.L-1) e Contribuição Relativa (%) nas diferentes classes de tamanho da comunidade nano- e microplânctônica nas duas Campanhas Oceanográficas na Bacia de Santos (BS).*

	Agosto-Outubro 2019 SUPERFÍCIE			**Agosto-Outubro 2019** Prof. Máx. Clorofila a		
	cels.L^{-1} x̄ (máx.)	µgC.L^{-1} x̄ (máx.)	Contr.Relat. C (%)	cels.L^{-1} x̄ (máx.)	µgC.L^{-1} x̄ (máx.)	Contr.Relat. C (%)
Nano 1,8-5 µm	$4,24x10^5$ ($52,4x10^5$)	0,46 (5,53)	4,55	$3,74x10^5$ ($19,7x10^5$)	0,41 (2,11)	3,94
Nano 5-10 µm	$0,80x10^5$ ($4,5x10^5$)	2,48 (9,87)	24,60	$0,95x10^5$ ($7,9x10^5$)	3,03 (14,80)	29,45
Nano 10-20 µm	$0,28x10^5$ ($0,6x10^5$)	2,51 (6,14)	24,92	$0,32x10^5$ ($1,6x10^5$)	3,05 (20,20)	29,64
Micro >20 µm	$24,42x10^3$ ($1026,0x10^3$)	4,62 (40,14)	45,92	$8,97x10^3$ ($196,4x10^3$)	3,81 (17,03)	36,97
TOTAL	**$5,57x10^5$**	**10,06**		**$5,11x10^5$**	**10,30**	
	Dezembro 2021-Março 2022 SUPERFÍCIE			**Dezembro 2021-Março 2022** Prof. Máx. Clorofila a		
	cels.L^{-1} x̄ (máx.)	µgC.L^{-1} x̄ (máx.)	Contr.Relat. C (%)	cels.L^{-1} x̄ (máx.)	µgC.L^{-1} x̄ (máx.)	Contr.Relat. C (%)
Nano 1,8-5 µm	$4,33x10^5$ ($38,1x10^5$)	0,46 (4,13)	3,11	$14,13x10^5$ ($477,0x10^5$)	4,44 (191,15)	12,85
Nano 5-10 µm	$0,79x10^5$ ($4,5x10^5$)	2,91 (15,91)	19,76	$1,09x10^5$ ($8,7x10^5$)	3,94 (23,75)	11,39
Nano 10-20 µm	$0,26x10^5$ ($2,3x10^5$)	2,01 (18,29)	13,48	$0,44x10^5$ ($10,5x10^5$)	3,45 (77,77)	9,98
Micro >20 µm	$26,93x10^3$ ($385,9x10^3$)	9,49 (92,51)	63,65	$11,12x10^3$ ($167,3x10^3$)	22,74 (724,76)	65,78
TOTAL	**$5,63x10^5$**	**14,90**		**$15,78x10^5$**	**34,57**	

O padrão geral de distribuição horizontal (Figura V.3.1.1-1) do total de células (nanoplâncton e microplâncton somados) revelou uma comunidade planctônica ocupando toda a plataforma continental, e rapidamente reduzindo desde o talude em direção ao oceano, onde os valores em geral não ultrapassaram $4,0x10^5$ cels.L^{-1} e biomassa inferior a 10 µgC.L^{-1}. As maiores concentrações foram registradas ao longo da plataforma interna (<50 m), desde o sul da Bacia de Santos até o setor central em São Paulo e, após um decréscimo curto na altura de Ubatuba, valores elevados voltam a parecer em Sepetiba e Guanabara (23 µgC.L^{-1}). Concentrações maiores foram encontradas tanto em superfície quanto na PMC. Na plataforma ao largo de Florianópolis até

Paranaguá, valores elevados ocorreram até profundidades de 150 m, além de uma pequena área oceânica no extremo sul (A7 e B8). Nas áreas restantes, ocupadas pelo Talude oceano, as concentrações reduziram-se rapidamente, com densidades <4,0x10^5 cels.L^{-1} e biomassa <10 µgC.L^{-1}.

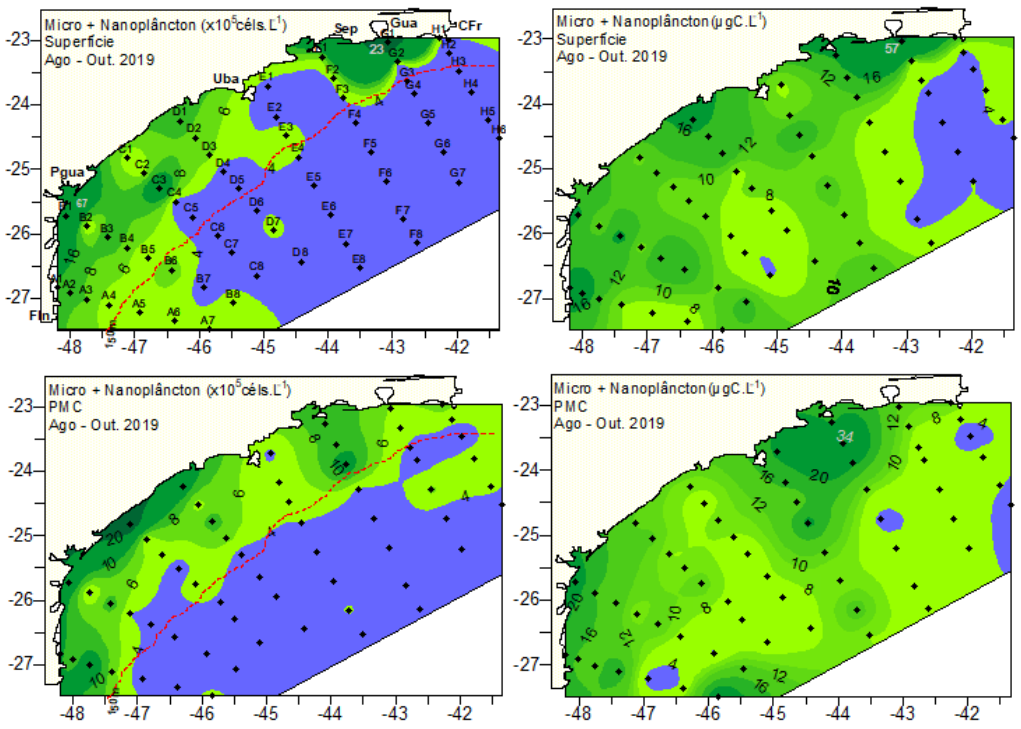


Figura V.3.1.1-1: *Variação espacial da densidade celular e biomassa do plâncton total (nano- e microplâncton) em amostras de Superfície (Sup) e Profundidade de Máximo de Clorofila-a (PMC) na Bacia de Santos, em Agosto-Outubro/2019. As principais localidades geográficas estão indicadas, para referenciação no texto: Florianópolis (Fln), Paranaguá (Pgua), Ubatuba (Uba), Sepetiba (Sep), Guanabara (Gua) e Cabo Frio (CFr).*

V.3.1.2 Densidade e Biomassa do Nano- e Microplâncton

Durante a Campanha de Agosto-Outubro/2019, as densidades celulares e biomassa em Carbono celular do nanoplâncton (1,8-20 µm) variaram de 1,0x10^5 a 57,5x10^5 cels.L^{-1} e 0,9 a 17,0 µgC.L^{-1} nas amostras de superfície, e de 1,47x10^5 a 94,47x10^5 cels.L^{-1} e 0,5 a 23,9 µgC.L^{-1} em amostras na profundidade de

PÚBLICA

máximos de clorofila-a (PMC), em geral associadas à termoclina mais profunda. Utilizando dois perfis oceanográficos selecionados (Superfície e PMC) como exemplos (Figura V.3.1.2-1), nota-se a tendência de valores maiores na PMC do que na Superfície, bem como um padrão de redução da biomassa planctônica no sentido costa oceano, mais evidente na classe do microplâncton.

Maior contribuição do nanoplâncton foi registrada ao sul (perfil A) e ao norte (perfil F) da Bacia de Santos. Quanto ao microplâncton, observou-se pico de densidade na região da baía de Sepetiba em F2, na PMC (196,4x10^3 cels.L^{-1}) pela dominância da diatomácea *Pseudo-nitzschia,* que contribuiu para o aumento da biomassa total (13 µgC.L^{-1}). Em Cabo Frio, a estação H1 também apresentou altas densidades e biomassas devido a maior densidade de células de *Pseudo-nitzschia, Skeletonema*, *Chaetoceros* e *Dactyliosolen phuketensis.* Os gêneros *Pseudo-nitzschia* e *Skeletonema* (Figura V.3.1.2-2), juntamente com *Thalassionema nitzschioides,* também foram quantitativamente importantes nas proximidades de Ubatuba (estação E1 em PMC) (Figura V.3.1.2-1).

As distribuições espaciais de biomassa (conteúdo de Carbono celular) do nanoplâncton e microplâncton foram aproximadamente similares ao longo da Bacia de Santos (Figuras V.3.1.2-1 e V.3.1.2-3). As maiores concentrações de nanoplâncton ocorreram ao sul da Bacia de Santos em águas de plataforma rasa a média (até 10 µgC.L^{-1}) em frente à Florianópolis e Paranaguá, em um setor oceânico ao sul (>10 µgC.L^{-1}) e ao norte em águas de plataforma em frente à Sepetiba e Guanabara (até 16 µgC.L^{-1}). Nestas áreas, registrou-se máximos de 5,9 x10^5 a 57,4x10^5 cels.L^{-1}.

No restante da Bacia, a biomassa manteve-se inferior à 6 µgC.L^{-1} na plataforma central, e na maioria da região de talude e oceano. Nas profundidades de máximos de clorofila-a o padrão foi semelhante ao da Superfície, porém ocorreram os maiores picos, chegando a 17 µgC.L^{-1}. A distribuição vertical do nanoplâncton foi bastante variável ao longo das 60 estações oceanográficas analisadas, ou seja, maiores concentrações foram encontradas tanto em Superfície quanto nas profundidades maiores, ainda atingidas pela zona eufótica. Em geral, um único grupo fitoplanctônico ou uma única espécie foi responsável pelo pico de concentração. Um ótimo exemplo é *Thalassiosira* sp. (8-12 µm), que atingiu densidades elevadas (>5,0x10^5 cels.L^{-1}), influenciando as

concentrações de clorofila-a, e apresentou assinatura evidente do pigmento fucoxantina Diato-2 nas análises de HPLC (Capítulo IV neste volume). Os microrganismos incluídos no **microplâncton (>20 µm)** variaram de 0,16x10^3 a 1026x10^3 cels.L^{-1} e 0,10 a 39,70 µgC.L^{-1} e, em geral, na ordem de 1,0x10^3 a 4,0x10^3 cels.L^{-1} (Tabela V.3.1.2-1), aproximadamente ocupando toda a plataforma. Como padrão geral, os maiores valores foram observados nas regiões costeiras, especialmente aquelas afetadas pelas águas de Florianópolis a Paranaguá ao sul (Figura V.3.1.2-3), e em estações ao norte da Bacia de Santos, em frente a Sepetiba, Guanabara e Cabo Frio, com máximos expressivos na Superfície, dominando diatomáceas. Detectou-se uma área ao sul da Bacia de Santos (Perfis A até C, estações 1, 2 e 3) estendendo-se até a plataforma média (150 m) com valores mais elevados (geralmente >3,0x10^3 cels.L^{-1} e de 10-20 µgC.L^{-1}), coincidindo com a intrusão da Frente Subtropical de Plataforma. A partir do talude em direção ao oceano aberto, as abundâncias diminuíram drasticamente, frequentemente <1,5x10^3 cels.L^{-1}, refletindo em biomassa menor, 0,30 a 1,10 µgC.L^{-1}. Entretanto, picos foram detectados em determinadas estações de borda de plataforma, as quais foram dominadas por espécies de diatomáceas, como a toxigênica *Pseudo-nitzschia* spp. (estações D3, D4, D5, F1, F2, até 194,6x10^3 cels.L^{-1} e 11,7 µgC.L^{-1}), amplamente distribuída na Bacia de Santos (Figura V.3.1.2-3). Analisando-se mais detidamente os valores de biomassa celular do microplâncton, é importante destacar que as maiores biomassas do microplâncton foram registradas em estações costeiras e de borda de plataforma, devido a ocorrência de diatomáceas de grandes dimensões. Embora estes organismos tenham apresentado densidade celular inferior à de outras espécies do microplâncton, contribuíram de forma significativa para as maiores concentrações de Carbono celular (discutido em detalhe mais adiante) para toda a comunidade planctônica. Comparativamente, embora a densidade celular do nanoplâncton tenha sido mais expressiva que a do microplâncton, as variações de Carbono celular entre estas duas classes de tamanho foram semelhantes.

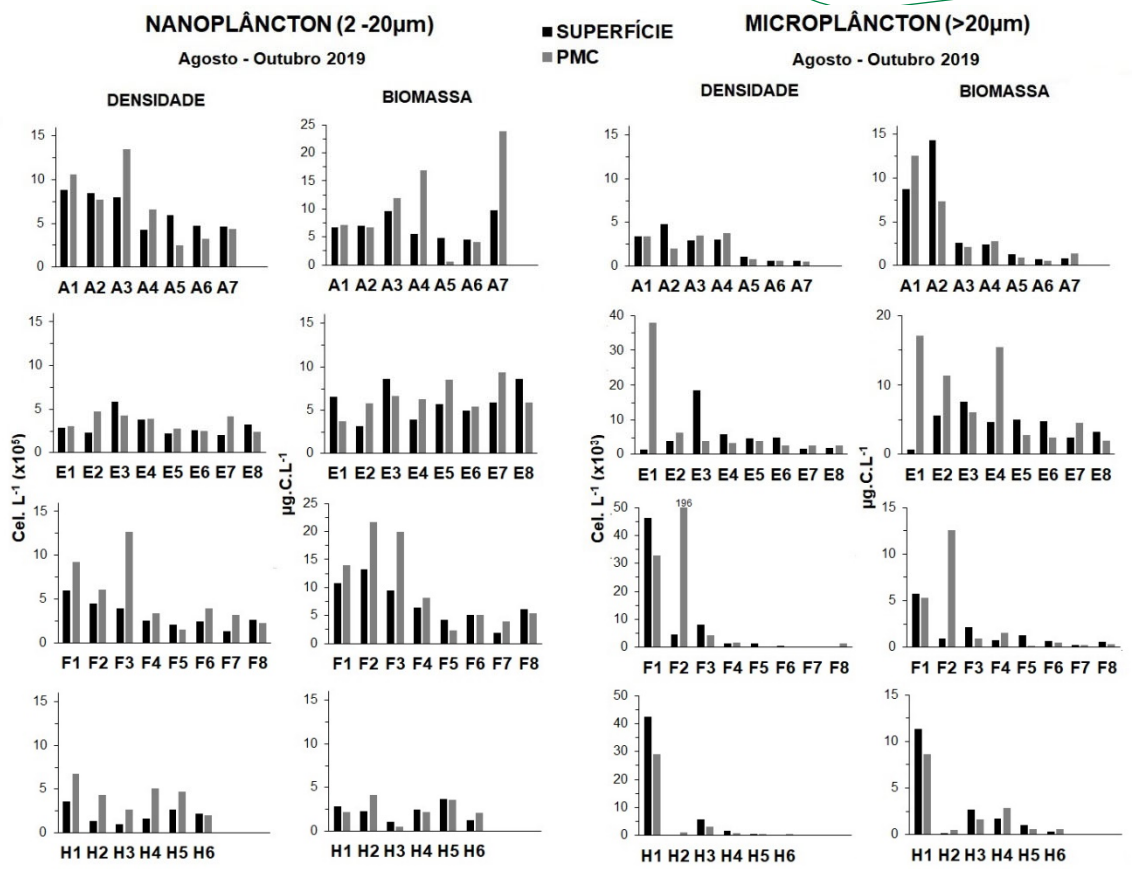


Figura V.3.1.2-1: *Densidade e biomassa do nano- e microplâncton nas estações dos perfis oceanográficos A (Florianópolis), E (Ubatuba), F (Sepetiba) e H (Cabo Frio) ao longo da BS, em Agosto-Outubro/2019. Note gráficos em diferentes escalas.*

Tabela V.3.1.2-1: *Densidade celular e biomassa do microplâncton e nanoplâncton nas amostras de superfície e PMC nos transectos A até H, na Bacia de Santos. Valores destacados em negrito representam amostras em que os valores de pigmentos de fucoxantina por HPLC foram elevados, indicando correlação positiva entre as contagens de diatomáceas e pigmentos.*

Estação	Prof.	Agosto-Outubro/2019				Dezembro/2021-Março/2022			
		Microplâncton		Nanoplâncton		Microplâncton		Nanoplâncton	
		Densid. cels L^{-1}	Carbono µgC L^{-1}	Densid. cels L^{-1}	Carbono µgC L^{-1}	Densid. cels L^{-1}	Carbono µgC L^{-1}	Densid. cels L^{-1}	Carbono µgC L^{-1}
A1	SUP	$2,78x10^3$	8,7	$8,87x10^5$	6,7	$242,41x10^3$	21,8	$7,43x10^5$	8,5
	PMC	$2,82x10^3$	12,6	$10,64x10^5$	7,2	$167,33x10^3$	27,7	$8,48x10^5$	5,2
A2	SUP	$4,68x10^3$	14,3	$8,46x10^5$	6,9	$56,51x10^3$	59,8	$2,83x10^5$	5,8
	PMC	$1,92x10^3$	7,4	$7,72x10^5$	6,7	$81,11x10^3$	724,8	$2,83x10^5$	2,9
A3	SUP	$2,90x10^3$	2,6	$7,98x10^5$	9,7	$0,98x10^3$	2,2	$2,43x10^5$	2,8
	PMC	$3,49x10^3$	2,1	$13,47x10^5$	11,9	$2,07x10^3$	4,3	$2,51x10^5$	2,2
A4	SUP	$2,99x10^3$	2,4	$4,31x10^5$	5,5	$0,65x10^3$	1,0	$2,46x10^5$	3,8
	PMC	$3,25x10^3$	2,8	$6,59x10^5$	16,9	$2,99x10^3$	3,0	$3,01x10^5$	3,4

PÚBLICA

(continuação Tabela V.3.1.2-1)

A5	SUP	0,94x10³	1,3	5,93x10⁵	4,8	0,65x10³	1,1	8,55x10⁵	4,6
	PMC	0,66x10³	0,9	2,49x10⁵	0,5	0,37x10³	0,8	20,05x10⁵	7,2
A6	SUP	0,60x10³	0,7	4,73x10⁵	4,6	1,00x10³	4,9	9,27x10⁵	3,5
	PMC	0,64x10³	0,6	3,26x10⁵	4,0	0,61x10³	0,8	10,67x10⁵	5,9
A7	SUP	0,63x10³	0,8	4,67x10⁵	9,8	0,61x10³	1,5	7,49x10⁵	3,4
	PMC	0,51x10³	1,4	4,35x10⁵	23,9	0,77x10³	1,0	9,63x10⁵	8,7
B1	SUP	1,58x10³	8,6	23,19x10⁵	8,2	7,70x10³	20,0	9,66x10⁵	7,4
	PMC	3,60x10³	13,6	14,43x10⁵	9,5	5,39x10³	7,4	9,94x10⁵	9,7
B2	SUP	3,69x10³	4,1	2,77x10⁵	4,2	83,85x10³	16,4	10,26x10⁵	7,0
	PMC	2,58x10³	8,0	2,64x10⁵	7,6	0,86x10³	2,6	10,89x10⁵	10,4
B3	SUP	3,68x10³	11,3	10,63x10⁵	7,1	28,52x10³	6,4	5,38x10⁵	5,0
	PMC	4,32x10³	3,8	94,47x10⁵	10,5	2,47x10³	6,5	23,59x10⁵	21,4
B4	SUP	3,59x10³	2,5	6,58x10⁵	5,5	0,28x10³	2,7	4,32x10⁵	3,3
	PMC	2,79x10³	2,4	3,84x10⁵	5,5	1,62x10³	6,3	3,21x10⁵	1,6
B5	SUP	7,28x10³	10,1	4,59x10⁵	5,8	0,78x10³	5,8	5,35x10⁵	2,9
	PMC	9,44x10³	8,8	3,62x10⁵	3,7	0,50x10³	2,5	5,47x10⁵	4,6
B6	SUP	4,65x10³	8,7	7,37x10⁵	5,8	0,30x10³	0,9	4,76x10⁵	6,0
	PMC	2,13x10³	5,4	3,06x10⁵	1,5	0,33x10³	0,8	5,14x10⁵	4,3
B7	SUP	1,37x10³	1,6	2,39x10⁵	8,1	0,73x10³	2,9	6,14x10⁵	4,0
	PMC	1,17x10³	1,1	1,63x10⁵	2,7	0,48x10³	1,5	6,27x10⁵	4,0
B8	SUP	1,59x10³	1,3	5,37x10⁵	12,1	0,49x10³	4,9	8,20x10⁵	3,1
	PMC	2,08x10³	1,1	3,01x10⁵	12,1	0,86x10³	2,4	5,35x10⁵	2,2
C1	SUP	3,12x10³	4,7	4,72x10⁵	4,6	70,81x10³	9,1	3,82x10⁵	7,0
	PMC	5,87x10³	6,9	20,58x10⁵	4,7	25,99x10³	6,1	8,33x10⁵	8,7
C2	SUP	10,05x10³	5,0	4,67x10⁵	6,2	2,38x10³	4,5	3,69x10⁵	4,7
	PMC	2,79x10³	8,6	4,15x10⁵	4,2	4,80x10³	10,9	8,37x10⁵	8,8
C3	SUP	2,24x10³	3,2	16,40x10⁵	5,7	0,66x10³	13,0	6,07x10⁵	5,4
	PMC	2,90x10³	3,4	6,16x10⁵	4,5	0,56x10³	4,0	1,80x10⁵	1,1
C4	SUP	5,11x10³	4,8	2,16x10⁵	3,1	1,53x10³	2,3	8,05x10⁵	6,7
	PMC	4,37x10³	2,6	2,39x10⁵	5,9	1,65x10³	3,9	76,76x10⁵	34,0
C5	SUP	2,72x10³	4,3	3,12x10⁵	4,6	0,49x10³	1,9	3,81x10⁵	1,5
	PMC	8,62x10³	5,6	5,31x10⁵	5,9	0,97x10³	2,8	5,24x10⁵	16,7
C6	SUP	2,95x10³	4,4	3,48x10⁵	2,4	0,31x10³	1,3	5,45x10⁵	4,6
	PMC	5,73x10³	3,1	3,57x10⁵	3,7	1,34x10³	0,9	3,80x10⁵	8,9
C7	SUP	1,09x10³	0,7	2,22x10⁵	3,4	0,16x10³	0,5	3,96x10⁵	2,7
	PMC	1,08x10³	0,8	1,47x10⁵	4,2	0,18x10³	0,4	7,35x10⁵	4,3
C8	SUP	0,65x10³	0,7	2,42x10⁵	2,5	0,12x10³	0,2	2,11x10⁵	1,4
	PMC	0,85x10³	0,8	3,40x10⁵	4,4	0,60x10³	0,4	5,54x10⁵	9,7
D1	SUP	4,44x10³	12,2	8,85x10⁵	6,2	224,71x10³	16,7	2,03x10⁵	0,9
	PMC	**5,42x10³**	**3,8**	12,17x10⁵	5,3	25,66x10³	95,7	6,97x10⁵	12,4
D2	SUP	**3,73x10³**	**10,9**	7,21x10⁵	2,9	23,77x10³	31,4	9,09x10⁵	6,0
	PMC	3,29x10³	1,6	4,63x10⁵	3,6	7,44x10³	155,6	10,53x10⁵	7,7
D3	SUP	**14,07x10³**	**14,2**	6,25x10⁵	4,0	184,27x10³	92,5	2,57x10⁵	3,1
	PMC	3,58x10³	2,2	9,27x10⁵	7,4	3,62x10³	15,2	6,03x10⁵	2,3
D4	SUP	12,77x10³	3,2	2,77x10⁵	3,0	99,24x10³	32,3	5,76x10⁵	5,0
	PMC	0,90x10³	1,8	6,66x10⁵	5,8	1,86x10³	10,4	12,21x10⁵	6,3
D5	SUP	**57,12x10³**	6,0	3,00x10⁵	2,8	98,25x10³	21,0	2,64x10⁵	2,9
	PMC	1,85x10³	1,3	3,02x10⁵	3,6	120,30x10³	51,3	1,61x10⁵	3,4
D6	SUP	1,47x10³	1,2	3,85x10⁵	5,5	13,02x10³	10,6	1,54x10⁵	3,1
	PMC	0,45x10³	0,7	3,23x10⁵	6,6	1,16x10³	1,8	2,04x10⁵	4,5
D7	SUP	0,42x10³	1,0	4,35x10⁵	5,7	0,82x10³	1,4	2,80x10⁵	3,0
	PMC	0,19x10³	0,3	1,97x10⁵	6,0	0,77x10³	0,6	2,55x10⁵	1,7

PÚBLICA

(continuação Tabela V.3.1.2-1)

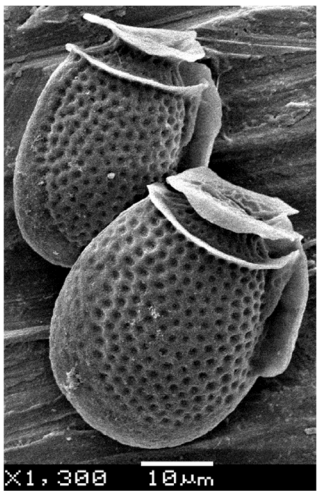
D8	SUP	0,24x10³	0,7	3,51x10⁵	8,1	0,62x10³	2,5	2,11x10⁵	2,3
	PMC	1,01x10³	1,4	2,89x10⁵	5,0	0,52x10³	2,1	6,24x10⁵	5,7
E1	SUP	1,31x10³	0,7	2,85x10⁵	6,6	5,79x10³	9,6	3,24x10⁵	4,5
	PMC	**37,79x10³**	**17,0**	3,06x10⁵	3,8	1,27x10³	6,9	5,16x10⁵	0,8
E2	SUP	3,89x10³	5,7	2,28x10⁵	3,2	2,77x10³	5,2	1,98x10⁵	4,3
	PMC	**6,49x10³**	**11,4**	4,72x10⁵	5,8	0,72x10³	5,5	1,81x10⁵	5,6
E3	SUP	18,50x10³	7,6	5,86x10⁵	8,6	0,73x10³	6,3	2,18x10⁵	2,3
	PMC	3,91x10³	6,1	4,25x10⁵	6,6	0,85x10³	0,9	1,18x10⁵	4,7
E4	SUP	5,99x10³	7,6	3,83x10⁵	3,9	1,00x10³	1,3	2,54x10⁵	2,0
	PMC	3,11x10³	**15,4**	3,95x10⁵	6,3	0,77x10³	1,2	2,18x10⁵	1,1
E5	SUP	4,94x10³	5,1	2,21x10⁵	5,7	0,40x10³	0,4	2,59x10⁵	3,0
	PMC	3,86x10³	2,9	2,79x10⁵	8,5	0,23x10³	0,3	4,24x10⁵	1,9
E6	SUP	5,03x10³	4,8	2,63x10⁵	5,0	2,55x10³	3,1	3,82x10⁵	1,9
	PMC	2,53x10³	2,5	2,48x10⁵	5,5	0,23x10³	0,8	1,39x10⁵	2,8
E7	SUP	1,68x10³	2,5	2,07x10⁵	5,9	0,70x10³	0,8	1,45x10⁵	3,4
	PMC	2,62x10³	4,6	4,19x10⁵	9,3	0,19x10³	0,4	1,56x10⁵	3,2
E8	SUP	1,88x10³	3,4	3,29x10⁵	8,6	2,18x10³	2,3	2,03x10⁵	2,0
	PMC	2,61x10³	2,0	2,45x10⁵	5,9	0,77x10³	1,3	1,64x10⁵	4,0
F1	SUP	46,10x10³	1,9	5,99x10⁵	10,7	20,39x10³	51,4	5,59x10⁵	11,2
	PMC	32,68x10³	5,3	9,21x10⁵	14,0	2,39x10³	9,4	5,43x10⁵	5,8
F2	SUP	4,69x10³	1,0	4,51x10⁵	13,2	16,01x10³	3,9	1,15x10⁵	3,4
	PMC	**196,44**x10³	**12,5**	6,06x10⁵	21,7	1,05x10³	2,7	3,64x10⁵	0,7
F3	SUP	8,15x10³	1,9	3,96x10⁵	9,4	1,28x10³	3,7	3,58x10⁵	4,8
	PMC	4,32x10³	0,9	12,70x10⁵	19,9	150,81x10³	65,4	488,26x10⁵	270,3
F4	SUP	1,34x10³	0,7	2,54x10⁵	6,4	0,65x10³	1,2	1,59x10⁵	3,0
	PMC	1,76x10³	1,5	3,35x10⁵	8,1	1,26x10³	1,0	1,82x10⁵	2,2
F5	SUP	1,38x10³	1,3	2,01x10⁵	4,2	0,59x10³	4,1	1,73x10⁵	0,9
	PMC	0,32x10³	0,1	1,50x10⁵	2,3	0,72x10³	0,8	11,33x10⁵	3,6
F6	SUP	0,43x10³	0,7	2,38x10⁵	5,1	0,36x10³	0,7	1,87x10⁵	3,9
	PMC	0,19x10³	0,5	3,89x10⁵	5,1	0,71x10³	1,6	2,33x10⁵	2,1
F7	SUP	0,18x10³	0,3	1,30x10⁵	1,8	0,35x10³	3,6	1,03x10⁵	0,6
	PMC	0,19x10³	0,3	3,17x10⁵	4,0	0,81x10³	1,1	5,94x10⁵	1,7
F8	SUP	0,23x10³	0,6	2,58x10⁵	6,2	0,59x10³	1,5	2,24x10⁵	2,9
	PMC	1,46x10³	0,3	2,19x10⁵	5,3	0,74x10³	1,9	1,79x10⁵	3,0
G1	SUP	**1026,03x10³**	**39,7**	57,40x10⁵	17,0	14,11x10³	9,0	42,31x10⁵	31,8
	PMC	110,94x10³	5,2	4,72x10⁵	6,2	4,51x10³	11,7	26,63x10⁵	37,7
G2	SUP	112,68x10³	4,7	2,33x10⁵	1,4	7,51x10³	2,3	14,98x10⁵	20,5
	PMC	...	...	...	...	9,06x10³	5,2	27,72x10⁵	25,8
G3	SUP	0,98x10³	2,1	2,21x10⁵	2,8	2,57x10³	7,1	5,29x10⁵	12,6
	PMC	0,98x10³	1,0	3,77x10⁵	4,9	0,61x10³	4,9	3,30x10⁵	6,9
G4	SUP	1,34x10³	2,1	1,45x10⁵	0,9	0,39x10³	0,7	1,83x10⁵	3,5
	PMC	...	...	...	...	0,97x10³	0,9	7,08x10⁵	4,2
G5	SUP	1,15x10³	1,7	3,34x10⁵	1,7	0,07x10³	0,2	1,63x10⁵	2,0
	PMC	0,55x10³	1,0	6,49x10⁵	5,6	0,57x10³	1,3	2,56x10⁵	6,7
G6	SUP	0,96x10³	1,3	1,63x10⁵	1,6	0,05x10³	0,3	1,55x10⁵	1,8
	PMC	0,97x10³	1,8	1,95x10⁵	4,0	0,52x10³	1,6	1,69x10⁵	5,2
G7	SUP	0,47x10³	0,7	1,93x10⁵	3,4	0,01x10³	0,1	1,44x10⁵	1,7
	PMC	0,28x10³	0,3	1,66x10⁵	4,4	0,38x10³	0,8	1,60x10⁵	6,3
H1	SUP	**42,54x10³**	**11,3**	3,59x10⁵	2,8	385,99x10³	38,2	17,29x10⁵	35,3
	PMC	29,03x10³	8,6	6,75x10⁵	2,2	19,19x10³	47,9	17,33x10⁵	39,4

PÚBLICA

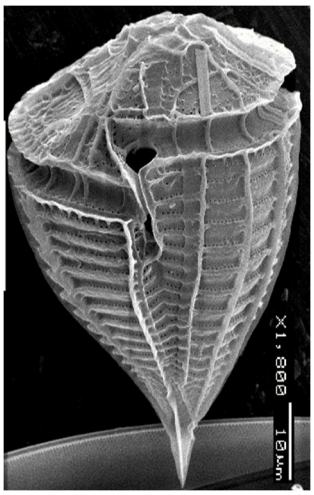
(continuação Tabela V.3.1.2-1)

H2	SUP	0,28x10³	0,2	1,32x10⁵	2,3	1,41x10³	7,3	15,71x10⁵	14,3
	PMC	0,60x10³	0,5	4,33x10⁵	4,1	1,01x10³	2,6	8,35x10⁵	8,6
H3	SUP	5,80x10³	2,6	1,02x10⁵	1,0	0,19x10³	0,7	2,85x10⁵	2,8
	PMC	2,70x10³	1,7	2,64x10⁵	0,7	0,45x10³	7,3	4,29x10⁵	2,4
H4	SUP	1,62x10³	1,7	1,64x10⁵	2,5	0,47x10³	1,4	12,92x10⁵	6,2
	PMC	0,92x10³	2,9	5,06x10⁵	2,2	0,43x10³	1,0	2,10x10⁵	5,6
H5	SUP	0,48x10³	1,0	2,61x10⁵	3,7	0,25x10³	0,2	1,60x10⁵	1,8
	PMC	0,37x10³	0,6	4,72x10⁵	3,6	0,39x10³	0,7	2,35x10⁵	6,4
H6	SUP	0,16x10³	0,4	2,21x10⁵	1,2	0,16x10³	0,2	3,51x10⁵	2,0
	PMC	0,31x10³	0,6	2,04x10⁵	2,1	0,19x10³	0,4	2,97x10⁵	3,5

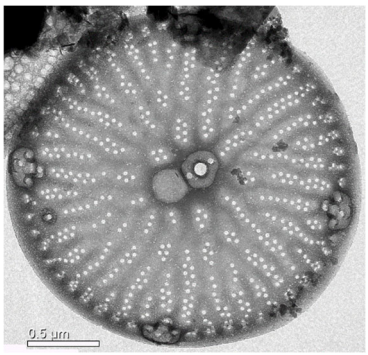
(...) sem dados



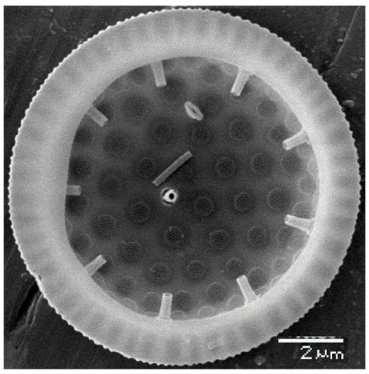
Dinophysis aff. acuminata



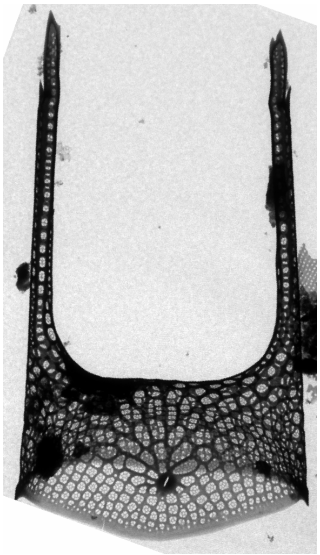
Corythodinium sp. (MEV)

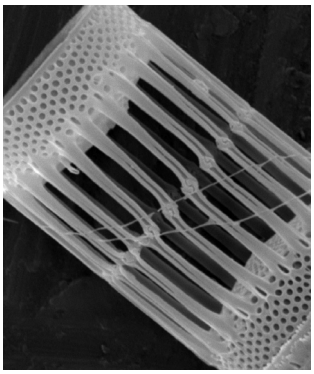


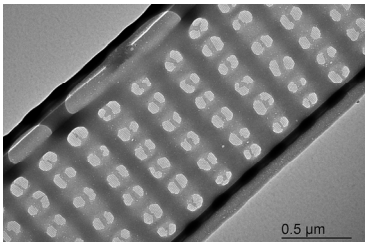
Thalassiosira oceanica (MET)



Thalassiosira oestrupii (MEV)


Hemiaulus hauckii (MET)


Skeletonema tropicum (MEV)



Pseudo-nitzschia (MET)

Figura V.3.1.2-2: *Algumas espécies representativas de grupos importantes (diatomáceas e dinoflagelados) ao longo da Bacia de Santos, fotografadas em microscopia eletrônica (MEV e MET).*

PÚBLICA

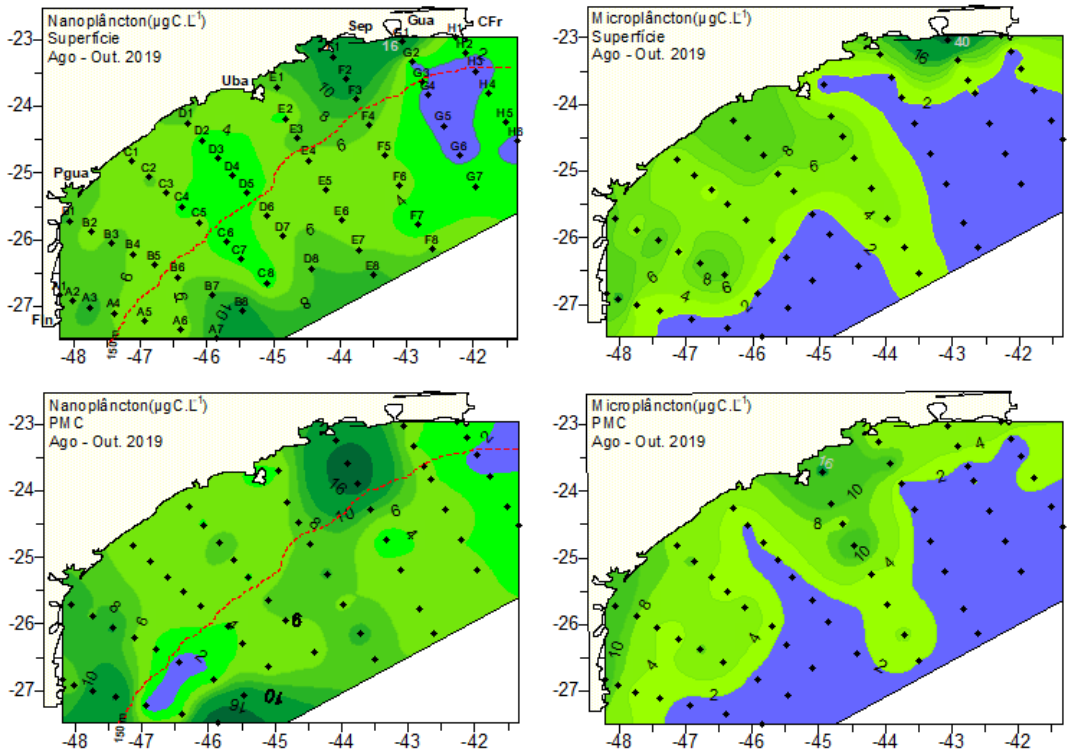


Figura V.3.1.2-3: *Variação espacial da biomassa do nanoplâncton (à esquerda) e microplâncton (à direita) em amostras de Superfície e PMC na Bacia de Santos, em Agosto-Outubro/2019.*

V.3.1.3 Contribuição Relativa das diferentes classes de tamanho do nano- e microplâncton

Os dados de densidade celular e biomassa (estimados por conteúdo de Carbono celular) foram utilizados para avaliar a contribuição percentual das categorias de tamanho do nanoplâncton e microplâncton, utilizando estações selecionadas que representaram satisfatoriamente todas as estações da região costeira (A1, E1, F1 e H1) e da região oceânica (A7, E8, F8 e H6) (Figura V.3.1.3-1).

O padrão geral de contribuição relativa das classes de tamanho analisadas (1,8-5,0 µm, 5-10 µm, 10-20 µm e >20 µm) ratificou os estudos clássicos sobre estratégias adaptativas do fitoplâncton, ou seja, o microplâncton apresentou maior contribuição em densidade celular (1-11%) nas áreas de plataforma rasa até a plataforma externa, reduzindo rapidamente até o oceano aberto. Entretanto, em termos de conteúdo celular de Carbono, esta classe de tamanho

PÚBLICA

aumentou sua importância em áreas mais rasas (9-82%), comparativamente ao nanoplâncton. O nanoplâncton apresentou contribuição menos variável numericamente em águas da plataforma, e superior à do microplâncton. Por outro lado, o conteúdo de Carbono celular foi mais afetado, refletindo seu menor biovolume, embora parcialmente compensado pela elevada abundância celular. Progredindo em direção ao talude e região oceânica, sob condições oligotróficas predominantes, o nanoplâncton aumentou sua contribuição relativa em ambos os parâmetros investigados; 72%-95% da biomassa e 99% das densidades celulares. Por outro lado, em algumas estações o crescimento intensivo de certas espécies ou grupos do fitoplâncton e microzooplâncton alterou este padrão geral, como nas estações oceanográficas A, E e H. Nestas estações foi possível constatar que, embora o microplâncton (representado em mostarda no gráfico) tenha ocorrido em um menor número de células em relação ao nanoplâncton (em azul), a contribuição em Carbono desta classe de tamanho foi superior em virtude do elevado biovolume das células. Na estação costeira E1, o microplâncton representou aproximadamente 11% do total de células presentes na PMC, entretanto, a sua contribuição em Carbono foi superior a 80%, em relação ao nanoplâncton, devido a ocorrência de algumas diatomáceas de grandes dimensões. O mesmo comportamento foi observado na estação oceânica E8 que, mesmo representando 1% da densidade celular total, ainda assim atingiu 25% da biomassa em Carbono.

Finalmente, as diferentes classes de tamanho do nanoplâncton apresentaram dominância quase absoluta entre as profundidades da Superfície e PMC; em geral, a classe de tamanho 1,8-5,0 µm predominou em ambas as profundidades, correspondendo a >60% até 90% das densidades celulares, seguida de 5-10 µm, a qual inclusive foi mais importante em algumas estações. A fração 10-20 µm não ultrapassou 25% das densidades, embora tenha superado 30% do conteúdo de Carbono celular em boa parte das estações. A fração 10-20 µm não ultrapassou 25% das densidades, embora tenha superado 30% do conteúdo de Carbono celular em boa parte das estações.

PÚBLICA

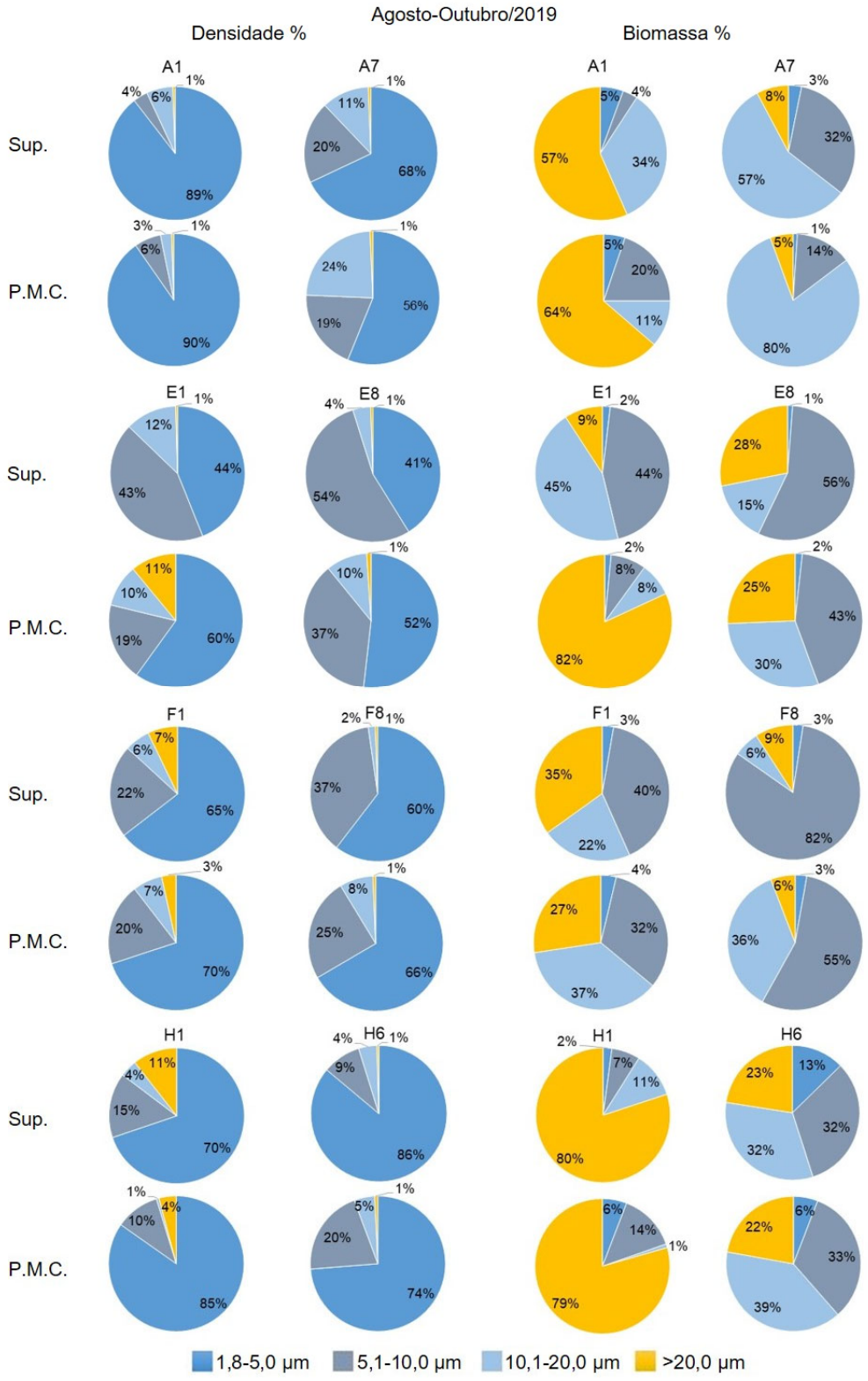


Figura V.3.1.3-1: *Contribuição relativa das diferentes classes de tamanho (densidade celular e biomassa em Carbono) nas estações selecionadas (A, E, F e H) nas profundidades de Superfície e PMC (profundidade de máximo de clorofila-a). Bacia de Santos, Agosto-Outubro/2019.*

PÚBLICA

V.3.1.4 Contribuição relativa dos grupos importantes do Nano- e Microplâncton

A distribuição espacial da comunidade planctônica foi descrita com base nas contribuições porcentuais de biomassa dos principais grupos fitoplanctônicos e do protozooplâncton (Figura V.3.1.4-1), independentemente de suas classes de tamanho. De modo geral, os diversos grupos fitoplanctônicos que estão incluídos na fração do nanoplâncton (1,8-20,0 µm, exceto os cocolitoforídeos, analisados em separado) representaram de <5% a 42% da biomassa total, em comparação com os outros grupos. Na maior parte das estações de plataforma (1, 2, 3 e 4), sua contribuição foi inferior à 40%, em relação às estações mais afastadas da plataforma externa e oceânica (Estações 5, 6, 7 e 8). Nestas áreas, sua contribuição foi significativamente maior, variando de aproximadamente 20% até 42%, com máximos associados especialmente à profundidade PMC. Os cocolitoforídeos (<12 µm) foram analisados em separado, devido a sua importância inédita na Bacia de Santos, ocorrendo em quase todas as estações, em ambas as profundidades, e variando entre 2 e 75% da biomassa total. Os valores elevados de biomassa podem ser resultado do alto teor de calcário na parede celular, também utilizado como fator na fórmula de conversão para Carbono. Duas espécies dominaram o grupo: *Emiliania huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica*, e elas foram aumentando em importância a partir da plataforma média, até atingirem máximos de contribuição porcentual (densidade ou biomassa) para a comunidade planctônica em águas oceânicas, onde outras espécies aumentaram sua participação (*Michaelsarsia*, *Calcidiscus*, *Halopappus*).

As diatomáceas foram mais representativas nas estações de plataforma interna e média, gradualmente reduzindo em direção ao oceano. Entretanto, em algumas estações este padrão foi alterado, especialmente em áreas ao redor do talude continental (p.e. Estações A4, B4, F3, B5, D5), em que sua participação aumentou, tanto numericamente como para a biomassa. As maiores contribuições deste grupo foram registradas na plataforma interna, mais ao norte da Bacia de Santos, associadas às Baías de Sepetiba e Guanabara (em D1, D2, G1, G2) e em Cabo Frio (H1). Na Estação F2, as diatomáceas atingiram 45% da biomassa total, devido ao crescimento intensivo de *Thalassiosira* sp. (<12 µm).

PÚBLICA

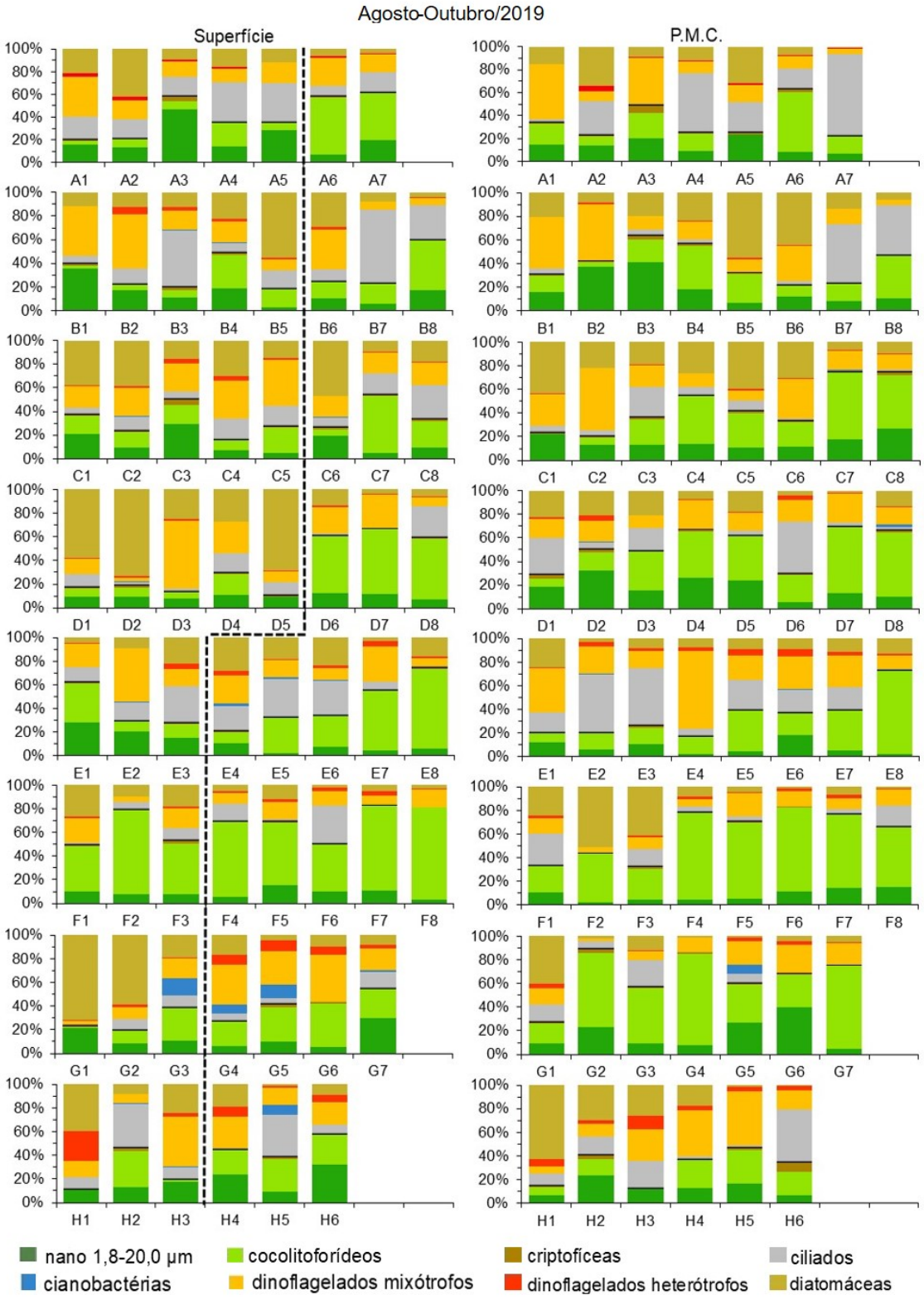


Figura V.3.1.4-1: *Contribuição relativa da biomassa dos principais grupos do fitoplâncton em amostras de superfície e PMC das estações dos perfis oceanográficos da Bacia de Santos, em Agosto-Outubro/2019. Linha tracejada indica a isóbata de 150 m.*

PÚBLICA

Portanto, nota-se que na Bacia de Santos não há um padrão clássico como descrito em áreas adjacentes da costa brasileira, e outros oceanos. Os dinoflagelados (mixótrofos e heterótrofos analisados em conjunto) apresentaram tendência de maior contribuição relativa na plataforma das estações ao Sul (Florianópolis à São Sebastião, estações A a D), diminuindo nas áreas de talude e oceânicas. Ao contrário, nas áreas mais ao Norte (Baía de Guanabara e Cabo Frio, Estações E a H), este grupo contribuiu com maior proporção de biomassa nas áreas de Talude e oceânicas. Os Ciliados do protozooplâncton (especialmente *Strobilidium, Strombidium, Strombidinopsis, Laboea, Lohmanniella* e *Cyrtostrombidium*) variaram irregularmente em relação à sua contribuição na maioria das estações de amostragem, e nas diferentes profundidades. As maiores contribuições foram registradas nas Estações A, B, E H, oscilando de 10% a 50%, com valores máximos associados à profundidade PMC.

V.3.1.5 Distribuição Espacial dos grupos importantes do Nano- e Microplâncton

As diatomáceas distribuíram-se por toda a plataforma continental, ocorrendo desde águas rasas até aquelas ao redor da isóbata de 150-200 m, oscilando entre 0,03 e 41 $\mu gC.L^{-1}$. Por outro lado, as maiores concentrações restringiram-se à plataforma interna (<50 m), desde o setor sul na Baía de Paranaguá até proximidades de Ubatuba (Figura V.3.1.5-1). Ao norte da Bacia de Santos ocorreram os maiores valores, em frente às Baías de Sepetiba e Guanabara e Cabo Frio, e atingindo a borda da plataforma dominando *Rhizosolenia* spp. (estação H1 em PMC, apenas biomassa 3,09 $\mu gC.L^{-1}$), *Skeletonema* spp. (estações G1 e G2, até $1,0x10^6$ $cels.L^{-1}$ e 35,8 $\mu gC.L^{-1}$) e *Chaetoceros* spp. ($14,1x10^3$ $\mu gC.L^{-1}$ em H1 Superfície). Ao sul da Bacia de Santos (Perfis A até C, estações 1, 2 e 3), uma ampla área desde a região costeira estendendo-se até a plataforma média (150 m) foi diferenciada devido à valores mais elevados (geralmente >$3,0x10^3$ $cels.L^{-1}$ e 10-20 $\mu gC.L^{-1}$), associada à penetração da Frente Subtropical de plataforma. Nesta área, as espécies *Pseudo-nitzschia* spp., *Chaetoceros* spp. (formadora de estatósporos), *Thalassiosira* spp., *Thalassionema nitzschioides*, *Guinardia delicatula*, *G. striata*, *Leptocylindrus danicus* e *Dactyliosolen phuketensis* foram as mais importantes.

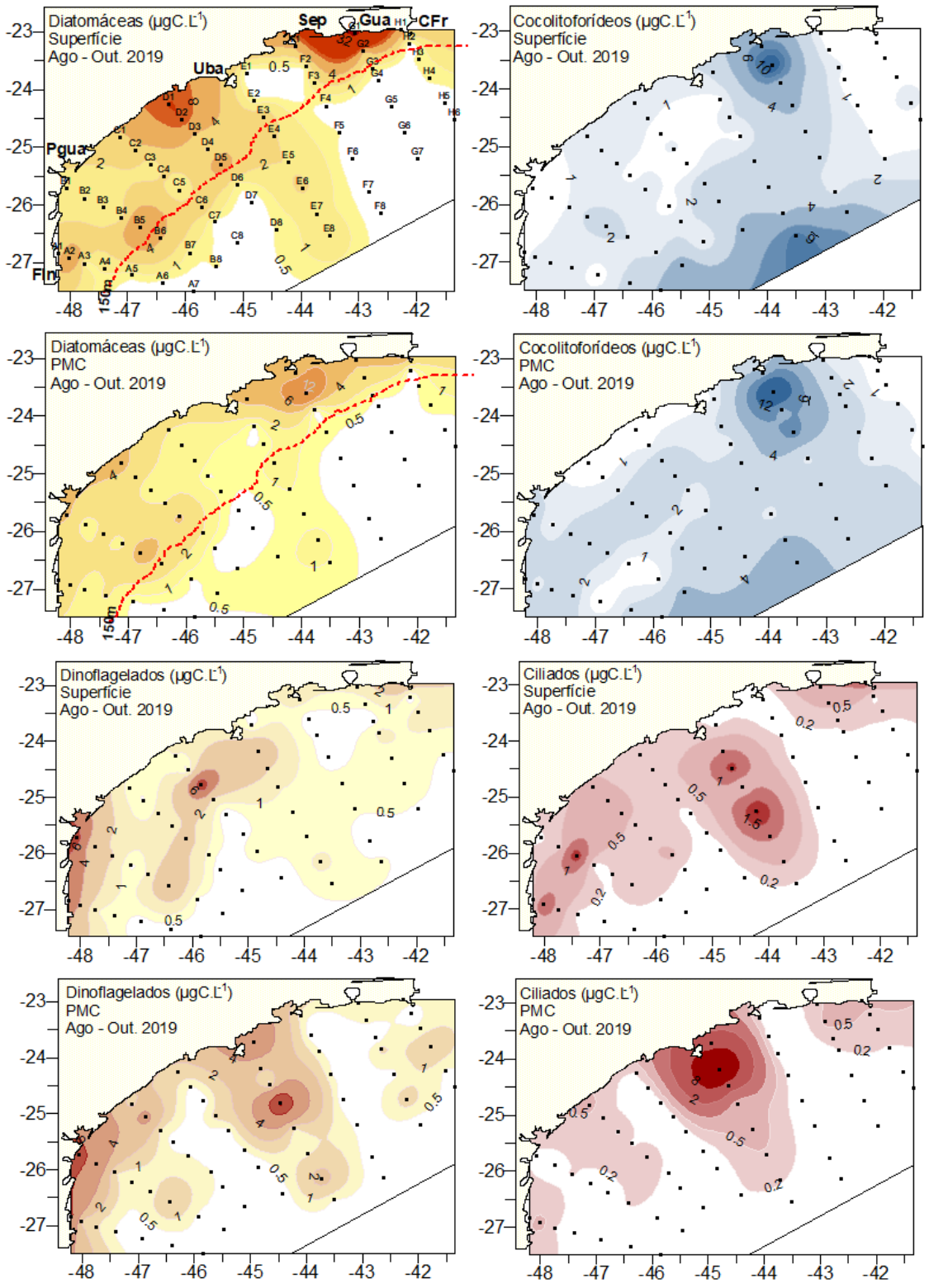


Figura V.3.1.5-1: *Distribuição espacial de alguns grupos importantes do plâncton na Bacia de Santos em Agosto-Outubro/2019, com base no conteúdo celular de Carbono (µgC.L^{-1}) na Superfície e Profundidade de Máximo de Clorofila-a (PMC).*

PÚBLICA

Um aspecto interessante foi o registro de um “filamento” ao longo do perfil E (especialmente na Superfície) no setor central da Bacia que alcançou a região oceânica, com máximo 3,1 µgC.L^{-1} e 15,3x10^{3} cels.L^{-1}, composto especialmente por *Chaetoceros* spp., *Dactyliosolen phuketensis*, *Pseudo-nitzschia* spp. e *Proboscia* sp. Os cocolitoforídeos foram dominados por *Gephirocapsa oceanica* e *Emiliania huxleyi*, ocorreram em praticamente toda a Bacia de Santos, com concentrações mais elevadas ao sul na região de Talude e oceânica (até 7,7 µgC.L^{-1}) e em águas de plataforma média em frente às Baías de Sepetiba e Guanabara, mais ao norte, atingindo 10,0-14,0 µgC.L^{-1} e densidades acima de 4,3x10^{5} cels.L^{-1}. Estes picos também coincidem com as assinaturas de pigmentos de clorofila-a e fucoxantina, em HPLC, bem como hexanoil para cocolitoforídeos (ver Capítulo IV neste volume).

As distribuições de Dinoflagelados e Ciliados foram razoavelmente sobrepostas, ocorrendo ao longo da plataforma continental, e formando alguns pontos de máximas biomassas, como nas plataformas internas de Paranaguá (5,7 µgC.L^{-1}), Ubatuba (8,4 e 13,1 µgC.L^{-1}) e Cabo Frio (4,5 µgC.L^{-1}). Na região oceânica as concentrações reduziram (<0,5 µgC.L^{-1}), seguindo o padrão de outros grupos, mas alguns pontos com maiores valores foram registrados esparsamente. Entre os dinoflagelados, espécies heterótrofas de *Gyrodinium*, *Torodinium* e *Warnowia* e mixótrofos como Gymnodiniáceos predominaram sobre dinoflagelados tecados.

V.3.1.6 Associações do Fitoplâncton diferenciadas pela Análise Canônica

Dentre os táxons identificados e quantificados, trinta e cinco foram selecionados (devido sua importância quantitativa e/ou ecológica) para a análise de redundância (RDA). Os dados bióticos foram integrados com os dados ambientais e também os oito perfis oceanográficos ao longo da Bacia, bem como as Zonas oceânicas (classificadas pela profundidade local; Tabela V.3.1.6-1).

PÚBLICA

Tabela V.3.1.6-1: *Classificação das estações amostradas quanto à profundidade local (Zona Interna, Média, Externa, Talude e Zona Aberta Oceânica).*

Zona	Profundidade	Estações em 2019	Estações em 2021-2022
Interna	Até 50m	A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2, E1, F1, G1, H1	A1, B1, B2, C1, C2, D1, E1, F1, G1, H1
Média	50 – 100m	A3, B3, C3, D3, D4, E2, F2, G2, H2	A2, A3, B3, C3, D2, D3, D4, E2, F2, G2
Externa	100 – 200m	A4, B4, B5, C4, C5, D5, E3, F3, G3, H3	A4, B4, B5, C4, C5, D5, E3, F3, G3, H2, H3
Talude	200 – 1000m	A5, B6, C6, D6, E4, F4, G4, H4	A5, B6, C6, D6, E4, F4, G4, H4
Zona Aberta Oceânica	1000 – 2400m	A6, A7, B7, B8, C7, C8, D7, D8, E5, E6, E7, E8, F5, F6, F7, F8, G5, G6, G7, H5, H6	A6, A7, B7, B8, C7, C8, D7, D8, E5, E6, E7, E8, F5, F6, F7, F8, G5, G6, G7, H5, H6

Em 2019, a RDA (Figura V.3.1.6-1) revelou o primeiro eixo explicativo ($p < 0,001$) explicando 9,6% da variância dos dados (eixo 1, Eigenvalue 3,07) e variância acumulada de 15,3% nos três primeiros eixos (Eigenvalue do eixo 2, 1,07; Eigenvalue do eixo 3, 0,73). Um gradiente espacial foi observado no primeiro eixo, no qual o quadrante positivo agrupa as amostras coletadas nas Zonas Interna e Média da Bacia de Santos (<100 m), e o lado negativo agrupa as amostras correspondentes às Zonas mais profundas (>100 m), exibindo um gradiente entre as Zonas Externa, Talude e Zona Aberta Oceânica. Os vetores com maior explicabilidade foram densidade ($r = -0,84$), salinidade ($r = -0,83$) e temperatura ($r = -0,63$), direcionados para o lado negativo do primeiro eixo, e PO4 ($r = 0,78$) e SiO4 ($r= 0,76$), no lado positivo do primeiro eixo; os demais vetores apresentaram $r2 < 0.05$, mas ainda assim adequam-se aos dados. A RDA discriminou grupos de espécies e outras categorias do fitoplâncton de acordo com as forçantes ambientais preponderantes de sua variação espacial nas 2 dimensões (horizontal e vertical), e regidas pelas características hidrológicas das Massas de água atuando na Bacia de Santos. Aos resultados gerados nesta análise estatística, outras espécies foram adicionadas às associações descritas abaixo a partir de uma investigação detalhada de análises de Cluster (não mostrado aqui) e dos dados brutos das estações para registrar

picos de densidade ou biomassa restritos a uma ou poucas estações oceanográficas.

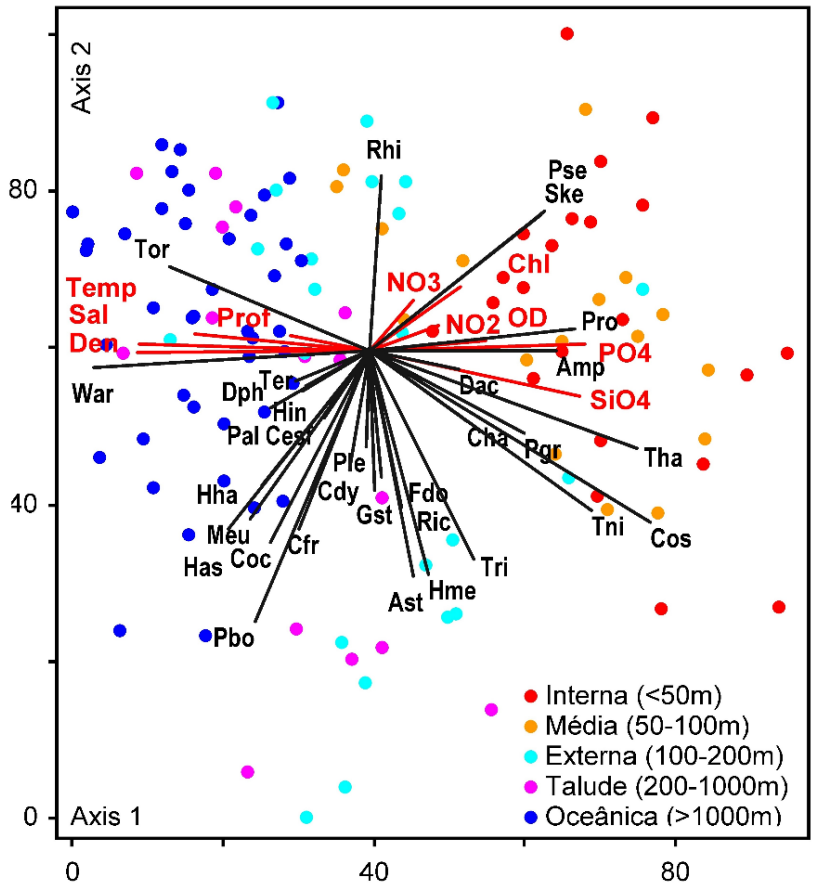


Figura V.3.1.6-1. *Distribuição do microplâncton ao longo da Bacia de Santos e Zonas Oceânicas versus variáveis ambientais ordenados pela Análise de Redundância (RDA) - em Agosto-Outubro/2019. Legenda: Amphidinium spp. (Amp); Asteromphalus spp. (Ast); Chaetoceros dydimus (Cdy); Chaetoceros spp. (Cha); Climacodium fraunfeldianum (Cfr); Cocolitoforídeos (Cesf); Cocolitoforídeos >20um (Coc); Coscinodiscus spp. (Cos); Coscinodiscus wailesii (Cwa); Dactyliosolen phuketensis (Dph); Dinophysis acuminata (Dac); Fragillariopis doliolus (Fdo); Guinardia striata (Gst); Haslea spp. (Has); Hemiaulus hauckii (Hha); Hemiaulus indicus (Hin); Hemilaulus membranaceus (Hme); Meuniera membranacea (Meu); Pleurosigma spp. (Ple); Proboscia alata (Pal); Proboscia spp. (Pbo); Prorocentrum gracile (Pgr); Protoperidinium spp. (Pro); Protozooplâncton (Pzo); Pseudo-nitzschia spp. (Pse); Rhizosolenia spp. (Rhi); Richelia (Ric); Skeletonema spp. (Ske); Thalassionema nitzschioides (Tni); Thalassiosira spp. (Tha); Torodinium spp. (Tor); Trichodesmium erythraeum (Ter); Tripos spp. (Tri); Warnowia spp. (War). Variáveis ambientais: profundidade (Prof), temperatura (Temp), salinidade (Sal), densidade (Den), oxigênio dissolvido (OD), clorofila (Chl), nitrito (NO_2), nitrato (NO_3), fosfato (PO_4) e silicato (SiO_4).*

PÚBLICA

Associação I: espécies presentes na Água Tropical, nas plataformas média a externa (>150 m), Talude e Oceano, principalmente nos Setores Sul e Central da Bacia de Santos, aparentemente influenciadas pela ACAS (PMC) e vórtices presentes na região. As forçantes ambientais preponderantes foram águas com temperatura e salinidade mais elevadas e baixa concentração de nutrientes (exceto na profundidade PMC, afetada pela ACAS, v. adiante), porém com valores intermediários quando comparada às outras associações. As espécies mais representativas foram as diatomáceas *Asteromphalus* spp., *Hemiaulus membranaceus*, *Hemiaulus indicus*, *Fragilariopsis doliolus*, *Guinardia striata*, os dinoflagelados *Tripos* spp., e a cianobactéria *Richelia intracellularis* (endossimbionte em diatomáceas).

Associação II: na Água Tropical, nas plataformas média a externa e talude, mais preponderante no Setor Norte da Bacia, mas também presente nos setores mais ao sul. Como na Associação I, as forçantes temperatura e salinidade e águas oligotróficas foram determinantes na discriminação deste grupo. As espécies mais características foram os dinoflagelados heterótrofos *Torodinium* sp., *Warnowia* sp., as diatomáceas *Meunieria membranacea*, *Pleurosigma* spp., *Chaetoceros didymus*, *Climacodium frauenfeldianum*, *Proboscia* spp., *Haslea* spp., *Hemiaulus indicus*, *Hemiaulus hauckii*, *Dactyliosolen phuketensis*, os cocolitoforídeos nanoplanctônicos (*Emiliania huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica* dominantes) e a cianobactéria diazotrófica *Trichodesmium erythraeum*.

Associação III: nas Baías de Guanabara e Sepetiba, em áreas costeiras na plataforma interna, influenciadas pelos aportes terrígenos de nutrientes, especialmente nitrogênio e, diminuindo a salinidade, promovendo o crescimento intensivo de espécies indicadoras destas condições: *Pseudo-nitzschia* spp. e *Skeletonema* spp. (*S. tropicum* e *S. subtropicum*), *Bacteriastrum* spp., *Dactyliosolen fragilissimus*, *Dactyliosolen phuketensis*, *Leptocylindrus danicus,* além de nanoplâncton (10-5 µm e <5-1,8 µm), composto por várias classes não identificadas. Em consequência, o vetor de clorofila-a respondeu positivamente a estes picos de abundância celular.

Associação IV: influenciada pela ACAS, em profundidades próximas à termoclina (PMC), correspondendo a algumas estações oceanográficas afetadas pelas trocas de nutrientes entre a ACAS e a AT sobrejacente, temperaturas e

salinidades menores e talvez com alguma limitação por luz. Esta associação não foi bem diferenciada pela RDA (exceto aquelas delimitadas no gráfico), embora os parâmetros ambientais tenham sido bem discriminados pela PCA (não mostrada), destacando-se compostos nitrogenados. Uma inspeção detalhada nos dados brutos e da análise de Cluster (não mostrada) permitiu diferenciar espécies que ocorreram em densidades maiores na PMC do que nas amostras de Superfície, justificando esta associação; incluindo as diatomáceas *Thalassiosira* spp., *Dactyliosolen phuketensis, Pseudo-nitzschia* spp., *Nitzschia longissima, Rhizosolenia* spp. e uma *Thalassiosira* sp. diminuta (diâmetro <12 µm, até $6{,}0x10^5$ cels.L^{-1}), e o dinoflagelado *Gyrodinium* spp.

Associação V: fortemente relacionadas à Frente Subtropical de Plataforma, trazendo águas ricas em Silicato e Fosfato, resfriadas e menos salinas. Estas forçantes com elevado suporte estatístico na RDA foram determinantes em promover o crescimento de diatomáceas e dinoflagelados, com consequências para toda a teia trófica (suportados por exemplo, pelos maiores valores de clorofila-a, como na Associação III). Em consequência, as espécies incluídas são as diatomáceas *Pseudo-nitzschia* e *Skeletonema* (especialmente nas margens da FST ao norte), *Dactyliosolen* spp., *Chaetoceros* spp., *Coscinodiscus* spp., *Leptocylindrus minimus* e *Thalassionema nitzschioides*, os dinoflagelados mixótrofos ou heterótrofos *Dinophysis acuminata*, *Gymnodinium* spp., *Prorocentrum gracile*, *Amphidinium* spp., *Protoperidinium* spp., ciliados (*Strombidae* e *Strobilidae*) e grupos do nanoplâncton esferóides não identificados. É possível que alguma mistura com águas da Baía de Paranaguá também tenha ocorrido, mas não foi possível diferenciá-las com os dados disponíveis.

V.3.2 Dezembro/2021-Março/2022 (Verão 2022)

V.3.2.1 Contribuição Global e Distribuição Espacial do Nano- e Microplâncton

Assim como em 2019, as densidades celulares médias globais do nanoplâncton da campanha de Dezembro/2021-Março/2022, variaram significativamente entre cada classe de tamanho considerada (Tabela V.3.1.1-1). Em média, na Superfície (Sup) a classe de tamanho mais importante foi o

PÚBLICA

microplâncton, que atingiu 64% do total e até 385,9x10^3 cels.L^{-1}. O nanoplâncton 1,8-5,0 µm correspondeu em média a 3%, enquanto que as frações de 5-10 µm e 10-20 µm apresentaram contribuição média de 20% e 13%, respectivamente. Porém, em termos de densidade, a classe 1,8-5,0 µm foi pelo menos 5 vezes superior às demais, com máximo de 38,1x10^5 cels.L^{-1}. Para a Profundidade de máximo de clorofila-a (PMC), o microplâncton representou mais de 66% da média global chegando a 167,3x10^3 cels.L^{-1}. Dentre o nanoplâncton, a fração 1,8-5,0 µm contribuiu com 13% e apresentou as maiores densidade celulares, chegando até 477,0x10^5 cels.L^{-1}, enquanto que as classes de tamanho de 5-10 µm e 10-20 µm do nanoplâncton corresponderam a 11 e 10%, respectivamente.

Com base no padrão de distribuição horizontal do plâncton (total de nanoplâncton e microplâncton), é possível observar que a comunidade ocupou quase toda a plataforma continental e oceânica ao sul da Bacia de Santos (Figura V.3.2.1-1), apresentando valores reduzidos na porção central e oceânica norte, não ultrapassando 4,0x10^5 cels.L^{-1}.

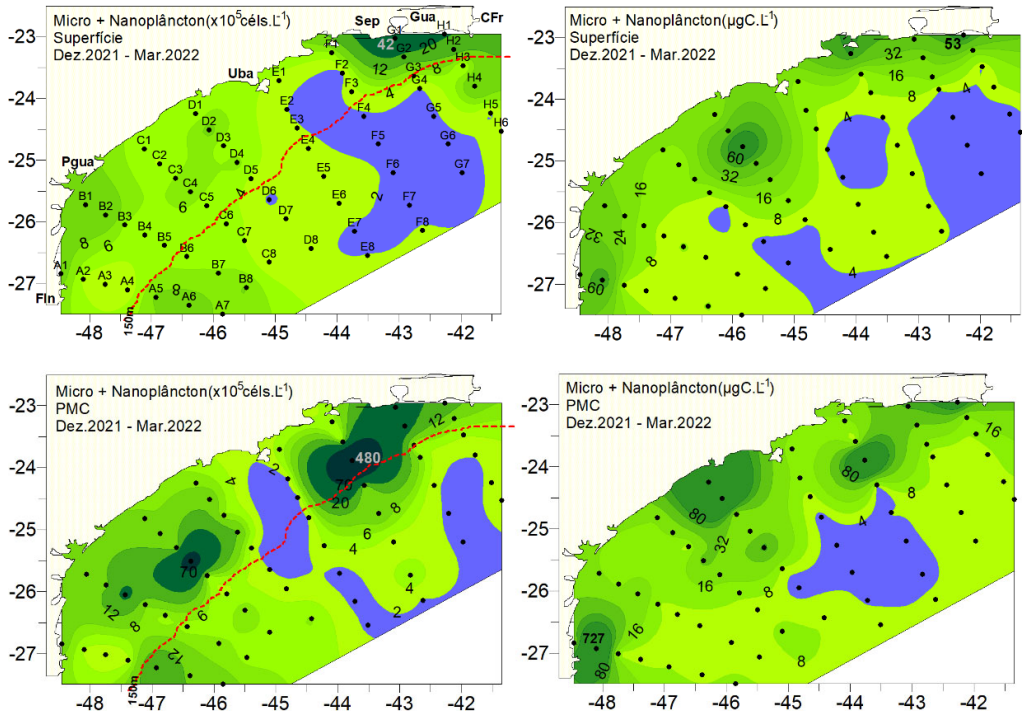


Figura V.3.2.1-1: *Variação espacial da densidade celular e biomassa do plâncton total (nano- e microplâncton) em amostras de Superfície e Profundidade de Máximo de Clorofila-a (PMC) na Bacia de Santos, em Dezembro/2021-Março/2022. As principais localidades geográficas estão indicadas, para referenciação no texto: Florianópolis (Fln), Paranaguá (Pgua), Ubatuba (Uba), Sepetiba (Sep), Guanabara (Gua) e Cabo Frio (CFr).*

PÚBLICA

As maiores concentrações do plâncton ocorreram na plataforma interna e talude, ao norte da Baía de Paranaguá e em frente as Baías de Sepetiba e Guanabara, onde as máximas de densidade variaram entre 4,2 e 48,9x10^6 cels.L^{-1} e de biomassa entre 40,5 e 727,6 µgC.L^{-1}. Nas demais áreas, em frente a Ubatuba e região oceânica central e ao norte da Bacia de Santos, as concentrações foram inferiores a 0,62x10^6 cels.L^{-1} e 13,6 µgC.L^{-1}, tanto em superfície quanto em PMC.

V.3.2.2 Densidade e Biomassa do Nano- e Microplâncton

Na Campanha de Dezembro/2021-Março/2022, as densidades celulares e biomassa em Carbono celular do **nanoplâncton (2-20 µm)** variaram de 1,0x10^5 a 42,3x10^5 cels.L^{-1} e 0,6 a 35,3 µgC.L^{-1} nas amostras de superfície, e de 1,2x10^5 a 488,3x10^5 cels.L^{-1} e 0,7 a 270,3 µgC.L^{-1} em amostras na profundidade de máximo de clorofila-a (PMC), ou seja, com maiores valores atingidos em maior profundidade como evidenciam os gráficos na Figura V.3.2.2-1. Pico de nanoplâncton ocorreu em frente à Baía de Sepetiba (F3 na PMC, 488,3x10^5 cels.L^{-1} e 270,3 µgC.L^{-1}) ocasionado, principalmente, pela fração de 1,8-5,0 µm de tamanho.

Para o microplâncton (<20 µm), aumento na densidade e biomassa planctônica foi verificado na zona costeira ao sul da bacia, com pico de densidade em A1 (242,4x10^3 cels.L^{-1}) e A2 (56,5x10^3 cels.L^{-1}) devido ao maior número de células da diatomácea *Pseudo-nitzschia,* e aumento da biomassa em A2 PMC (724,8 µgC.L^{-1}) pela predominância de diatomáceas cêntricas de grandes dimensões, como *Trieres chinensis e Guinardia flaccida*. Além disso, foram registradas elevadas concentrações em estações próximas a Baía de Sepetiba (F3 PMC 150,8x10^3 cels.L^{-1} e 65,4 µgC.L^{-1}) e Cabo Frio (H1 Sup e PMC 191,9x10^3 a 385,9x10^3 cels.L^{-1} e 38,2 a 47,9 µgC.L^{-1}) decorrentes do elevado número da rafidofícea *Chattonella* spp. (13,8x10^3 a 42,4x10^3 cels.L^{-1} e 12,0 a 43,1 µgC.L^{-1}).

PÚBLICA

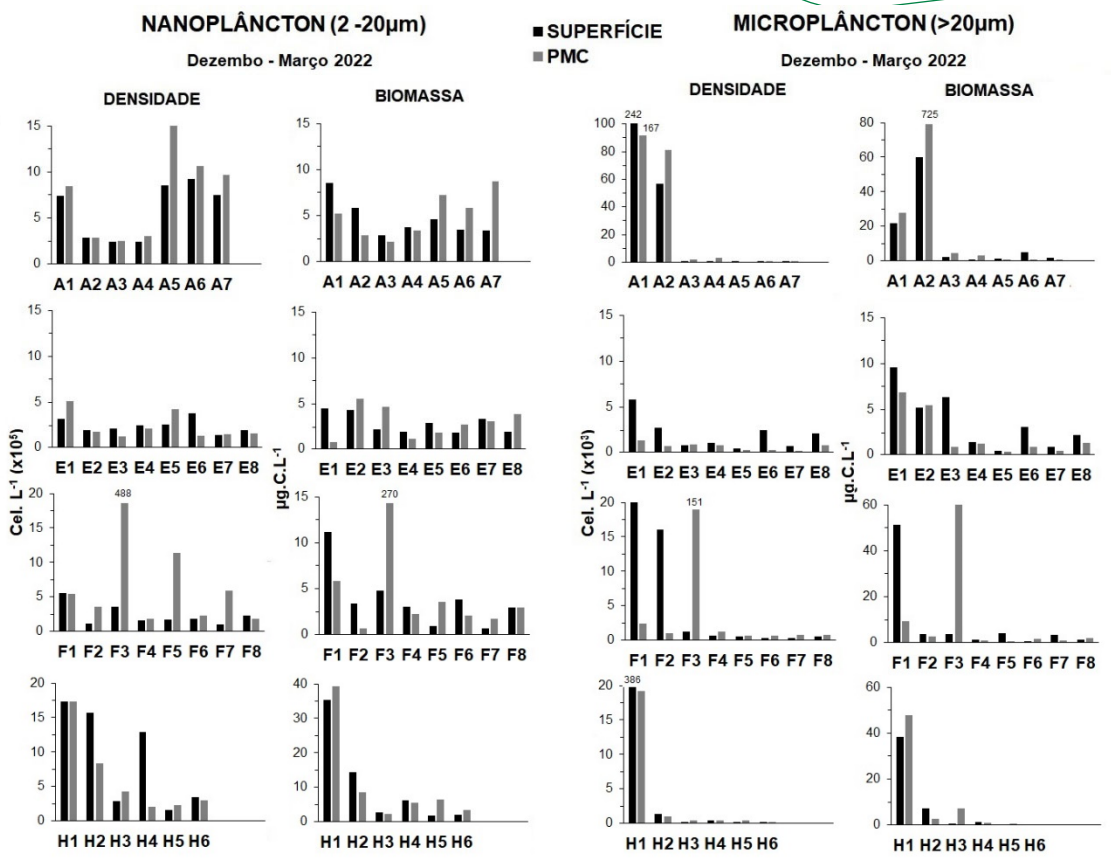


Figura V.3.2.2-1: *Densidade e biomassa do nano- e microplâncton nas estações dos perfis oceanográficos A (Florianópolis), E (Ubatuba), F (Sepetiba) e H (Cabo Frio) ao longo da Bacia de Santos, em Dezembro/2021-Março/2022. Note gráficos em diferentes escalas.*

As distribuições espaciais do nanoplâncton e microplâncton em Dezembro/2021-Março/2022, com base no conteúdo de Carbono celular, foram razoavelmente semelhantes ao longo da Bacia (Figura V.3.2.2-2, consulte a Tabela V.3.1.2-1 para valores mais precisos). Concentrações elevadas de **nanoplâncton (<20 µm)** foram detectadas em águas superficiais de plataforma rasa, em frente a Baía Guanabara e Cabo Frio (até 1,73x10^6 cels.L^{-1} em H1 e 35,3 µgC.L^{-1}). Nas demais áreas da Bacia, a biomassa nanoplanctônica manteve-se abaixo de 8 µgC.L^{-1} na plataforma central, e em quase toda a região do talude e oceano. Nas profundidades de máximos de clorofila-a (PMC), maiores concentrações de nanoplâncton ocorreram nas proximidades de Cabo Frio e Baías de Sepetiba e Guanabara (até 270,3 µgC.L^{-1}), e próximo ao talude, ao sul de São Paulo (até 34,0 µgC.L^{-1}). Nestas áreas foram registrados máximos

PÚBLICA

de 2,7x10^5 cels.L^{-1} a 48,8 x10^5 cels.L^{-1}. Os picos de concentração foram provenientes do maior desenvolvimento de organismos de 1,8-5,0 µm ao longo da plataforma média (especialmente, estações C4 e F3 PMC) e de cocolotiforídeos e gimnodiniáceos em estações rasas da região norte da Bacia (estações G1, G2 e H1).

O **microplâncton (> 20 µm)** ocupou toda a plataforma continental e parte da região do talude em frente a Ubatuba, reduzindo rapidamente em direção ao oceano, onde os valores não excederam 4,0 µgC.L^{-1}. Em geral, estes microrganismos variaram de 0,01x10^3 a 385,9x10^3 cels.L^{-1} e 0,1 a 92,5 µgC.L^{-1} em amostras de superfície, sendo os valores mais elevados registrados na plataforma rasa de Florianópolis ao sul, devido a maior densidade da diatomácea *Pseudo-nitzschia,* e em frente a Ubatuba pela maior ocorrência de *Hemiaulus indicus* em associação com a cianobactéria *Richelia intracellularis.* No entanto, as maiores concentrações foram observadas na Profundidade de máximos de clorofila-a (PMC), onde o microplâncton variou de 0,18x10^3 a 167,3x10^3 cels.L^{-1} e 0,3 a 724,8 µgC.L^{-1}. Picos de biomassa ocorreram na porção sul da Bacia, próximo a Florianópolis, devido a presença de diatomáceas grandes (ex. *Trieres chinensis, Guinardia flaccida*), em estações em frente a Ubatuba (D1 e D2) pela maior abundância do dinoflagelado *Tripos* spp., e na porção norte (especialmente, estações F3 e H1) dominado por espécies de *Chattonella* (até 42,4x10^3 cels. L^{-1} e 43,1 µgC.L^{-1}).

PÚBLICA

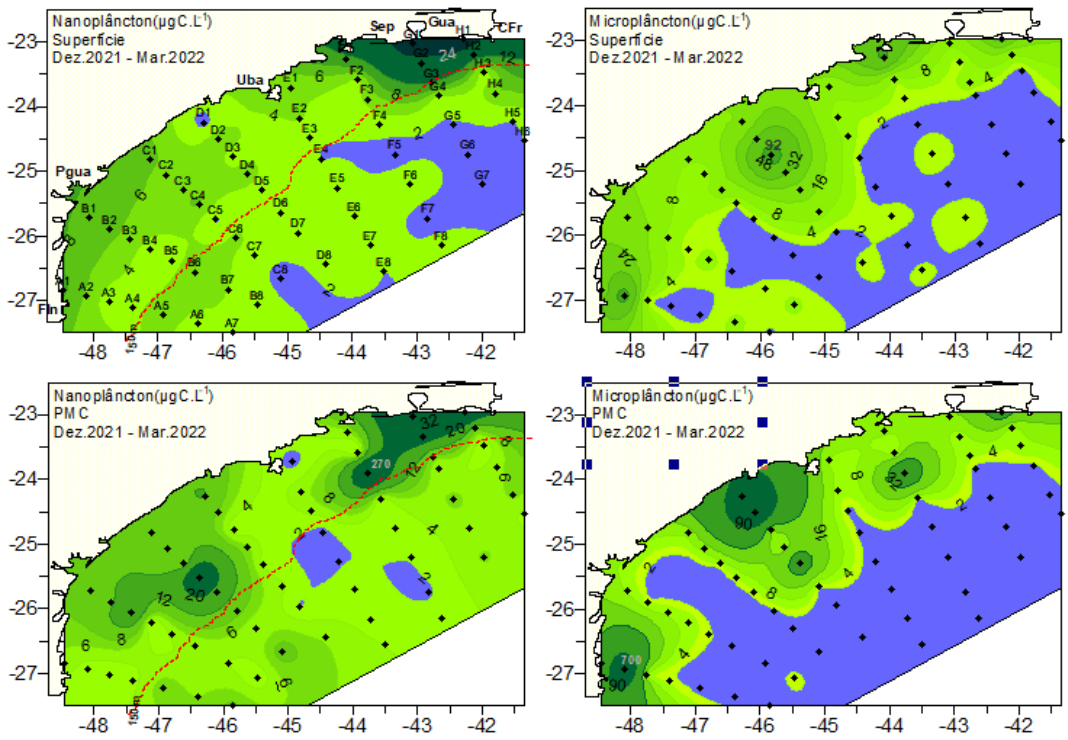


Figura V.3.2.2-2: *Variação espacial da biomassa do nanoplâncton (à esquerda) e microplâncton (à direita) em amostras de superfície e PMC na Bacia de Santos, em Dezembro/2021-Março/2022.*

V.3.2.3 Contribuição Relativa das diferentes classes de tamanho do nano- e microplâncton

Assim como apresentado para os dados de 2019, os dados de densidade celular e biomassa de 2021/2022 (estimada por conteúdo de Carbono celular) foram utilizados para avaliar a contribuição percentual das categorias de tamanho do nanoplâncton e microplâncton, utilizando estações selecionadas que representaram satisfatoriamente todas as estações da região costeira (A1, E1, F1 e H1) e da região oceânica (A7, E8, F8 e H6) (Figura V.3.2.3-1).

De modo geral, o padrão de contribuição relativa das classes de tamanho analisadas (1,8-5,0 µm, 5-10 µm, 10-20 µm e >20 µm) seguiu aquele encontrado na campanha de 2019, onde o microplâncton apresentou maior contribuição em densidade celular (1-24%) em áreas de plataforma rasa até a plataforma externa, reduzindo drasticamente em oceano aberto (<1%). Em termos de biomassa, esta classe de tamanho aumentou sua importância em relação ao nanoplâncton em área rasas (52-90%). A contribuição do nanoplâncton foi numericamente maior e menos variável em áreas de plataforma, porém, com menor representatividade

PÚBLICA

em relação a contribuição por conteúdo de Carbono devido ao menor biovolume celular. O nanoplâncton aumentou sua contribuição relativa, tanto em densidade (99%) quanto em biomassa (47-90%), em direção ao talude e região oceânica onde predominam condições oligotróficas. Entretanto, o maior desenvolvimento de algumas espécies ou grupos do microplâncton alterou o padrão geral, especialmente, nas estações A, E e F. Apesar do microplâncton ter ocorrido em número menor de células em relação ao nanoplâncton, sua contribuição em Carbono foi superior devido ao elevado biovolume das células. O microplâncton da estação costeira F1 (sul de Sepetiba) representou menos de 4% do total de células presentes em Superfície, porém a sua contribuição em Carbono foi de 82% em relação ao nanoplâncton (destacando sua real contribuição no plâncton), em virtude da presença de diatomáceas grandes do gênero *Rhizosolenia*. O mesmo foi observado no setor central, na estação oceânica E8 em PMC, onde o microplâncton correspondeu a 90% da biomassa em Carbono, embora com representatividade numérica de 1% da densidade celular.

Como pode ser observado na Figura V.3.2.3-1, houve predominância das diferentes classes de tamanho do nanoplâncton em termos de densidade celular, tanto em superfície quanto em PMC. A fração de 1,8-5,0 µm foi a de maior representatividade (50% a 97%) em ambas as profundidades, seguida de 5-10 µm (2% a 32%), e de 10-20 µm (1% a 24%). Esta última, apesar de não ter ultrapassado 25% da densidade celular chegou a corresponder mais de 25% da biomassa na maior parte das amostras.

PÚBLICA

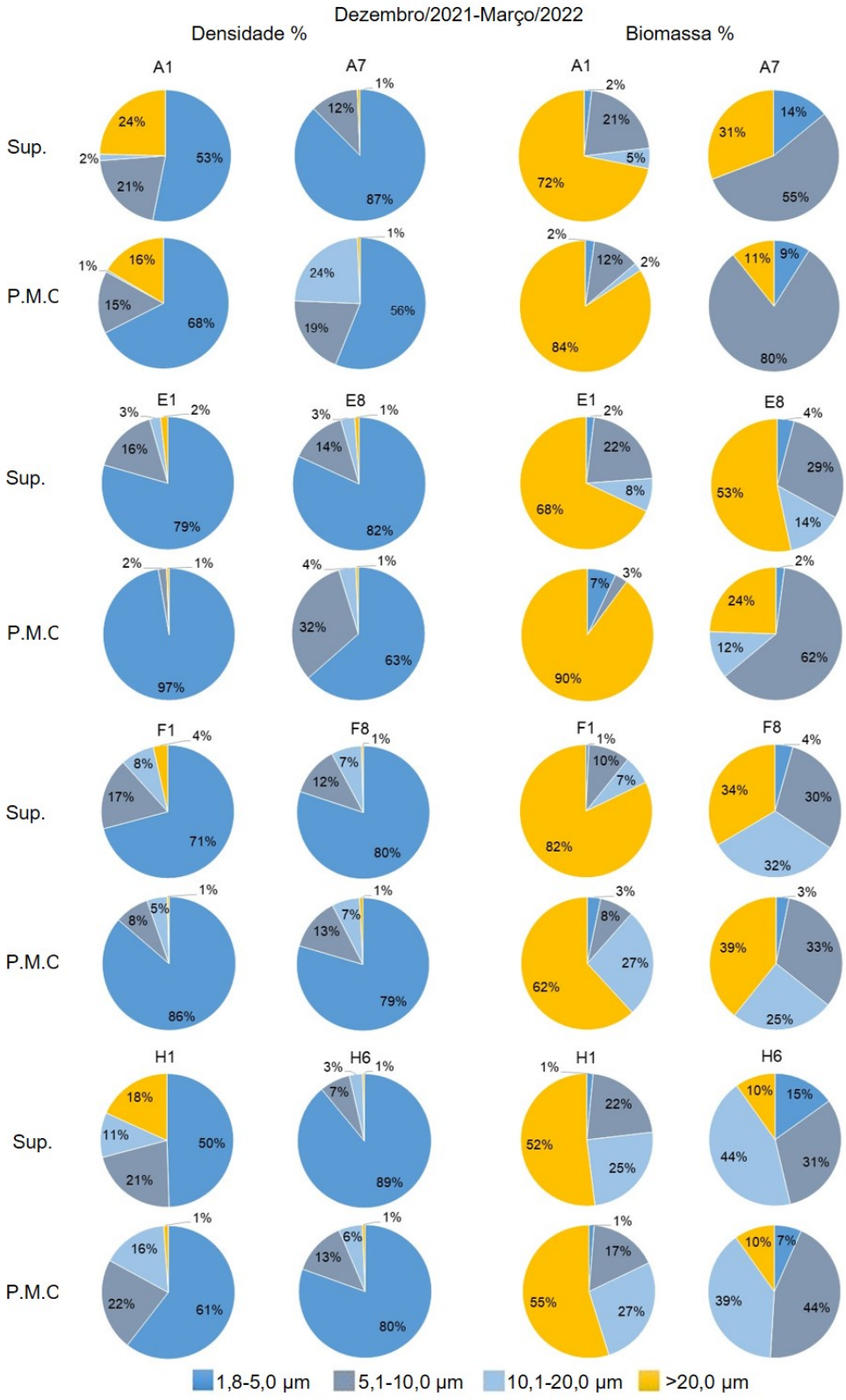


Figura V.3.2.3-1: *Contribuição relativa das diferentes classes de tamanho (densidade celular e biomassa em Carbono) em estações selecionadas (A, E, F e H) nas profundidades de Superfície e PMC (profundidade de máximo de clorofila-a). Bacia de Santos, em Dezembro/2021-Março/2022.*

PÚBLICA

V.3.2.4 Contribuição relativa dos grupos importantes do Nano- e Microplâncton

A distribuição espacial da comunidade planctônica foi descrita com base nas contribuições percentuais de biomassa dos principais grupos do fitoplâncton e protozooplâncton (Figura V.3.2.4-1), independentemente de suas classes de tamanho. Em geral, os diferentes grupos que compõem o nanoplâncton (1,8-20 µm, exceto cocolitoforídeos analisados separadamente) representaram de 2% a 87% da biomassa total, em comparação com outros grupos. A contribuição destes organismos foi menor e inferior a 20% na maior parte das estações de plataforma (1, 2, 3 e 4), em relação a estações mais afastadas da plataforma externa e oceânica (5, 6, 7 e 8), onde a contribuição foi relativamente maior, variando de 8% a 45%, principalmente em PMC. Os cocolitoforídeos (<12 µm) apresentaram ampla distribuição na Bacia de Santos, ocorrendo em quase todas as estações e em ambas as profundidades, variando de 1% a 82% da biomassa total.

As diatomáceas apresentaram maior contribuição em estações de plataforma interna e média, principalmente em superfície, reduzindo em direção ao oceano. Todavia, este padrão foi alterado em algumas estações de quebra de plataforma (como B4, D4 e D5), onde a participação do grupo aumentou tanto em densidade quanto em biomassa. As maiores contribuições das diatomáceas ocorreram em estações de plataforma interna próximo a Florianópolis (em A1 e A2) e Sepetiba (em F1, F2, F3), estendendo-se até a quebra de plataforma ao sul de Ubatuba-SP (estações D1 a D5), onde o número expressivo de células de *Pseudo-nitzschia* spp. (D1) e de *Hemiaulus indicus* (D2 a D5) em superficie contribuíram com mais de 60% do conteúdo em Carbono total. Os dinoflagelados (mixótrofos e heterótrofos analisados em conjunto) apresentaram maior contribuição relativa em estações ao sul da Bacia (Paranaguá à São Sebastião, estações B a D), tanto em plataforma interna quanto em oceano, alcançando de 50% a 90% da biomassa relativa total nas estações D1 a D4 provenientes da maior densidade de *Tripos* spp. (especialmente, *Tripos muelleri* e *Tripos horridum*). Na região mais ao norte (Baía de Sepetiba e Cabo Frio), as maiores contribuições do grupo ocorreram em áreas oceânicas. Maior representatividade dos ciliados do protozooplâncton foi verificada em estações de talude e oceano

na área norte da Bacia de Santos (de Ubatuba a Cabo Frio), principalmente em Superfície, onde a biomassa relativa variou de aproximadamente 10% a 60%.

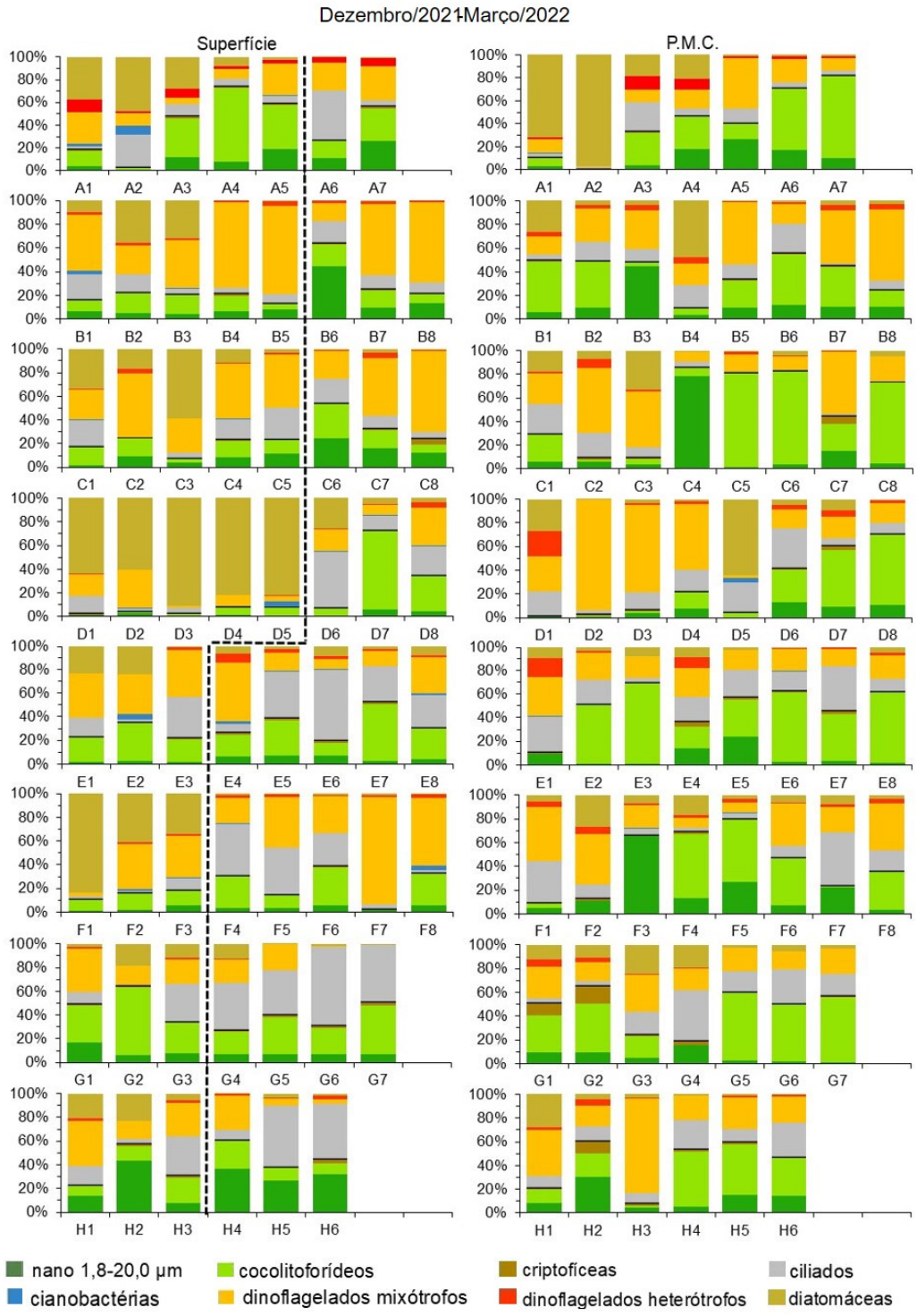


Figura V.3.2.4-1: *Contribuição relativa da biomassa dos principais grupos do fitoplâncton em amostras de superfície e PMC das estações da Bacia de Santos em Dezembro/2021-Março/2022. Linha tracejada - isóbata de 150 m.*

PÚBLICA

V.3.2.5 Distribuição Espacial dos grupos importantes do Nano- e Microplâncton

No período de Verão/2022, três dos principais grupos do plâncton, diatomáceas, dinoflagelados e ciliados, apresentaram um padrão sinóptico de distribuição espacial aproximadamente semelhante, ou seja, os maiores valores de biomassa foram registrados por toda a plataforma continental da Bacia de Santos, com rápida redução após 150 m em direção ao Oceano (Figura V.3.2.5-1). Por outro lado, os cocolitoforídeos distribuíram-se mais irregularmente, com máximos tanto na plataforma interna quanto na margem da plataforma continental. A biomassa de Diatomáceas variou de <1,0 µgC.L^{-1} a 705,0 µgC.L^{-1} (e densidades celulares até 366,3x10^{3} cels.L^{-1}). Os maiores valores de biomassa ocorreram no setor sul da Bacia de Santos (Florianópolis a Paranaguá), desde a plataforma rasa até áreas mais profundas a 150 metros, tanto na Superfície quanto na PMC, e dominados pelas espécies *Guinardia flaccida, Pseudo-nitzschia* spp., *Trieres chinensis*, *Rhizosolenia* spp. em associação com a cianobactéria *Richelia intracellularis.* Ao sul de Ubatuba, as concentrações voltaram a aumentar em áreas costeira, estendendo-se até a borda da plataforma (19,3 µgC.L^{-1} a 86,7 µgC.L^{-1}), e se continuando como um filamento com menores concentrações de células até a região oceânica (acompanhando as Estações E5 a E8), especialmente na Superfície. As diatomáceas abundantes foram *Hemiaulus indicus* em associação com *Richelia intracellularis, Leptocylindrus danicus* e *Pseudo-nitzschia* spp. Ao norte, em frente às baías de Sepetiba e Guanabara e Cabo Frio, a biomassa elevada (2,3 µgC.L^{-1} a 50,2 µgC.L^{-1}) foi resultado da presença das espécies *Rhizosolenia* spp. e *Leptocylindrus minimus*. Após a borda da plataforma, as concentrações apresentaram nítido decréscimo, em geral inferiores 0,2 µgC.L^{-1}.

PÚBLICA

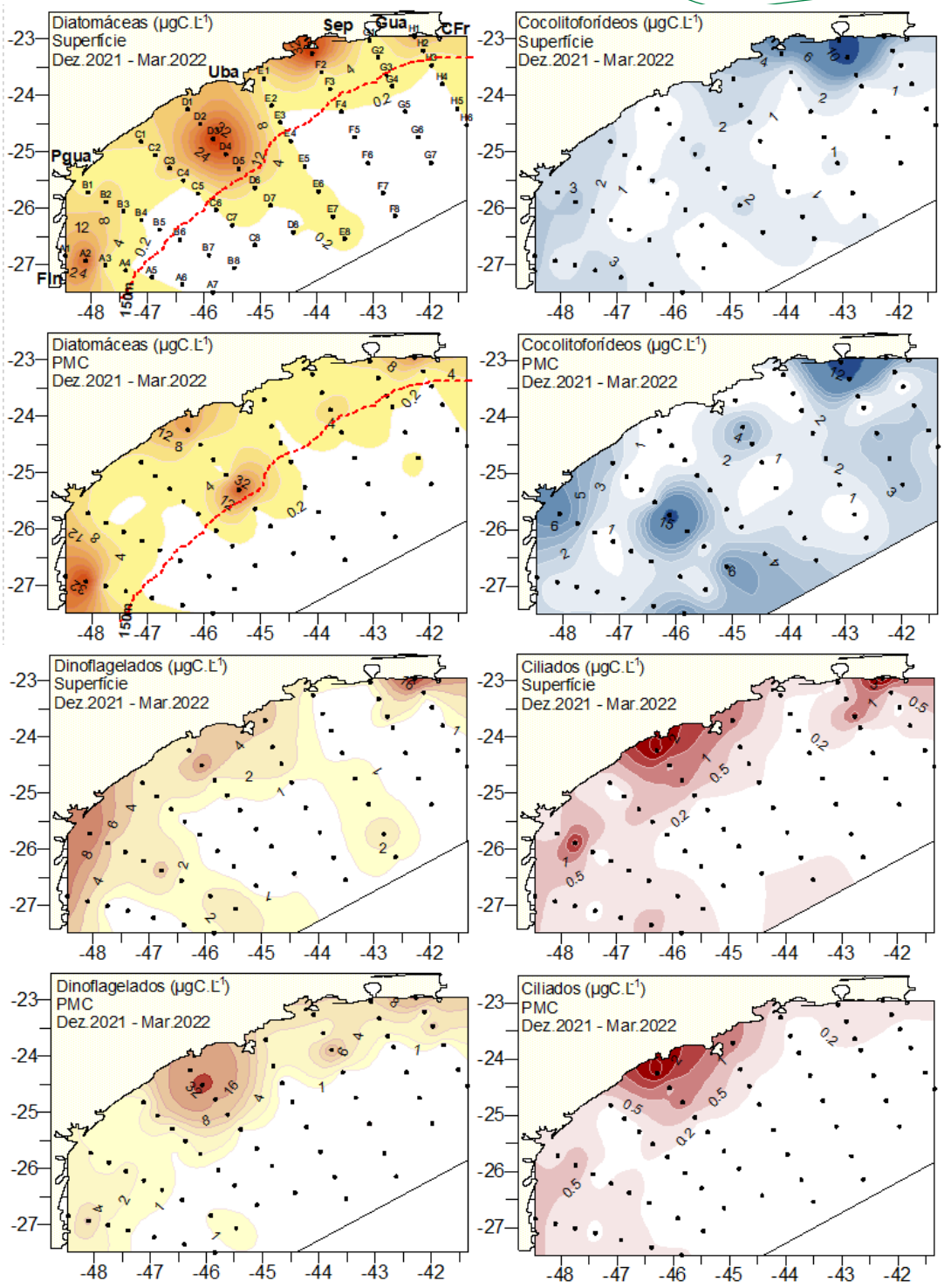


Figura V.3.2.5-1: *Distribuição espacial de alguns grupos importantes do plâncton na Bacia de Santos em Dezembro/2021-Março/2022, com base no conteúdo celular de Carbono (µgC.L^{-1}) na Superfície e Profundidade de Clorofila-a Máxima (PMC).*

PÚBLICA

Os cocolitoforídeos apresentaram picos de biomassa em diferentes áreas, de modo mais pontual, e suas concentrações variaram de 0,1 µgC.L^{-1} a 15,4 µgC.L^{-1}. Espécies nanoplanctônicas foram mais importantes, geralmente dominadas por *G. oceanica* e *E. huxleyi*, tanto em áreas costeiras ao sul (Florianópolis) como em frente à Sepetiba, ao norte da Bacia de Santos, quando atingiu 12 µgC.L^{-1}. Na região de talude e oceânica ao sul foram registrados valores elevados (>6 µgC.L^{-1} a 15 µgC.L^{-1}), particularmente em superfície. Os dinoflagelados foram mais abundantes nas águas rasas ao redor de baías em todos os setores da Bacia de Santos, variando de aproximadamente 0,2 µgC.L^{-1} a 151,8 µgC.L^{-1}, sem muita diferença entre as duas profundidades. Nas outras áreas da plataforma até a plataforma média as concentrações ainda foram altas, em seguida reduzindo até menos do que 1 µgC.L^{-1}. Entretanto, em duas áreas de talude e oceânicas ao sul e ao centro da Bacia, registrou-se uma discreta elevação de biomassa (>2 µgC.L^{-1}), alcançando até 4,1 µgC.L^{-1}, resultado da presença de espécies atecadas grandes, como *Kofoidinium* spp. e *Noctiluca scintillans*. Os valores de biomassa celular dos Ciliados foram mais reduzidos em comparação aos outros grupos acima, e oscilaram de 0,001 µgC.L^{-1} a 14,7 µgC.L^{-1}. As maiores concentrações ocorreram na plataforma interna e média, em frente a Paranaguá, ao sul de Ubatuba e em Cabo Frio, durante crescimentos intensivos de outros grupos do fitoplâncton como *Chattonella* spp. e nanoflagelados. Nas águas situadas entre a plataforma média e o oceano aberto, suas concentrações foram muito baixas, sempre inferiores a 0,5 µgC.L^{-1}.

V.3.2.6 Associações do Fitoplâncton diferenciadas pela Análise Canônica

Em Dezembro/2021-Março/2022, o primeiro eixo da RDA foi significativo ($p<0,001$) explicando 10,9% da variância dos dados (eixo 1, Eigenvalue 3,48) e variância acumulada de 21,2% nos três primeiros eixos (Eigenvalue do eixo 2, 2,17; Eigenvalue do eixo 3, 1,12) (Figura V.3.2.6-1). Novamente, um gradiente espacial foi observado no primeiro eixo, no qual o quadrante positivo agrupa as amostras coletadas nas Zonas Interna e Média da Bacia de Santos (<100m); correlacionado a este eixo observou-se o vetor clorofila a (r = 0,50). O quadrante negativo do primeiro eixo agrupou as amostras correspondentes às Zonas mais profundas (>100 m) e, correlacionado a este eixo obteve-se o vetor salinidade

(r = -0,66); os demais vetores apresentaram r2 < 0,05, e foram selecionados para apresentação gráfica por adequarem-se aos gradientes dos dados brutos observados.

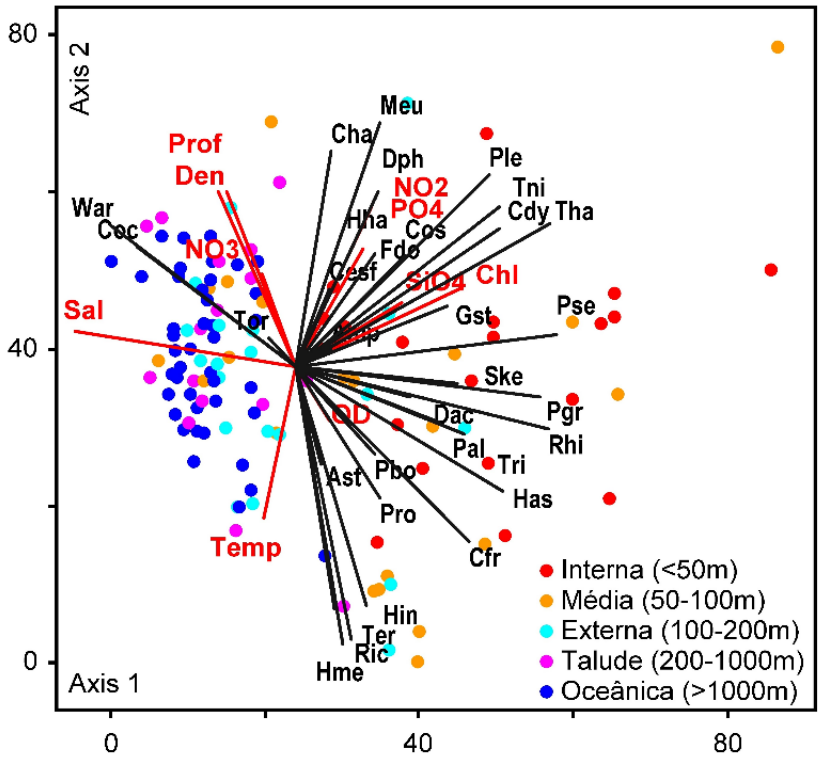


Figura V.3.2.6-1: *Distribuição do microplâncton ao longo da Bacia de Santos e Zonas Oceânicas versus variáveis ambientais ordenados pela Análise de Redundância (RDA) - em Dezembro/2021-Março/2022. Legenda: Amphidinium spp. (Amp); Asteromphalus spp. (Ast); Chaetoceros dydimus (Cdy); Chaetoceros spp. (Cha); Climacodium fraunfeldianum (Cfr); Cocolitoforídeos (Cesf); Cocolitoforídeos >20 µm (Coc); Coscinodiscus spp. (Cos); Coscinodiscus wailesii (Cwa); Dactyliosolen phuketensis (Dph); Dinophysis acuminata (Dac); Fragillariopis doliolus (Fdo); Guinardia striata (Gst); Haslea spp (Has); Hemiaulus hauckii (Hha); Hemiaulus indicus (Hin); Hemilaulus membranaceus (Hme); Meuniera membranacea (Meu); Pleurosigma spp. (Ple); Proboscia alata (Pal); Proboscia spp. (Pbo); Prorocentrum gracile (Pgr); Protoperidinium spp. (Pro); Protozooplâncton (Pzo); Pseudo-nitzschia spp. (Pse); Rhizosolenia spp. (Rhi); Richelia (Ric); Skeletonema spp. (Ske); Thalassionema nitzschioides (Tni); Thalassiosira spp. (Tha); Torodinium spp. (Tor); Trichodesmium erythraeum (Ter); Tripos spp. (Tri); Warnowia spp. (War). Variáveis ambientais: profundidade (Prof), temperatura (Temp), salinidade (Sal), densidade (Den), oxigênio dissolvido (OD), clorofila (Chl), nitrito (NO_2), nitrato (NO_3), fosfato (PO_4) e silicato (SiO_4).*

PÚBLICA

Associação I: espécies presentes na Água tropical de plataforma externa até oceânica profundas como *Warnowia* sp., *Torodinium* sp. e Cocolitoforídeos (>20 µm) na profundidade PMC.

Associação II: espécies presentes na Água tropical de plataforma externa até oceânica superficiais, influenciadas por águas tipicamente oligotróficas. Em consequência espécies mixo- ou heterótrofas predominaram. As espécies mais características foram as diatomáceas *Guinardia striata*, *Hemiaulus membranaceus*, *Haslea* spp., *Hemiaulus indicus* (com simbiontes fotoautótrofos como *Richelia intracellularis*) mais restrito à região central da Bacia, ciliados e os dinoflagelados *Amphisolenia* spp. (com clorófitas), *Gyrodinium* spp., *Histioneis* spp. e *Ornithocercus* (com cianobactérias croococóides).

Associação III: espécies encontradas na Água Tropical, nas plataformas média a externa e talude de profundidade: *Climacodium fraunfeldianum*, *Hemiaulus indicus* em associação com *Richelia intracellularis*, *Trichodesmium erythraeum*, Cocolitoforídeos; podendo ainda incluir em ordem espacial *Prorocentrum gracile* e *Dinophysis acuminata* em direção à plataforma média.

Associação IV: Águas Costeiras influenciadas pelas baías de Paranaguá (ao Sul). As espécies predominantes foram as diatomáceas *Chaetoceros* spp., *Chaetoceros didymus*, *Pleurosigma* spp., *Meuniera membranacea*, *Thalassionema nitzschioides*, *Hemiaulus hauckii*, *Rhizosolenia* spp., *Dactyliosolen phuketensis*, *Asteromphalus* spp., *Proboscia* spp., *Thalassiosira* spp. e *Protoperidinium* spp.

Associação V: Baías de Sepetiba e Guanabara (ao Norte, bem como por resquícios de ressurgência da ACAS em Cabo Frio (extremo norte). *Skeletonema* spp., *Pseudo-nitzschia* spp. e *Chaetoceros* spp. Outras espécies incluídas, que não foram tratadas na RDA, são *Chattonella* sp., *Prorocentrum micans* e *Tripos* spp.

V.3.3 Composição do Microplâncton de rede (2019 e 2022)

A análise de 90 amostras de rede de plâncton, bem como identificações a partir de espécies frágeis ou raras encontradas durante a contagem das aproximadamente 512 amostras de filtração reversa nas duas Campanhas permitiram a identificação de 786 taxa infra-genéricos (Anexo V-1). É importante

ressaltar que foram incluídas espécies das classes de tamanho abrangendo o nanoplâncton (2-20 µm) e microplâncton (20-200 µm, e maior).

Praticamente, não houve diferença entre as duas campanhas, exceto pelo fato de que no Verão de 2021-2022 foram coletadas 30 amostras, o que naturalmente diminuiu o número de taxa encontrados (453 espécies) em relação ao Inv.-Prim. de 2019 e, portanto, os resultados das duas campanhas estão analisados em conjunto.

Os 786 taxa estão distribuídos entre os seguintes grupos: 260 diatomáceas (Filo Bacillariophyta), 283 dinoflagelados (Filo Dinophyta), 150 ciliados tintinidos e 10 ciliados de outras ordens (Filo Ciliophora), 37 radiolários (Filo Radiolaria), 26 cocolitoforídeos (Filo Haptophyta), 7 cianobactérias (Filo Cyanobacteria), 5 silicoflagelados (Filo Ochrophya), 3 rafidófitas (Filo Ochrophyta), 2 euglenóides (Filo Euglenophyta), 2 prasinoficeas (Filo Chlorophyta) e 1 heliozoário (Filo Heliozoa).Os dinoflagelados e diatomáceas representaram mais do que 69% da riqueza total, portanto foram os mais diversificados do microplâncton. Entretanto, é importante notar que alguns filos pouco abundantes e restritos a regiões oceânicas, como em radiolários, podem ter sido subamostrados (necessitam de filtração de grande volume de água) ou perdidos devido ao fixador utilizado, como os Ciliados. Outro problema é a limitação das identificações em função da deformação celular, e obscurecimento de suas estruturas quando se utiliza Lugol. Os gêneros com maior riqueza de espécies no microplâncton foram representantes de plataforma rasa, com salinidade menor, mas estendendo-se também até a plataforma. Entre as diatomáceas, os mais representativos foram *Chaetoceros* (31 espécies diferenciadas), *Coscinodiscus* (11 esp.), *Nitzschia* (12 esp.), *Pseudo-nitzschia* (20 esp.), *Rhizosolenia* (14 esp.), *Thalassiosira* (26 esp.). Entre os dinoflagelados, as espécies heterótrofas de regiões oligotróficas de plataforma e oceânica contribuíram mais significativamente, comparado às diatomáceas. Os gêneros mais importantes incluíram espécies termófilas em *Amphisolenia* (11 espécies diferenciadas), *Corythodinium* (8 esp.), *Dinophysis* (26 esp. e 4 de *Phalacroma*), *Gonyaulax* (12 esp.), *Histioneis* (16 esp.), *Ornithocercus* (7 esp.), *Oxytoxum* (10 esp.), *Protoperidinium* (30 esp., número muito subestimado, devido à dificuldade de identificação de formas menores), *Prorocentrum* (13 esp.), *Pyrocystis* (12 esp. e variedades) e *Tripos* (55 esp.).

PÚBLICA

A composição dos Ciliados foi grandemente afetada pela facilidade de identificação dos Tintinidos devido á boa preservação das lóricas (em cuja morfologia é baseada a taxonomia), em oposição às dificuldades técnicas de se amostrar, preservar a analisar adequadamente os outros grupos, especialmente importantes no ambiente marinho como a Família Strombiidae e Strobiliidae. Os gêneros mais importantes foram os costeiros de lóricas aglutinantes como *Tintinnopsis* (18 esp.) e espécies de lórica hialina predominantemente indicadoras de águas tropicais oligotróficas como *Codonella* (6 espécies), *Eutintinnus* (11 espécies, algumas costeiras), *Rhabdonella* (7 espécies), *Salpingella* (14 esp.), *Undella* (12 esp.) e *Xystonellopsis* (6 esp.).

Algumas espécies apresentam interesse adicional por serem formadoras comuns de florações ou toxigênicas, como as cianobactérias filamentosas *Trichodesmium erythraeum* e *Trichodesmium* sp. (Anexo V-2, Fotos 1 a 159) que foram encontradas especialmente ao norte da Bacia de Santos, em frente a Ilha Grande-RJ (perfil F), e em estações de borda de plataforma ao largo de Guanabara e Cabo Frio (perfis G e H). Grumos de tricomas de *Trichodesmium* foram registrados em quase todas as amostras no Inverno-Primavera de 2019, mas supreendentemente escassa no Verão de 2022. *Trichodesmium* é um gênero diazotrófico, ou seja, fixa nitrogênio atmosférico (N_2), desempenhando importante função na ciclagem deste nutriente nos oceanos. Entre as diatomáceas, um total de 20 espécies de *Pseudo-nitzschia*, produtora de ácido domóico e causadora de sérios danos a maricultura, foi registrado por toda a Bacia de Santos, algumas delas toxigênicas como *P. calliantha, P. pseudodelicatissima, P. caciantha, P. multiseries* e outras de menor toxicidade. Entre os dinoflagelados, ocorreram *Dinophysis* aff. *acuminata*, *D. tripos* e *D. rotundata*, conhecidas pela produção de toxinas diarreicas como o Ácido ocadáico. Outras espécies nocivas também foram detectadas, embora pouco comuns durante as duas campanhas, como *Alexandrium* (2 espécies), *Gonyaulax, Goniodoma polyedricum* e *Prorocentrum* spp. (provavelmente não tóxicas). Entre as rafidófitas produtoras de toxinas hemolíticas ictiotóxicas cabe destacar *Chattonella* spp., encontrada ao sul da bacia de Santos, nas proximidades de Paranaguá e Florianópolis, bem como ao norte em Cabo Frio.

PÚBLICA

Várias espécies do microplâncton bastante exóticas e de biologia muito interessante foram encontradas e, em geral, bem preservadas (ou seja, o citoplasma quase intacto e o turgor celular mantido), inclusive melhorando a confiabilidade de identificação. Nas amostras de plataforma mais externa e oceânicas, dominadas pela Água Tropical oligotrófica, foram frequentes as associações simbióticas entre espécies filogeneticamente distintas, tanto nas amostras de rede como em amostragem de contagem celular. Várias espécies de diatomáceas apresentaram a cianobactéria filamentosa endossimbionte *Richelia intracellularis*, sempre com 1-2 heterócitos (célula especializada em fixação de N_2), em número de 1 a 6 tricomas por hospedeiro. Nesta associação, as diatomáceas foram *Hemiaulus membranaceus*, *H. hauckii*, *H. indicus*, *Rhizosolenia* spp. e *Proboscia* sp. todas elas ocupando a maior parte da Bacia de Santos. Em *Climacodium frauenfeldianum*, espécie de grandes dimensões que ocorreu em algumas estações de plataforma externa, algumas cianobactérias (0,2 µm) endocelulares foram observadas em grupos de 10 a 20 células no interior da diatomácea. As cianobactérias croococóides como *Synechococcus* aff. *carcerarius* (ou talvez *Prochlorococcus*) foram observadas em vários dinoflagelados termófilos da Água Tropical ou de Plataforma, aderidas e protegidas nas longas alas e expansões aliformes (ou listas projetando-se das margens do cíngulo) de todas as espécies de *Ornithocercus* identificadas, ou nas câmaras feosomáticas de *Histioneis*, *Parahistioneis* e *Cytharistes*. Em *Amphisolenia* spp., algas endossimbiontes da Classe Pelagophyceae (*Pelagomonas*, *Pelagococcus, Aureococcus*) com 2 µm distribuem-se por toda a hipoteca alongada do dinoflagelado, e muito confundidas com plastídeos.

Outras estratégias para sobreviver em ambientes oligotróficos foram observadas como projeções do anfiesma de *Ornithocercus*, *Histioneis*, *Tripos ranipes* e outros dinoflagelados na forma de alas, espinhos ou mucilagem para aumentar a suspensão na coluna de água ou absorção de nutrientes. O gênero *Protoperidinium* spp. emite projeções citoplasmásticas para o exterior semelhantes a redes (o “palium”) e pedúnculos de ancoragem para captura de organismos (captura por mizocitose). Em uma espécie não identificada de *Gymnodinium* um envoltório mucilaginoso foi detectado durante as contagens

PÚBLICA

celulares. Espécies de dimensões elevadas e aberrantes de dinoflagelados indicam um ecossistema mais complexo em regiões oceânicas.

Também foram encontrados diversos organismos epífitos em algas, como o ciliado *Vorticella oceanica* sobre as diatomáceas costeiras *Chaetoceros coarctatus e Coscinodiscus wailesii,* o flagelado *Solenicola setigera* sobre *Leptocylindrus danicus* e *Leptocylindrus mediterraneus*, o coanoflagelado *Bicosoeca* sp. sobre *Pseudo-nitzschia* spp.; além de *Zoothamnium* sp. e as diatomáceas epizóicas *Licmophora* sp., *Pseudohimanthidium pacificum* e *Pseudofalcula hyalina s*obre apêndices de copépodos e larvas de crustáceos.

Um esforço considerável foi desenvolvido para amostrar espécies do nanoplâncton, as quais não são suficientemente retidas nas redes de plâncton com abertura de malha de 20 µm, ou são destruídas durante a filtração. Amostras foram preservadas em formol, separadas e gentilmente filtradas com uma seringa usando um volume suficiente para concentrar as células em filtros especiais com perfuração a laser, desta maneira minimizando retenção de impurezas e permitindo melhor visualização em microscópio eletrônico. A identificação confiável da vasta maioria dos cocolitoforídeos necessita de microscopia eletrônica, o que foi alcançado satisfatoriamente. Na Bacia de Santos, este grupo esteve bem representado por espécies nanoplânctonicas (entre 8 e 20 µm), com belíssimas formas (Figura V.3.3-160). As mais frequentes na área foram *Gephirocapsa oceanica*, *Emiliania huxley* e *Pontosphaera discopora*, seguidas de *Michaelsarsia elegans*, *Haloppapus* spp e *Umbilicosphaera sibogae*. Entre as diatomáceas nanoplanctônicas, várias espécies diminutas foram recuperadas como 4 espécies de *Minidiscus* com diâmetro valvar inferior a 12 µm até 4 µm, 5 espécies de *Thalassiosira* apenas observáveis em microscopia eletrônica de transmissão como *Thalassiosira binata, T. mediterranea, T. oceanica e T. minima*, 5 espécies de *Nitzschia* do grupo "*bicapitata*", *Fragilariopsis*, *Nanoneis haslea* e *Arcocellulus cornucervis.* Algumas delas são citações inéditas na região ou no Brasil. Portanto, a aplicação de técnicas específicas para o nanoplâncton revelou-se eficiente para capturar espécies pequenas e contribuir para revelar a riqueza específica mais realística da Bacia de Santos.

PÚBLICA

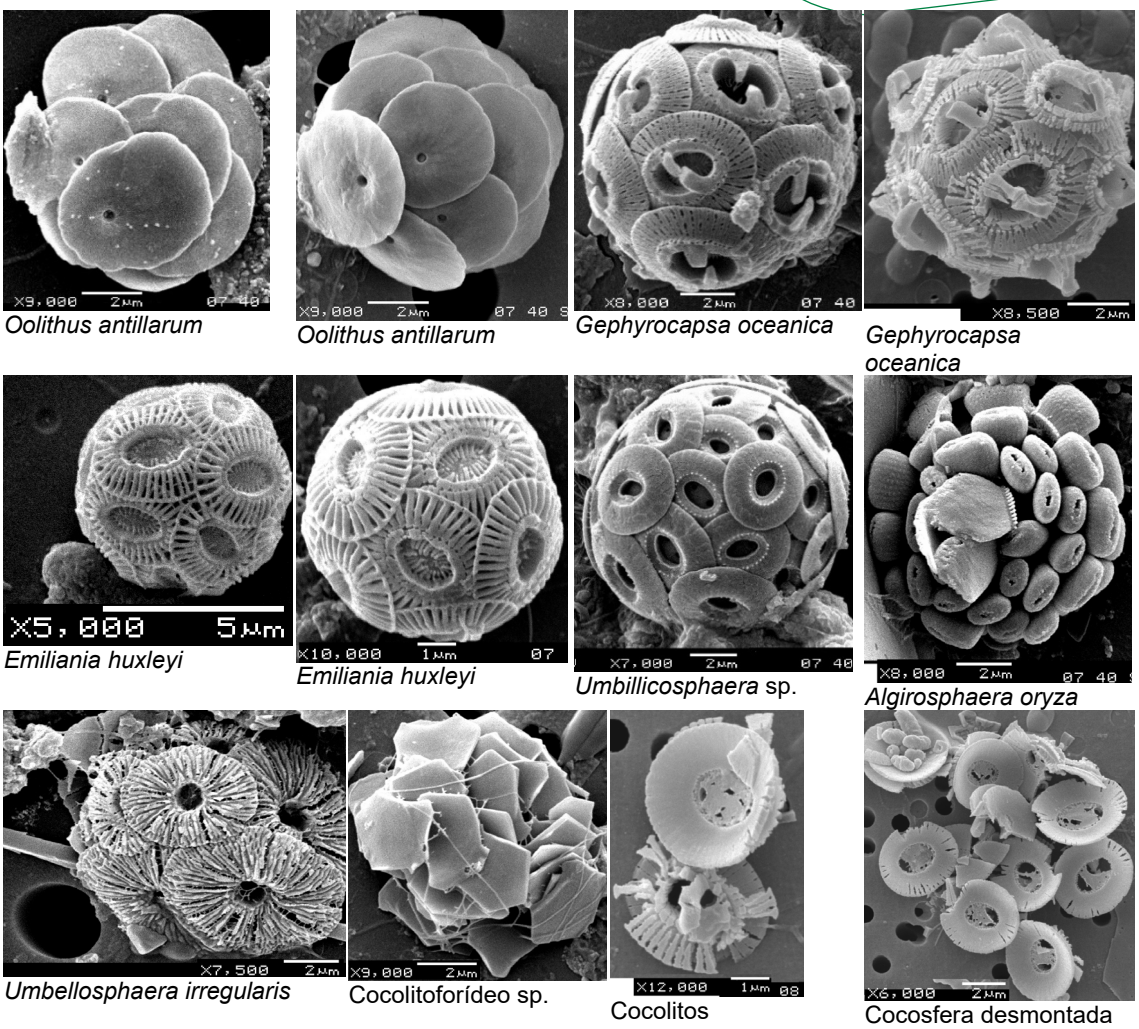


Figura V.3.3-1: *Microscopia eletrônica de varredura (MEV) de cocolitoforídeos comuns na Bacia de Santos. As amostras foram preservadas em formol e gentilmente filtradas em filtros Nuclepore com 2 µm de porosidade, os quais foram fixados aos suportes de MEV.*

V.4 Discussão

A distribuição da comunidade planctônica - aqui denominada genericamente fitoplâncton - bem como das forçantes ambientais que regularam seu crescimento na Bacia de Santos (**BS**) foram subordinadas à dinâmica das massas de água e outras feições oceanográficas atuantes na região, e de suas características físicas e químicas prevalentes nos 2 períodos investigados.

PÚBLICA

V.4.1 Agosto – Outubro de 2019 (Inverno – Primavera)

Durante o Inverno-Primavera de 2019, a comunidade fitoplanctônica apresentou maior desenvolvimento sobre a plataforma continental da Bacia de Santos desde as áreas costeiras rasas até a plataforma externa (150-200 m). Iniciando pelas **Águas Costeiras** da plataforma interna (<50 m), valores elevados de densidade celular e biomassa foram observados ao longo de toda a Bacia de Santos, com contribuição superior do microplâncton (20-200 µm) em relação ao nanoplâncton (2-20 µm). As diatomáceas e dinoflagelados constituíram a maior parte das assembleias, dominando espécies coloniais como *Pseudo-nitzschia* spp., *Thalassiosira* spp., *Rhizosolenia* spp., *Leptocylindrus danicus*, *Hemiaulus* spp., e dinoflagelados atecados como Gymnodiniáceos mixótrofos. Como classicamente estabelecido, as diatomáceas foram favorecidas pelos aportes de macronutrientes dos ecossistemas estuarinos de norte a sul da faixa litorânea, especialmente P e Si (Capítulo II, neste volume). Em virtude de sua estratégia oportunista, com taxas máximas de crescimento ($\mu_{máx.}$) sempre altas, elas se reproduzem rapidamente sob condições ótimas de nutrientes, o que compensa sua relação superfície/volume relativamente baixa, além de atingirem saturação de fotossíntese mesmo sob baixa intensidade luminosa, e sempre que esteja presente turbulência suficiente para mantê-las na zona eufótica (Sarthou *et al.*, 2005). Estas condições foram prevalentes nas proximidades das baías durante o Inverno-Primavera de 2019, tipicamente influenciado por ventos do quadrante Sul, além de drenagem continental já aumentando, a qual pode ter sido intensificada pela atuação de El-Niño durante o período investigado (Capítulo XI, neste volume). Nas diferentes baías cujas condições físico-químicas afetaram as estações oceanográficas próximas, as assembleias de diatomáceas diferiram em termos de composição específica, mas não quanto a sua característica formação de colônias com várias células, e sempre de grandes dimensões. Apesar dos inúmeros trabalhos já realizados na Bacia de Santos (Brandini *et al.*, 1997), não se recomenda estabelecer espécies indicadoras em ambientes tão variáveis como estuários ou baías, pois as relações de dominância dependem de vários fatores físico-químicos e biológicos do fitoplâncton que são imprevisíveis interanualmente (Hulburt, 1983). Durante

o período estudado, destacaram-se *Thalassiosira* spp. e *Thalassionema nitzschioides* entre Florianópolis e a Baía de Paranaguá; *Chaetoceros* spp., *Thalassiosira* spp. e *Pseudo-nitzschia* spp. em Ubatuba; *Pseudo-nitzschia*, *Skeletonema* e *T. nitzschioides* nas imediações da Baía de Sepetiba; e *Skeletonema* em frente à Baía de Guanabara. Todas estas espécies têm sido reportadas nos trabalhos desenvolvidos na região (Brandini *et al.,* 1997). Finalmente, é possível que a presença marcante da Frente Subtropical de Plataforma também tenha influenciado as assembleias costeiras, como descrito a seguir.

A intrusão da **Frente Subtropical de Plataforma (FST)** no setor sul da BS trazendo águas mais frias e menos salinas do Rio da Prata e Lagoa dos Patos, e enriquecidas por nutrientes (Si e P), promoveu o crescimento de vários grupos do fitoplâncton e protozooplâncton, estendendo-se até a plataforma mais central nas proximidades de Ubatuba. As razões COP:NOP (Capítulo II neste volume) estavam relativamente altas, indicando células ainda fisiologicamente saudáveis, o que também sugere crescimento *in situ* na comunidade. As diatomáceas responderam rapidamente, seguidas por dinoflagelados e ciliados. A análise de redundância RDA discriminou espécies mais associadas à atuação da FST como diatomáceas *Pseudo-nitzschia* e *Skeletonema* (especialmente nas margens da FST ao norte), *Dactyliosolen* spp., *Chaetoceros* spp., *Coscinodiscus* spp., *Leptocylindrus minimus* e *Thalassionema nitzschioides*, os dinoflagelados mixótrofos ou heterótrofos *Dinophysis acuminata*, *Gymnodinium* spp., *Prorocentrum gracile*, *Amphidinium* spp., *Protoperidinium* spp. e ciliados. Portanto, observou-se um efeito cascata sobre a teia trófica local, alcançando o zooplâncton e ictioplâncton, que ocorreram em maiores densidades (Capítulos VI e VII neste volume). Outro indicador da interação entre a FST e o nano- e microplâncton é a concentração mais elevada de clorofila-a (em geral >1 $\mu g.L^{-1}$) em um amplo setor central sobre as plataformas interna e média, visível nas imagens de satélite capturadas nas mesmas semanas da campanha oceanográfica de Inverno (Capítulo XI neste volume).

As condições químicas e a relativa turbulência permitem o crescimento das células maiores do microplâncton (especialmente diatomáceas), mantendo as espécies tempo suficiente para a produção superar a respiração na comunidade.

PÚBLICA

A dominância de diatomáceas coloniais, reduzindo a sedimentação, é um indicador apropriado destas condições físicas (Margalef, 1978; Fogg, 1991). Surpreendentemente, a contribuição dos dinoflagelados atecados para a biomassa do plâncton (estimada pelo Carbono celular) acompanhou percentualmente as de diatomáceas, algo não registrado previamente (v. revisão em Brandini *et al*., 1997).

A ampla distribuição do fitoplâncton sobre o setor centro-sul da plataforma ainda em elevadas concentrações já destaca uma característica única da Bacia de Santos em comparação aos ambientes marinhos ao norte, com as intrusões regulares da FST sobre a plataforma e seus efeitos positivos sobre as comunidades planctônicas. Vários trabalhos têm registrado a atuação da FST desde o norte da Argentina, e descreveram suas características físico-químicas, em geral delimitadas por águas temperadas (≤20ºC) e menos salinas (≤32,4 PSU) (Piola *et al*., 2008; Marrari *et al*., 2017). Comparativamente, as espécies registradas neste trabalho foram similares às previamente citadas para a área, embora estes resultados estejam restritos às diatomáceas (Brandini *et al*., 2014; Brandini, 2018). Por outro lado, a FST tem sido relacionada também às florações anuais do dinoflagelado *Dinophysis* aff. *acuminata*, causador de síndromes diarréicas e contaminando áreas de cultivos de bivalves desde Santa Catarina até São Paulo. Em 2016, no sul do Brasil ocorreu a mais intensa floração jamais registrada no mundo, com valores superando $5x10^6$ cels.L^{-1} (Sobrinho, 2019), acumulando ácido ocadáico nos bivalves e provocando o fechamento de cultivos em toda a costa catarinense pelas autoridades sanitárias (Mafra *et al*., 2016). Acumulações em níveis perigosos ao consumo humano também foram transferidas ao longo da teia trófica marinha no Paraná, via crustáceos e moluscos de praias e costões rochosos (Alves & Mafra, 2018).

As condições oceanográficas preponderantes no Inverno-Primavera de 2019 mantiveram a **Água Central do Atlântico Sul (ACAS)** mais recuada no assoalho da plataforma continental da Bacia de Santos, impedindo sua ascensão em áreas mais rasas (<50 m). Entretanto, sua presença no fundo das águas de plataforma forma uma termoclina que reteve células do fitoplâncton em algumas estações, implicando em acumulações de diatomáceas como *Pseudo-nitzschia*,

Chaetoceros e *Thalassionema nitzschioides*, e dinoflagelados, que podem ter contribuído para os máximos sub-superficiais de clorofila-a (0,5-1,0 µg.L^{-1}).

A partir da **quebra da plataforma em direção à província oceânica**, a biomassa do fitoplâncton declinou rapidamente, especialmente a fração do microplâncton (<10^3 cels.L^{-1}), refletindo as condições oligotróficas da Água Tropical e de um termoclina estática e profunda sem luz, impedindo o crescimento do fitoplâncton. Drásticas alterações na composição e abundância da comunidade planctônica foram observadas na maior parte das águas oceânicas da BS; em geral, ocorreu diminuição significativa da densidade celular e biomassa. Dinoflagelados atecados mixótrofos ou heterótrofos como *Warnowia*, *Gyrodinium* e *Torodinium* passaram a dominar o microplâncton. Em contrapartida, o nanoplâncton representou a fração de tamanho mais significativa (fração 2-5 µm, às vezes 5-10 µm), predominando nanoflagelados e cocolitoforídeos. Novamente, a contribuição relativa destas Haptofíceas é outra novidade nesta investigação, pois estas algas não foram consideradas relevantes em trabalhos prévios na região, provavelmente devido aos métodos de amostragem e fixadores utilizados nas amostras (Sol. Lugol). Os cocolitoforídeos frequentemente dominaram o nanoplâncton nas regiões de talude e oceânica.

Como mencionado anteriormente, a predominância de Água Tropical oligotrófica, ou seja, biológica e nutricionalmente pobre, foi razoavelmente alterada em alguns setores da BS, especialmente em águas associadas à borda da plataforma. Nesta área, houve aumentos de biomassa e foram registradas diatomáceas, dinoflagelados e cocolitoforídeos ao sul (Florianópolis a Paranaguá) e no setor central em frente à Ubatuba, espalhando-se para a região oceânica mais profunda, tanto na superfície quanto nas profundidades de máximo de clorofila-a. As diatomáceas (associação I na RDA, p.e. *Hemiaulus membranaceus*, *Hemiaulus indicus*) foram novamente abundantes (>4,0x10^3 cels.L^{-1}), compartilhando em importância com cocolitoforídeos do nanoplâncton e, secundariamente, com dinoflagelados. Nestes dois setores, as concentrações de nutrientes (N e P) estavam maiores do que nas águas ao redor, devido á ressurgência de borda de plataforma impulsionada pela atuação de vórtices gerados pelo meandramento da Corrente do Brasil (Capítulo IV, Volume III;

Pereira *et al*., 2009) concomitante à presença de luz (Zeu:Zmei alta), deste modo estimulando o crescimento local do fitoplâncton, como registrado acima. Estes episódios recorrentes de crescimento do fitoplâncton associados aos vórtices de mesoescala têm sido registrados na BS desde a década de 80 por investigadores do IO-USP (Castro-Filho *et al*., 1987; Brandini *et al*., 1989; Brandini *et al*., 2018). Estes autores encontraram os mesmos grupos do plâncton, dominando diatomáceas (exceto por *Trichodesmium,* que não ocorreu neste trabalho) respondendo rapidamente à ressurgência, na plataforma paranaense e paulista. Como explicado mais acima, neste projeto foram registradas associações planctônicas semelhantes, exceto pela quase irrelevância das cianobactérias diazotróficas, talvez refletindo climatologia atmosférica adversa (temperatura menor, ventos dominantes de quadrante sul), causando maior turbulência na água próximo à superfície, e condições térmicas menos propícias às cianobactérias. Apenas alguns tricomas de *Trichodesmium* unidos em grumos foram detectados durante as contagens. O mecanismo desencadeador da ressurgência tem sido atribuído à interação com vórtices ciclônicos, formados durante o deslocamento em meandros da Corrente do Brasil na direção sudoeste, além da conformação geomorfológica do talude continental (Brandini *et al*., 2018). A formação dos vórtices da Corrente do Brasil é uma feição oceanográfica intensa e permanente na área (Capítulo IV, Volume III; Pereira *et al*., 2009), levantando a possibilidade de que episódios de ressurgência da ACAS e consequente aceleração da bomba de Carbono pelágico sejam relativamente comuns, mantendo a produção biológica e, em última instância, sustentando os estoques pesqueiros (Brandini, 2006). Além das densidades celulares mais elevadas do fitoplâncton observadas na borda da plataforma, também foram registrados aumentos, ainda que discretos, de biomassa em uma pequena área oceânica ao sul da BS, dominados por cocolitoforídeos do nanoplâncton, e em uma estreita faixa partindo da plataforma (acompanhando o perfil E) e atingindo as águas oceânicas superficiais composta por diatomáceas (principalmente, *Pseudo-nitzschia* spp., *Chaetoceros* spp., *Proboscia* sp.), dinoflagelados atecados *Warnowia*, *Amphidinium* e *Gyrodinium*, nanoflagelados (<5 µm) e ciliados. Este filamento de células pode ser resultante de advecção de assembleias do fitoplâncton situado na plataforma ao norte a partir dos vórtices

PÚBLICA

atuantes na borda da plataforma (Capítulo IV, Volume III), considerando que as espécies dominantes das 2 assembleias são semelhantes. Valores elevados de nutrientes (P, N e Si) nas águas vizinhas ao norte podem ter mantido algum crescimento do fitoplâncton, suportando nossas observações. Aumentos de biomassa de diatomáceas semelhantes ao encontrado neste trabalho foram registrados ao sul da BS até a quebra da plataforma por Brandini *et al.* (2018 Figura 6) e atribuídos a influência extrema da Frente Subtropical de Plataforma.

V.4.2 Dezembro/2021 – Março/2022 (Verão)

De modo geral, durante o Verão de 2022 as associações planctônicas foram mais afetadas pela Água Tropical, que expandiu sua influência sobre a plataforma continental da Bacia de Santos, atingindo inclusive a região costeira. Entretanto, suas águas foram misturadas às águas costeiras enriquecidas por nutrientes decorrentes da drenagem continental, e pela ACAS atuando mais intensamente sobre a plataforma, compensando as características oligotróficas e mais salinas em setores mais localizados na Bacia de Santos.

As Águas Costeiras apresentaram-se tipicamente menos salinas e enriquecidas por nutrientes de origem estuarina praticamente ao longo de toda a extensão da Bacia de Santos, em função do aumento expressivo de drenagem continental típica do verão austral de regiões subtropicais, entre Dezembro e Março. Por este motivo, as associações fitoplanctônicas foram marcadamente diferenciadas durante as contagens e análises estatísticas ao redor dos estuários de Paranaguá, Sepetiba e Guanabara. As diatomáceas coloniais responderam rapidamente, geralmente espécies de características mesohalinas, diferenciando-se em duas assembleias principais presentes nos setores extremos da Bacia. Ao Sul, entre Florianópolis e Paranaguá, as diatomáceas dominaram o plâncton (60-95%), compostas por *Pseudo-nitzschia, Leptocylindrus danicus*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Skeletonema* spp., seguindo-se dinoflagelados atecados (Gymnodiniaceae e *Gyrodinium*) e espécies flageladas do nanoplâncton (5-10um), e ciliados da Subordem Tintinnida (principalmente, *Tintinnopsis* spp.). Trabalhos anteriores registraram as mesmas espécies (Soares, 1983; Brandini & Fernandes, 1996), exceto *Hemiaulus indicus*, uma espécie abundante também em outras áreas da

PÚBLICA

plataforma no Inverno de 2019, conforme descrito anteriormente. Além disso, as densidades registradas nestes trabalhos estiveram na mesma ordem de grandeza (10^5-10^6 cels.L^{-1}); entretanto, poucas estimativas de Carbono celular foram publicadas, o que deve ter superestimado por exemplo, a contribuição relativa dos nanoflagelados, ao mesmo tempo que depreciaram a contribuição de diatomáceas e dinoflagelados (v. revisão em Brandini *et al*., 1997). Seguindo para o norte; valores elevados de biomassa foram detectados em um pequeno setor ao sul de Ubatuba, novamente com diatomáceas e dinoflagelados compartilhando as maiores contribuições relativas do fitoplâncton; mas neste grupo dominaram os dinoflagelados *Tripos muelleri* e *Tripos horridum*. Considerando que máximos de densidade e biomassa ocorreram tanto em superfície como na PMC, é provável que a ressurgência da ACAS estivesse atuando, promovendo crescimento local de fitoplâncton. As ressurgências costeiras em Ubatuba, ou pelo menos a ascensão da ACAS até a zona fótica, têm sido registradas regularmente no verão (Castro-Filho *et al*., 1987), aportando nitrato e silicato para a zona iluminada (Braga & Muller, 1998). Recentemente, a presença de “camadas finas” de clorofila-a e células (*thin layers*) de 3-4 metros de espessura foram detectadas aproximadamente entre 14 e 20 metros de profundidade, formadas pela interação entre a ACAS e a Água Costeira sobrejacente dentro da zona fótica, compostas por diatomáceas e dinoflagelados (*Tripos* spp.) (Penninck *et al*., 2021).

Finalmente, no setor norte da Bacia de Santos - incluindo Ilha Grande (F1), Baías de Sepetiba e da Guanabara - aumentos expressivos de biomassa fitoplanctônica foram registrados em toda a área costeira, novamente determinados por águas enriquecidas pela drenagem continental, predominando fitoflagelados (2-5 µm e 5-10 µm) e cocolitoforídeos do nanoplâncton (>90% da biomassa total), seguindo-se *Skeletonema* spp. (*S. tropicum* e *S. subtropicum* (Figura V.3.1.2-2). Neste setor foram observados os maiores picos da Bacia de Santos no Verão de 2022. Em frente à Baía de Guanabara, as atividades poluidoras historicamente impactando esta Baía implicaram em concentrações excessivas de nutrientes, particularmente nitrogênio, causando progressiva substituição de diatomáceas por fitoflagelados, favorecidos por baixas relações Si:N que ao mesmo tempo prejudicam as diatomáceas (Sommer, 1994). As

comunidades do plâncton apresentaram diferenças em relação aos setores ao sul, descritos anteriormente. Células pequenas flageladas do nanoplâncton (2-5 µm e 5-10 µm) representaram 63,9% a 99,6% do plâncton, e dividiram a dominância entre grupos como diatomáceas (*Dactyliosolen, Pseudo-nitzschia, Rhizosolenia*) e a rafidofícea tóxica *Chattonella* sp. As densidades celulares foram superiores a $40x10^5$ cels.L^{-1} e biomassa maior do que 53 µgC.L^{-1}. Resultados de trabalhos prévios mostram que as características hidrológicas da Baía de Guanabara são influenciadas pela meteorologia local e ciclo de marés. Os períodos chuvosos e quentes de Verão e o excessivo aporte de nutrientes devido à atividade antrópica enriquecem suas águas e favorecem o crescimento de fitoflagelados e diatomáceas de pequenas dimensões como *Skeletonema* spp. e *Cyclotella*, dos dinoflagelados *Scrippsiella* e *Prorocentrum* e de Euglenofíceas, bem como cianobactérias *Oscillatoria* spp. (Villac & Tenenbaum, 2010). No período ameno de inverno, as diatomáceas de pequeno porte tendem a dominar, seguidas por flagelados. Devido à dinâmica sazonal de marés e às águas hipereutróficas, as densidades celulares da Baía de Guanabara são extremamente variáveis (10^6-10^7 cels.L^{-1}), e uma parte desta biomassa é exportada continuamente para a plataforma adjacente, causando sua eutrofização, a qual é intensificada por águas semi-tratadas de emissários submarinos (Brandini *et al.*, 1997).

No extremo norte da Bacia de Santos, a **ressurgência costeira da ACAS** alterou profundamente as águas circunjacentes oligotróficas da Água Tropical, aportando principalmente fósforo e silicato (Capítulo II neste volume), e estimulando o crescimento do fitoplâncton e protozooplâncton. Os grupos/espécies mais importantes foram a rafidofícea *Chattonella* cf. *globosa*, cocolitoforídeos nanoplanctônicos, ciliados e dinoflagelados como *Prorocentrum minimum* e atecados mixótrofos. As diatomáceas contribuíram menos para a biomassa total (<30%), diminuindo rapidamente em direção ao oceano, e os principais gêneros foram *Pseudo-nitzschia, Dactyliosolen, Leptocylindrus* e *Rhisozolenia*. As altas concentrações de Carbono Orgânico Particulado e clorofila-a registradas em águas costeiras (<50 m) podem ser parcialmente explicadas pela biomassa elevada do nano- e microplâncton (73-87 µgC.L^{-1} na Estação H1), além de alguma contribuição pelo picofitoplâncton (0,2 a 2,0 µm),

PÚBLICA

considerando que seus máximos foram observados em Cabo Frio e Baía de Guanabara, justamente nas estações influenciadas pela ressurgência (Capítulos II e III neste volume). Por outro lado, embora a biomassa planctônica estivesse aumentada, a contribuição mais expressiva de mixoplâncton e protozooplâncton em comparação às diatomáceas indica que a ressurgência já estava em fase de relaxamento, aumentando a atividade heterótrofa regenerativa. As amostragens na área foram realizadas no final de março de 2022, ou seja, após o período em que normalmente a ressurgência é mais intensa (janeiro a início de março). As animações de imagens temporais de satélite para a Temperatura e Clorofila-a confirmam claramente a intensificação do fenômeno em fevereiro e seu rebaixamento no decorrer de março (Capítulo XI neste volume). Adicionalmente, parte da biomassa acumulada localmente em frente a Cabo Frio foi transportada lateralmente para sudoeste até as proximidades das Baías de Guanabara e Sepetiba na plataforma média, onde inclusive foi responsável por picos recordes de biomassa em subsuperfície do plâncton (335 $\mu gC.L^{-1}$; clorofila-a 3,8 $\mu gC.L^{-1}$), especialmente nanoplâncton (2-5 µm e 5-10 µm), cianobactérias filamentosas, a rafidófita *Chattonella* sp., seguidas em densidade pelas diatomáceas *Pseudo-nitzshia* spp., *Leptocylindrus* e *Dactyliosolen* spp. e os dinoflagelados *Tripos* spp. Novamente, estes resultados são confirmados pelos mesmos dados de outros sub-projetos citados acima. A ressurgência costeira da ACAS em Cabo Frio é um dos eventos mais bem estudados no Brasil, devido ao pioneirismo do oceanógrafo físico Alte. Paulo Moreira da Silva (Marinha do Brasil-DHN) nos anos 60; posteriormente, iniciaram-se as investigações sobre a biologia marinha, lideradas pelo Dr. Jean L. Valentin (Macedo & Valentin, 1974). Nossos resultados confirmaram os estudos sobre dinâmica do plâncton durante a ressurgência (Valentin, 1989), inclusive a advecção de suas águas por um possível "filamento costeiro" (sensu Calil *et al*., 2021) na direção sudoeste transportando associações de fitoplâncton e protozooplâncton, afetando a produção biológica na plataforma média em frente à Guanabara e Sepetiba, pelo menos no período de seu relaxamento em março de 2022. A única diferença marcante é a ausência de registros sobre os cocolitoforídeos na literatura, um grupo do nanoplâncton que apresentou biomassa e diversidade relevantes nas águas de Cabo Frio e arredor/es durante o presente estudo. Possivelmente, os fixadores utilizados

PÚBLICA

e/ou métodos de estocagem das amostras tenham destruído as células, sensíveis às alterações de temperatura e pH.

A **Plataforma média/externa** apresentou assembleias do nanoplâncton e microplâncton de origem costeira de vários setores da Bacia de Santos durante o Verão de 2022. Como mencionado anteriormente, na plataforma rasa em frente à Ubatuba foi registrada uma comunidade planctônica em concentrações elevadas, dominada por diatomáceas (*Pseudo-nitzschia, Leptocylindrus, Thalassiosira*), dinoflagelados *Tripos* e cocolitoforídeos do nanoplâncton. Os resultados evidenciaram que estas associações se espalharam em direção à plataforma média (ao longo dos perfis D e) até o início do talude (≥200 m), onde foram detectados máximos de subsuperfície associados à ressurgência da ACAS na borda da plataforma, predominando *Hemiaulus indicus* e *Pseudo-nitzschia* spp. Estes máximos associados à ressurgência também foram detectados no PR por Brandini *et al*., 1989). A partir da plataforma externa (D6, E6), foi observada uma estreita faixa de células partindo da plataforma e atingindo a águas oceânicas superficiais dominadas por nanoflagelados (<5 µm), mas também com diatomáceas (principalmente *Hemiaulus indicus*; *Chaetoceros* spp., *Leptocylindrus*), *Tripos* spp. e ciliados. Sugestivamente, as mesmas assembleias ocorreram nas estações de plataforma e nas oceânicas, e os valores de oxigênio dissolvido mantiveram-se altos, indicando atividade fotossintética líquida. É possível que a atuação de vórtices tenha "capturado" células da plataforma e as transportado para o oceano aberto, o que pode ser visualizado pelas imagens sequenciais de satélite (Capítulo XI neste volume), que registraram um filamento de clorofila-a (0,4-0,8 µg.L^{-1}) sendo captado na plataforma externa adjacente e transportado para águas oceânicas. Além disso, a intrusão mais pronunciada da ACAS sobre a plataforma, atingindo áreas mais rasas e com intensidade luminosa suficiente (Capítulo II neste volume), estabeleceu uma termoclina sazonal na qual as células do fitoplâncton se depositaram, formando os máximos subsuperficiais observados em alguns setores da bacia como ao largo de Paranaguá até Florianópolis, e em frente à Ubatuba. As espécies mais importantes foram *Pseudo-nitzschia* spp., *Hemiaulus indicus*, *Dactyliosolen phuketensis, Leptocylindrus danicus, L. minimus*, dinoflagelados tecados e nanoplâncton (2-5 µm e 5-10 µm). As concentrações

de clorofila-a na sub-superfície refletiram as densidades celulares registradas, atingindo valores moderados (0,5-1,0 µg.L^{-1}). Também foram encontradas células em associações simbióticas com cianobactérias diazotróficas (*Richelia intracellularis*) como *Hemiaulus indicus*, *H. membranaceus* e *Rhizosolenia* spp. (Anexo V-2, Fotos 25 e 29). Associações planctônicas semelhantes e com a mesma origem na plataforma têm sido registradas na literatura prévia (v. revisão de Brandini *et al*., 1997; Gaeta & Brandini, 2006). Mais recentemente, Brandini *et al.* (2014) detectaram as mesmas espécies em um perfil costa-oceano em frente a Itajaí, SC, dominadas por *Pseudo-nitzschia* spp., *Hemiaulus* e *Chaetoceros*, com máximos em sub-superfície**.** Em resumo, a penetração acentuada da ACAS até a plataforma interna e a formação da termoclina sazonal (novembro a fevereiro) estimulou o crescimento do fitoplâncton a partir de interações com a água oligotrófica sobrejacente, bem como a formação de máximos subsuperficiais de biomassa planctônica, predominando diatomáceas e cocolitoforídeos (este trabalho). Este "lençol" subsuperficial de produção biológica associado à termoclina da ACAS é um evento regular e abrangente na Bacia de Santos, registrado no verão em diferentes áreas da plataforma, e apresentando assembleias semelhantes, dominadas por diatomáceas coloniais (p.e. *Pseudo-nitzschia*, *Hemiaulus* spp.), dinoflagelados e nanoflagelados (Brandini *et al*., 2018; Carvalho *et al*., 2022; este trabalho).

Na **região oceânica** da Bacia de Santos, a comunidade planctônica foi limitada pela oligotrofia típica da Água Tropical, com densidade celulares em geral na ordem de 1,0-4,0x10^{5} cels.L^{-1} e biomassa inferior a 8 µgC.L^{-1}, praticamente constituída pela fração menor do nanoplâncton (2-5 µm), seguida por ciliados e dinoflagelados heterótrofos (10-20 µm). O microplâncton foi irrelevante, com densidades ao redor de 1,0 a 4,0x10^{3} cels.L^{-1} e biomassa <1,0 µgC.L^{-1}, Esta classe de tamanho foi composta por dinoflagelados heterótrofos atecados (*Warnowia, Torodinium, Gyrodinium*) e formas tecadas aberrantes com extensões aladas ou câmaras abrigando cianobactérias (*Triposolenia, Histioneis, Citharistes*), longas extensões para retardar a sedimentação (*Ceratocorys*) ou exibindo métodos de captura do tipo mizocitose e flagelos que facilitam a busca ativa por presas ou microambientes com maior concentração de nutrientes. Entre as diatomáceas, ocorreram *Chaetoceros, Bacteriastrum* e

Hemiaulus indicus (sempre em associação com *Richelia intracellularis*). A evolução destas estratégias adaptativas foi vital para superar as limitações de um ecossistema oligotrófico e profundo (Daugbjer *et al*., 2013). A presença de uma termoclina permanente e abaixo da zona eufótica regulou o crescimento da comunidade pelágica. Entretanto, ocorreram (i) episódios de aumentos de biomassa no setor central, como descrito acima, devido à possível atuação de um vórtice na plataforma externa, e (ii) ao sul da Bacia um pico dos cocolitoforídeos *G. oceanica* e. *huxleyi* (aproxim. 20-190x10^3 cels.L^{-1}, especialmente em subsuperfície), talvez estimulado pelo mesmo mecanismo sugerido para o crescimento na borda da plataforma mais ao norte, ou seja, injeção vertical de nutrientes a partir de interações com vórtices atuantes na área (Capítulo IV, Volume III; Pereira *et al*., 2009). Os poucos trabalhos que efetivamente analisaram amostras do oceano profundo registraram intervalos de abundância celular (microplâncton até 1,0x10^4 cels.L^{-1} e nanoplâncton 2,0-4,0x10^5 cels.L^{-1}) e biomassa semelhantes, mas não detectaram qualquer aumento relacionado à oceanografia, como encontrado no presente trabalho (Soares, 1983; Silva, 1991; Gaeta, 1999). Estes fenômenos físicos e biológicos decorrentes do meandramento da Corrente do Brasil constituem-se em mais um diferencial latitudinal que torna a Bacia de Santos o mais produtivo sistema pelágico e de recursos pesqueiros das águas territoriais brasileiras.

V.4.3 Microplâncton de Rede

A diversidade do fitoplâncton e protozooplâncton (786 *taxa* infra-genéricos) na Bacia de Santos foi elevada, e superior à de outras bacias brasileiras onde as amostragens foram realizadas foram realizadas de modo sinóptico (grid de estações) em campanhas oceanográficas. Na Bacia de Campos imediatamente ao norte, Tenenbaum *et al*. (2017) levantaram 296 táxons infra-genéricos em duas Campanhas oceanográficas (períodos seco e chuvoso), mas baseados apenas em amostras quantitativas (186 amostras no total). Os autores encontraram apenas 88 espécies de diatomáceas, e uma riqueza maior para os dinoflagelados (144 espécies). Mais ao Norte, na Bacia de Sergipe-Alagoas, Silva-Cunha *et al.* (2019) analisaram 168 amostras de rede de plâncton bem como amostras para contagem em microscópio invertido, encontrando um

número maior de táxons, 396 no total, e diatomáceas (190 espécies) e dinoflagelados (145 espécies) apresentaram a maior riqueza, correspondendo a 89% da diversidade na comunidade microplânctônica. Houve maior número de espécies de águas tropicais quentes e oligotróficas, como esperado. No mesmo projeto, Cavalcante-Jr *et al.* (2019) encontraram 87 espécies de ciliados tintininos. Ainda assim, estes resultados são inferiores ao encontrado na Bacia de Santos. Em amostragens realizadas entre a Bahia e o Rio de Janeiro pelo Programa REVIZEE, Tenenbaum *et al*. (2007) encontraram 625 espécies a partir de coleções com 262 (Período Chuvoso) e 258 (Seco) amostras concentradas por filtração reversa de 1 litro de água (coletadas em 108 estações oceanográficas, em 2 campanhas). Os grupos dominantes foram os dinoflagelados (308 espécies; 50% do microplâncton) e diatomáceas (215 espécies; 39% do total); riqueza específica mais elevada apesar da utilização de apenas uma técnica para coleta do plâncton. Portanto, torna-se evidente que a utilização de redes de plâncton é ferramenta essencial para investigar a diversidade biológica do plâncton em águas brasileiras.

Esta discrepância pode ser atribuída a uma série de procedimentos e técnicas que estiveram disponíveis neste projeto para observação em microscopia, aos equipamentos para amostragem (garrafas de Niskin e redes de plâncton) e observação de amostras (microscópios eletrônicos) e ao esforço de análise das amostras. Por exemplo, diferentes fixadores foram utilizados, várias técnicas de preparação e de observação foram empregadas como lâminas á fresco, lâminas permanentes para diatomáceas, observação de várias alíquotas das amostras, armazenagem da coleção no escuro sob refrigeração, e o tempo entre as amostragens e a análise das amostras foi reduzido ao máximo. As técnicas de preparação e observação em microscopias eletrônicas de varredura (com ponto crítico) e transmissão também contribuíram para a detecção mais rápida na amostra de espécies diminutas do nanoplâncton ou raras e delicadas, particularmente cocolitoforídeos. As técnicas de filtração reversa cuidadosa e de filtração do nanoplâncton em filtros Nuclepore também permitiram concentrar e preservar a morfologia das células e suas paredes celulares.

Um bom exemplo da eficiência de amostragem com rede de plâncton, resultando em maior número de espécies, pode ser constatado pela comparação

PÚBLICA

entre o total de espécies coletadas na rede de plâncton e daquelas utilizadas para a análise quantitativa em microscópio invertido neste trabalho. Na Campanha de Inverno de 2019 na Bacia de Santos o número de táxons identificados foi quase 3 vezes superior (730 espécies) ao total identificado em amostras quantitativas (234 espécies). Outro resultado que suporta a utilização de redes de plâncton e em associação com pelo menos 2 fixadores diferentes em amostras separadas foi a diferença marcante entre nossos dados e os de outras campanhas oceanográficas. O número de espécies encontradas em cada amostra analisada da bacia de Santos oscilou entre 54 e 237 espécies aproximadamente, um diferencial importante quando comparado com outros trabalhos em que o número de táxons por amostra foi bem inferior: 6-51 em Tenenbaum *et al*. (2007); e 4-55 em Tenenbaum *et al*. (2017), mas utilizando metodologia distinta. As amostras preservadas em Solução de Lugol permitiram identificar um maior número de táxons, pois mantiveram o citoplasma mais íntegro bem como suas organelas, incluindo flagelos e cílios. Por outro lado, os cocolitoforídeos maiores do que 20 µm como *Umbillicosphaera sibogae* e outras foram visualizadas íntegras apenas em amostras com formol, enquanto apenas os cocolitos da cocosfera permaneciam em amostras de Lugol. Nas amostras do nanoplâncton, a grande maioria dos cocolitoforídeos do nanoplâncton foi detectada exclusivamente nas amostras preservadas em formol, as quais foram posteriormente concentradas para identificação em microscopia eletrônica.

V.4.5 *Conclusões*

As comunidades nano- e microplanctônicas foram profundamente alteradas por intrusões de massas de água e pela drenagem continental que fertilizaram setores distintos da Bacia de Santos, amenizando a característica oligotrófica da Água Tropical predominante. Independentemente da sazonalidade climatológica abrangida pelas 2 Campanhas Oceanográficas (2019 e 2022), as principais associações e forçantes ambientais que regularam sua distribuição e potencial crescimento são sintetizadas a seguir.

1) Nas Águas Costeiras ao longo de quase toda a BS, o enriquecimento contínuo pela drenagem continental modulado pela sazonalidade pluviométrica regulou e

manteve o crescimento de diatomáceas até densidades comparativamente altas, ciliados tintinidos e dinoflagelados atecados oportunistas, bem como do nanoplâncton e cocolitoforídeos nanoplanctônicos. Os intervalos dos valores de densidade e biomassa corresponderam aos da literatura publicada, exceto pela contribuição relativa significativa dos cocolitoforídeos, não reportada previamente. As associações da plataforma interna em frente à Baía de Guanabara, compostas por espécies pequenas de diatomáceas e nanoplâncton flagelado, foram algo distintas do restante, provavelmente em virtude das condições hipereutróficas da baía de Guanabara.

2) A intrusão marcante da Frente Subtropical de Plataforma no Outono-Inverno promoveu a formação de uma assembleia de fito- e protozooplâncton característica, bem como seu espalhamento por toda a plataforma centro-sul da Bacia de Santos, e composta não apenas por diatomáceas, mas incluindo dinoflagelados tecados e nanoplâncton. O aumento da biomassa registrado em todas as classes de tamanho e nos grupos foto-, mixo- e heterótrofos evidenciou o impacto significativo da FST sobre a teia trófica planctônica, potencialmente estendendo-se por todo o sistema pelágico.

3) Em setores localizados da Bacia de Santos - Ubatuba e Cabo Frio - as associações foram alteradas a partir da ascensão da ACAS e formação de ressurgência. As espécies e grupos dominantes identificados já se encontravam em estágio sucessional que correspondeu a um relaxamento da ressurgência, pois ocorreram diatomáceas, dinoflagelados e ciliados em proporções relativas semelhantes, num padrão típico e de composição específica descritos em outros trabalhos na área.

4) Na plataforma média-externa foram observadas diferentes assembleias de plâncton, em resposta ao maior dinamismo hidrográfico das massas de água. As águas superficiais e de sub-superfície (associadas à termoclina) apresentaram composição específica semelhante, mas os valores de biomassa e as relações dominância foram variáveis, especialmente devido á atuação sazonal da ACAS no fundo da plataforma, ou seja, atingindo áreas mais rasas no verão, ou mantendo-se mais afastada no inverno. As associações de plâncton foram dominadas por diatomáceas, nanoflagelados e dinoflagelados atecados. Algumas estratégias ecológicas foram frequentemente detectadas como

diatomáceas do gênero *Chaetoceros* produtoras de estatósporos, resistentes às condições desfavoráveis em períodos que induzem sedimentação para o fundo; ou associações simbióticas intracelulares entre *Hemiaulus* spp. e a cianobactéria diazotrófica *Richelia intracellularis*. Além disso, os flagelos de grupos como dinoflagelados e nanoplâncton facilitam seu deslocamento na coluna de água; ou a presença de vesículas de gás em *Trichodesmium* garante proximidade à superfície iluminada.

5) Na margem da plataforma (200 m), os mecanismos físicos promotores de ascensão ou ressurgência da ACAS como regime de ventos, conformação da plataforma ou vórtices fertilizaram a água sobrejacente, promovendo crescimento de diatomáceas, dinoflagelados, ciliados e nanoplâncton, refletindo em picos moderados de biomassa e clorofila-a em diferentes pontos da Bacia de Santos, nos dois períodos. Estas associações apresentaram composição específica semelhante à da plataforma continental e dominada por diatomáceas e cocolitoforídeos, naturalmente com diferenças quanto à densidade celular e relações de dominância entre espécies. Nossos resultados confirmaram o conhecimento prévio sobre as interações entre o plâncton e as ressurgências de borda da plataforma, e detalharam melhor a contribuição relativa dos dinoflagelados mixótrofos e cocolitoforídeos em comparação às de diatomáceas, além de novas observações sobre o transporte de células da plataforma média (e daquelas decorrentes de ressurgência) para a região oceânica, provavelmente mediado pelos vórtices formados pela Corrente do Brasil. Potencialmente, a exportação desta matéria orgânica poderia afetar os fluxos de carbono do sistema pelágico para o bentos profundo.

6) As associações de plâncton na região Oceânica (>2.000 m) foram tipicamente dominadas por nanoflagelados (1,8-5 µm, ou 5-10 µm), com expressiva contribuição de cocolitoforídeos. A biomassa foi muito inferior à de outras regiões da BS, perfeitamente caracterizando limitação do crescimento do fitoplâncton nas águas oligotróficas da Água Tropical. Entretanto, este padrão foi alterado por crescimentos moderados em dois setores da bacia. No extremo sul foram identificadas densidades moderadas de nanoflagelados e cocolitoforídeos, e no centro da BS espécies do nano- e microplâncton foram observadas em valores maiores do que nas águas adjacentes, correspondendo às associações

PÚBLICA

transportadas possivelmente pela ação dos vórtices sobre a plataforma externa, como descrito anteriormente. Várias estratégias ecológicas (simbiose, epifitismo) para subsistir em um ecossistema oligotrófico foram observadas, bem como estruturas celulares que facilitam a busca ativa por presas ou microambientes com maior concentração de nutrientes.

7) Finalmente, é necessário mencionar brevemente os eventos de florações do fitoplâncton regularmente reportados na literatura que não foram detectados na Bacia de Santos durante o período em estudo. Elas alteram a comunidade em períodos relativamente curtos, mas podem apresentar ampla distribuição geográfica, como as manchas de *Trichodesmium* spp. na ordem de quilômetros na plataforma mais profunda e desenvolvendo-se regularmente de Novembro a Março, e de algumas espécies toxigênicas nas águas neríticas até a plataforma média como *Dinophysis* cf. *acuminata* e *Pseudo-nitzschia* spp, de periodicidade irregular, mas podendo associar-se às intrusões da Frente Subtropical de Plataforma.

8) A diversidade do fitoplâncton e protozooplâncton (786 *taxa* infra-genéricos) na Bacia de Santos foi elevada em ambos os períodos, e muito superior à de outras bacias brasileiras. Atribui-se esta discrepância a uma série de procedimentos e técnicas para observação em microscopia, aos equipamentos para amostragem (garrafas de Niskin e redes de plâncton) e observação de amostras (microscópios eletrônicos) que estiveram disponíveis e ao esforço de análise das amostras. Apesar dos resultados satisfatórios, quando comparados aos de trabalhos prévios no Brasil, reconhecemos que a utilização de ferramentas biomoleculares (sequenciamento de DNAr, etc.) e acesso aos bancos de dados genéticos para inter-comparação teria contribuído significativamente para um levantamento mais completo da riqueza específica do fitoplâncton e protozooplâncton na Bacia de Santos.

V.5 Referências Bibliográficas

AFCD - AGRICULTURE FISHERIES AND CONSERVATION DEPARTMENT. 2008. **Harmful Marine Microalgae in Hong Kong**. Hong Kong: Agriculture, Fisheries and Conservation Department, 102 p.

PÚBLICA

Alves, T.P.; Mafra, L.L. Jr. 2018. Diel Variations in Cell Abundance and Trophic Transfer of Diarrheic Toxins during a Massive *Dinophysis* Bloom in Southern Brazil. **Toxins**, 10: 1-232.

Alves, T.P., Schramm, M.A., Proença, L.A. O., Pinto, T.O., Mafra, L. 2018. Interannual variability in *Dinophysis* spp. abundance and toxin accumulation in farmed mussels (*Perna perna*) in a subtropical estuary. **Environmental Monitoring and Assessment**, 190:329-344.

Azam, F., Malfatti, F. 2007. Microbial structuring of marine ecosystems. **Nature Reviews Microbiology**, 5(10): 782-791.

Balech, E. 1988, Los dinoflagelados del Atlantico Sudoccidental. **Publicaciones Especiales**, Instituto Español de Oceanografia, 1, pp.310.

Barber, H.G., Haworth, E.Y. 1981. Guide to the Morphology of the Diatom Frustule Freshwater Biological Association. **The Freshwater Biological Association,** pp.112.

Bergo, N.M., Signori C.N., Amado, A.M., Brandini F.P., Pellizari, V.H. 2017. The partitioning of carbon biomass among the pico- and nano-plankton community in the South Brazilian Bight during a strong summer intrusion of South Atlantic Central Water. **Frontiers in Marine Science,** 4, Art. 238.

Brandini, F.P. 1988. Composição e distribuição do fitoplâncton na região Sueste e suas relações com as massas de água (Operação Sueste-julho/agosto 1982). **Ciência e Cultura,** 40(4): 334-341.

Brandini, F.P. 1990a. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/ March 1984). **Hydrobiologia,** p.111-148.

Brandini, F.P. 1990b. Produção primária e características fotossintéticas do fitoplâncton na região sueste do Brasil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, 38(2): 147-159.

Brandini, F., Tura, P., Santos, P. 2018. Ecosystem responses to biogeochemical fronts in the South Brazil Bight. **Progress in Oceanography**. 164. 10.1016/j.pocean.2018.04.012.

Brandini, F., Miodeli, N., Simião, M.; Codina, J. C. U., Noernberg M. A. 2014. Deep chlorophyll maximum and plankton community response to

oceanic bottom intrusions on the continental shelf in the South Brazilian Bight. **Continental Shelf Research**, 89: 61-75.

Brandini, F.P., Lopes, R.M., Gutseit, K.S., Spach, H.L., Sassi, R. 1997. A Planctologia na Plataforma Continental do Brasil: Diagnose e Revisão Bibliográfica. Rio de Janeiro, **FEMAR**, 1: 1-196.

Brandt, K. 1906. Die Tintinnodeen der Plankton Expedition. Tafeler-klarungen nebst kurzer Diagnose der neuen Arten. Ergebn. der Plankton Exped. d. Humboldt-Stiff, 3: 1-33.

Brandt, K. 1907. Die Tintinnodeen der Plankton Expedition. Systematischer Theil. Ergebn. der Plankton Exped. d. Humboldt-Stiff, III(L.a.): 1-499.

Carvalho, M., Gianesella, S.M.F., Saldanha-Corrêa, F.M.P. 2008. *Trichodesmium erythraeum* bloom on the continental shelf off Santos, Southeast Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography,** 56(4): 307-311.

Choi, J.W., Stoecker, D.K. 1989. Effects of fixation on cell volume of marine planktonic protozoa. **Applied and Environmental Microbiology,** 55(7):1761-1765.

Cunha, A.M., Fonseca, O. 1918. O microplâncton das costas meridionais do Brasil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz,** 10(2): 99-103.

Cupp, E.E. 1943. Marine Planktonic Diatoms of the West Coast of North America. **Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography**, 5(1): 1-238

Dodge, J.D. 1982. Marine Dinoflagellates of the British Isles. **Her Majesty's Stationery Office**, London. pp. 303.

Dodson, A.N., Thomas, W.H. 1978. Reverse filtration. In: Sournia, A. (ed.) Phytoplankton manual. **Monographs on Oceanographic Methodology,** 6; UNESCO, Paris, p.104-107.

Edler, L., Elbrächter, M. 2010. The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis. Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis. **Open Journal of Marine Science**, 4(2): 13-20.

Falkowski, P.G., Katz, M.E, Knoll, H., Quigg, A., Raven, J.A, Schofield, O., Taylor, F.J.R. 2004. The evolution of modern phytoplankton. **Science** 305: 354-360.

Faria, J.G., Cunha, A.M. 1917. Estudos sobre o microplâncton da Baía do Rio de Janeiro e suas imediações. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz,** 9(1): 68-93.

Faria, J.G., Cunha, A.M. & Pinto, C. 1922. Estudos sobre protozoários do mar. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz,** 15(1): 186-200.

Faust, M.A., Gulledge, R.A. 2002. Identifying harmful marine dinoflagellates. **Contributions from the United States National Herbarium**, 42:1-144.

Fernandes, L.F., Brandini, F.P. 2004. Diatom associations in shelf waters off Paraná state Southern Brazil: annual variation in relation to environmental factors. **Brazilian Journal of Oceanography**, 52(1): 19-34.

Fernandes, L.F., Brandini, F.P. 2010. The potentially toxic diatom *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo in the Paraná and Santa Catarina states, Southern Brazil. **Iheringia Sér. Bot**., 65: 47-62.

Fernandes, L.F., Cavalcanti, K.P., Proença, L.A.O., Schramm, M.A. 2013. Blooms of *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* and *P. calliantha*, and associated domoic acid accumulation in shellfish from the South Brazilian coast. **Diatom Research**, 28(4): 381-393.

Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T., Falkowski, P.G. 1998. Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. **Science** 281(5374): 237-240.

Flobaum, P., Gallegosa, J.L., Gordillo, R.A., Rincón, J., Zabala, L.L., Jiao, N., Karl, D.M., Li, W.K.W., Lomas, M.W., Veneziano, D., Vera, C.S., Vrugt, J.A., Martiny, A.C. 2013. Present and future global distribution of the marine Cyanobacteria *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. **PNAS** 24: 9824-9829.

Flynn, K.J., Mitra, A., Anestis, K., Anschütz, A.A., Calbet, A., Ferreira, G.D., Gypens, N., Uwe, J., Martin, J.L. 2019. Mixotrophic protists and a new paradigm for marine ecology: where does plankton research go now? **Journal of Plankton Research**, 41(4): 375-391.

Fritz, L., Triemer, R.E. 1985. A rapid, simple technique utilizing calcofluor white M2R for the visualization of dinoflagellate thecal plates. **Journal of Phycology,** 21: 662-664.

Gaeta, S.A. 1999. **Produção Primária na Região Oeste do Atlântico Sul. Univ. São Paulo, Instituto Oceanográfico**, Tese de Livre Docência, pp.140.

Gerikas-Ribeiro, C.G., Santos, A.L., Marie, D., Pellizari, V.H., Brandini, F.P., Vaulot, D. 2016, Pico and nanoplankton abundance and carbon stocks along the Brazilian Bight. **PeerJ** 4:e2587; DOI 10.7717/peerj.2587

Guenther, M.; Valentin, J. 2008. Bacterial and phytoplankton production in two coastal systems influenced by distinct eutrophication processes. **Oecologia Brasiliensis**, 12(1): 1-7.

Guiry, M.D., Guiry, G.M. 2013. **AlgaeBase.** World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. Retrieved from http://www.algaebase.org. Acesso em 2022

Hackett, J.D., Yoon H.S., Butterfield, N.J., Sanderson, M,J., Bhattacharya, D. 2007. Plastid Endosymbiosis: Sources and Timing of the Major Events. In: Falkowski, P. G., Knoll, A. (eds.) 2007. Evolution of primary producers in the sea. **Elsevier**, New York. Chapter 7 :109-133.

Hallegraeff, G.M.; Anderson D.M.; Cembella A.D., Enevoldsen, H.O. 2003. Manual on Harmful Marine Microalgae, **IOC Manuals and Guides** Nº 33, UNESCO, Paris, p.753.

Hansen, P.J., Tillmann, U. 2020. Mixotrophy in Dinoflagellates: Prey Selection, Physiology and Ecological Importance. In S. R. V. Durvasula (Ed.), Dinoflagellates: Classification, Evolution, Physiology and Ecological Significance. **Nova Science Publishers**, pp. 201-260.

Hasle, G.R., Fryxell, G.A. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. **Transactions of the American Microscopical Society,** 84(4): 469-474.

Hasle, G.R., Syvertsen, E.E. Marine Diatoms. 1997. In: Tomas, C.R. (Ed.), **Identifying Marine Phytoplankton**. San Diego, Academic Press, p.5-385.

Hillebrand, H., Dürselen, C.D., Kirschtel, D., Pollinger, U., Zohary, T. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. **Journal of Phycology**, (35): 403-424.

Holm-Hansen, O., Packard, T.T., Pomeroy, L.R. 1970. Efficiency of the reverse-flow filter technique for concentration of particulate matter. **Limnology and Oceanography**, 15(5): 832-835.

Le Quéré, C., Harrison, S.P., Prentice. I.C., Buitenhuis, E.T., Aumont, O., Bopp, L., Claustre, H., Cunha, L.C., Geider, R., Giraud, X., Klaas, C., Kohfeld, K.E., Legendre, L., Manizza, M., Platt, T., Rivkin R.B., Sathyendranath, S., Uitz, J., Watson, A.J., Wolf-Gladrow, D. 2005. Ecosystem dynamics based on plankton

functional types for global ocean biogeochemistry models. **Global Change Biology,** 11(11): 2016-2040.

Leakey, R.J.G., Burkill, P.H., Sleigh, M.A. 1994. A comparison of fixatives for the estimation of abundance and biovolume of marine planktonic ciliate populations. **Journal of Plankton Research**, Volume 16, Issue 4, p. 375-389, https://doi.org/10.1093/plankt/16.4.375

Li, W.K.W. 2009. From cytometry to macroecology: A quarter century quest in microbial oceanography. **Aquatic Microbial Ecology,** 57(3): 239-251.

McCune, B., Mefford, M.J. 2011. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. **MjM Software**, Gleneden Beach, Oregon.

Menden-Deur, S., Lessard, E.J. 2000. Carbon to volume relationships for dinoflagellate, diatoms, and other protest plankton. **Limnology and Oceanography**, 45(3): 569-579.

Mesquita, A.R., Leite, J.B.A., Rizzo, R. 1983. Note on the shelfbreak upwelling off the Southeast Coast off Brazil (Lat. 26°30´S). **Boletim do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, 32(2): 193-198.

Mitra, A., Flynn, K.J., Burkholder J.M., Calbet, A., Raven, J.A., Granéli, E., Glibert, P.M., Hansen, P.J., Stoecker, D.K., Thingstad F., Tillmann, U., Våge, S., Wilken, S., Zubkov, M.V. 2014. The role of mixotrophic protists in the biological carbon pump. **Biogeosciences** 11: 995–1005.

Moraes, R.R. 2006. **Estudo da comunidade fitoplanctônica na região de ressurgência em Arraial do Cabo**, RJ. 2007, Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, p.46.

Nogueira Jr., M., Fernandes, L.F., Brandini, F.P. 2021. Plâncton eucarionte. Cap. 2. **Ecologia Marinha**, USP:São Paulo, p.1-54

Procopiak, L.K., Fernandes, L.F., Moreira-Filho, H. 2006. Diatomáceas (Bacillariophyta) marinhas e estuarinas do Paraná, Sul do Brasil: lista de espécies com ênfase em espécies nocivas. **Biota Neotropica**, 6(3): 1-27.

Proença, L.A.O. 2006. Algal blooms in coastal zones: examples of harmful impacts from the Brazilian Coast. J. **Coastal Res**., SI39: 76-78.

Proença, L.A.O., Fonseca, R.S., Pinto, T.O. 2011. **Microalgas em áreas cultivo do litoral de Santa Catarina**. Ed. RIMA, São Carlos, p.90.

Proença, L.A.O., Schramm, M.A., Alves, T.P., Piola A.R. 2018. The extraordinary 2016 autumn DSP outbreak in Santa Catarina, Southern Brazil, explained by large-scale oceanographic processes. In Hallegraeff, G.M. (eds). **Proceedings of the 17th International Conference on Harmful Algae.** International Society for the Study of Harmful Algae 2017, p.42–45.

Richardson, T.L., Jackson, G.A. 2007. Small phytoplankton and carbon export from the surface ocean. **Science,** 315(5813):838-840.

Round, F.E.; Crawford, R.M., Mann, D.G. 1990. **The diatoms. Biology and morphology of the genera**. Cambridge Press, p.747.

Sherr, B.F., Sherr E.B., Caron D.A., Vaulot, D., Worden, A.Z., 2007. Oceanic protists. **Oceanography,** 20(2):130-134.

Sieburth, J.M., Smetacek, V., Lenz, J. 1978. Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. **Limnology and Oceanography**, 23(6): 1256-1263.

Silva, J.R.B.M. 1991. **Características do fitoplâncton e hidrografia na plataforma continental e região oceânica do Estado de Santa Catarina**, Dissertação (Mestrado) – Depto. Botânica, UFPR, Curitiba, p.41.

Simião, M.S. 2010. **Máximos subsuperficiais de clorofila-a na plataforma Sudeste-Sul brasileira**, Dissertação (Mestrado) - Centro de Estudos do Mar, UFPR, Pontal do Sul, p.81.

Siqueira, A., Kolm, H.E., Brandini, F.P. 2006. Offshore distribution patterns of the cyanobacterium *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg and associated phyto- and bacterioplankton in the Southern Atlantic Coast (Paraná, Brazil). **Brazilian Archives of Biology and Technology,** 49(2): 323-337.

Smayda, T., Reynolds, C. 2001. Community assembly in marine phytoplankton: application of recent models to harmful dinoflagellate blooms. **Journal of Plankton Research,** 23(5):447-461.

Smetacek, V. 1985. Role of sinking in diatom life-history cycles. **Marine Biology,** 84: 239-251.

Soares, F.S. 1983. **Estudo do fitoplâncton de águas costeiras e oceânicas da região de Cabo Frio, RJ, até o Cabo de Santa Marta, SC**, Dissertação (Mestrado) - Instituto Oceanográfico, USP, São Paulo. p.118.

Sun, J., Liu, D., 2003. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton, **Journal of Plankton Research**, 25(11): 1331-1346.

Tenenbaum, D.R.; Rezende, K.R.V.; Villac, M.C. 2007. Variabilidade sazonal do fitoplâncton em uma região costeira tropical durante o período de 18 anos (Angra dos Reis, RJ, Brasil). **XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar**. Resumo expandido.

Tenenbaum, D.R., Marinho, M.M., Gômara, G., Viana, S.C., Matos, M.C.F.G. 2004a. Fitoplâncton. In: Villac, M.C., Fernandes, F.C.; Jablonski, S., Leal Neto, A.C., Coutinho, B.H. (eds.). Biota da área sob influência do Porto de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil - Levantamento de dados pretéritos, p.13-22.

Tenenbaum, D.R.; Villac, M.C., Viana, S.C., Matos, M.C.F.G., Hatherly, M.M.F., Lima, I.V., Menezes, M. 2004b. Phytoplankton Identification Atlas - Sepetiba Bay, Brazil. 1. ed. Londres, **GloBallast Monograph Series**, p.100.

Tenenbaum, D.R., Nascimento, S.M, Vianna, S., Fragoso, G., Hatherly, M., Moraes, R. Estrutura espacial e temporal da comunidade microplânctônica. 2017. In: Falcão, A.P.C., Moreira, D.L. (Ed.). **Ambiente pelágico: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste.** Rio de Janeiro: Elsevier. Habitats, 5: 127-170.

Tomas, C.R. (Ed.) 1997. **Identifying Marine Phytoplankton**. San Diego, Academic Press, p. 5-385.

Utermöhl, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. Mitteil. **Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie,** 9(1): 837-855.

VanLandingham, S.L. 1967-1979. Catalogue of the fossil and recent genera and species of diatoms and their synonyms. I-VIII. Verlag Von J. Cramer, Lehre/Vaduz.

Vaulot, D., Eikrem, W., Viprey, M., Moreau, H. 2008. The diversity of small eukaryotic phytoplankton (<3 µm) in marine ecosystems. **FEMS Microbiol. Rev**. 32:795-820.

Venrick, E.L. 1978. How many cells to count? In: Sournia, A. (ed) **Phytoplankton manual**, Unesco, Paris, p. 167-180.

PÚBLICA

Verity, P.G., Lagdon, C. 1984. Relationships between lorica volume, carbon, nitrogen, and ATP content of tintinnids. In Narragansett Bay, **Journal of Plankton Research**, 6(5): 859–868.

Villac, M.C.; Noronha, V.A.P.C. 2008. The surf-zone phytoplankton of the State of São Paulo, Brazil. I. Trends in space-time distribution with emphasis on *Asterionellopsis glacialis* and *Anaulus australis* (Bacillariophyta). **Nova Hedwigia**, Beiheft, 133: 115-129.

Villac, M.C., Tenenbaum, D.R. 2010. O fitoplâncton da Baía de Guanabara, Brasil. I. Histórico da biodiversidade local. **Biota Neotropica**, 10: 271-293.

Villac, M.C.; Noronha, V.A.P.C., Pinto, T.O. 2008. The phytoplankton biodiversity of the coast of the state of São Paulo, Brazil. **Biota Neotropica**, 8(3): 151-173.

Zimmermann, C. 1913. I Contribuição para o estudo das diatomáceas dos Estados do Brasil. **Brotéria, Série Botânica**, 11: 149-164.

Zimmermann, C. 1915. II Contribuição para o estudo das diatomáceas dos Estados do Brasil. **Brotéria, Série Botânica**, 13: 37-59, p.67-71.

Zimmermann, C. 1918. VIII Contribuição para o estudo das diatomáceas dos Estados do Brasil**. Brotéria, Série Botânica**, 16: 113-122.

V.6 Equipe Técnica

Nomes	Formação	Atuação
Luciano Felício Fernandes	Biólogo, Mestre em Botânica, Doutor em Zoologia	Coordenador
Priscila Izabel Tremarin	Bióloga, Doutora em Botânica	Bolsista Pós-Doutorado
Denise Matias de Faria	Bióloga, Doutora em Botânica	Profissional Autônomo
Eduarda Cristina do Nascimento Correia	Bióloga	Profissional Autônomo
Thomas Gasparini Alexandre Guaita	Aluno de graduação em Ciências Biológicas	Bolsista de Iniciação Científica
Michelle Tardio de Souza	Aluno de graduação em Ciências Biológicas	Bolsista de Iniciação Científica

PÚBLICA

VI. Taxonomia, distribuição e abundância do zooplâncton da Bacia de Santos

VI.1 Introdução

O zooplâncton é a principal via de transferência de energia entre a base da cadeia alimentar e os níveis tróficos superiores dos ecossistemas marinhos (Landry *et al.*, 2019). Devido ao tamanho corporal reduzido e os ciclos de vida curto, muitas espécies planctônicas são utilizadas como indicadoras de massas de água e de condições ambientais e hidrológicas específicas (Espino, 2000). Vários estudos registraram essas características em espécies de apendiculárias indicadoras de massas de água superficiais (Carvalho & Bonecker, 2016), espécies de zoo- e ictioplâncton como indicadoras de massas de águas profundas (Bonecker *et al.*, 2017), e espécies de copépodos indicadoras de vórtices (Jagadeesan *et al.*, 2019).

Estudos destinados a monitorar comunidades de zooplâncton em grandes regiões são fundamentais para entender os efeitos ambientais locais e globais na produção secundária nos ambientes marinhos, servindo como uma importante ferramenta geradora de índices para a conservação desse ecossistema (Sailley *et al.*, 2015; Chiba *et al.*, 2018). Entretanto, o principal desafio no estudo do zooplâncton marinho são as observações microscópicas exaustivas de amostras obtidas in situ e em vastas extensões do oceano, pois, ao contrário dos pigmentos fotossintéticos do fitoplâncton, o zooplâncton marinho não tem proxis bioquímicas que possam ser observadas por satélites (Batten *et al.*, 2019).

Comparações sobre a biodiversidade global do ecossistema marinho são realizadas utilizando dados de monitoramento de organismos zooplanctônicos, conferindo a esse grupo a função de importante componente na observação entre diferentes regiões do planeta (O'Brien *et al.*, 2017). Apesar de sua importância, o zooplâncton tem sido historicamente amostrado com resoluções temporal e espacial limitadas (Shropshire *et al.*, 2020). Com a intenção de ampliar esse conhecimento em grandes áreas, vários estudos vêm sendo

PÚBLICA

realizados englobando as bacias sedimentares ao longo da costa brasileira. Por exemplo, na Bacia de Campos, região que vai de Cabo Frio até o sul do Espírito Santo, foi realizado um estudo das comunidades micro (64 e 120µm) e mesozooplanctônica (200µm) na plataforma continental, talude e nas diferentes massas de água que ocorrem na região. O trabalho registrou 32 grupos microzooplanctônicos e 175 espécies mesozooplanctônicas, sendo 14 registradas como nova ocorrência para o Atlântico Sul (Bonecker *et al.*, 2017). Nas bacias de Sergipe e Alagoas, foi estudada a comunidade macrozooplanctônica (300 e 500µm) em diferentes isóbatas e massas de água presentes na região. Neste trabalho foram registrados 428 táxons, sendo que 95 foram indicadores das massas de água presentes na região (Schwamborn *et al.*, 2019). Também na Bacia Potiguar, foram analisadas as comunidades do micro (64 e 120µm) e macrozooplâncton (300µm). Dessas amostras foi confeccionado um catálogo da biodiversidade marinha regional, com informações sobre vários táxons zooplanctônicos, no qual Copepoda é o grupo mais diverso, com 85 espécies (Neumann Leitão *et al.*, 2017). Mais recentemente foi realizado um estudo em três bacias da margem equatorial brasileira, onde foram encontrados 302 táxons e 155 espécies zooplanctônicas, representadas principalmente por grupos holoplanctônicos (Dias *et al.*, 2020).

Estudos em larga escala geográfica são ainda insuficientes na Bacia de Santos, onde nos últimos anos a comunidade zooplanctônica foi estudada majoritariamente na sua porção costeira. Destacam-se os trabalhos sobre o mesozooplâncton na costa de Santa Catarina e na Baia de Guanabara (Becker *et al.*, 2018; Dias *et al.*, 2018; Menezes *et al.*, 2019; Resgalla Jr., 2022), sobre o microzooplâncton da região da laje de Santos (Andres *et al.*, 2021). Vale destacar, um estudo realizado na região oceânica do Uruguai até Cabo Frio, abrangendo toda a Bacia de Santos que, para investigar a posição trófica e áreas de forrageamento de cetáceos, determinou padrões espaciais e temporais das composições de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio da comunidade zooplanctônica (Troina *et al*., 2020).

Este capítulo traz informações em larga escala espacial sobre a comunidade zooplanctônica da Bacia de Santos, tais como composição faunística, distribuição dos táxons do zooplâncton, novas ocorrências para a região, relação

PÚBLICA

dos organismos com parâmetros ambientais e espécies bioindicadoras de regiões, profundidades e massas de água distintas. O estudo visa, portanto, preencher lacunas do conhecimento sobre a comunidade zooplanctônica da bacia e ampliar o conhecimento sobre a biodiversidade e ecologia na costa brasileira desses organismos fundamentais para o ambiente marinho.

VI.2 Métodos

VI.2.1 Atividades de campo

As amostragens foram realizadas na Bacia de Santos (BS) ao longo de duas campanhas oceanográficas, de agosto a outubro de 2019 (campanha de inverno) e de dezembro de 2021 a março de 2022 (campanha de verão). O mesozooplâncton foi coletado através de arrastos oblíquos estratificados desde a subsuperfície da coluna d'água até aproximadamente 2.400m de profundidade, utilizando uma rede multinet automatizada de 200 µm de abertura de malha (Figura VI.2.1-1). Os arrastos foram efetuados no período noturno (18h até 6h) em 55 estações oceanográficas na campanha de inverno e 58 na campanha de verão, totalizando 510 amostras. O material coletado foi preservado em formol tamponado com tetraborato de sódio, com concentração final de 4%. Todas as amostras foram enviadas ao Laboratório Integrado de Zooplâncton e Ictioplâncton do Instituto de Biologia da UFRJ para análise e identificação.

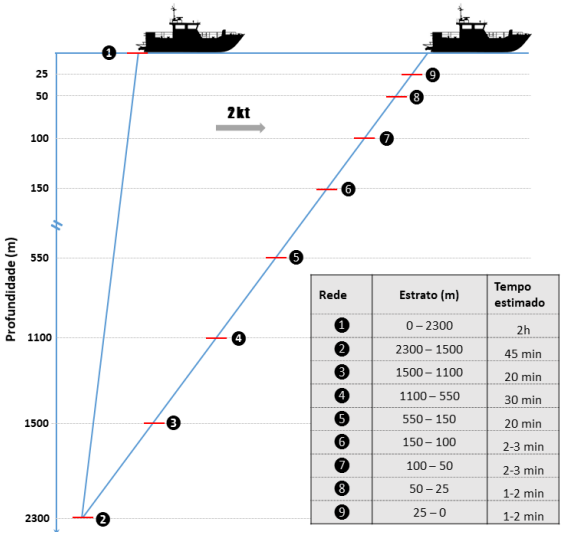


Figura VI.2.1- 1: *Desenho esquemático mostrando o tipo de arrasto oblíquo e estratificado utilizado nas amostragens de zooplâncton da Bacia de Santos.*

PÚBLICA

VI.2.2 Análises de laboratório

O processamento das amostras foi realizado no Laboratório Integrado de Zooplâncton e Ictioplâncton da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Para a obtenção do peso úmido, as amostras de mesozooplâncton foram filtradas em uma rede com abertura de malha inferior à da coleta para a retirada do formol e posteriormente pesadas em balança de precisão Ainsworth.21N. Após este procedimento, cada amostra foi homogeneizada em água e subamostrada utilizando o fracionador de Folsom (McEwen *et al.,* 1957) para a obtenção da abundância do zooplâncton (Boltovskoy, 1981; 1999).

As frações foram processadas sob microscópio estereoscópico para a contagem dos organismos em grandes grupos taxonômicos. Os grupos mais abundantes e com significativo interesse ecológico foram separados para posterior identificação de acordo com a literatura pertinente (*e.g.* Björnberg, 1981; Todd *et al.,* 1996; Bradford-Grieve *et al*., 1999; Esnal & Daponte, 1999a, 1999b; Bonecker & Carvalho, 2006; Bonecker & Quintas, 2006; Razouls *et al*., 2005-2022). Cada amostra foi acompanhada de uma planilha contendo os dados da estação. O peso úmido e a quantidade de organismos zooplanctônicos foram padronizados em função do volume filtrado pela rede em cada amostragem e expressos em g. m^{-3} e ind. m^{-3}, respectivamente.

Um segundo analista reanalisou 10% de todas as amostras de cada triador. Os critérios utilizados para aceitação do lote triado ou da retriagem seguiram padrões reconhecidos internacionalmente. Quanto aos critérios de refinamento da identificação, os nomes científicos de espécies foram checados junto ao banco de dados internacional WoRMS (2022; "*World Register of Marine Species*").

O material identificado foi tombado na coleção de zooplâncton do Laboratório Integrado de Zooplâncton e Ictioplâncton do Departamento de Zoologia do Instituto de Biologia da UFRJ. Esta coleção está cadastrada no CNEN e no CRIA.

VI.2.3 Análises Estatísticas

A distribuição da biomassa e abundância total do mesozooplâncton foi analisada através de testes não paramétricos. Para verificar se houve diferença

PÚBLICA

entre plataforma continental e zona oceânica, entre as regiões norte e sul e entre campanhas, foi utilizado o teste de *Mann-Whitney*. Valores de $p < 0,05$ foram considerados para diferenças estatisticamente significativas. Todos os dados passaram por testes *a priori* para atender às exigências das análises. Os resultados foram testados pelo programa Statistica 7.0 (StarSoft Inc., Tulsa, U.S.A.).

Para identificar padrões na distribuição espacial do zooplâncton na Bacia de Santos, as abundâncias dos principais grupos taxonômicos foram testadas com técnicas de *Machine Learning*. O *Self-Organizing Maps* (SOM), desenvolvido por Kohonen (2001), é um tipo de rede neural artificial útil para extrair padrões em grandes conjuntos de dados multivariados. O *Hierarchical Clustering* (HC) foi utilizado para agrupar os neurônios gerados no SOM, e consequentemente as amostras, de acordo com a abundância dos grupos zooplanctônicos. O resultado do HC foi apresentado em mapas com as estações de coleta na Bacia de Santos. Estas análises e mapas foram confeccionados no iMESC (Vieira & Fonseca, 2022).

Para fins de integração dos dados, a Análise de Redundância (RDA) foi realizada para investigar os padrões de distribuição espacial dos principais grupos do zooplâncton e espécies de Copepoda e sua relação com as variáveis físico-químicas (Legendre & Legendre, 2012). A matriz de dados foi construída com os dados da campanha de inverno do estrato de 25-0m e o *Variance Inflation Factor* (VIF) foi aplicado para diagnosticar a colinearidade entre as variáveis ambientais, sendo removidas aquelas com VIF > 10. A RDA foi executada usando os pacotes *vegan* e *HH* (Oksanen *et al*., 2020; Heiberger, 2022) no programa R (v4.1.1, R Core Team, 2021).

A análise de espécies indicadoras (ISA; Dufrêne & Legendre, 1997) foi utilizada nos estratos da coluna d'água, das regiões – norte e sul, plataforma continental e zona oceânica – e nas massas de água presentes na Bacia de Santos. O ISA gera valores indicativos (IndVal) para cada espécie dentro de cada grupo, os quais foram testados estatisticamente pelo teste *post hoc* "Monte Carlo" com nível de significância de $p < 0,05$. Segundo Dufrêne e Legendre (1997), um IndVal de pelo menos 25% pode ser considerado para determinar uma espécie indicadora. No presente estudo, valores ≥50% foram utilizados

PÚBLICA

como nível mínimo para determinação do IndVal. A análise ISA foi realizada usando o programa PCORD 5 (McCune & Mefford, 1999).

VI.3 Resultados

VI.3.1 Biomassa total

Na campanha de inverno a biomassa do mesozooplâncton variou de 0,001 a 6,59 $g.m^{-3}$, onde os maiores valores foram registrados em estações costeiras mais ao sul da Bacia de Santos no estrato de 25-0m, e também em estações costeiras, ao sul e no transecto em frente à Baía de Ilha Grande e de Sepetiba na amostragem de 50-25m (Figura VI.3.1-1). A biomassa foi significativamente maior na plataforma continental do que na zona oceânica ($p < 0,001$), mas não houve diferença significativa entre as regiões norte e sul ($p = 0,08$).

A biomassa do zooplâncton na campanha de verão variou entre 0,001 e 2,56 $g.m^{-3}$. Apesar desta variação ser menor do que a da campanha de inverno, não houve diferença significativa entre as campanhas ($p = 0,51$). As maiores biomassas foram registradas nas estações mais costeiras e de plataforma na região sul da Bacia de Santos em 25-0m (Figura VI.3.1-2). Houve diferença significativa na campanha de verão entre regiões; a biomassa foi maior na plataforma continental e na região sul do que na zona oceânica e na região norte, respectivamente ($p < 0,001$).

VI.3.2 Abundância total

A abundância do zooplâncton na campanha de inverno variou entre 0,17 e 7.125 ind. m^{-3}. Os maiores valores foram registrados nas estações mais costeiras e principalmente no sul da Bacia de Santos (Figura VI.3.2-1). Em relação à diferença entre plataforma continental e zona oceânica, a abundância seguiu o mesmo padrão da biomassa, com maiores valores na plataforma ($p < 0,001$), e foi maior na região sul ($p < 0,05$).

PÚBLICA

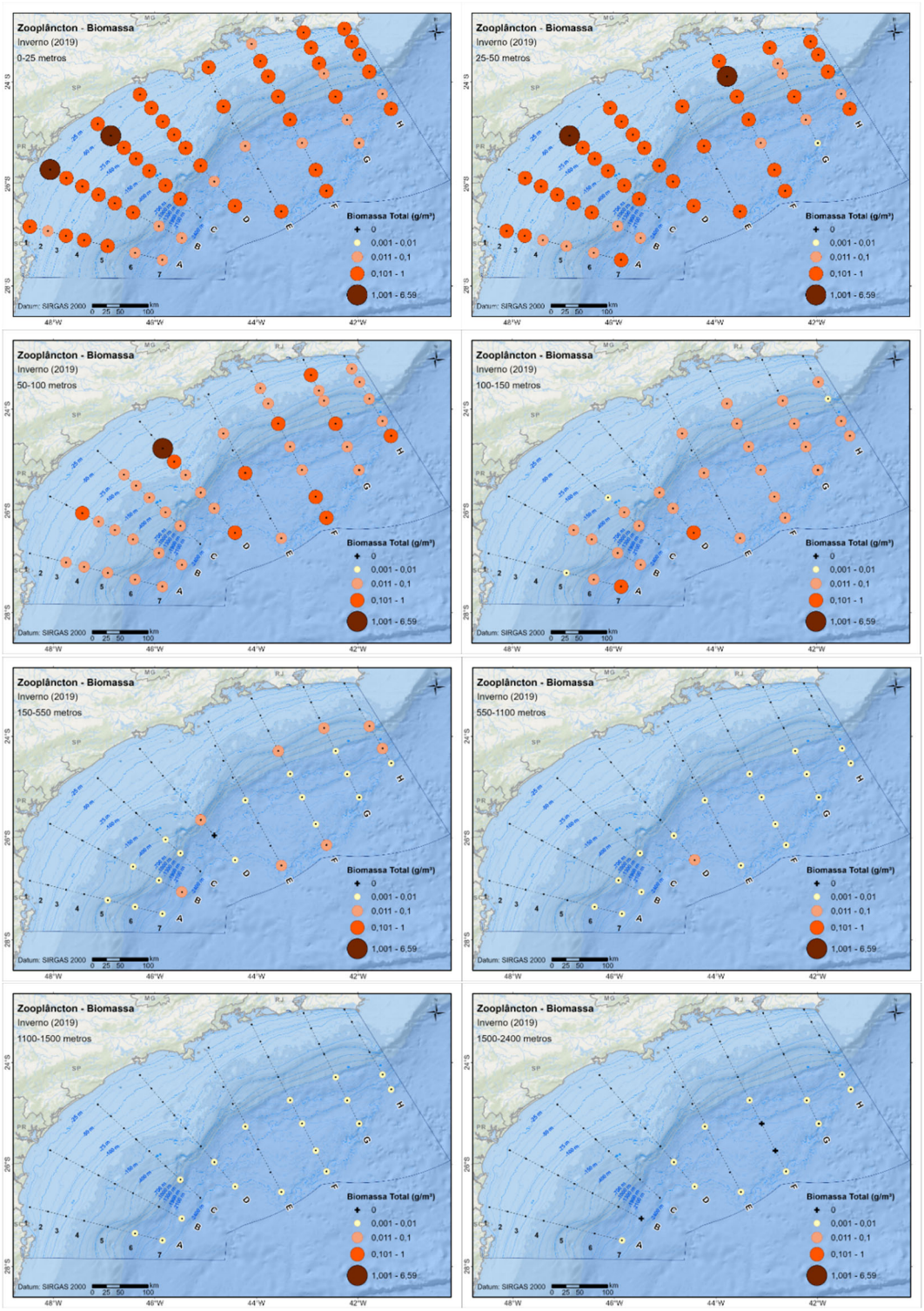


Figura VI.3.1-1: *Biomassa (g.m^{-3}) do mesozooplâncton coletado em oito estratos de profundidade durante a campanha de inverno na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

Na campanha de verão a abundância total variou entre 0,01 e121.003 ind. m^{-3}, com valores mais altos nas estações mais costeiras dos dois primeiros estratos (Figura VI.3.2-2).

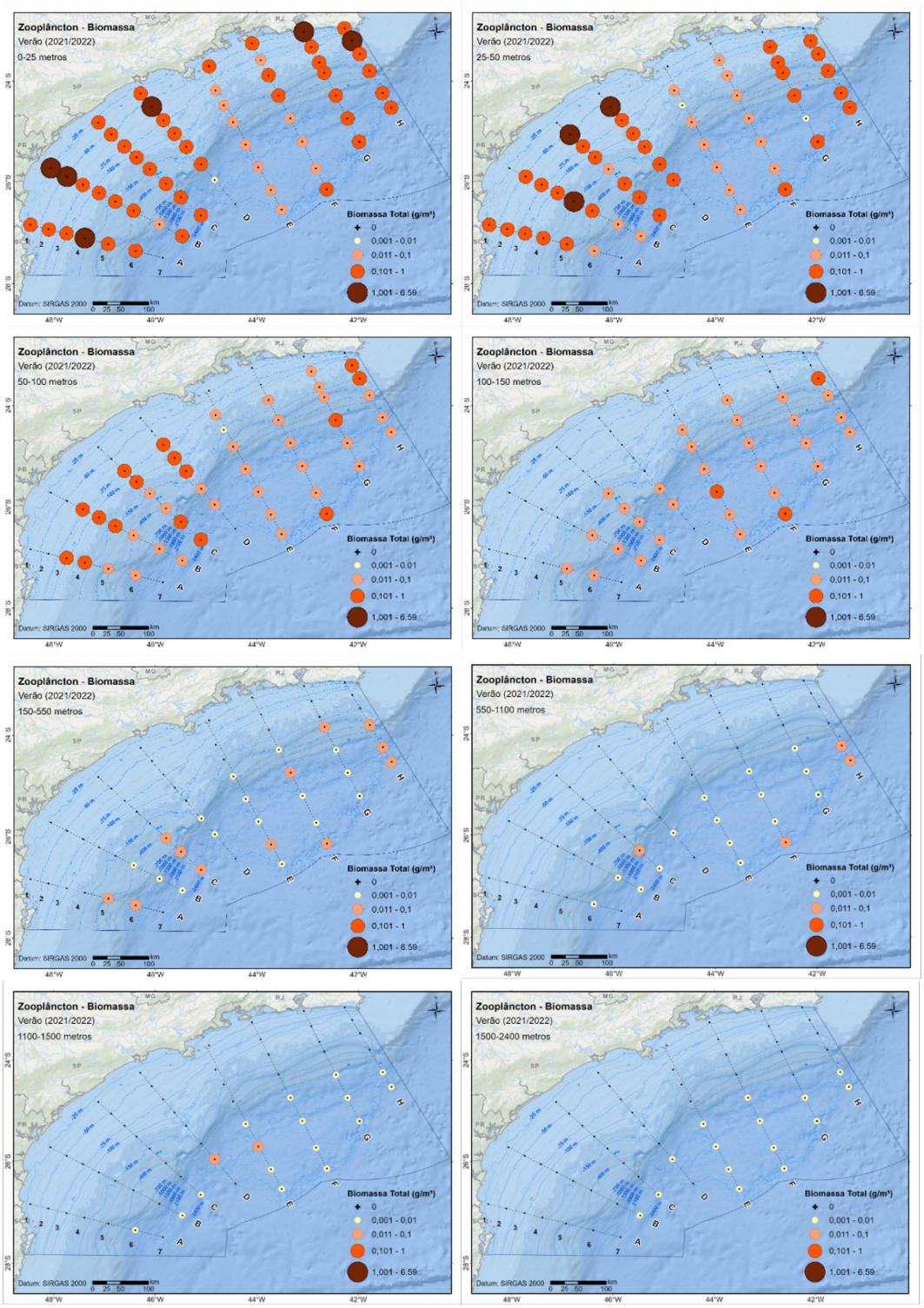


Figura VI.3.1-2: *Biomassa (g.m-3) do mesozooplâncton coletado em oito estratos de profundidade durante a campanha de verão na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

ca na

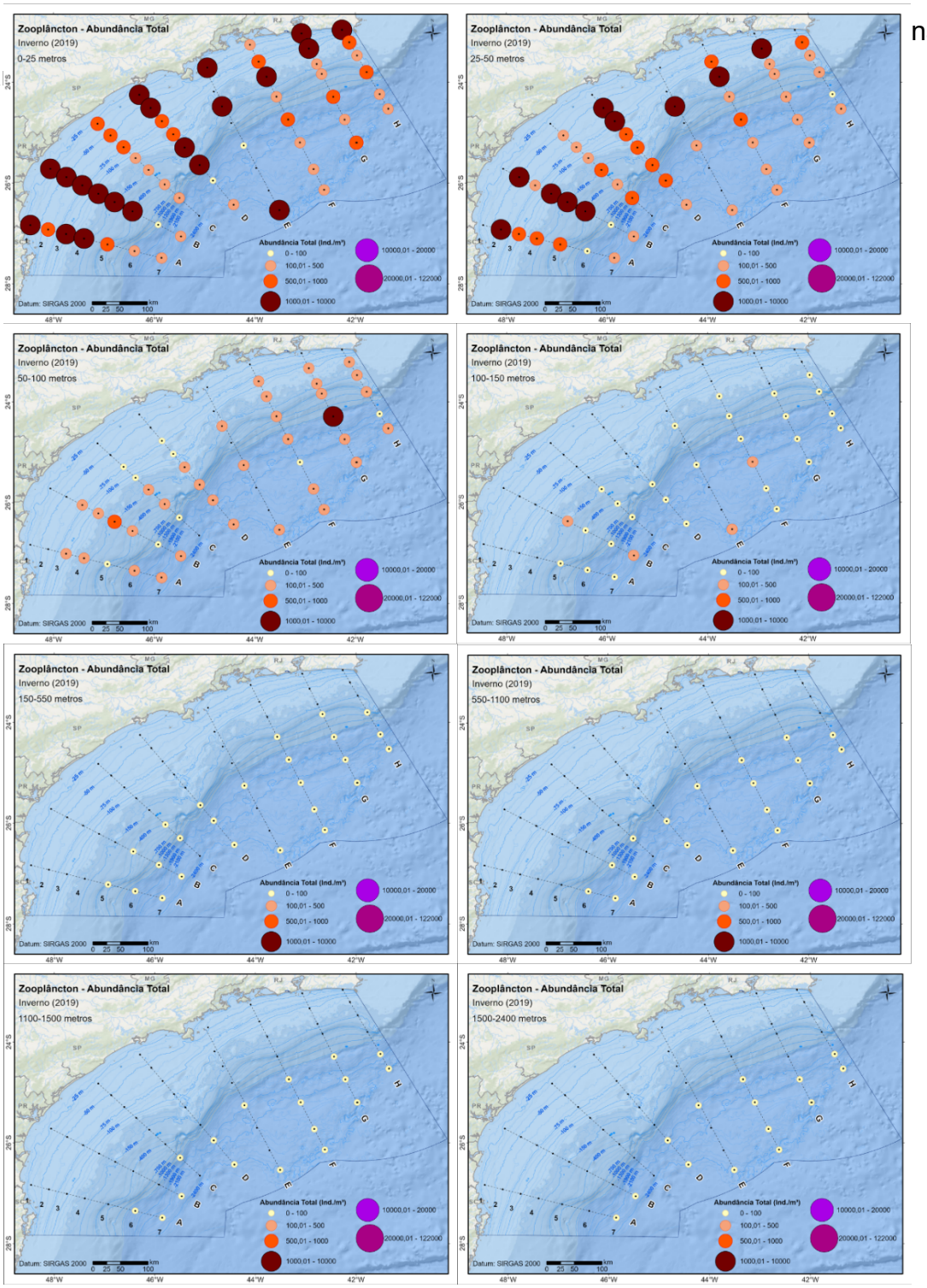


Figura VI.3.2-1: *Abundância total (ind.m^{-3}) do mesozooplâncton coletado em oito estratos de profundidade durante a campanha de inverno na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

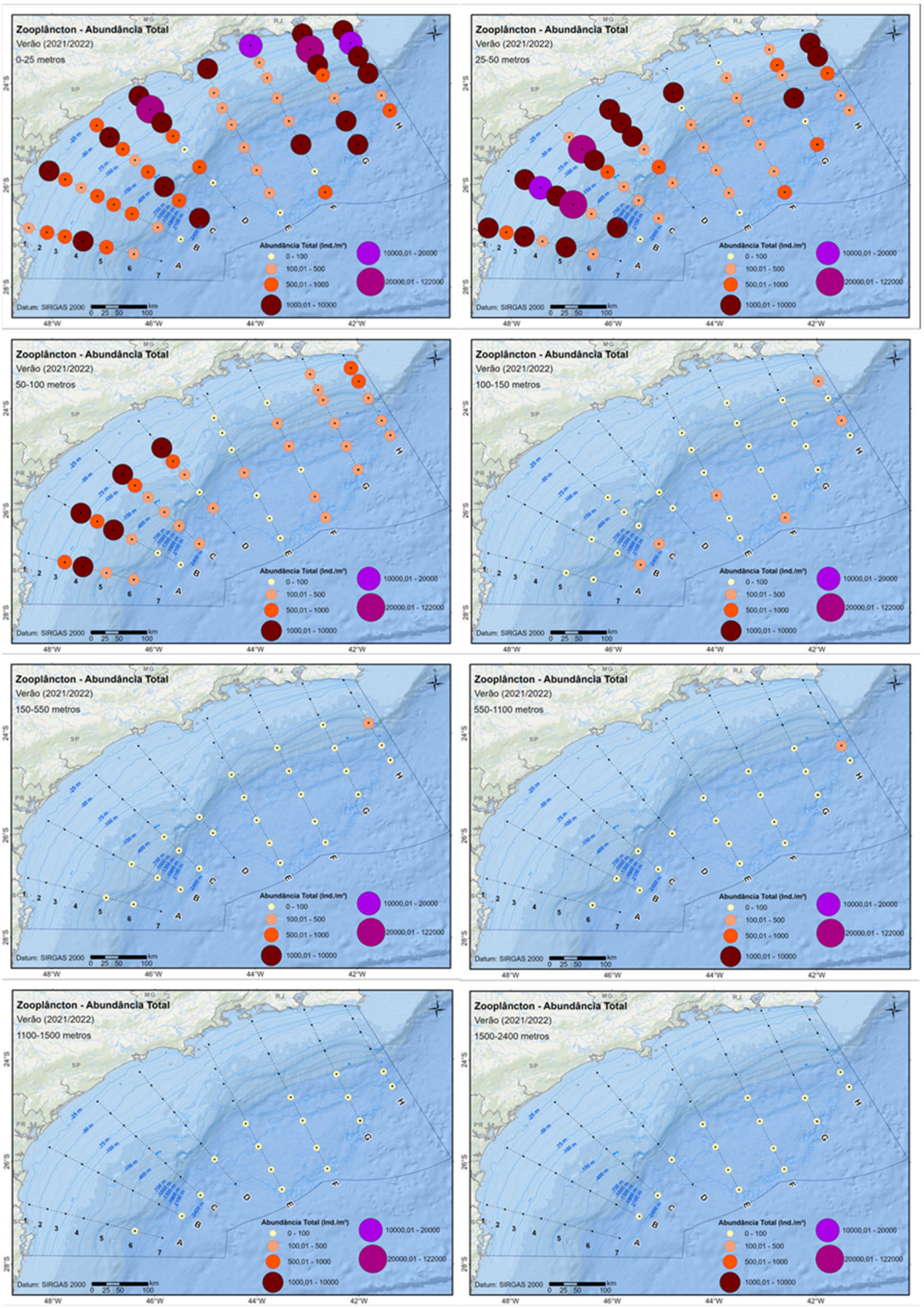


Figura VI.3.2-2: *Abundância total (ind.m^{-3}) do mesozooplâncton coletado em oito estratos de profundidade durante a campanha de verão na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

A distribuição do zooplâncton na campanha de verão seguiu o mesmo padrão latitudinal e a mesma variação costa-oceano da campanha anterior, ou seja, a abundância foi maior na plataforma continental do setor sul da bacia ($p < 0,001$).

VI.3.3 Composição da comunidade zooplanctônica

A comunidade mesozooplanctônica foi composta por 309 táxons, dos quais 200 pertencem à classe Copepoda (Tabela VI.8-1). Nove espécies de copépodes foram encontradas nos estratos abaixo de 1100m, sendo caracterizadas como nova ocorrência e/ou expansão da distribuição para a plataforma continental brasileira e Atlântico Sudoeste: *Chirundinella magna, Euchirella maxima*, *Pseudochirella obtusa*, *Valdiviella insignis*, *Valdiviella oligarthra*, *Arietellus simplex*, *Megacalanus princeps*, *Nullosetigera bidentata* e *Amallothrix valida*.

Na campanha de inverno o zooplâncton foi dominado por copépodes na maior parte da Bacia de Santos, com poucas exceções (Figura VI.3.3-1). No estrato superior (*i.e.,* 0-25 m), Branchiopoda foi o grupo dominante na plataforma interna ao largo das baias de Paranaguá e Santos, e nas estações mais costeiras mais ao norte (Figura VI.3.3-1). Salpida dominou a comunidade zooplanctônica ao largo da costa sul de São Paulo nos estratos entre 0-25 e 25-50 metros. Chaetognatha representou cerca de 25% do zooplâncton em algumas estações do setor oceânico (p.e.x, C6 e D6 nos estratos de 50-100 e de 150-550 m, respectivamente (Figura VI.3.3-1).

A amostragem da campanha de verão mostrou que, assim como na campanha anterior, os copépodes são o grupo zooplanctônico predominante; porém a contribuição dos outros grupos foi maior nesta campanha do que na campanha de inverno (Figura VI.3.3-2). Os cladóceros foram abundantes em diversas estações mais costeiras no estrato de 25-0m e também em 50-25m, em frente à Baía de Guanabara, no norte da Bacia de Santos. Já os quetognatos foram importantes na composição zooplanctônica nos estratos entre 100 e 550m de profundidade (Figura VI.3.3-2).

PÚBLICA

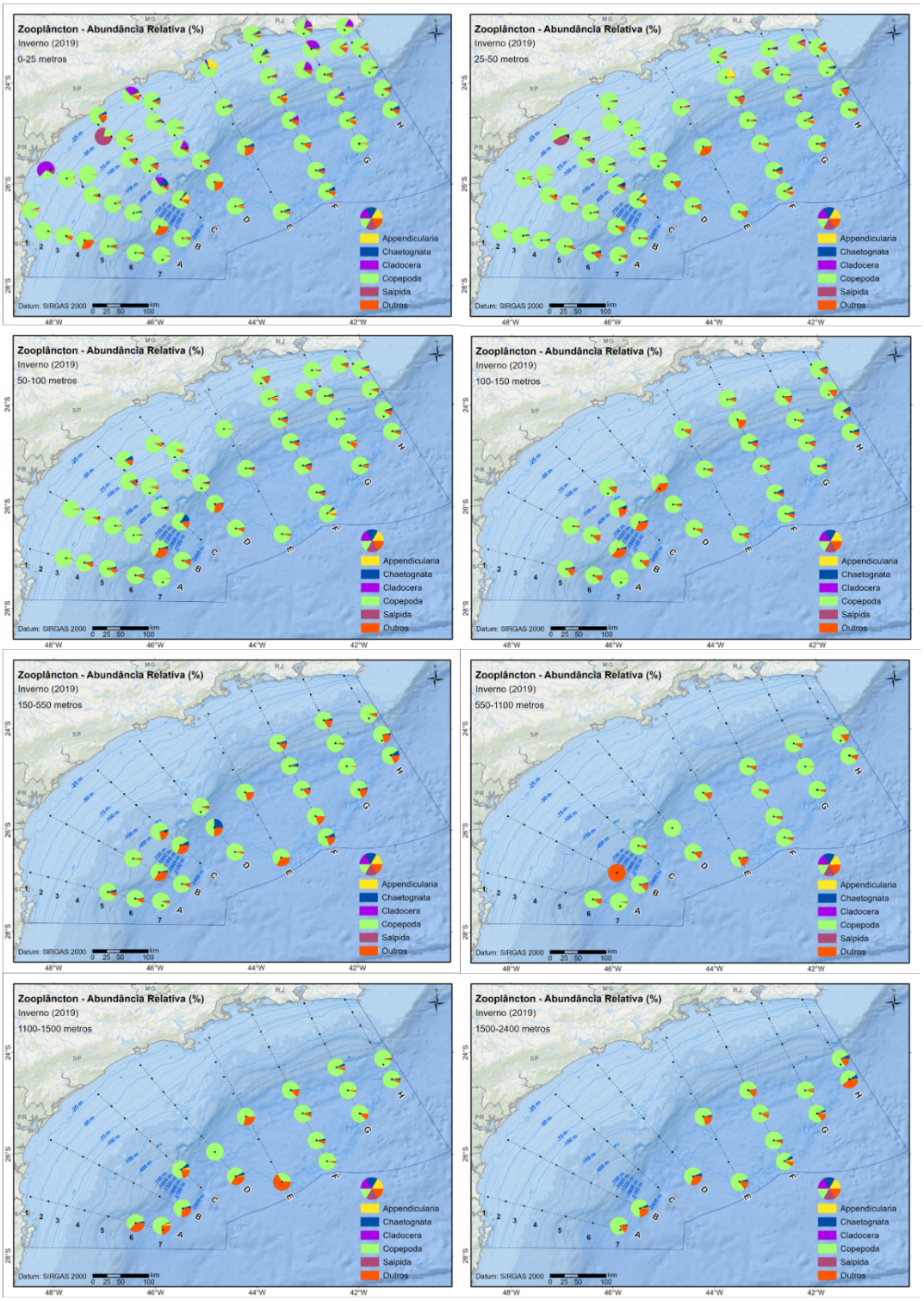


Figura VI.3.3-1: *Abundância relativa (%) dos principais grupos zooplanctônicos coletados em oito estratos de profundidade durante a campanha de inverno na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

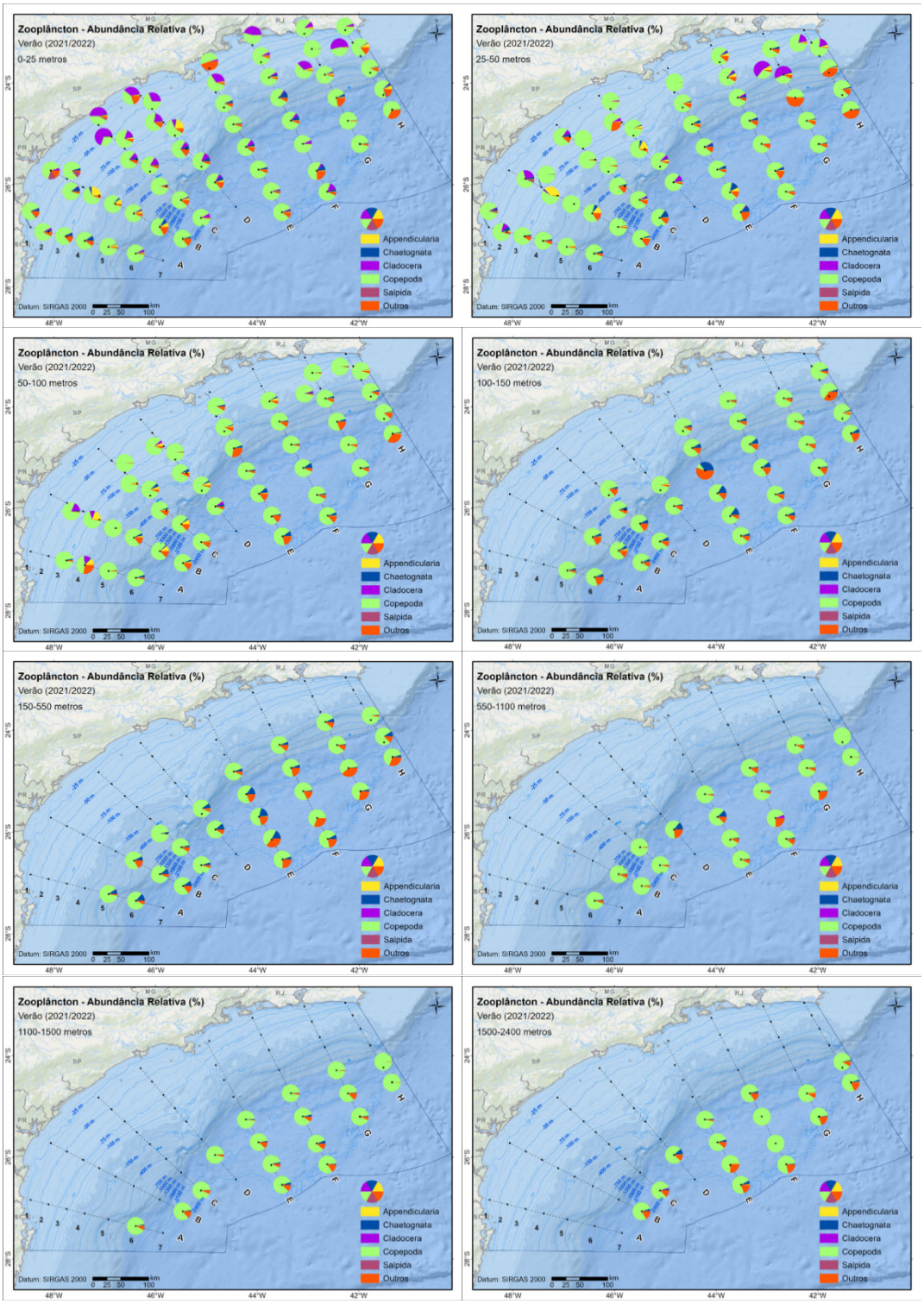


Figura VI.3.3-2: *Abundância relativa (%) dos principais grupos zooplanctônicos coletados em oito estratos de profundidade durante a campanha de verão na Bacia de Santos.*

A média da abundância relativa dos principais grupos zooplanctônicos em cada estrato amostrado evidenciou a predominância de Copepoda nas duas campanhas, mostrando novamente raras exceções (Figura VI.3.3-3).

PÚBLICA

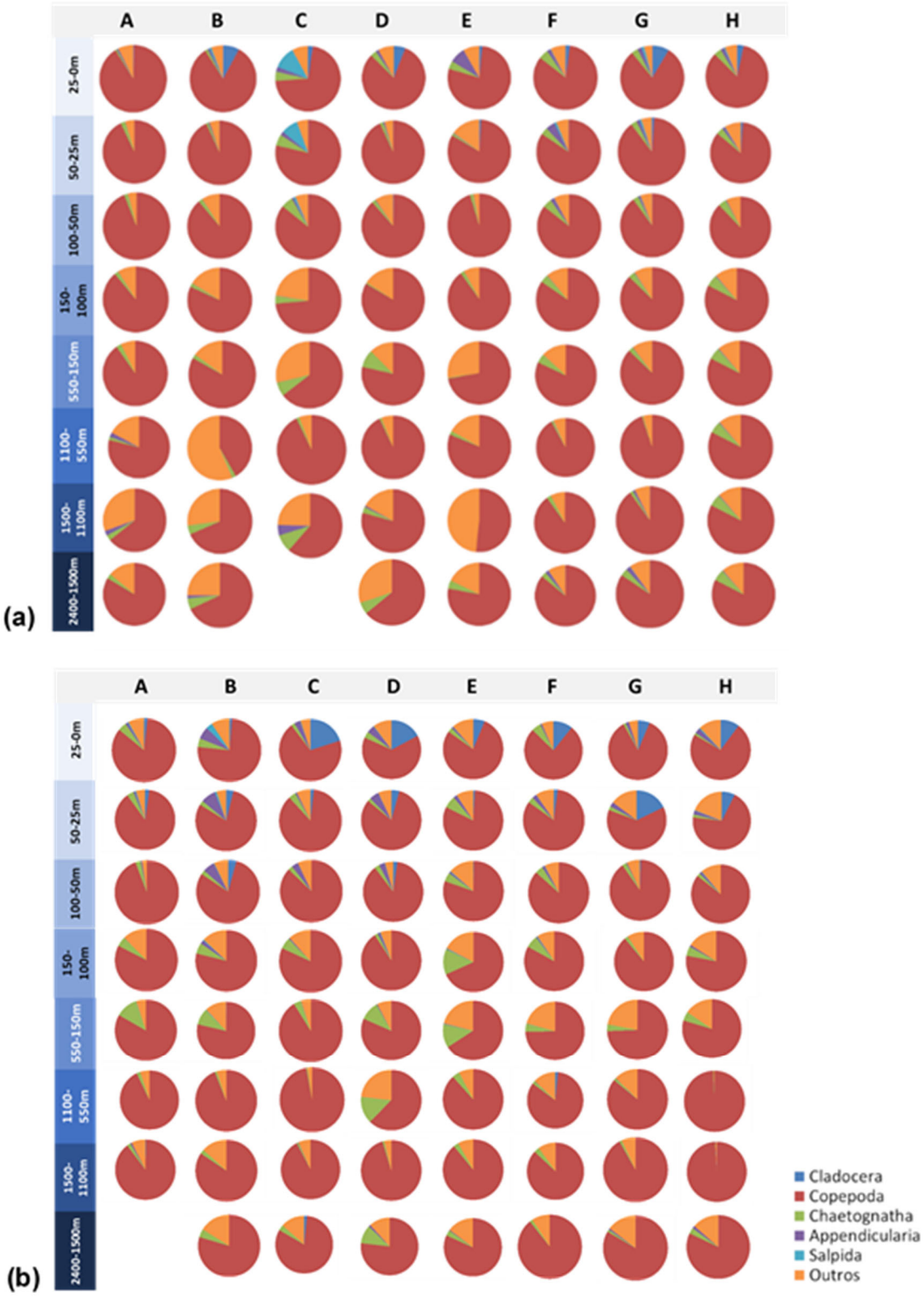


Figura VI.3.3-3: *Composição (abundância relativa média) da comunidade zooplanctônica nos oito estratos amostrados nos transectos A ao H durante as campanhas de inverno (a) e verão (b) na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

Na campanha de inverno, a abundância relativa somada de Siphonophora e de Gastropoda (grupo “outros”) no estrato de 550-1100 m na área oceânica do sul da bacia foi maior do que a de Copepoda; Entre 1100 e 1500m na região oceânica central ao largo de Ilha Bela (SP) a composição foi dividida entre Copepoda e Ostracoda e Gastropoda somados (grupo “outros; Figura VI.3.3-3a).

Na campanha de verão a abundância relativa média também mostra a maior contribuição de outros grupos na composição do zooplâncton, principalmente dos cladóceros nos estratos até 50m de profundidade e de Ostracoda (grupo “outros”) nos estratos de 150-100m e 550-150m dos transectos mais ao norte da Bacia de Santos (Figura VI.3.3-3b).

VI.3.4 Classificação da comunidade zooplanctônica em grupos e distribuição espacial na Bacia de Santos

Os testes realizados através de *Machine Learning*, *Self-Organizing Maps (SOM)* e *Hierarchical Clustering (HC),* classificaram o zooplâncton da Bacia de Santos, em quatro grupos para cada campanha de acordo com a abundância dos principais grupos taxonômicos. Na campanha de inverno, houve uma nítida separação entre costa, plataforma média e zona oceânica (Figura 9). O grupo costeiro (HC 2) foi formado principalmente pela presença de Appendicularia e Chaetognatha, enquanto os grupos da plataforma média (HC 1 e 3) e zona oceânica (HC 4) foram representados pela ausência de Branchiopoda (Cladocera) e presença de Salpida e Copepoda (Figura VI.3.4-1).

A comunidade zooplanctônica registrada na campanha de verão também mostrou uma separação no gradiente costa-oceano, mas na região sul o grupo costeiro (HC 1) se expande até a plataforma média, enquanto no norte da BS as estações costeiras se dividem em mais de um grupo (HC 2 e 4; Figura VI.3.4-2). Assim como na campanha de inverno, o grupo da zona oceânica (HC 3) foi representado pela presença de Salpida (Figura VI.3.4-2).

VI.3.5 Integração entre parâmetros ambientais e zooplâncton

Os dois primeiros eixos da Análise de Redundância (RDA) mostraram que cerca de 86% da variação na distribuição do zooplâncton (Figura VI.3.5-1) e da distribuição das espécies de Copepoda (Figura VI.3.5-2) na Bacia de Santos

PÚBLICA

podem ser explicadas pelas variáveis ambientais. Em relação aos grupos zooplanctônicos, houve separação entre organismos filtradores e/ou herbívoros, como cladóceros e salpas - relacionados às estações com predominância da Água Costeira e Água de Mistura, com maior concentração de clorofila e oxigênio dissolvido – e organismos onívoros e/ou predadores, como os copépodes e quetognatos, ligados às estações dominadas pela Água Tropical, de maior temperatura e salinidade (Figura VI.3.5-1).

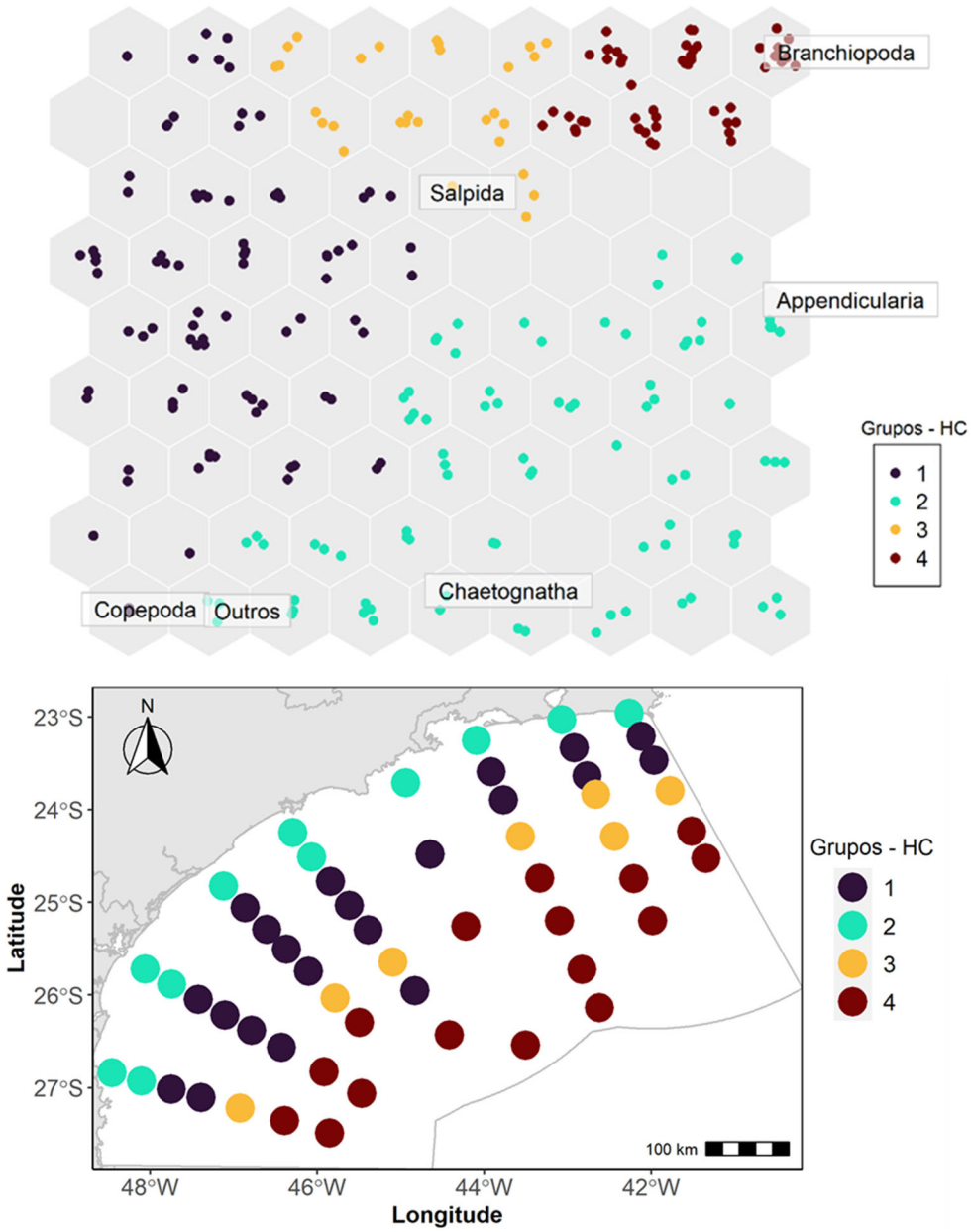


Figura VI.3.4-1: *Distribuição e agrupamento e da comunidade zooplanctônica ilustrados pela rede de neurônios do Self-Organizing Maps (SOM) e o resultado do Hierarchical Clustering (HC) no mapa, mostrando a distribuição dos grupos formados na campanha de inverno na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

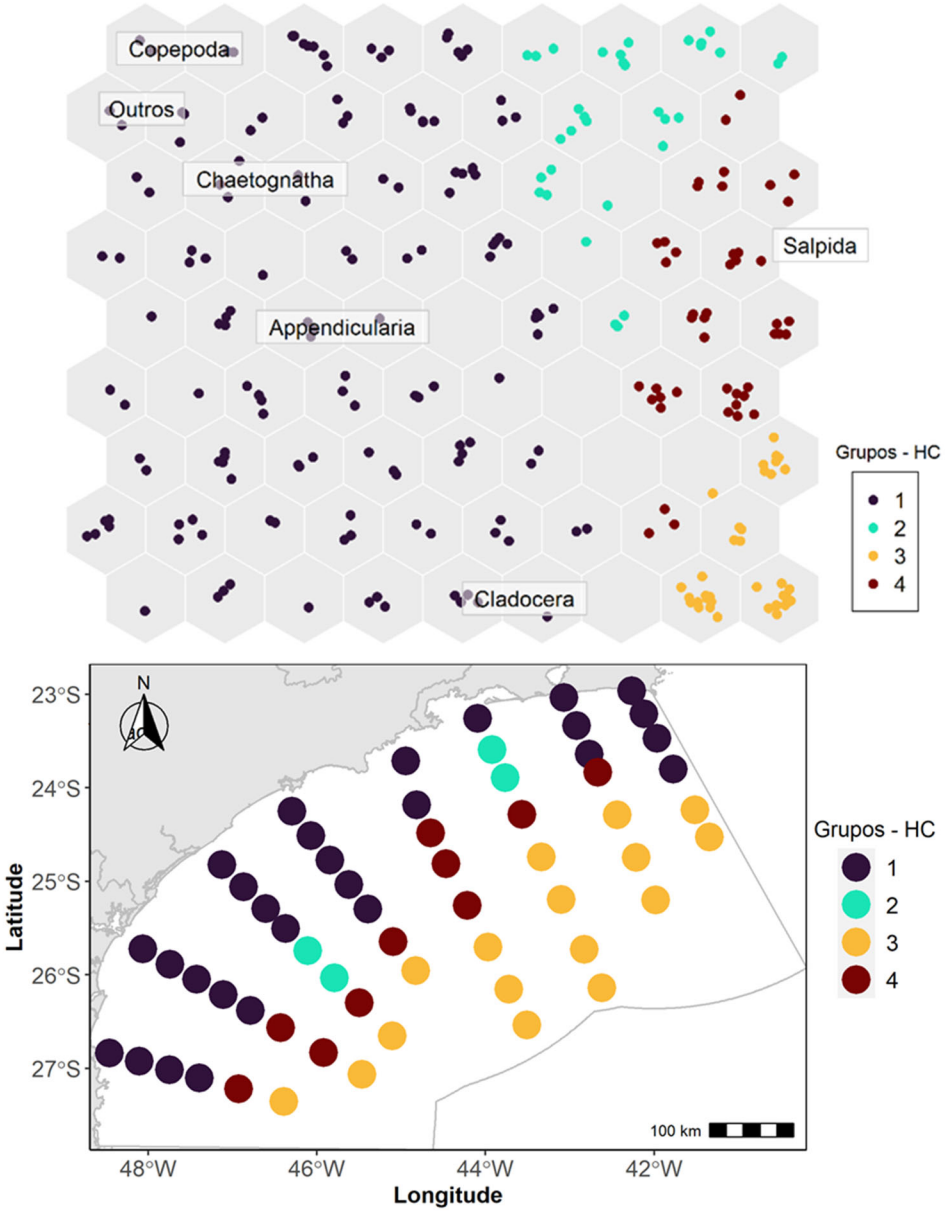


Figura VI.3.4-2: *Agrupamento e distribuição da comunidade zooplanctônica ilustrados pela rede de neurônios do Self-Organizing Maps (SOM) e o resultado do Hierarchical Clustering (HC) no mapa, mostrando a distribuição dos grupos formados na campanha de verão na Bacia de Santos.*

O eixo 1 da RDA com as principais espécies de copépodes e dados ambientais representa a variação costa-oceano, separando as espécies de acordo com seus hábitos alimentares. Organismos onívoros/herbívoros, como *Ctenocalanus citer*, *Paracalanus aculeatus* e *Temora turbinata*, foram associados às estações costeiras e de plataforma interna com maior concentração de clorofila, enquanto copépodes de hábitos onívoro/detritívoros e

PÚBLICA

carnívoros, como os gêneros *Pleuromamma* e *Oncaea* e espécies de Corycaeidae, estiveram relacionados às estações de plataforma média e zona oceânica com maior temperatura e baixa concentração de clorofila (Figura VI.3.5-2).

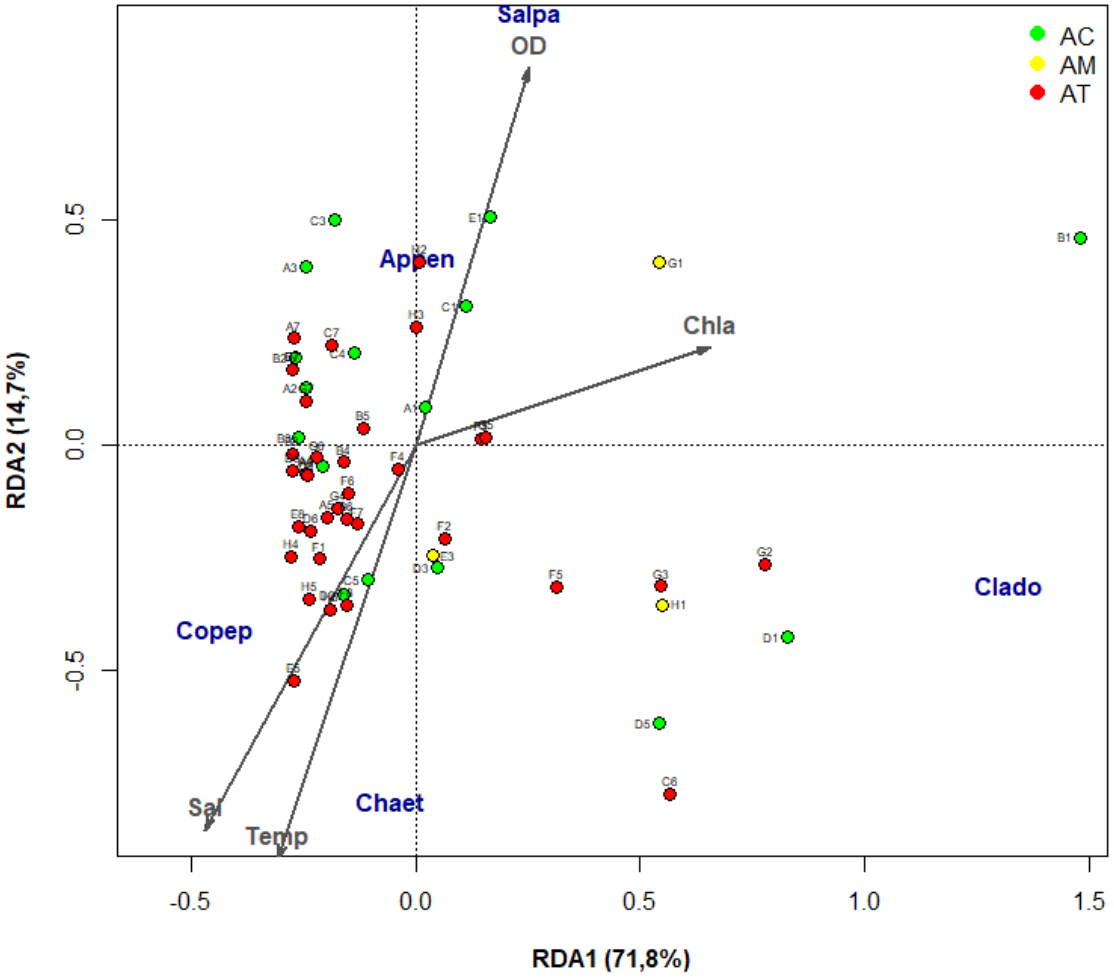


Figura VI.3.5-1: *Primeiro e segundo eixos da Análise de Redundância (RDA)* realizada com dados ambientais e zooplâncton coletados na Bacia de Santos. Chla - Clorofila-a; OD - oxigênio dissolvido; Sal – salinidade; Temp – temperatura; letras e números – transectos e estações de amostragem. AC – Água Costeira; AM – Água de Mistura; AT – Água Tropical. As siglas em azul representam os principais grupos do zooplâncton: Appen – Appendicularia; Chaet – Chaetognatha; Clado – Cladocera; Copep – Copepoda; Salpa – Salpida. *A amostra C2 foi removida da análise devido à alta abundância de Salpida e consequente agrupamento de todas as outras variáveis.*

PÚBLICA

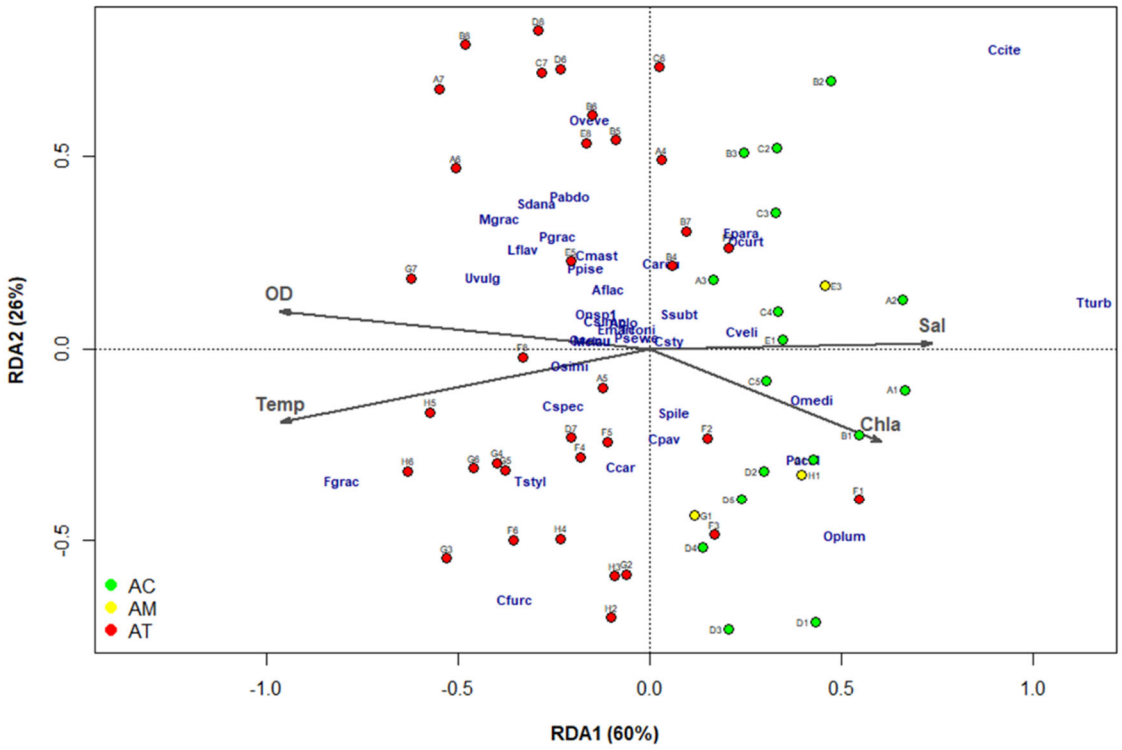


Figura VI.3.5-2: *Primeiro e segundo eixos da Análise de Redundância (RDA) realizada com dados ambientais e as principais espécies de Copepoda coletados na Bacia de Santos. Chla - Clorofila-a; OD - oxigênio dissolvido; Temp – temperatura; Sal - salinidade; letras e números – transectos e estações de amostragem. AC – Água Costeira; AM – Água de Mistura; AT – Água Tropical. As siglas em azul representam as espécies de Copepoda: Aclo - **Acrocalanus longicornis**; Aflac - **Agetus flaccus**; Ccar - **Calanoides carinatus**; Cpav - **Calocalanus pavo**; Csty - **Calocalanus styliremis**; Cveli - **Centropages velificatus**; Carcu - **Clausocalanus arcuicornis**; Cfurc - **Clausocalanus furcatus**; Cmast - **Clausocalanus mastigophorus**; Cspec - **Corycaeus speciosus**; Ccite - **Ctenocalanus citer**; Emari - **Euchaeta marina**; Epara - **Euchaeta paraconcinna**; Fgrac - **Farranula gracilis;** Lfluv - **Labidocera fluviatilis**; Mgrac - **Macrosetella gracilis**; Mclau - **Mecynocera clausi**; Nmino - **Nannocalanus minor**; Oplum - **Oithona plumifera**; Osimi - **Oithona similis**; Omedi - **Oncaea** cf. **media**; Ocurt - **Oncaea curta**; Onsp1 - **Oncaea** sp1; Ovenu - **Oncaea venusta**; Oveve - **Oncaea venusta venella**; Ogies - **Onychocorycaeus giesbrechti**; Pacul - **Paracalanus aculeatus**; Psewe - **Pareucalanus sewelli;** Pabdo - **Pleuromamma abdominalis**; Pgrac - **Pleuromamma gracilis**; Ppise - **Pleuromamma piseki**; Sdana - **Scolecithrix danae**; Spile - **Subeucalanus pileatus**; Ssubt - **Subeucalanus subtenuis**; Tstyl - **Temora stylifera**; Tturb - **Temora turbinata**; Tconi - **Triconia** cf. **conifera**; Uvulg - **Undinula vulgaris**.*

PÚBLICA

VI.3.6 Espécies indicadoras

Na Bacia de Santos, várias espécies, como *Flaccisagitta enflata, Pseudevadne tergestina, Parasagitta friderici*, *Serratosagitta serratodentata* e *Temora turbinata,* foram indicadoras do estrato de 25-0m, enquanto apenas *Dolioletta gegenbauri* foi indicadora de 1100-550m (Tabela VI.3.6-1).

Em relação ao gradiente costa-oceano, somente *Oikopleura longicauda*, *Doliolum nationalis*, *Thalia democratica*, *Temora turbinata* e *Oithona plumifera,* entre outras foram as espécies indicadoras da plataforma continental (Tabela VI.3.6-2). *Dolioletta gegenbauri* e *Oncaea venusta venella* foram indicadoras dos setores norte e sul, respectivamente (Tabela VI.3.6-2).

Das sete massas d'água, apenas a Água de Mistura (AM) e a Água Costeira (AC) registraram espécies indicadoras (Tabela VI.3.6-3). *Pseudevadne tergestina, Oikopleura longicauda, Triconia* cf. *conifera* e *Oithona plumifera*, entre outras, foram indicadoras de AM, enquanto *Temora turbinata* foi a única espécie indicadora de AC (Tabela VI.3.6-3).

Tabela VI.3.6-1: *Espécies indicadoras dos estratos amostrados na Bacia de Santos.*

Espécie	Estrato (m)	IndVal	*p*
Flaccisagitta enflata	25-0	78,4	0,0002
Dolioletta gegenbauri	1100-550	75,6	0,0002
Pseudevadne tergestina	25-0	73,1	0,0002
Parasagitta friderici	25-0	68,8	0,0002
Serratosagitta serratodentata	25-0	65,4	0,0002
Temora turbinata	25-0	61,5	0,0002
Krohnitta pacifica	25-0	58,6	0,0002
Evadne spinifera	25-0	58,2	0,0002
Oikopleura fusiformis	25-0	56,7	0,0038
Penilia avirostris	25-0	56,4	0,0002
Pterosagitta draco	25-0	56,0	0,0002
Thalia democratica	25-0	54,4	0,0152
Oikopleura longicauda	25-0	53,9	0,0180
Doliolum nationalis	25-0	50,1	0,0004

PÚBLICA

Tabela VI.3.6-2: *Espécies indicadoras das regiões amostradas na Bacia de Santos.*

Espécie	Região	IndVal	*p*
Oikopleura longicauda	Plat. continental	92,1	0,0002
Doliolum nationalis	Plat. continental	78,6	0,0002
Thalia democratica	Plat. continental	72,7	0,0002
Temora turbinata	Plat. continental	67,8	0,0002
Oithona plumifera	Plat. continental	67,6	0,0002
Clausocalanus furcatus	Plat. continental	66,1	0,0002
Pseudevadne tergestina	Plat. continental	64,6	0,0002
Penilia avirostris	Plat. continental	63,2	0,0002
Dolioletta gegenbauri	Plat. continental	62,1	0,0008
Oncaea venusta	Plat. continental	62,0	0,0022
Oikopleura fusiformis	Plat. continental	61,7	0,0002
Temora stylifera	Plat. continental	60,6	0,0002
Oncaea venusta venella	Plat. continental	59,3	0,0004
Flaccisagitta enflata	Plat. continental	54,4	0,0002
Triconia cf. conifera	Plat. continental	52,2	0,0160
Dolioletta gegenbauri	Norte	61,4	0,0006
Oncaea venusta venella	Sul	59,4	0,0002

Tabela VI.3.6-3: *Espécies indicadoras de massas de água na Bacia de Santos.*

Espécie	Massa d'água	IndVal	*p*
Pseudevadne tergestina	AM	70,2	0,0080
Oikopleura longicauda	AM	69,8	0,0226
Triconia cf. *conifera*	AM	63,5	0,0150
Oithona plumifera	AM	62,9	0,0120
Temora stylifera	AM	53,3	0,0248
Temora turbinata	AC	52,3	0,0208
Calocalanus styliremis	AM	51,9	0,0148
Decipisagitta decipiens	AM	50,3	0,0190

PÚBLICA

VI.4 Discussão

A comunidade zooplanctônica na área de estudo foi dominada por grupos holoplanctônicos e mostrou um típico padrão de distribuição em relação à distância da costa; tanto a biomassa quanto a abundância total foram significativamente superiores na plataforma continental quando comparada com a zona oceânica. Como visto no Capítulo I deste volume, a região nerítica sobre a plataforma continental na Bacia de Santos está sujeita a maior disponibilidade de nutrientes, principalmente por aportes continentais pontuais e intrusão de massas de água. Isto pode levar à um aumento na densidade dos produtores primários e, por consequência, na biomassa e abundância do zooplâncton (Longhurst, 1985; Strom, 2002).

Apesar da abundância média total do zooplâncton ter sido significativamente superior na porção sul nos dois períodos amostrados, foi possível observar, na camada mais superficial da coluna d'água, picos de abundância ao sul no inverno e ao norte no verão. Estes picos mostram a influência da Frente Subtropical de Plataforma (FSP) no inverno e do aporte continental da Baía de Guanabara e ressurgência da Água Central do Atlântico Sul, a ACAS, durante o verão ~~na Bacia de Santos~~. O efeito da FSP - formada pela pluma do Rio da Prata - foi relatado principalmente para a abundância de copépodes na costa de Santa Catarina (Becker *et al.*, 2018; Menezes *et al.*, 2019), que corresponde ao transecto mais ao sul do atual estudo.

Os copépodes foram os organismos zooplanctônicos mais abundantes e diversos na Bacia de Santos durante o período estudado, corroborando com outros estudos realizados em águas brasileiras (Bonecker *et al.*, 2014; Dias *et al.*, 2018; Teixeira-Amaral *et al.*, 2017). Copepoda é o grupo mais importante do holoplâncton e representa acima de 70% da abundância do zooplâncton (Chisholm & Roff, 1990; Brandini *et al.*, 1997; Bonecker *et al.*, 2017). O aumento de cladóceros (Branchiopoda) em algumas estações está associado a rápida capacidade de reprodução partenogenética desses organismos, através da liberação de óvulos viáveis (Marazzo & Valentin, 2004). O predomínio de Copepoda também foi substituído por Salpida em uma estação da região sul. O crescimento populacional de salpas está entre os maiores dentre os

PÚBLICA

metazoários; quando em condições favoráveis, esses organismos podem ser responsáveis por *blooms* repentinos e pontuais, consumindo todo o alimento disponível rapidamente (Esnal & Daponte, 1999b; Carvalho & Bonecker, 2006; Miglietta *et al*., 2008).

Copepoda foi o único grupo zooplanctônico a apresentar registro de novas ocorrências para a Bacia de Santos, sendo que apenas uma havia sido registrada no Brasil, em Atol das Rocas, enquanto o restante ainda não havia sido registrado no Atlântico Sudoeste (Tabela VI.4-1). Todas estas espécies foram encontradas nas camadas mais profundas. Destas, seis espécies pertencem à família Aetideidae, que é majoritariamente de águas profundas (Markhaseva, 1996). Estes dados demonstram a importância da amostragem estratificada em águas mais profundas para a ampliação do conhecimento sobre a biodiversidade do zooplâncton em águas brasileiras.

Tabela VI.4-1. *Novos registros e expansão de ocorrência na plataforma continental brasileira e Atlântico Sudoeste das espécies de mesozooplâncton coletadas neste estudo.*

Táxon	Distribuição anteriormente conhecida	Referências
Copepoda		
Chirundinella magna	Atlântico (tropical- Centro-Sul, Golfo de Guiné, África do Sul e Naníbia, Mar do Caribe), Pacífico (Equatorial oeste, Tropical sudeste) e Índico.	1, 4
Euchirella maxima	Atlântico (tropical- Centro-Sul, Golfo de Guiné, ?África do Sul e Naníbia, Mar do Caribe), Pacífico, Índico e Antártida.	1, 4
Pseudochirella obtusa	Atlântico (tropical- Golfo de Guiné e temperado), Pacífico, Índico e Antártida.	1, 4
Valdiviella insignis	Atlântico (tropical-Centro-Sul, temperado e boreal), Pacífico, Índico e Antártida.	1, 2, 4
Valdiviella oligarthra	Atlântico (Golfo de Guiné, ?África do Sul e Naníbia), Pacífico, Índico e Antártida.	1, 4
Arietellus simplex	Atlântico (tropical- Golfo de Guiné, temperado e boreal), Pacífico, Índico e Antártida.	1, 2, 4

(continuação Tabela VI.4-1)

PÚBLICA

Megacalanus princeps	Atlântico (tropical- Centro-Sul e Brasil - Atol das Rocas, temperado e boreal), Pacífico, Índico e Antártida.	1, 2, 3, 4
Nullosetigera bidentata	Ampla distribuição, exceto: Atlântico sul, Ártico, Pacífico noroeste e sudoeste.	1, 4
Amallothrix valida	Atlântico (tropical- ?África do Sul e Naníbia, temperado e boreal), Pacífico (Noroeste do Pacífico e Chile), Índico e Antártida.	1, 4

Referências: (1) Bradford-Grieve *et al.* (1999); (2) Razouls *et al.* (2000); (3) Alves-Júnior *et al.* (2017); (4) Razouls *et al.* (2005-2022).

As espécies indicadoras de 0 a 25 metros são comumente encontradas nessas profundidades e classificadas como epipelágicas (Bonecker, 2006; Bonecker *et al.*, 2014). Dentre elas, as espécies *Flaccisagitta enflata, Parasagitta friderici, Serratosagitta serratodentata, Krohnitta pacifica, Oikopleura fusiformis, Pterosagitta draco, Thalia democratica, Oikopleura longicauda* e *Doliolum nationalis* já foram indicadoras de massa de água superficial no período noturno na Bacia de Campos (Bonecker *et al.*, 2018). Na Bacia de Sergipe-Alagoas as espécies *Temora turbinata e Penilia avirostris* foram indicadoras da zona epipelágica, camada que compreende a profundidade de 0 a 25 metros como no atual estudo (Schwamborn *et al*., 2019).

O taliáceo *Dolioletta gegenbauri* foi a única espécie indicadora de profundidades inferiores (1100-550m), embora a abundância dessa espécie tenha uma grande importância em águas superficiais (Ishak *et al.*, 2020). Segundo Frischer (2021), por serem eficientes filtradores, os doliolídeos da espécie *D. gegenbauri* podem viver em profundidades inferiores com menor concentração de fitoplâncton devido à sua alta versatilidade alimentar. A importância dessa espécie em águas profundas adjacentes à margem continental brasileira, foi confirmada (Bonecker *et al.*, 2018) sendo *D. gegenbauri* responsável pela formação das comunidades do zooplâncton nas camadas de 200 a 1200 metros na Bacia de Campos.

Dentre as espécies indicadoras das diferentes regiões da Bacia de Santos, todas foram registradas tanto na plataforma quanto no talude da Bacia de Campos, não sendo exclusivas de uma determinada área (Bonecker *et al.*, 2014). Nas bacias de Sergipe e Alagoas as espécies *Temora turbinata e*

PÚBLICA

Flaccisagitta enflata foram indicadoras de águas neríticas e oceânicas (Schwamborn *et al*., 2019), que corrobora com o resultado do atual estudo, indicando a preferência dessas espécies por águas de plataforma, ambiente de transição entre as regiões costeiras e oceânicas.

Por outro lado, *Penilia avirostris*, indicadora de plataforma continental no atual estudo, foi indicadora de águas oceânicas na região de Sergipe e Alagoas (Schwamborn *et al*., 2019). Essa função indicadora de *P. avirostris* para a região de plataforma da Bacia de Santos está associada a alta abundância da espécie em estações mais costeiras principalmente no verão, superando em alguns pontos, com outros cladóceros, a quantidade de copépodes. Estes dados corroboram com as informações de que *P. avirostris* é considerada uma espécie típica de águas quentes e costeiras (Resgalla Jr., 2008; Domingos-Nunes & Resgalla Jr., 2012). Esse aumento populacional de *P. avirostris* demonstra um resultado combinado da capacidade de reprodução da espécie por partenogênese, adaptação à temperatura da água e a estratégia alimentar mais eficiente (Broglio *et al*., 2004).

A maioria das espécies de zooplâncton foi indicadora da Água de Plataforma (AP) misturada, exceto o copépode *Temora turbinata*, que foi indicador de Água Costeira. *T. turbinata* é dominante em ambiente costeiro e estuarino (Dias *et al*., 2018), sendo uma espécie invasora já estabelecida em diversas áreas da costa brasileira (Ministério do Meio Ambiente, 2009). Em um estudo realizado na Baía de Bengala, na costa da Índia, *T. turbinata* foi indicadora de massas de água de ressurgência, sendo uma das espécies mais abundantes e frequentes (Jagadeesan *et al*., 2019), o que mostra uma alta capacidade dessa espécie de viver em condições oceanográficas distintas.

Todas as espécies indicadoras da AM no atual estudo também ocorreram na Bacia de Campos, com exceção de *Calocalanus styliremis* (Bonecker *et al*., 2014). *Oikopleura longicauda* também foi uma espécie indicadora de Água Costeira na Bacia de Campos (Carvalho & Bonecker, 2016). Sua dominância em condições oceanográficas distintas já foi descrita em vários estudos na costa brasileira (Carvalho & Bonecker, 2016; Schwamborn *et al*., 2019; Dias *et al*., 2020).

PÚBLICA

A classificação espacial da comunidade zooplanctônica indica um acoplamento entre o zooplâncton e o ambiente oceanográfico da Bacia de Santos. A Análise de Redundância (RDA) confirmou que tanto no inverno quanto no verão a comunidade zooplanctônica na região mais próxima à costa difere do zooplâncton encontrado na plataforma média e na zona oceânica. A RDA também mostrou uma associação entre organismos filtradores e onívoros/herbívoros na região costeira, enquanto onívoros/detritívoros e carnívoros foram relacionados à região oceânica oligotrófica. Em uma escala espacial menor, estes resultados também foram encontrados por Menezes *et al.* (2019), que relataram o domínio de copépodes herbívoros na região costeira, mais rica em nutrientes e fitoplâncton durante o inverno, enquanto copépodes omnívoros foram associados à maior abundância de microzooplâncton e menor disponibilidade de nutrientes na região mais afastada da costa durante o verão.

VI.5 Conclusão

O zooplâncton da Bacia de Santos mostrou características semelhantes às comunidades zooplanctônicas de outras bacias sedimentares da costa brasileira com maiores concentrações nas camadas superficiais, sobretudo de copépodos que dominaram a comunidade da plataforma continental. O registro de novas ocorrências para a região e para o Atlântico sudoeste confirmaram a importância do monitoramento da comunidade zooplanctônica para o conhecimento da biodiversidade marinha brasileira.

VI.6 Referências Bibliográficas

Andres, N., Lima, V., & Giordano, F. 2021. Caracterização do zooplâncton na região do Parque Estadual Marinho da Laje de Santos. **UNISANTA Bioscience**, 10(1): 41-47.

Alves-Júnior, F.A., Correia, E.P., Figuereido, L.G.P., Cunha, A.G., Bertrand, A., Neumann-Leitão, S. 2017. First report of deep-sea copepod *Megacalanus*

princeps Wolfenden, 1904 (Calanoidea: Megacalanidae) from southwestern Atlantic. **Nauplius**, 25: 1-4.

Batten, S.D., Abu-Alhaija, R., Chiba, S., Edwards, M., Graham, G., Jyothibabu, R., Kitchener, J.A., Koubbi, P., McQuatters-Gollop, A., Muxagata, E., Ostle, C., Richardson, A.J., Robinson, K.V., Takahashi, K.T., Verheye, H.M., Wilson, W. 2019. A global plankton diversity monitoring program. **Frontiers in Marine Science**, 6:321.

Becker, É.C., Eiras Garcia, C.A., Freire, A.S. 2018. Mesozooplankton distribution, especially copepods, according to water masses dynamics in the upper layer of the Southwestern Atlantic shelf (26°S to 29°S). **Continental Shelf Research**, 166: 10-21. https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.06.011

Björnberg, T. 1981. **Copepoda.** *In*: D. Boltovskoy (Ed.) Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Mar del Plata, INIDEP. Pp. 587-679.

Boltovskoy, D. 1981. **Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino**. Mar del Plata, INIDEP, 936p.

Boltovskoy, D. 1999. **South Atlantic Zooplankton**. Leiden, Backhuys Publishers.

Bonecker, A.C.T., Dias, C.O., Castro, M.S., Carvalho, P.F., Araujo, A.V., Paranhos, R., Cabral, A.S., Bonecker, S.L.C. 2018. Vertical distribution of mesozooplankton and ichthyoplankton communities in the South-western Atlantic Ocean (23°14′1″S 40°42′19″W). **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, 99(1): 51-65. doi:10.1017/S0025315417001989

Bonecker, S.L.C. 2006. **Atlas de zooplâncton da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira**. Museu Nacional Série livros n. 21. Rio de Janeiro, Brasil. 232 pp.

Bonecker, S.L.C., Araujo, A.V., Carvalho, P.F., Dias, C.O., Loureiro Fernandes, L.F., Migotto, A.E., Oliveira, O.M.P. 2014. Horizontal and vertical distribution of mesoplankton species richness and composition down to 2,300 m in the southwest Atlantic Ocean. **Zoologia**, 31(5): 445–462. http://dx.doi.org/10.1590/S1984-46702014000500005

Bonecker, S.L.C., Araújo, A.V., Carvalho, P.F., Dias, C.O., Fernandes, L.F.L., Aguilar, T.I.M., Lopes, R.M. 2017. **Estrutura espacial e temporal da comunidade zooplanctônica**. *In*: Falcão, A.P.C., Moreira, D.L., editores. Ambiente pelágico: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste. Rio de Janeiro: Elsevier. Habitats, v. 5. Pp. 171-206.

Bonecker, S.L.C., Carvalho, P.F. 2006. **Appendicularia**. *In*: Bonecker, S.L.C., editor. Atlas da região central da zona econômica exclusiva brasileira. Rio de Janeiro: Museu Nacional. Série de livros, v. 21. Pp. 185-202.

Bonecker, S.L.C., Quintas, M.C.C. 2006. **Salpidae**. *In*: Bonecker, S.L.C., editor. Atlas da região central da zona econômica exclusiva brasileira. Rio de Janeiro: Museu Nacional. Série livros, v. 21. Pp. 203-214.

Bradford-Grieve, J.M., Markhaseva, E.L., Rocha, C.E.F., Abiahy, B. 1999. **Copepoda**. *In*: D. Boltovskoy (Ed.). South Atlantic Zooplankton. Leiden, Backhuys Publishers, 2, Pp.869-1098.

Brandini, F.P., Lopes, R.M., Gutseit, K.S., Spach, H.L., Sassi, R. 1997. **Planctologia na Plataforma Continental do Brasil – Diagnose e Revisão Bibliográfica**. Rio de Janeiro, RJ. FEMAR.

Broglio, E., Saiz, E., Calbet, A., Trepat, I., & Alcaraz, M. (2004). Trophic impact and prey selection by crustacean zooplankton on the microbial communities of an oligotrophic coastal area (NW Mediterranean Sea). *Aquatic Microbial Ecology*, *35*(1), 65-78.

Carvalho, P.F., Bonecker, S.L.C. 2016. Variação da composição e abundância das espécies da Classe Appendicularia e seu uso como potenciais bioindicadoras de regiões e massas de água superficiais na área da Bacia de Campos, Rio de Janeiro, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia,** 106: e2016022.

Chiba, S., Batten, S., Martin, C.S., Ivory, S., Miloslavich, P., Weatherdon, L.V. 2018. Zooplankton monitoring to contribute towards addressing global biodiversity conservation challenges. **Journal of Plankton Research**, 40(5): 509-518.

Chisholm, L.A., Roff, J.C. 1990. Abundances, growth rates, and production of tropical neritic copepods off Kingston, Jamaica. **Marine Biology,** 106: 79-89

Dias, C.O., Bonecker, A.C.T., Castro, M.S., Carvalho, P.F., Paranhos, R., Bonecker, S.L.C. 2020. Holoplankton and meroplankton of three western

Atlantic sedimentary basins. **Marine Biology Research**, 16(10): 695-713, DOI: 10.1080/17451000.2021.1894341

Dias, C.O., Carvalho, P.F., Bonecker, A.C.T., Bonecker, S.L. C. 2018. Biomonitoring of the mesoplanktonic community in a polluted tropical bay as a basis for coastal management. **Ocean & Coastal Management**, 161: 189-200.

Domingos-Nunes, R., Resgalla Jr., C. 2012. The zooplankton of Santa Catarina continental shelf in southern Brazil with emphasis on Copepoda and Cladocera and their relationship with physical coastal processes. **Latin American Journal of Aquatic Research,** 40: 893–913.

Dufrêne, M., Legendre, P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs**, 67: 345–366.

Esnal, G.B., Daponte, M.C., 1999a. **Doliolidae**. *In*: Boltovskoy, D., editor. South Atlantic Zooplankton. Leiden: Backhuys Publishers. p. 1409-1421.

Esnal, G.B., Daponte, M.C. 1999b. **Salpida**. *In*: Boltovskoy, D. (Ed.) South Atlantic Zooplankton, Backhuys Publishers, Leiden, p. 1423-1444.

Espino, G.L. 2000. **Critérios generales para la elección de bioindicadores.** *In*: Espino, G.L., Pulido, S.H., Pérez, J.L.C. Organismos indicadores de la calidad del água y de la contaminación (bioindicadores). México: Plaza y Váldez, S.A. de C. V. p. 17-41.

Frischer, M.E., Lamboley, L.M., Walters, T.L., Brandes, J.A., Arneson, E., Lacy, L.E., López-Figueroa, N.B., Rodríguez-Santiago, Á.E., Gibson, D.M. 2021. Selective feeding and linkages to the microbial food web by the doliolid *Dolioletta gegenbauri.* **Limnology and Oceanography,** *66*(5): 1993-2010.

Heiberger, R.M. 2022. **HH: Statistical Analysis and Data Display: Heiberger and Holland.** R package version 3.1-47. https://CRAN.R-project.org/package=HH

Ishak, N.H.A., Tadokoro, K., Okazaki, Y., Kakehi, S., Suyama, S., Takahashi, K. 2020. Distribution, biomass, and species composition of salps and doliolids in the Oyashio–Kuroshio transitional region: potential impact of massive bloom on the pelagic food web. **Journal of Oceanography**, *76*(5): 351-363.

Jagadeesan, L., Kumar, G.S., Rao, D.N., Srinivas, T.N.R. 2019. Role of eddies in structuring the mesozooplankton composition in coastal waters of the western Bay of Bengal. **Ecological Indicators,** 105: 137-155.

Kohonen, T. 2001. **Self-organizing maps**. 3rd edition, Berlin: Springer.

Landry, M.R., Beckley, L.E., Muhling, B.A. 2019. Climate sensitivities and uncertainties in food-web pathways supporting larval bluefin tuna in subtropical oligotrophic oceans, **ICES Journal of Marine Science**, 76: 359–369, https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy184, 2019.

Legendre, P., Legendre, L. 2012. **Numerical ecology**, 3rd ed. Elsevier Science, Amsterdam.

Longhurst, A. 1985. The structure and evolution of plankton communities. **Progress in Oceanography**, 15: 1–35. doi:10.1016/0079-6611(85)90036-9

Markhaseva, E.L. 1996. Calanoid copepods of the family Aetideidae of the World Ocean. St. Petersburg, Trudy Zoologicheskogo Instituta RAN. Vol. 268, 331 pp.

Marazzo, A., Valentin, J.L. 2004. Reproductive aspects of marine cladocerans *Penilia avirostris* and *Pseudevadne tergestina* (Crustacea, Branchiopoda) in the outer part of Guanabara Bay, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, 64(3): 543-549.

McCune, B., Mefford, M.J. 1999. **PC-ORD: Multivariate Analysis of Ecological Data**. Version 5.12. MjM Software, Gleneden Beach, OR, USA

Menezes, B.S., Macedo-Soares, L.C.P., Freire, A.S. 2019. Changes in the plankton community according to oceanographic variability in a shallow subtropical shelf: SW Atlantic. **Hydrobiologia,** 835: 165-178. https://doi.org/.10.1007/s10750-019-3936-5

Miglietta, M.P., Rossi, M., Collin, R. 2008. Hydromedusa blooms and upwelling events in the Bay of Panama, Tropical East Pacific. **Journal of Plankton Research**, 30(7): 783-793.

Ministério do Meio Ambiente, 2009. **Informe sobre as espécies exóticas invasoras marinhas no Brasil.** 440p. http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/

Neumann-Leitão, S., Schwamborn, R., Diaz, X.F.G., Melo Junior, M. (Eds.). **Biodiversidade Marinha da Bacia Potiguar / RN. Zooplâncton**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2017.

O'Brien, T.D., Lorenzoni, L., Isensee, K., Valdes, L. 2017. What are Marine Ecological Time Series telling us about the ocean? A status report. **IOC-UNESCO, IOC Technical Series**, 129: 1–297.

Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., Szoecs, E., Wagner, H. 2020. **vegan: Community Ecology Package**. R package version 2.5-7. https://CRAN.R-project.org/package=vegan

Razouls, S., Razouls, C., de Bovée, F. 2000. Biodiversity and biogeography of Antarctic copepods. **Antarctic Science**, 12: 343–362. https://doi.org/10.1017/S0954102000000407

Razouls, C., Desreumaux, N., Kouwenberg, J., de Bovée, F. 2005-2022. Biodiversity of Marine Planktonic Copepods (morphology, geographical distribution, and biological data). **Sorbonne University, CNRS**, http://copepodes.obs-banyuls.fr/em, Acessado em: 28-10-2022.

R Core Team, 2021. **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/.

Resgalla Jr., C. 2008. Pteropoda, Cladocera and Chaetognatha associations as hydrological indicators in the southern Brazilian Shelf. **Latin American Journal of Aquatic Research**, 36 (2): 271–282.

Resgalla Jr., C. 2022. Zooplankton variability and possible oceanographic anomalies from 1996 to 2009 on the south coast of Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 94(3): e20201504. https://doi.org/10.1590/0001-3765202220201504

Schwamborn, R., Neumann Leitão, S., Silva, A.P., Lira, S.M.A., Costa, D.F.M., Díaz, X.F.G., Figueirêdo, L.G.P., Costa, A. E. S. F., Lima, C.D.M., Nascimento, D.A., Correia, E.P., Santos, G.S., Oliveira, G.M., Teixeira, I.A., Fernandes, L.D.A., Melo, P.A.C., Campelo, R.P.S., Silva, T.A., Santos, Z.F. 2019. **Zooplâncton e Zoonêuston na Bacia de Sergipe e Sul de Alagoas**. *In*:

Moreira, D.L., Carneiro, M.E.R., Silva, A.P., Schwamborn, R. (Organizadores). Ambiente Pelágico da Bacia de Sergipe-Alagoas. Editora UFS, 575p.

Sailley, S.F., Polimene, L., Mitra, A., Atkinson, A., Allen, J.I. 2015. Impact of zooplankton food selectivity on plankton dynamics and nutrient cycling. **Journal of Plankton Research**, 37:519–529.

Shropshire, T.A., Morey, S.L., Chassignet, E.P., Bozec, A., Coles, V.J., Landry, M.R., Swalethorp, R., Zapfe, G., Stukel, M.R. 2020. Quantifying spatiotemporal variability in zooplankton dynamics in the Gulf of Mexico with a physical-biogeochemical model. **Biogeosciences**, 17:3385–3407, https://doi.org/10.5194/bg-17-3385-2020

Strom, S.L. 2002. Novel interactions between phytoplankton and microzooplankton: their influence on the coupling between growth and grazing rates in the sea. **Hydrobiologia**, 480:41–54

Teixeira-Amaral, P., Amaral, W.J.A., Ortiz, D.O., Agostini, V.O., Muxagata, E. 2017. The mesozooplankton of the Patos Lagoon Estuary, Brazil: trends in community structure and secondary production. **Marine Biology Research,** 13: 48-61.

Todd, C.D., Laverack, M.S., Boxshall, G.A. 1996. Coastal marine zooplankton: A practical manual for students. **Cambridge University Press**.

Troina, G.C., Riekenberg, P., van der Meer, M.T., Botta, S., Dehairs, F., Secchi, E.R. 2021. Combining isotopic analysis of bulk-skin and individual amino acids to investigate the trophic position and foraging areas of multiple cetacean species in the western South Atlantic. **Environmental Research**, 201:111610.

Vieira, D.C., & Fonseca, G. 2022. **iMESc**: An Interactive Machine Learning App for Environmental Science (Version 2.1.0.1) [Computer software]. https://doi.org/10.5281/zenodo.7278042

WoRMS Editorial Board. 2022. **World Register of Marine Species**, https://www.marinespecies.org, Acessado em: 28-10-2022

VI.7 Equipe Técnica

Nomes	Formação	Atuação
Prof. Dr. Sérgio Luiz Costa Bonecker	Doutor em Zoologia	Coordenação geral
Dra. Bárbara Santos Menezes	Doutora em Ecologia	Bolsista Pós Doc: análises laboratoriais, processamento de dados e confecção do relatório
Msc. Pedro Freitas de Carvalho	Mestre em Engenharia Ambiental	Técnico: análises laboratoriais, processamento de dados e confecção do relatório
Dra. Cristina de Oliveira Dias	Doutora em Zoologia	Pós doc (colaboradora): análises laboratoriais e processamento de dados
Msc. Cintia Cardoso Okada	Mestra em Oceanografia	Técnico: análises laboratoriais e processamento de dados
Maria Gabrielli Santos Ribeiro	Bióloga	Técnico: análises laboratoriais e processamento de dados
Cláudio de Souza Ressur	Bacharel	Técnico: análises laboratoriais
Luiz Henrique Souza Milione do Amaral	Aluno de Graduação em Oceanografia	Bolsista de Iniciação Cientifica: análises laboratoriais

PÚBLICA

VII. Estrutura e dinâmica espacial do ictioplâncton da Bacia de Santos

VII.1 Introdução

No âmbito do Projeto Santos estão sendo propostas várias linhas de pesquisa dentre as quais destacam-se os estudos do Sistema Pelágico da Bacia de Santos. Estudar a dinâmica espacial das condições físico-químicas e a resposta das populações planctônicas a essas forçantes ambientais é o primeiro passo para se compreender a estrutura e o funcionamento do ecossistema marinho, desde a base até os níveis tróficos superiores.

O estudo do ictioplâncton constitui-se numa linha de pesquisa de reconhecida relevância, devido à sua contribuição para diversos campos da oceanografia biológica e da ciência pesqueira, principalmente a biologia e ecologia de peixes, detecção de recursos pesqueiros e estudos relacionados à dinâmica de população dos peixes (Hempel, 1979; Matsuura & Olivar, 1999). O estudo das comunidades ictioplanctônicas é importante para entender a ecologia e a evolução da ictiofauna, aumentando o conhecimento sobre interações entre espécies e ambiente, estratégia reprodutiva, sazonalidade de desova, transporte e retenção de larvas (Moser & Smith, 1993).

As larvas de peixes sofrem influência de diversos fatores físicos e biológicos que atuam em diferentes escalas temporais e espaciais (Doyle *et al.,* 1993). No entanto seus efeitos não são os mesmos sobre todas as espécies, pois o comportamento das larvas varia em relação ao ambiente (Marancik *et al.,* 2005), e está associado, em parte, à sua grande diversidade morfológica (Moser, 1981). Além disso, os oceanos não são verticalmente homogêneos e, por esse motivo, a profundidade onde as larvas se encontram pode influenciar sua distribuição horizontal, que está relacionada, entre outros fatores, com as massas de água e os padrões de circulação locais (Doyle *et al.,* 1993; Moser & Smith, 1993; Gray & Miskiewicz, 2000; Nonaka *et al.,* 2000; Hollyday *et al.,* 2011). Considerando uma escala espacial de alguns metros, a localização das larvas em uma determinada profundidade pode influenciar sua distribuição horizontal, visto que

PÚBLICA

a direção e a velocidade das correntes podem variar de acordo com essa variável (Muhling *et al.,* 2007). No entanto, a distribuição vertical das larvas de peixes é um aspecto ainda pouco estudado em águas brasileiras (Matsuura & Kitahara,1995; Lopes, 2006; Goçalo *et al.,* 2011; Bonecker *et al.,* 2012).

A região da Bacia de Santos, especialmente até a isóbata de 100 m, é de grande relevância para a atividade pesqueira nacional, que explora comercialmente inúmeras espécies que habitam a região, tais como a sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) (Matsuura, 1998). Em função disso, essa área concentra a maior quantidade de informações sobre os ovos e as larvas de peixes na plataforma continental em detrimento da região adjacente, onde o número de informações sobre o ictioplâncton é relativamente limitado.

O estudo do ictioplâncton em escala regional e em áreas oceânicas, embora seja importante em diversos aspectos, como citado anteriormente, é extremamente raro devido ao alto custo operacional dos cruzeiros oceanográficos e da dificuldade na identificação do material. Assim, o presente projeto tem como objetivo analisar a distribuição horizontal e vertical das larvas de peixes na Bacia de Santos, associadas às características especificas e às forçantes ambientais, como a distribuição das massas de água.

VII.2 Métodos

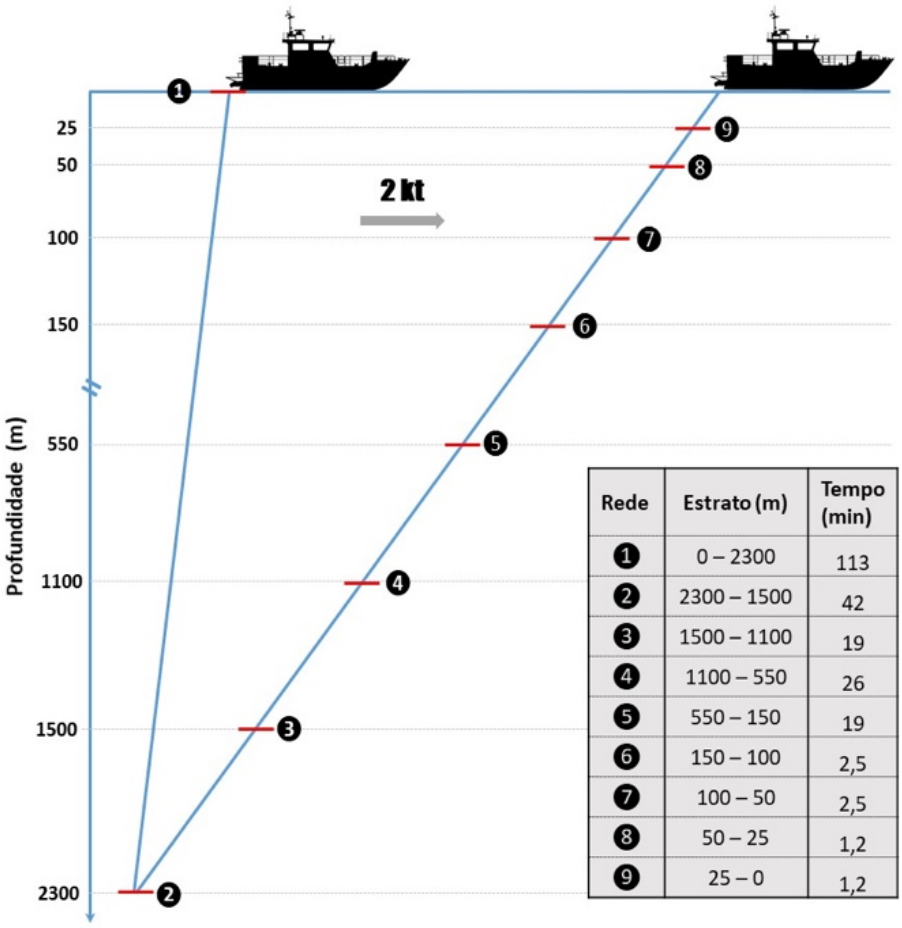
VII.2.1 Coletas de campo

A coleta do ictioplâncton na Bacia de Santos foi realizada em dois períodos sazonais (campanha de inverno/2019 e campanha de verão/2022). No inverno, foram coletadas 248 amostras em 55 estações oceanográficas e no verão foram coletadas 279 amostras em 60 estações oceanográficas, distribuídas em transectos perpendiculares à linha de costa, cobrindo as áreas nerítica, que inclui a plataforma interna (<50m), média (50-100 metros), externa (100-200 metros), e oceânica, que inclui a zona do talude (200-1000 metros) e área oceânica contigua (1000-2400 metros) (Figura I.3-2).

O ictioplâncton foi coletado utilizando-se uma rede de abertura e fechamento do tipo Multinet equipada com nove redes de 500 µm de abertura de malha, no período noturno (18h até 6h) em diferentes estratos na coluna d´água. As

PÚBLICA

amostras foram obtidas através de arrastos oblíquos em diversos níveis verticais (0-25, 25-50- 50-100, 100-150, 150-550, 550-1100, 1100-1500, 1500-2400 m), a fim de caracterizar as assembleias ictioplanctônicas das diferentes massas de água e de camadas de fronteiras biogeoquímicas que eventualmente possam alterar a distribuição vertical dos organismos (Figura VII.2.1-1). Após a coleta, as amostras foram imediatamente fixadas com formaldeído diluído a 4%, preparado com água do mar e tamponado com tetraborato de sódio.



Rede	Estrato (m)	Tempo (min)
1	0 – 2300	113
2	2300 – 1500	42
3	1500 – 1100	19
4	1100 – 550	26
5	550 – 150	19
6	150 – 100	2,5
7	100 – 50	2,5
8	50 – 25	1,2
9	25 – 0	1,2

Figura VII.2.1-1: *Esquema da coleta com a rede Multinet, estratos amostrados e tempo de arrasto estimado para cada estrato.*

VII.2.2 Análises de laboratório

Em laboratório os ovos e as larvas de peixes foram totalmente triados das amostras de plâncton sob estereomicroscópio. Inicialmente as larvas foram identificadas até o nível de família e posteriormente a níveis taxonômicos

PÚBLICA

inferiores quando possível. A identificação foi baseada nas características morfológicas (formato do corpo e da cabeça, 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, padrão de pigmentação). Nesta etapa foram utilizados principalmente os guias de identificação, Bonecker & Castro, 2006, Bonecker *et al.,* 2014, Fahay, 2007, Richards, 2006.

VII.2.2.1 Abundância

Na descrição e análise da distribuição geográfica do ictioplâncton, foi utilizada a abundância, padronizada em ind.10 m^{-2} através da fórmula:

$$N = \left(\frac{d.x}{V}\right).10$$

onde:

N= abundância de ovos ou larvas por m²;

d= profundidade máxima de coleta (m);

x= número de larvas coletadas em cada amostra;

V= volume de água filtrado (m³).

VII.2.2.2 Densidade

Na análise da distribuição vertical, comparando os diferentes estratos de coleta, foi utilizada a densidade do ictioplâncton padronizada em ind.100m^{-3} através da fórmula:

$$N = \left(\frac{x}{V}\right).100$$

onde:

N= densidade de ovos ou larvas por 100 m^3;

x= número larvas coletadas em cada amostra;

V= volume de água filtrado (m³).

O volume de água filtrado pelas redes foi calculado instantaneamente pelo programa da rede Multinet a cada metro a partir das rotações do fluxômetro acoplado ao frame da rede.

PÚBLICA

VII.2.2.3 Frequência de ocorrência

A frequência de ocorrência (FO) dos ovos e das larvas de peixes foi obtida através da fórmula:

$$FO = \left(\frac{p}{P}\right) 100$$

onde:

FO= frequência de ocorrência (%);

p = número de estações positivas para a categoria taxonômica;

P = número total de estações de coleta.

*VII.2.2.4*Diversidade

A diversidade foi estimada através do índice de Shannon (H') obtido através da fórmula:

$$H' = -\sum(pi.log2pi)$$

onde:

i = probabilidade de coleta da espécie i na população a partir de sua frequência relativa (ni.N-1);

ni= número de indivíduos da espécie i;

N= número total de indivíduos na amostra.

VII.2.3 Análises Estatísticas

A Análise de Variância Permutacional (PERMANOVA) foi utilizada para testar a hipótese de que existem diferenças significativas na assembleia, riqueza, diversidade e densidade de ovos e larvas de peixes entre as áreas da Bacia de Santos (sul e norte), regiões oceânicas (nerítica e oceânica), os estratos de profundidades (0-25, 25-50, 50-100, 100-150, 150-550, 550-1100, 1100-1500, 1500-2400 m) e os períodos de amostragem (inverno e verão). O teste a posteriori (pair-wise test) foi aplicado quando houve diferenças significativas entre os grupos de determinado fator.

Para determinar os padrões de associação entre as amostras e analisar a distribuição espacial das larvas de peixes, foi realizado análise de ordenamento pelo método de escalonamento multidimensional (n-MDS - Non-Metric Multidimensional Scaling), utilizando as rotinas disponíveis no pacote de programas PRIMER (Clarke & Gorley, 2001). O coeficiente de Bray-Curtis com

PÚBLICA

os dados transformados em raiz quadrada foi utilizado para gerar as matrizes de similaridade entre as amostras.

A Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) foi realizada utilizando-se o coeficiente de Bray-Curtis (dados de composição de larvas de peixes) e a Distância Euclidiana (riqueza e abundância de ovos e larvas de peixes), para gerar as matrizes de similaridade entre as amostras.

A rotina SIMPER (percentual de similaridade) foi utilizada para hierarquizar as espécies de larvas de peixes que mais contribuíram para as similaridades e dissimilaridades de cada grupo dentro dos fatores analisados. Foram utilizados os táxons que apresentaram FO >5%, transformados em log(x+1). Foi utilizado o programa PRIMER 6 + PERMANOVA para gerar as análises PERMANOVA, n-MDS, CAP e SIMPER.

Uma técnica de aprendizado de máquina não supervisionada, um algoritmo de treinamento de mapa auto-organizado (self organizing map - SOM) (Kohonen, 2001), foi usado para caracterizar as assembleias de larvas de peixes na Bacia de Santos nos períodos de inverno/2019 e verão/2021-2022. O SOM foi gerado usando o programa iMESc (An Interactive Machine Learning App for Environmental Science) (Vieira & Fonseca, 2022). O algoritmo básico de treinamento do SOM consiste em três fases. Na primeira fase (competitiva), o neurônio de saída que apresenta o vetor de peso com menor distância em relação à entrada é considerado o vencedor, também chamado de BMU (Best Matching Unit). Na segunda fase (cooperativa), é definida a vizinhança deste neurônio e na última fase (adaptativa), ocorre quando os pesos dos vetores de código do neurônio vencedor e de sua vizinhança são ajustados, sendo possível detectar semelhanças entre as amostras.

No presente trabalho, o processo de treinamento usou uma camada de entrada composta por 236 e 235 nós (um por taxa), no inverno e verão respectivamente, conectados aos conjuntos de dados de amostragem. Os dados de abundância das espécies de larvas de peixes (ind.10m^{-2}) foram transformados em log10(x+1) para a execução do treinamento SOM. A fase de aprendizado subsequente determinou a 'melhor unidade de correspondência' (BMU) com base no índice de Bray-Curtis. Optou-se por utilizar 1000 iterações e como funções de vizinhança entre os neurônios foi utilizado a função *bubble.*

PÚBLICA

Após o treinamento, o método de ligação WardD2 foi aplicado a uma análise de agrupamento hierárquico (HCA) para destacar conjuntos de objetos reais no mapa (Park et al., 2003). Portanto, o mapa final mostrará amostras de dados semelhantes próximas umas das outras (grupos) e amostras de dados diferentes distantes umas das outras.

Foi realizada uma ordenação multivariada para verificar a influência das condições ambientais (variáveis-explicativas) sobre a densidade de larvas (variáveis-resposta). Para calcular o tamanho do gradiente e escolher o teste, foi aplicada a análise de correspondência distendida (ACD) sobre a matriz com dados de densidade dos táxons com FO >5%, nos dois períodos amostrados separadamente. Em ambos os períodos, o gradiente foi maior do que 3, indicando tendência unimodal na distribuição das espécies (Ter Braak, 1994), sendo assim empregada a Análise de Correspondência Canônica (ACC).

A ACC é bastante útil para analisar a distribuição de espécies ao longo de gradientes ambientais, pois maximiza a separação de seus nichos (Ter Braak, 1986; Ter Braak & Prentice, 1988; Ter Braak & Verdonschot, 1995). A magnitude da correlação e o grau de restrição entre a variável ambiental e um eixo da ACC podem ser extrapolados a partir do comprimento e ângulo do vetor em relação ao eixo. Quanto mais longo e paralelo for o vetor ambiental em relação ao a um eixo, mais forte e mais exclusiva a relação entre a variável e o eixo (Ter Braak & Verdonschot, 1995).

Os valores de densidade de larvas foram transformados a partir da distância de Hellinger, dando peso baixo às espécies raras (Legendre & Gallagher, 2001). Foram utilizadas as variáveis ambientais temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, clorofila, profundidade local e estrato. O teste de permutação de Monte Carlo (9999 permutações) foi aplicado, com seleção progressiva das variáveis (forward stepwise) ($p < 0,05$). Diferenças significativas entre os dois primeiros eixos canônicos e entre a soma dos autovetores condicionados para a ACC foram testados a partir da Análise de Variância (ANOVA) (Oksanen *et al.,* 2022). Para a análise ACC foi utilizado o pacote vegan (Oksanen *et al.,* 2022) do programa R 4.2.1 (R Development Core Team, 2020).

PÚBLICA

VII.3 Resultados

VII.3.1 Composição e abundância

Foram coletados 1.988 ovos e 5.328 larvas de peixes durante o inverno e 3.109 ovos e 7.359 larvas durante o verão. A abundância total na área de estudo foi de 7.763 ovos.10 m^{-2} e 18.293 larvas.10 m^{-2} no inverno e 12.365 ovos. $10m^{-2}$ e 28.300 larvas.$10m^{-2}$ no verão, representando um aumento de 38,5% na abundância tanto de ovos quanto de larvas durante o verão em relação ao inverno. Foram identificadas 98 famílias entre as larvas de peixes (Tabela 1), com 80 famílias no inverno e 81 no verão. Ocorreram exclusivamente no inverno as famílias Albulidae, Apogonidae, Carapidae, Dactyloscopidae, Eleotridae, Lophiidae, Luvaridae, Molidae, Moridae, Notacanthidae, Percophidae, Pomatomidae. Stromateidae e a ordem Trachichthyiformes. No verão ocorreram com exclusidade as famílias Astronesthidae, Balistidae, Berycidae, Cetomimidae, Exocoaetidae, Fistulariidae, Istiophoridae, Lutjanidae, Malacosteidae, Microdesmidae, Muraenidae, Ogcocephalidae, Ostraciidae e Priacanthidae. Foram identificados 154 gêneros e 195 espécies no inverno e 153 e 192 espécies no verão (Anexo VII-1).

No inverno as famílias mais abundantes foram Sternoptychidae (21%; 3.777 larvas.$10m^{-2}$), Myctophidae (18%; 3.350 larvas.$10m^{-2}$), Gonostomatidae (18%; 3.2710 larvas.$10m^{-2}$), Bregmacerotidae (8%; 1.402 larvas.$10m^{-2}$), Phosichthyidae (5%; 878 larvas.$10m^{-2}$), Carangidae (3%; 570 larvas.$10m^{-2}$), Gempylidae (2%; 411 larvas.$10m^{-2}$) e Engraulidae (2%; 410 larvas.$10m^{-2}$). As larvas não identificadas representaram 4% da abundância total (749 larvas.10 m^{-2}).

As espécies mais abundantes foram *Maurolicus stehmanni* (18%; 3.570 larvas.$10m^{-2}$), *Cyclothone* spp (17%; 3.194 larvas.$10m^{-2}$), *Diaphus* spp (6%; 1.119 larvas.$10m^{-2}$), *Bregmaceros cantori* (6%; 1.113 larvas.$10m^{-2}$), *Myctophum affine* (5%; 821 larvas.$10m^{-2}$), *Pollichthys mauli* (4%; 594 larvas.$10m^{-2}$), Myctophidae ni (3%; 387 larvas.$10m^{-2}$), *Trachurus lathami* (2%; 499 larvas.$10m^{-2}$), *Bregmaceros atlanticus* (2%; 283 larvas.$10m^{-2}$), *Ariomma bondi* (2%; 280 larvas.$10m^{-2}$) e *Hygophum* spp (2%; 275 larvas.$10m^{-2}$).

PÚBLICA

Os táxons mais frequentes no inverno foram *Diaphus* spp (60%), *Cyclothone* spp (49%), *P. mauli*(49%), *M. affine*(44%), *Myctophidae* ni (42%), *B. cantori* (41%), *B. atlanticus* (40%), *M. stehmanni* (38%) e *Hygophum* spp (32%).

No verão as famílias mais abundantes foram Myctophidae (41%; 11.514 larvas.10m^{-2}), Gonostomatidae (16%; 4.605 larvas.10m^{-2}), Sternoptychidae (5%; 1490 larvas.10m^{-2}), Clupeidae (4%; 1017 larvas.10m^{-2}), Engraulidae (3%; 968 larvas.10m^{-2}), Bregmacerotidae (3%; 798 larvas.10m^{-2}), Phosichthyidae (3%; 790 larvas.10m^{-2}), Paralichthyidae 3%, 757 larvas.10m^{-2}) e Scombridae (2%; 604 larvas.10m^{-2}). As larvas não identificadas representaram 5% da abundância total (448 larvas.10m^{-2}) no período.

Os táxons mais abundantes foram *Diaphus* spp (16%; 4.503 larvas.10m^{-2}), *Cyclothone* spp (15%; 4.210 larvas.10m^{-2}), Myctophidae ni (10%; 2.804 larvas.10m^{-2}), *B. suborbitale* (4,6%; 1.294 larvas.10m^{-2}), *M. stehmanni* (4,2%; 1183 larvas.10m^{-2}), *M. affine* (2,8%; 809 larvas.10m^{-2}), *Engraulis anchoita* (2,4%; 677 larvas.10m^{-2}), *Sardinella brasiliensis* (2,3%; 662 larvas.10m^{-2}), *Notolychnus valdiviae* (2,1%; 610 larvas.10m^{-2}), *Syacium paillosum* (1,8%; 524 larvas.10m^{-2}), *Auxis* spp (1,6%; 470), *Lepidophanes guentheri* (1,5%; 438 larvas.10m^{-2}) e *B. atlanticus* (1,5%; 430 larvas.10m^{-2}).

No verão os táxons mais frequentes foram: *Diaphus* spp (68%), Myctophidae ni (57%), *Cyclothone* spp (50%), *M. affine* (47%), *Vinciguerria nimbaria* (43%), *P. mauli* (42%), *Benthosema suborbitale* (42%), *B. atlanticus* (38%), *Hygophum* spp (37%), *L. guentheri* (35%), *E. anchoita* (33%), *Hygophum reinhardtii* (33%), *Auxis* spp (33%), *M. stehmanni* (32%), *A. bondi* (32%), *S. papillosum* (30%) e *Bothus ocellatus* (30 %).

VII.3.2 Distribuição geográfica

*VII.3.2.1*Ovos de peixes

No inverno os ovos de peixes ocorreram em 95% das estações e no verão em 100% das estações. Os ovos foram mais abundantes na região nerítica nos dois períodos (Figuras VII.3.2.1-1 e VII.3.2.1-2). Nota-se que houve aumento na abundância de ovos na área sul e diminuição na área norte, tanto na região

PÚBLICA

nerítica quanto na oceânica durante o verão em relação ao inverno. (Figura VII.3.2.1-1 e VII.3.2.1-2).

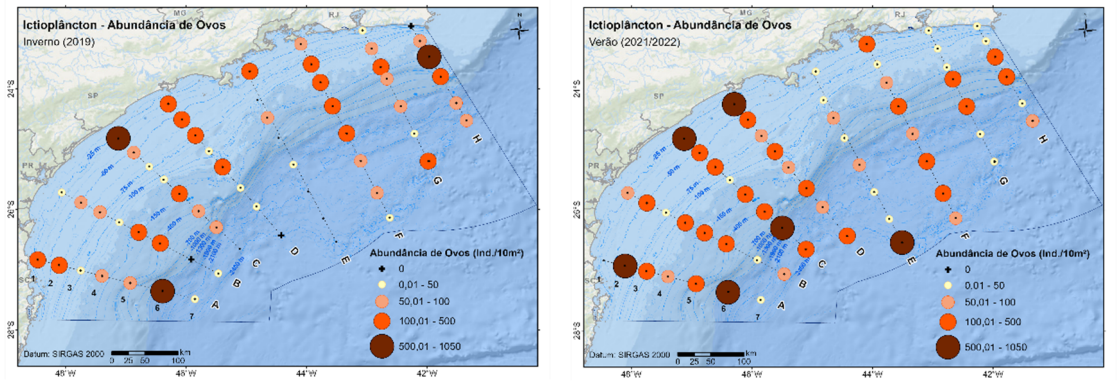


Figura VII.3.2.1-1: *Distribuição dos ovos de peixes (ind.10 m-2) na Bacia de Santos em cada estação de coleta durante o inverno (a) e o verão (b).*

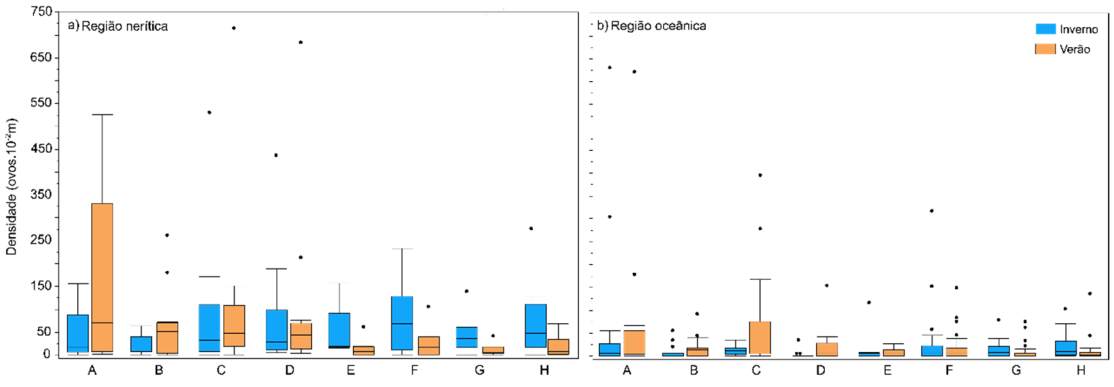


Figura VII.3.2.1-2: *Variação da abundância dos ovos de peixes (ind.10 m-2) nas estações de coleta ao longo de cada transecto nas regiões nerítica (a) e oceânica (b) no inverno e no verão na Bacia de Santos.*

VII.3.2.2 Larvas de peixes

Durante o inverno, a maior abundância de larvas ocorreu na área norte, principalmente na região nerítica, com um pico de abundância nas estações do transecto H, ao largo de Cabo Frio. No verão, as larvas de peixes foram mais abundantes nos extremos sul e norte da região nerítica. Nota-se um aumento na abundância de larvas na aréa sul e uma diminuição na área norte durante o verão quando comparado ao inverno (Figura VII.3.2.2-1 e Figura VII.3.2.2-2).

PÚBLICA

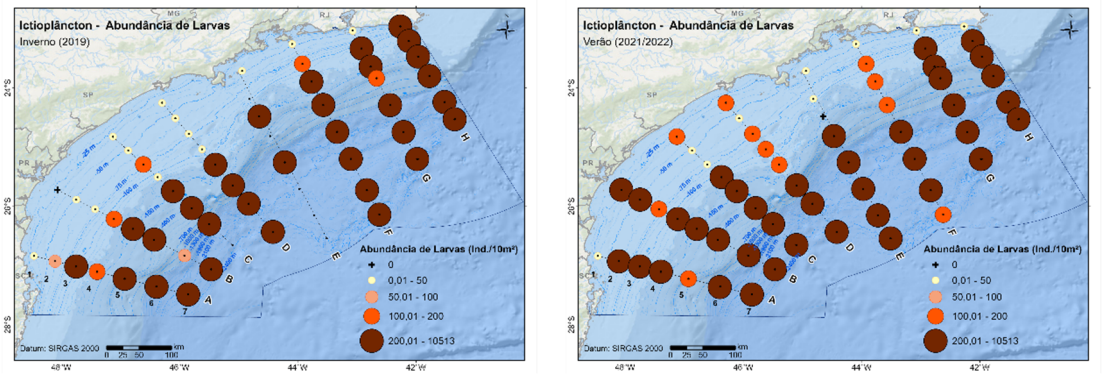


Figura VII.3.2.2-1: *Distribuição das larvas de peixes (ind.10 m^{-2}) na Bacia de Santos em cada estação de coleta durante o inverno (a) e o verão (b).*

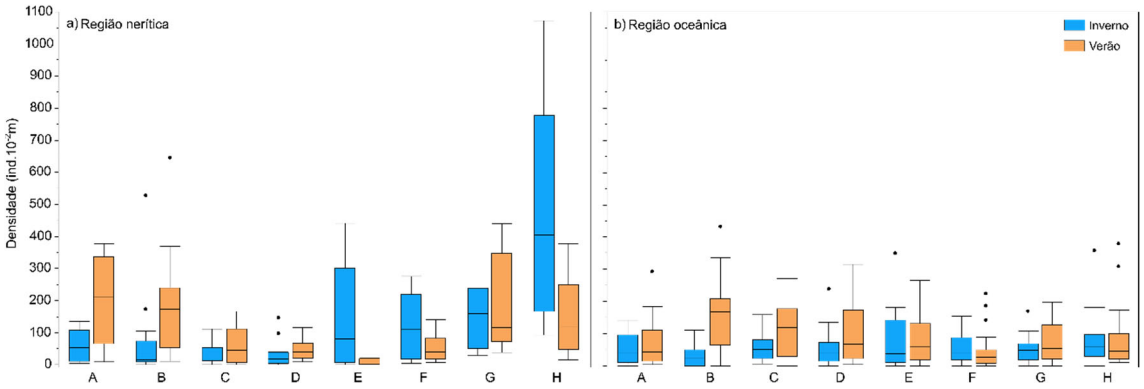


Figura VII.3.2.2-2: *Variação da abundância das larvas de peixes (ind.10 m^{-2}) nas estações de coleta ao longo de cada transecto nas regiões nerítica (a) e oceânica (b) no inverno e no verão na Bacia de Santos.*

VII.3.2.3 Diversidade

A diversidade de larvas de peixes foi maior na região oceânica, com valores mais elevados ao largo de Cabo Frio e Baía de Guanabara nos dois períodos (Figura VII.3.2.3-1). Houve aumento da diversidade durante o verão em relação ao inverno, especialmente na área sul (Figura VII.3.2.3-1).

A análise SIMPER revelou que a dissimilaridade média entre a região nerítica e oceânica foi de 97% no período de inverno. A assembleia da região nerítica foi caracterizada pela presença das espécies *B. cantori*, *M. stehmanni, E. anchoita, Sardinella brasiliensis, T. lathami, Engraulidae, M. affine, Thyrsitops*

PÚBLICA

*lepidopoi*des e Engraulidae spp (Tabela VII.3.2.3-2, Figura VII.3.2.1-1a). Já a região oceânica foi caracterizada por *Cyclothone* spp, *Diaphus* spp, *P. mauli, Myctophidae* spp, *Hygophum* spp, *M. affine, B. atlanticus* e *V. nimbaria* (Tabela VII.3.2.4-2, Figura VII.3.2.1-1a).

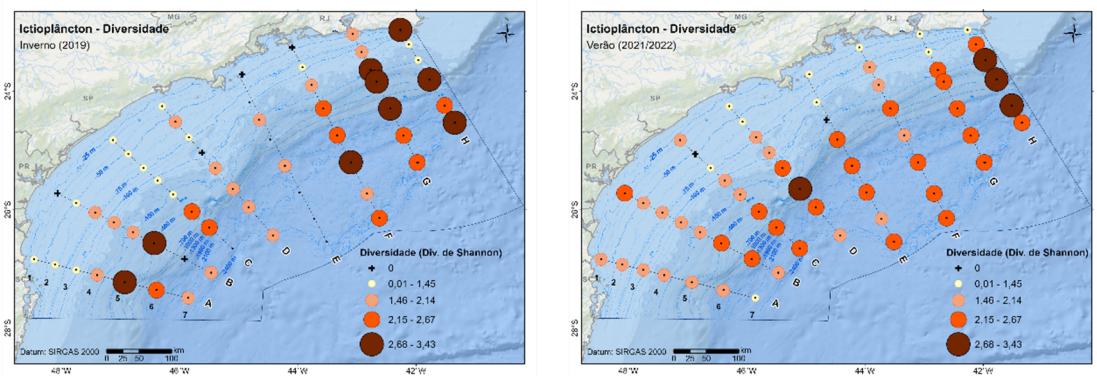


Figura VII.3.2.3-1: *Distribuição diversidade de Shannon (H´) das larvas de peixes na Bacia de Santos em cada estação de coleta durante o inverno e o verão.*

No período de verão, a dissimilaridade média entre a região nerítica e oceânica foi de 96%. As principais espécies responsáveis por caracterizar a região nerítica foram: *Diaphus* spp, *B. cantori*, *E. anchoita, M. affine, M. stehmanni, T. lathami, Etropus crossotus, S. brasiliensis, Saurida brasiliensis, Auxis* spp, *Syacium papillosum* e espécimes de *Engraulidae* spp e *Triglidae* spp (Tabela VII.3.2.3-2, Figura VII.3.2.4-1b). Na região oceânica *Cyclothone* spp, *Diaphus* spp, *P. mauli, Myctophidae* spp, *Hygophum* spp, *B. atlanticus, V. nimbaria, B. suborbitale* e *L. guentheri* foram os principais representantes (Tabela VII.3.2.3-2; Figura VII.3.2.4-1b).

Tabela VII.3.2.3-2: *Resultados da análise SIMPER em relação às regiões nerítica e oceânica e lista das espécies que mais contribuíram para a similaridade média em cada região da Bacia de Santos.*

Inverno	Similaridade média	Percentual acumulado	Verão	Similaridade média	Percentual acumulado
Região nerítica (Similaridade média = 11.26) (Dissimilaridade região oceânica = 97.37)			**Região nerítica (Similaridade média = 8.97) (Dissimilaridade região oceânica = 96.10)**		
Bregmaceros cantori	4.88	43.39	*Diaphus spp*	1.73	19.25
Maurolicus stehmanni	1.90	60.28	*Bregmaceros cantori*	1.01	30.55

PÚBLICA

(continuação Tabela VII.3.2.3-2)

Engraulis anchoita	0.88	68.09	*Engraulis anchoita*	0.96	41.27
Diaphus spp	0.68	74.11	*Myctophum affine*	0.73	49.45
Trachurus lathami	0.62	79.61	*Maurolicus stehmanni*	0.57	55.77
Engraulidae spp	0.60	84.92	*Trachurus lathami*	0.51	61.48
Myctophum affine	0.35	88.06	*Etropus crossotus*	0.47	66.72
			Sardinella brasiliensis	0.47	71.96
			Saurida brasiliensis	0.44	76.87
			Auxis sp	0.42	81.51
			Syacium papillosum	0.32	85.02

Região oceânica (Similaridade média = 10.14) (Dissimilaridade região nerítica = 97.37)			**Região oceânica (Similaridade média = 13.79) (Dissimilaridade região nerítica = 96.10**)		
Cyclothone sp	6.89	67.90	*Cyclothone sp*	6.87	49.81
Diaphus spp	0.68	74.63	*Myctophidae*	2.23	66.00
Polichthys mauli	0.43	78.91	*Diaphus spp*	2.08	81.11
Myctophidae	0.40	82.84	*Vinciguerria nimbaria*	0.27	83.08
Hygophum spp	0.32	85.99	*Benthosema suborbitale*	0.25	84.89
Myctophum affine	0.22	88.17	*Polichthys mauli*	0.24	86.64
Bregmaceros atlanticus	0.12	89.38	*Bregmaceros atlanticus*	0.22	88.27
Vinciguerria nimbaria	0.12	90.56	*Myctophum affine*	0.20	89.74

VII.3.3 Distribuição vertical

VII.3.3.1 Ovos de peixes

No inverno os ovos de peixes foram coletados desde a superfície até 150 m de profundidade na região nerítica, com maiores valores de densidade média no estrato 0-25 m na área sul e entre 100-150 m na área norte. Na região oceânica os ovos foram coletados desde a superfície até o estrato de 1500-2300 m na área norte e até 1100-1500 m, na área sul, com maiores valores de densidade entre 0-25 m no Norte e 100-150 m no Sul (Figura VII.3.3.1-1).

No verão, os ovos ocorreram desde a superfície até 100-150 m na região nerítica e até 1500-1400 m na região oceânica, com maiores valores de densidade média entre 0-25 m nas duas regiões (Figura VII.3.3.1-2). No geral, houve uma diminuição da densidade de ovos com a profundidade de coleta, sendo os maiores valores encontrados na zona eufótica, até os 150 m de profundidade (Figuras VII.3.3.1-1 e VII.3.3.1-2).

PÚBLICA

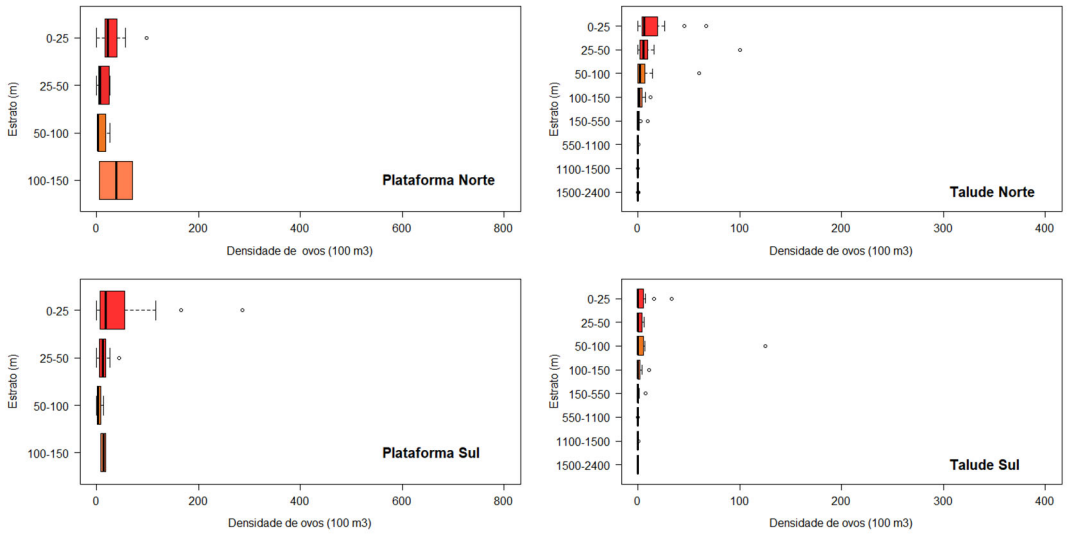


Figura VII.3.3.1-1: *Distribuição vertical dos ovos de peixes (ind.100 m^{-3}) durante o inverno nas áreas norte e sul das regiões nerítica e oceânica da Bacia de Santos.*

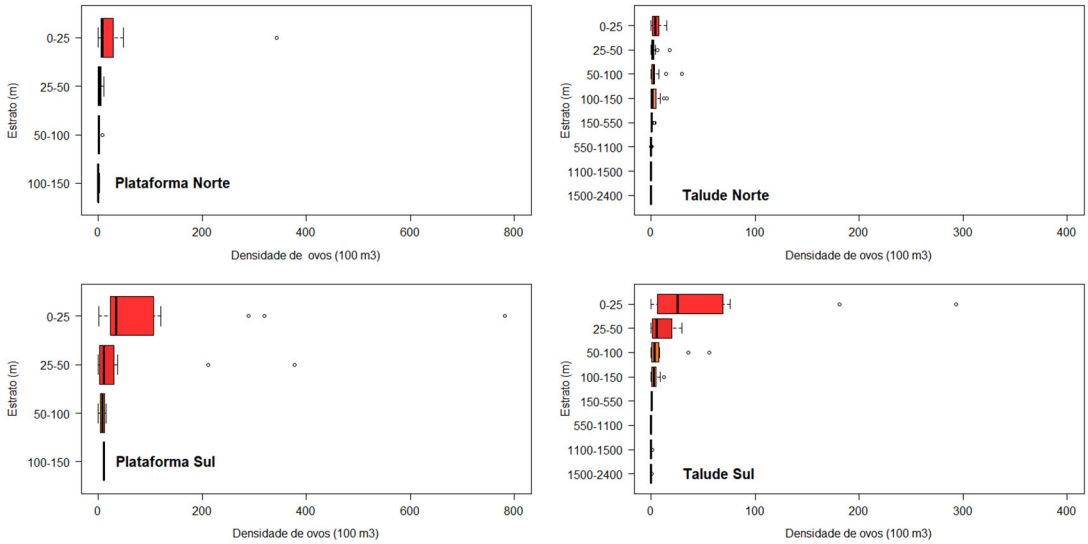


Figura VII.3.3.1-2: *Distribuição vertical dos ovos de peixes (ind.100 m^{-3}) durante o verão nas áreas norte e sul das regiões nerítica e oceânica da Bacia de Santos.*

PÚBLICA

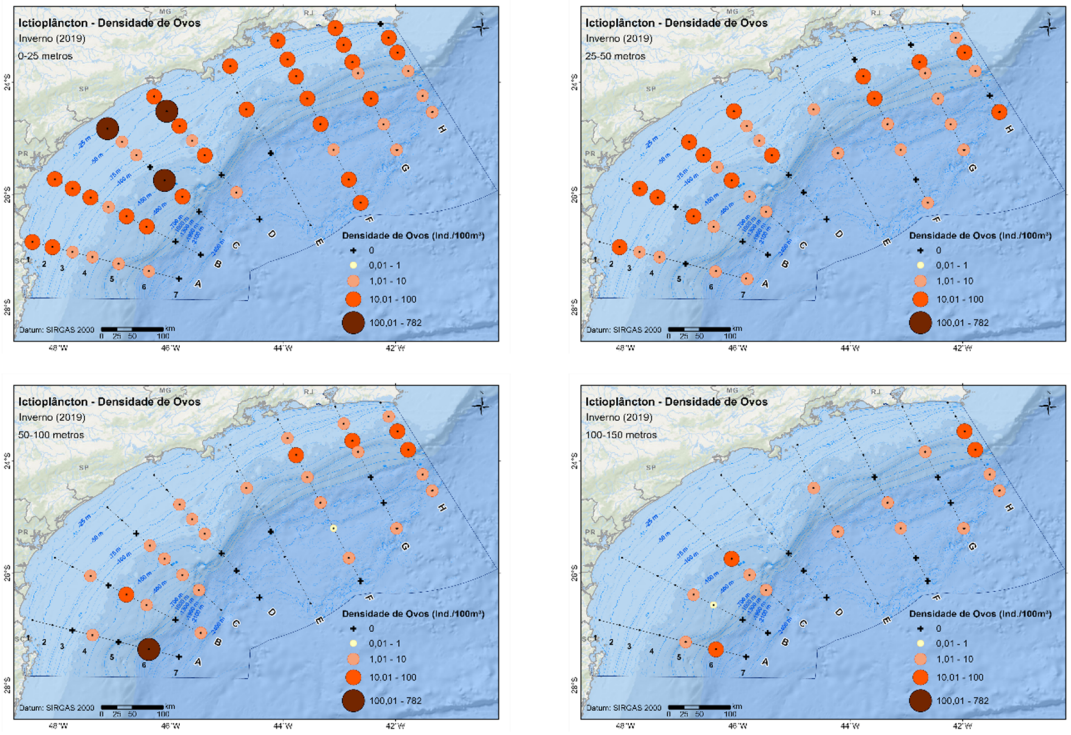


Figura VII.3.3.1-3: *Distribuição dos ovos de peixes (ind.100 m^{-3}) nos estratos de 0-25m, 25-50m, 50-100m e 100-150 m durante o inverno nas estações de coleta Bacia de Santos.*

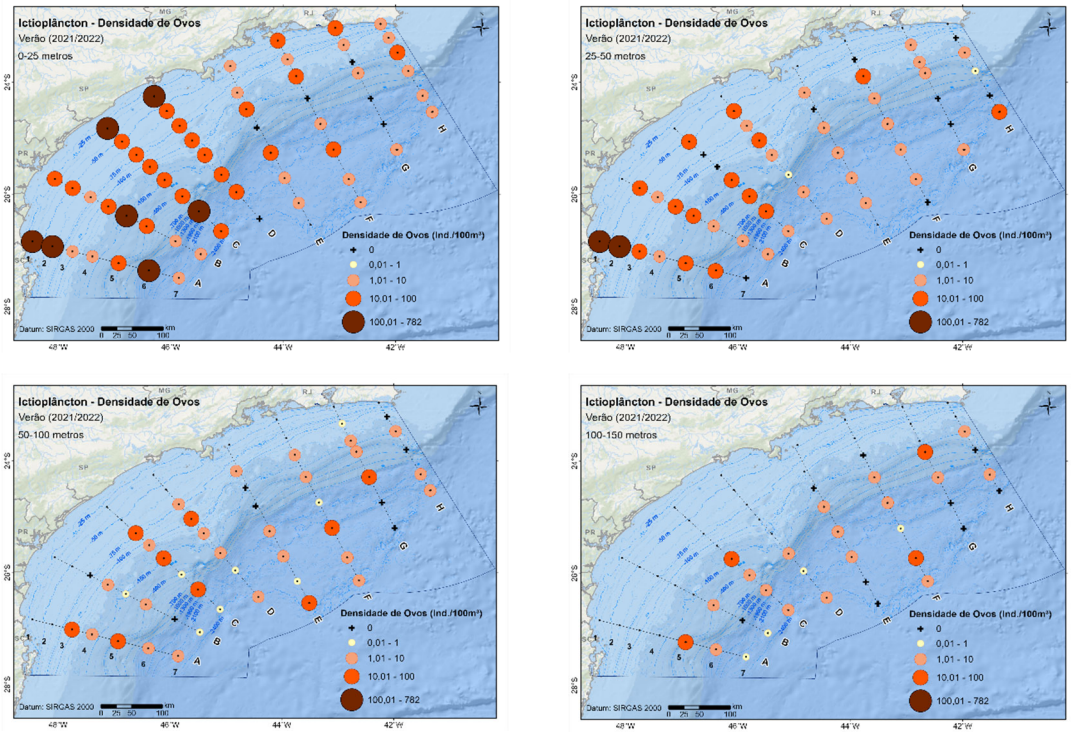


Figura VII.3.3.1-4: *Distribuição dos ovos de peixes (ind.100 m^{-3}) nos estratos de 0-25m, 25-50m, 50-100m e 100-150 m durante o verão nas estações de coleta Bacia de Santos.*

PÚBLICA

VII.3.3.2 Larvas de peixes

A densidade média de larvas de peixes foi maior no estrato subsuperficial de 25-50 m no inverno, e no estrato superficial durante o verão, considerando as áreas separadamente (Figuras VII.3.3.2-1 e 3.3.2-2). Os valores máximos encontrados em cada estrato variaram por região e por período, mas sempre ocorrendo até os 150 m de profundidade (Figuras VII.3.3.2-3 e VII.3.3.2-4).

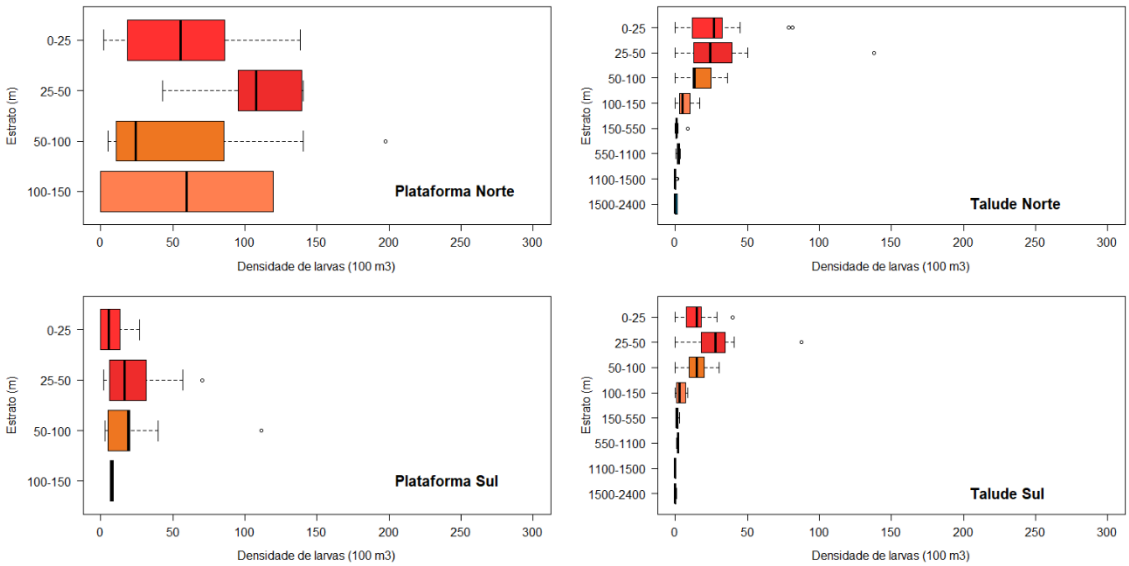


Figura VII.3.3.2-1: *Distribuição vertical das larvas de peixes (ind.100 m-3) durante o inverno nas áreas norte e sul das regiões nerítica e oceânica da Bacia de Santos.*

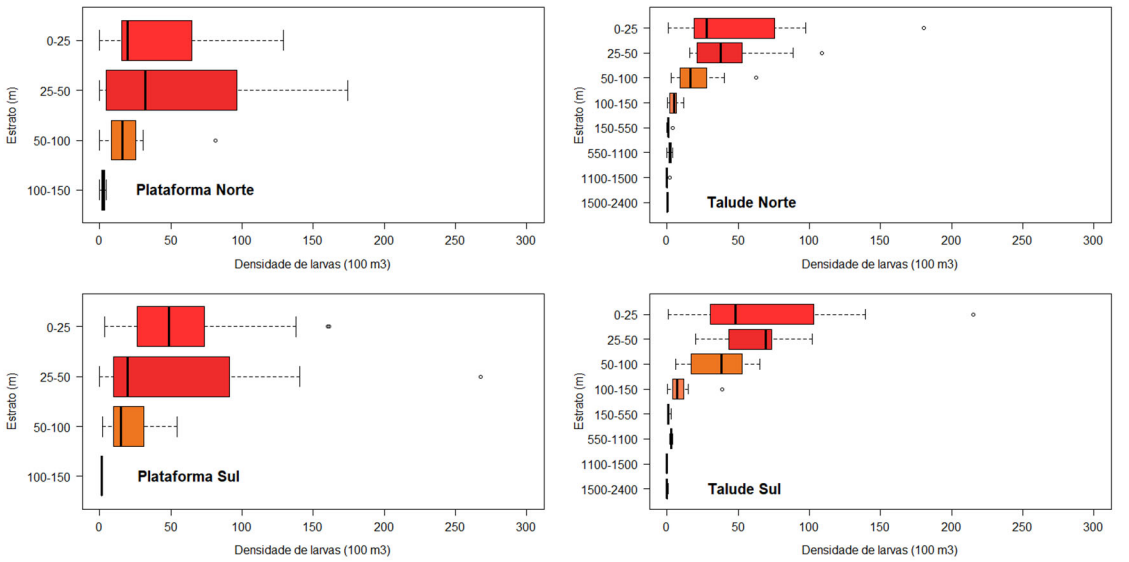


Figura VII.3.3.2-2: *Distribuição vertical das larvas de peixes (ind.100 m-3) durante o verão nas áreas norte e sul das regiões nerítica e oceânica da Bacia de Santos.*

PÚBLICA

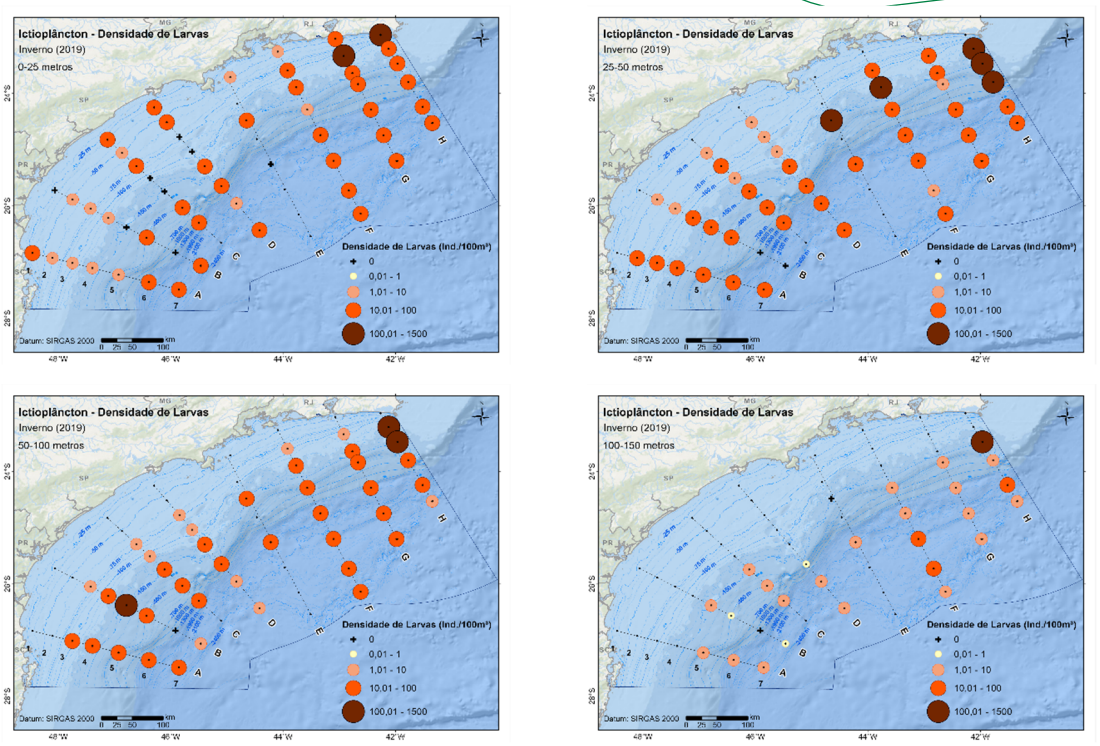


Figura VII.3.3.2-3: *Distribuição das larvas de peixes (ind.100 m-3) nos estratos de 0-25m, 25-50m, 50-100m e 100-150 m durante o inverno nas estações de coleta Bacia de Santos.*

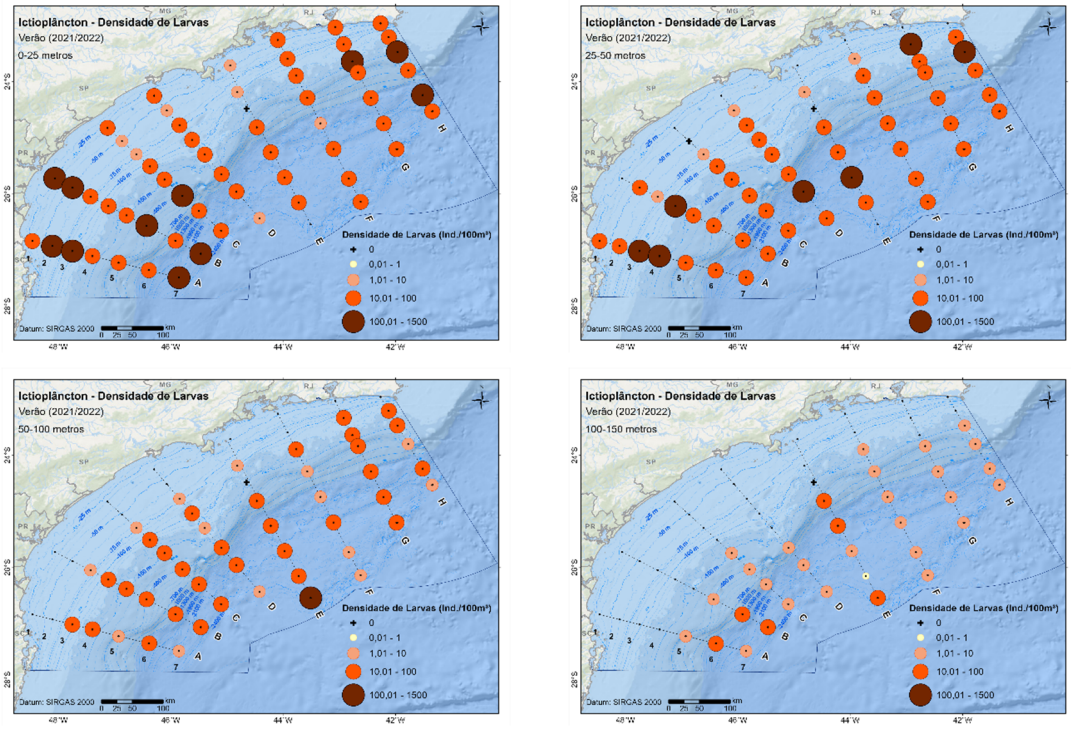


Figura VII.3.3.2-4: *Distribuição das larvas de peixes (ind.100 m-3) nos estratos de 0-25m, 25-50m, 50-100m e 100-150 m durante o verão nas estações de coleta da Bacia de Santos.*

PÚBLICA

VII.3.3.3 Diversidade

A diversidade diminuiu com o aumento da profundidade (Figura VII 3.3.3-1, 3.3.3-2). Os maiores valores diversidade ocorreram nos estratos de 0-25 m e de 25-50 m da área norte, nos transectos ao largo da Bahia de Guanabara e Cabo Frio, nos dois períodos (Figuras VII.3.3.3-3 e VII.3.3.3-4). Nota-se que na área sul a diversidade foi maior nos estratos subsuperficiais de 25-50 e 50-100 m durante o inverno e nos estratos mais superficiais, de 0-25 m e 25-50 m, durante o verão (Figuras VII.3.3.3-3 e VII.3.3.3-4).

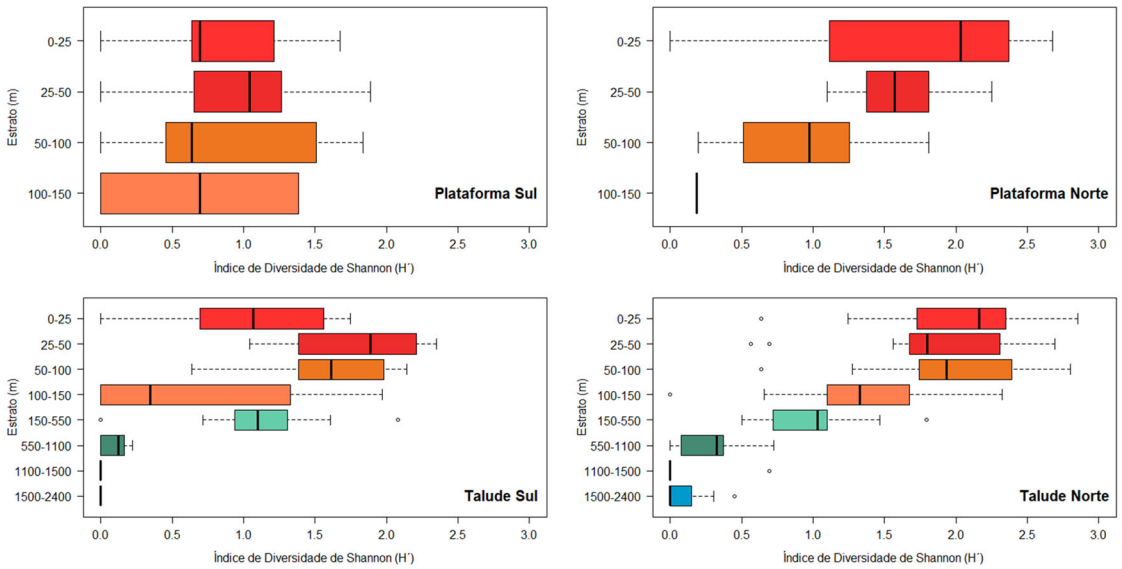


Figura VII.3.3.3-1: *Distribuição vertical da diversidade de Shannon (H´) durante o inverno nas áreas norte e sul das regiões nerítica e oceânica da Bacia de Santos.*

PÚBLICA

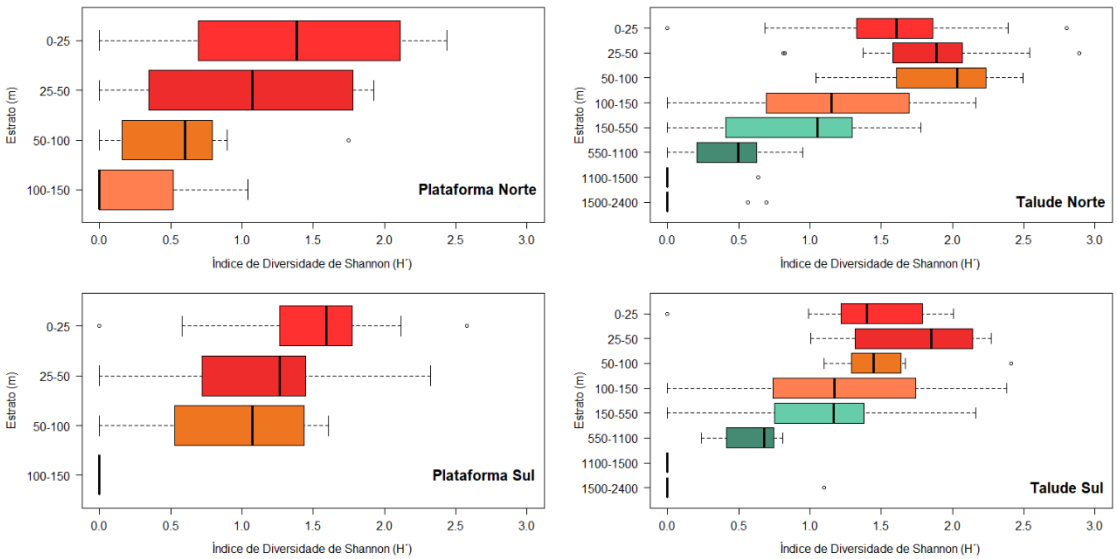


Figura VII.3.3.3-2: *Distribuição vertical da diversidade de Shannon (H´) durante o verão nas áreas norte e sul das regiões nerítica e oceânica da Bacia de Santos.*

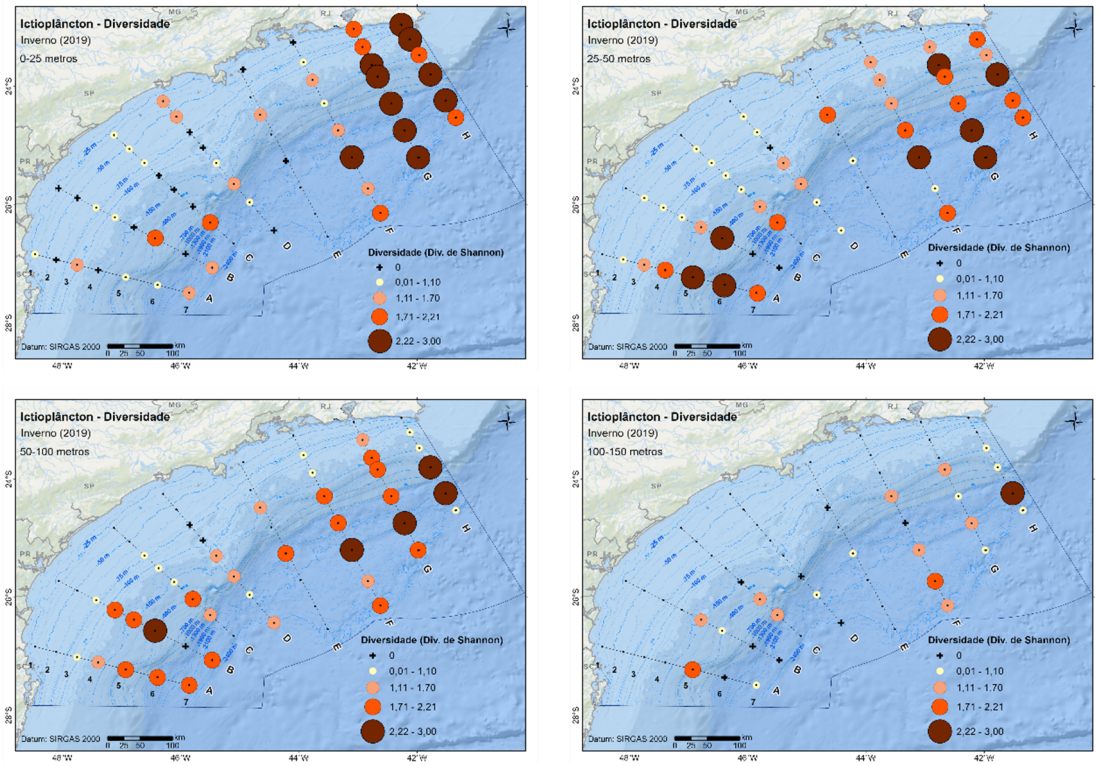


Figura VII.3.3.3-3: *Distribuição da diversidade de Shannon (H´) nos estratos de 0-25m, 25-50m, 50-100m e 100-150 m durante o inverno nas estações de coleta da Bacia de Santos.*

PÚBLICA

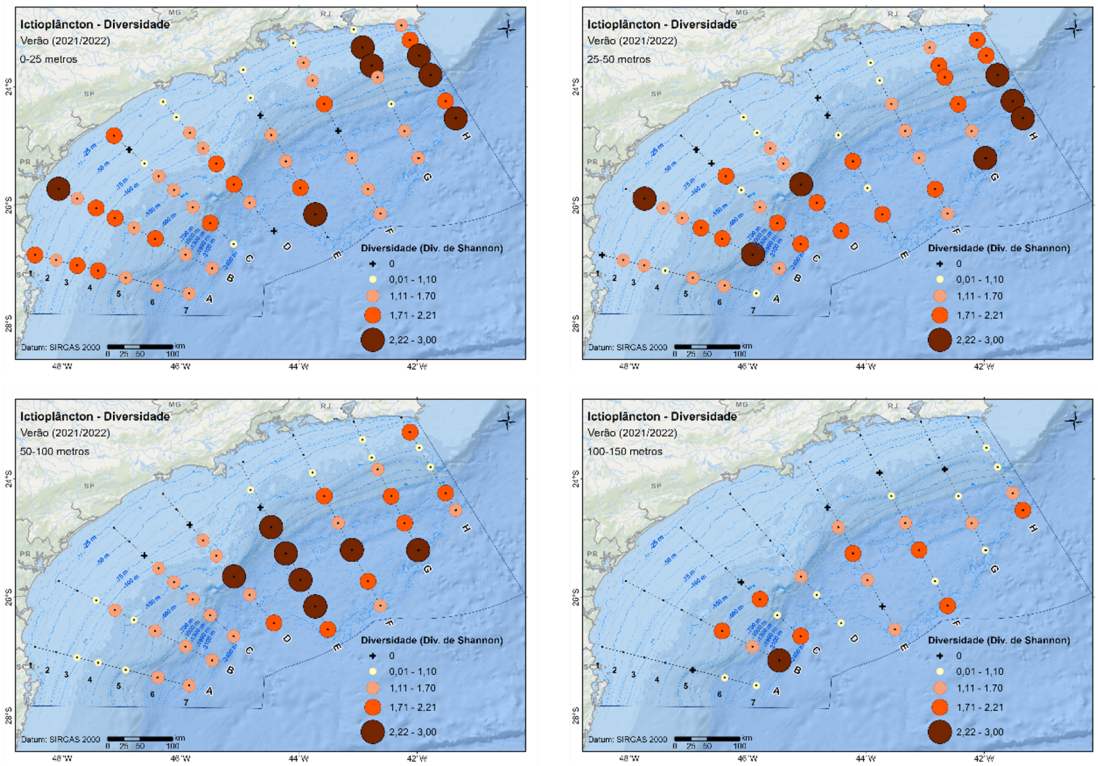


Figura VII.3.3.3-4: *Distribuição da diversidade de Shannon (H´) nos estratos de 0-25m, 25-50m, 50-100m e 100-150 m durante o verão nas estações de coleta da Bacia de Santos.*

VII.3.4 Assembleia de larvas de peixes

A análise 4-way PERMANOVA mostrou que o padrão de distribuição das assembleias de larvas peixes variou significativamente de acordo com os estratos de profundidade de acordo com a (Tabela VII.3.4-1). Tais variações também foram observadas entre o verão e o inverno, regiões nerítica e oceânica e áreas norte e sul da Bacia de Santos. De acordo com a ordenação n-MDS as assembleias de larvas de peixes da região nerítica e oceânica podem ser claramente distinguíveis nos dois períodos (Figura VII.3.4-1a, b).

Na região nerítica a estruturação das assembleias de larvas de peixes foi mais heterogênea. Durante o inverno, houve a formação de dois grupos, distinguindo as áreas norte e sul (Figura VII.3.4-1a), enquanto no verão, não houve uma divisão clara destes grupos (Figura VII.3.4-1b). Por outro lado, na região oceânica, podemos notar uma estrutura da assembleia de larvas de larvas de peixes mais homogênea, sem diferenças entre a áreas ao sul e norte da Bacia de Santos (Figura VII.3.4-1a, b).

PÚBLICA

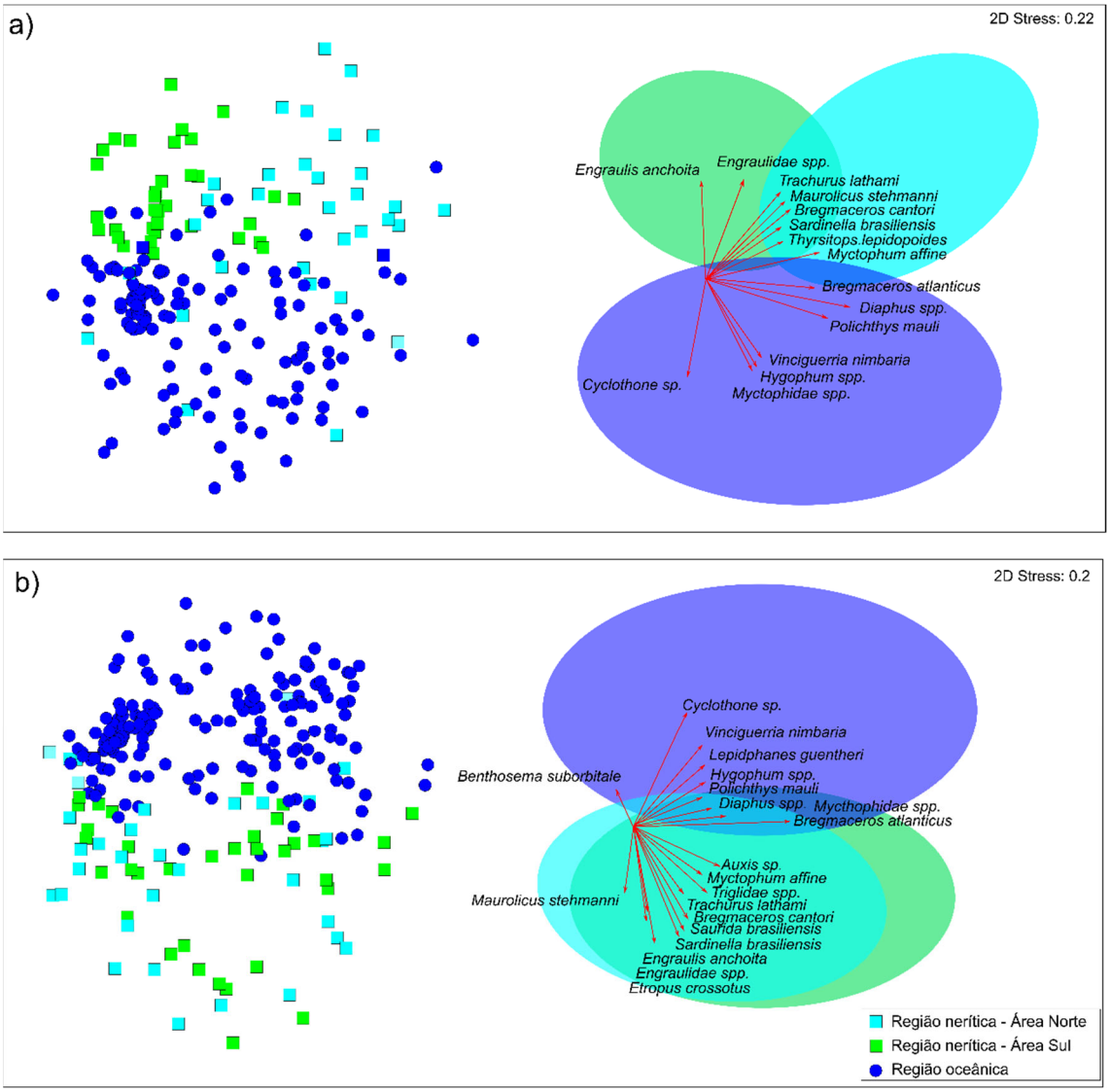


Figura VII.3.4-1: *Resultados da análise n-MDS (Non-metric MultiDimensional Scaling) aplicada às assembleias de larvas de peixes na Bacia de Santos no inverno (a) e verão (b).*

De acordo com o n-MDS, as assembleias presentes nas camadas superficiais (0-25 m, 25-50 m e 50-100 m) são distintas das assembleias localizadas nos estratos mais profundos da Bacia de Santos (100-150 m, 150-550 m, 550-1100 m, 1100-1500 m e 1500-2400 m), em ambos os períodos (Figura VII.3.4-1). Além disso, a estrutura das assembleias de larvas de peixes em cada estrato de profundidade difere claramente entre as regiões nerítica e oceânica (Figura VII.3.4-1).

PÚBLICA

Tabela VII.3.4-1: *PERMANOVA (4-way) aplicada aos dados de assembleia, riqueza, diversidade de shannon e densidade de ovos e larvas de peixes na Bacia de Santos. Per = Períodos (Inverno e Verão); Reg = região (nerítica e oceânica); Ar = Áreas (sul e norte da Bacia de Santos); Prof = estratos de profundidade (0-25, 25-50, 50-100, 100-150, 150-550, 550-1100, 1100-1500, 1500-2400 m).*

Fonte de variação	d.f.	SS	MS	*Pseud-F*	P (perm)	perms
Assembleia						
Per	1	4608	4608	2.274	0.001	996
Reg	1	48964	48964	24.166	0.001	999
Ar	1	6340	6340	3.129	0.001	996
Prof	7	0.002	39115	19.305	0.001	993
Per x Reg	1	10726	10726	5.293	0.001	999
Per x Ar	1	3983	3983	1.966	0.012	998
Per x Prof	7	24588	3512	1.733	0.001	997
Ar x Reg	1	15173	2167	1.069	**0.270**	997
Ar x Prof	7	28255	9418	4.648	0.001	997
Reg x Prof	3	28255	9418	4.648	0.001	997
Per x Ar x Reg	1	3213	3213	1.585	**0.054**	998
Per x Ar x Prof	7	13511	1930	0.952	**0.652**	996
Per x Reg x Prof	3	10523	3507	1.731	0.002	998
Ar x Reg x Prof	3	8476	2825	1.394	0.035	999
Per x Ar x Reg x Prof	3	8348	2782	1.373	0.043	997
Residual	467	1.380	2723			
Densidade de ovos						
Per	1	5.855	5.855	1.0594	**0.316**	997
Reg	1	119.88	119.88	21.692	0.003	997
Ar	1	22.058	22.058	3.9912	0.053	998
Prof	7	614.41	87.773	15.882	0.001	996
Per x Reg	1	27.649	27.649	5.003	0.041	999
Per x Ar	1	42.603	42.603	7.7088	0.008	995
Per x Prof	7	42.444	6.0634	1.0971	**0.357**	998
Ar x Reg	1	10.318	10.318	1.867	**0.155**	998
Ar x Prof	7	43.377	6.1967	1.1213	**0.333**	999
Reg x Prof	3	51.567	17.189	3.1103	0.037	996
Per x Ar x Reg	1	4.1092	4.1092	0.74353	**0.373**	997
Per x Ar x Prof	7	84.677	12.097	2.1889	0.054	997
Per x Reg x Prof	3	.268	2.4227	0.43837	**0.695**	999
Ar x Reg x Prof	3	18.264	6.088	1.1016	**0.327**	999
Per x Ar x Reg x Prof	3	18.284	6.0946	1.1028	**0.34**	998
Residual	467	2580.9	5.5265			
Densidade de larvas						
Per	1	0.358	0.358	1.084	**0.289**	996
Reg	1	0.171	0.171	0.519	**0.441**	997
Ar	1	0.907	0.907	2.743	**0.098**	997
Prof	7	150.74	21.534	65.132	0.001	999
Per x Reg	1	4.994	4.994	15.106	0.002	996
Per x Ar	1	3.569	3.569	10.797	0.003	997
Per x Prof	7	9.964	1.423	4.305	0.002	998
Ar x Reg	1	0.905	0.905	2.737	**0.099**	999
Ar x Prof	7	1.851	0.264	0.799	**0.554**	999
Reg x Prof	3	0.583	0.194	0.588	**0.624**	998
Per x Ar x Reg	1	0.508	0.508	1.539	**0.205**	996

PÚBLICA

(continuação Tabela VII.3.4-1)

Per x Ar x Prof	7	2.888	0.412	1.248	**0.278**	999
Per x Reg x Prof	3	2.320	0.773	2.339	**0.082**	999
Ar x Reg x Prof	3	0.739	0.246	0.745	**0.526**	998
Per x Ar x Reg x Prof	3	1.189	0.396	1.199	**0.305**	999
Residual	467	154.4	0.330			
Riqueza						
Per	1	0.088	0.088	0.117	**0.754**	997
Reg	1	17.071	17.071	22.643	0.001	997
Ar	1	1.180	1.180	1.565	**0.224**	999
Prof	7	186.860	26.694	35.407	0.001	999
Per x Reg	1	4.645	4.645	6.161	0.014	998
Per x Ar	1	7.139	7.139	9.469	0.004	996
Per x Prof	7	5.381	0.768	1.019	**0.379**	998
Ar x Reg	1	0.191	0.191	0.254	**0.622**	996
Ar x Prof	7	16.669	2.381	3.158	0.003	998
Reg x Prof	3	6.160	2.053	2.723	0.041	998
Per x Ar x Reg	1	0.527	0.527	0.699	**0.413**	996
Per x Ar x Prof	7	6.036	0.862	1.143	**0.34**	998
Per x Reg x Prof	3	4.415	1.471	1.952	**0.113**	999
Ar x Reg x Prof	3	2.143	0.714	0.947	**0.434**	999
Per x Ar x Reg x Prof	3	2.539	0.846	1.122	**0.344**	998
Residual	467	352.080	0.753			
Diversidade (índice de Shannon)						
Per	1	0.010	0.010	0.069	**0.765**	997
Reg	1	7.817	7.81	52.988	0.001	994
Ar	1	0.071	0.071	0.483	**0.469**	999
Prof	7	62.524	8.932	60.540	0.001	999
Per x Reg	1	0.313	0.313	2.123	**0.143**	995
Per x Ar	1	0.307	0.307	2.084	**0.144**	996
Per x Prof	7	1.434	0.204	1.388	**0.207**	999
Ar x Reg	1	0.225	0.225	1.530	**0.210**	999
Ar x Prof	7	2.012	0.287	1.948	0.058	999
Reg x Prof	3	2.093	0.697	4.729	0.004	998
Per x Ar x Reg	1	0.079	0.079	0.537	**0.473**	997
Per x Ar x Prof	7	1.0429	0.148	1.009	**0.416**	999
Per x Reg x Prof	3	0.945	0.315	2.135	**0.097**	998
Ar x Reg x Prof	3	0.221	0.073	0.50051	**0.682**	997
Per x Ar x Reg x Prof	3	0.839	0.279	1.8957	**0.132**	998
Residual	467	68.902	0.147			

De acordo com a análise SIMPER, no inverno a dissimilaridade entre os estratos na região nerítica sul variou de 66%, entre 25-50 e 50-100 m, a 91%, entre 0-25 e 100-150 m. Os táxons que mais contribuíram para a formação das assembleias foram: *E. anchoita* e *B. cantori* nos estratos 0-25 e 25-50 m, com proporções diferentes das duas espécies entre os estratos; *B. cantori, M. stehmani* e *Diaphus* spp em 50-100 m. Entre 100-150 m, *M. stehmanni* acumulou 100% de contribuição (Tabela 3.3.4-2).

PÚBLICA

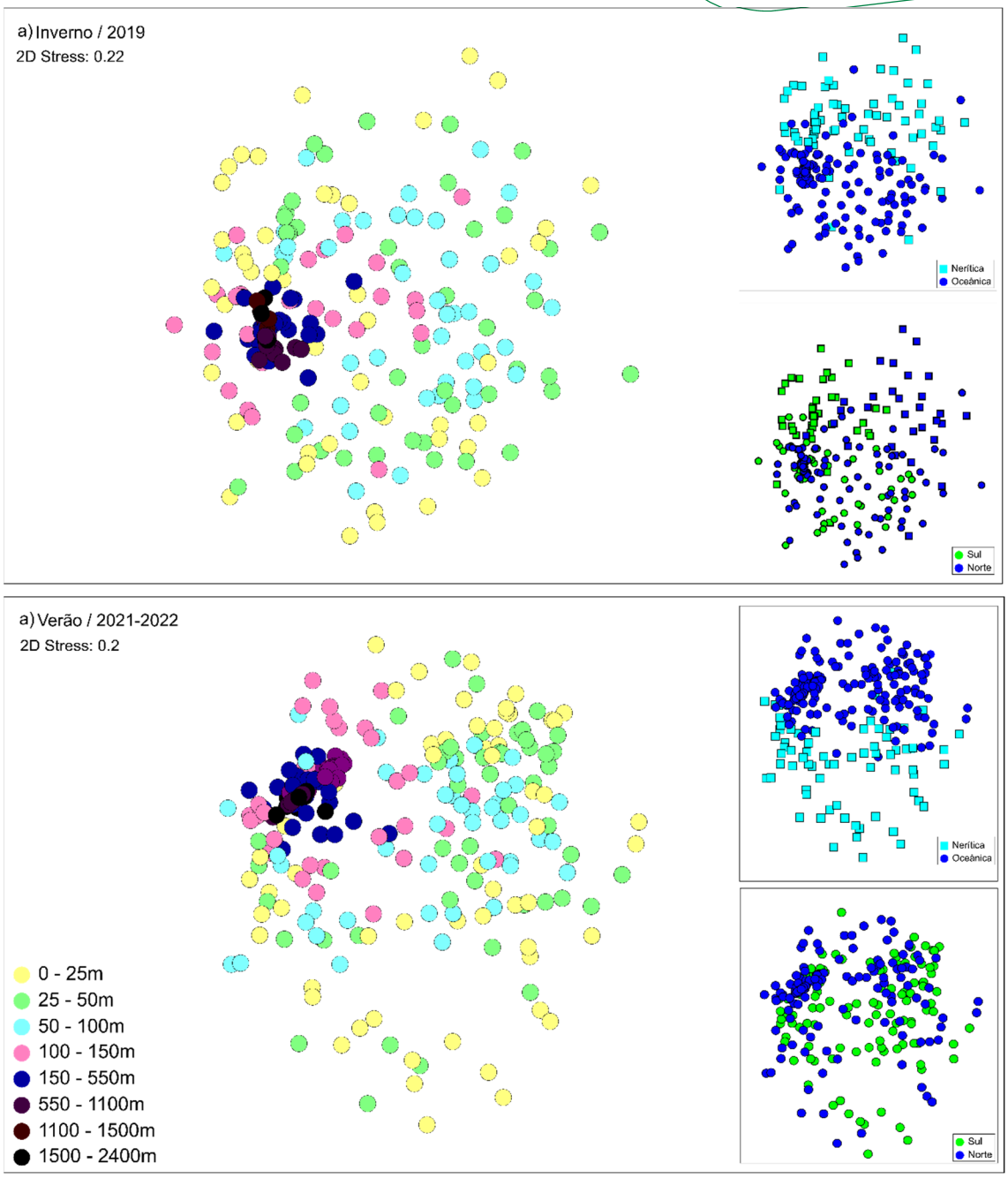


Figura VII.3.4-2 *Resultados da análise de n-MDS (Non-Metric Multidimensional Scaling) aplicada à assembleia de larvas de peixes na bacia de Santos no inverno (a) e verão (b).*

Na região nerítica norte a dissimilaridade variou de 69%, entre 25-50 e 50-100 m, a 90%, entre 0-25 e 50-100 m. Os táxons que mais contribuíram para a formação das assembleias foram: *T. lathami,* Engraulidae, *M. stehmanni, E. anchoita, Diaphus* spp, *P. mauli* e *S. caribbaea* em 0-25 m; *M. stehmanni, T.*

PÚBLICA

lathami, M. affine, P. mauli, B. cantori, Diaphus spp e *A. bondi* em 25-50 m; *M. stehmanni* e *M. affine* em 50-100 m (Tabela VII.3.4-3).

Na região oceânica a dissimilaridade entre os estratos variou de 62% entre 150-550 m e 550-1100 m, a 98%, entre 50-100 e 1500-2400 m. Os táxons que mais contribuíram para a formação das assembleias foram: *Diaphus* spp*, P. mauli,* Myctophidae*, Lampanyctus* spp*, Cyclothone* spp*, Hygophum* spp*, A. bondi* e *V. nimbaria* em 0-25 m; *Diaphus* spp*, P. mauli, Hygophum* spp*, B. atlanticus, M. affine,* Myctophidae e *V. nimbaria* em 50-100 m; *B. suborbitale, M. stehmanni, Hygophum* spp*, Diaphus* spp*, Cyclothone* spp*,* Notosudidade, *P. mauli* e *H. reinhardtii* entre 100-150; *Cyclothone* spp e Notosudidade entre 150-550 m. Abaixo dos 550 m *Cyclothone* spp acumulou 100% de contribuição em todos os estratos (Tabela VII.3.4-4).

Durante o verão, a dissimilaridade entre os estratos na região nerítica sul foi superior a 80% (Tabela VII.3.4-2), e os táxons que mais contribuíram para a formação das assembleias foram: *Sardinella brasiliensis, B. cantori, Auxis* spp*, Saurida brasiliensis, S. papilosum, Diaphus* spp*,* Engraulidae e *T. lathami* entre 0-25 m; *Diaphus* spp*, E. crossotus, B. cantori, E. anchoita, T. lathami, A. bondi,* Triglidae e *M. affine* entre 25-50 m; *Diaphus* spp*, M. stehmanni, M. affine* e *B. cantori* entre 50-100 m (Tabela VII.3.4-2).

Na região nerítica norte a dissimilaridade entre os estratos também foi superior a 80%, chegando a ~96% entre o estrato superficial 0-25 m e o mais profundo, de 50-100 m (Tabela VII.3.4-3). Os táxons que mais contribuíram para a formação das assembleias foram: Engraulidae, *E. anchoita. E. crossotus, S. brasiliensis e Diaphus* spp entre 0-25m; *M. affine, E. anchoita, diaphus* spp Triglidae, *M. stehmanni* e Engraulidae entre 25-50 m; *M. stehmanni* e *M. affine* entre 50-100 m.

Na região oceânica a dissimilaridade variou de 64%, entre estratos superficiais de 0-25 e 25-50 m, até 98%, entre o estrato mais superficial e o mais profundo (0-25 e 1500-2400 m). Os táxons que mais contribuíram para a formação das assembleias foram: Myctophidae, *Diaphus* spp*, L. guentheri, Cyclothone* spp e *Cubiceps pauciradiatus* em 0-25 m; *Diaphus* spp*,* Myctophidae, *Cyclothone* spp*, V. nimbaria, C. paudiradiatus e Lampanyctus* spp entre 25-50 m; *Diaphus* spp*, Hygophum* spp*, H. reinhardtii, B. atlanticus, M. affine, V.*

PÚBLICA

nimbaria, Cyclothone spp, Myctophidae e *P. mauli* entre 50-100 m; *B. suborbitale, S. elongatum*, Myctophidae, *N. valdiviae, M. affine, B, atlanticus, Diapus* spp, *Cyclothone* spp e *P. mauli* entre 100-150 m; *Cyclothone* spp, *V. tripunctulatus, Argyropelecus sp.* e *B. suborbitale* entre 150-550 m. Abaixo dos 550 m *Cyclothone* spp acumulou 100% de contribuição em todos os estratos (Tabela VII.3.4-4).

Tabela VII.3.4-2: *Resultados da análise SIMPER em relação aos estratos de profundidade nas regiões neríticas sul e norte, durante o inverno e o verão, na Bacia de Santos. São listadas as espécies que mais contribuíram para a similaridade média em cada estrato.*

Região nerítica – sul da Bacia de Santos Inverno			**Região nerítica – sul da Bacia de Santos Verão**		
	Similaridade média	Percentual acumulado		Similaridade média	Percentual acumulado
0 – 25m (A)			**0 – 25m (A)**		
(Similaridade média = 17,45)			**(Similaridade média = 22,92)**		
(Dissimilaridade B = 83,65%; C = 90,03%)			**(Dissimilaridade B = 82,48%; C = 87,90%)**		
Engraulis anchoita	15,63	89,60	*Sardinella brasiliensis*	4,14	18,08
Bregmaceros cantori	1,31	97,12	*Bregmaceros cantori*	3,41	32,97
			Auxis spp	3,23	47,06
			Saurida brasiliensis	2,64	58,59
			Syacium papillosum	2,43	69,21
			Diaphus spp	1,94	77,68
			Engraulidae	1,56	84,50
			Trachurus lathami	1,48	90,95
25 - 50m (B)			**25 - 50m (B)**		
(Similaridade média = 41,44)			**(Similaridade média = 22,98)**		
(Dissimilaridade A = 83,65%; C = 66,01%)			**(Dissimilaridade A = 82,48%; C = 80,97%)**		
Bregmaceros cantori	35,67	86,08	*Diaphus* spp	6,17	26,85
Engraulis anchoita	1,84	90,51	*Etropus crossotus*	3,47	41,96
			Bregmaceros cantori	3,41	56,81
			Engraulis anchoita	2,38	67,18
			Trachurus lathami	1,82	75,10
			Ariomma bondi	1,76	82,77
			Triglidae	1,54	89,47
			Myctophum affine	0,96	93,64
50 - 100m (C)			**50 - 100m (C)**		
(Similaridade média = 27,06)			**(Similaridade média = 22,72)**		
(Dissimilaridade A = 90,03%; B = 66,01%)			**(Dissimilaridade A = 87,90%; B = 80,97%)**		
Bregmaceros cantori	21,16	78,17	*Diaphus* spp	14,08	61,96
Maurolicus stehmanni	2,46	87,26	*Maurolicus stehmanni*	3,33	76,60
Diaphus spp	1,50	92,79	*Myctophum affine*	2,31	86,76
			Bregmaceros cantori	1,29	92,43

PÚBLICA

Tabela VII.3.4-3: *Resultados da análise SIMPER em relação aos estratos de profundidade nas regiões neríticas sul e norte, durante o inverno e o verão, na Bacia de Santos. São listadas as espécies que mais contribuíram para a similaridade média em cada estrato.*

Região nerítica – norte da Bacia de Santos Inverno/2019			**Região nerítica – norte da Bacia de Santos Verão 2021/2022**		
	Similaridade média	Percentual acumulado		Similaridade média	Percentual acumulado
0 – 25m (A) **(Similaridade média = 26,21)** **(Dissimilaridade B = 73,40%; C = 80,90%)**			**0 – 25m (A)** **(Similaridade média = 21,86)** **(Dissimilaridade B = 80,65%; C = 95,87%)**		
Trachurus lathami	10,64	40,58	Engraulidae	7,84	35,86
Engraulidae	8,03	71,22	*Engraulis anchoita*	6,01	63,34
Maurolicus stehmanni	1,94	78,62	*Etropus crossotus*	4,07	81,94
Engraulis anchoita	1,14	82,98	*Sardinella brasiliensis*	1,57	89,12
Diaphus spp	0,94	86,57	*Diaphus* spp	0,50	91,43
Polichthys mauli	0,71	89,28			
Saurida caribbaea	0,70	91,93			
25 - 50m (B) **(Similaridade média = 38,37)** **(Dissimilaridade A = 73,40%; C = 68,05%)**			**25 - 50m (B)** **(Similaridade média = 20,42)** **(Dissimilaridade A = 80,65%; C = 82,67)**		
Maurolicus stehmanni	9,11	23,73	*Myctophum affine*	6,23	30,52
Trachurus lathami	8,16	45,01	*Engraulis anchoita*	5,38	56,86
Myctophum affine	7,35	64,17	*Diaphus* spp	2,42	68,70
Polichthys mauli	3,26	72,65	Triglidae	1,83	77,67
Bregmaceros cantori	2,55	79,31	*Maurolicus stehmanni*	1,61	85,54
Diaphus spp	2,44	85,66	Engraulidae	1,13	91,08
Ariomma bondi	1,82	90,41			
50 - 100m (C) **(Similaridade média = 50,69)** **(Dissimilaridade A = 80,90%; B = 68,05%)**			**50 - 100m (C)** **(Similaridade média = 37,92)** **(Dissimilaridade A = 95,87%; B = 82,67%)**		
Maurolicus stehmanni	39,41	77,73	*Maurolicus stehmanni*	33,20	87,56
Myctophum affine	8,68	94,86	*Myctophum affine*	4,72	100,00

Tabela VII.3.4-4: *Resultados da análise SIMPER em relação aos estratos de profundidade na região oceânica, durante o inverno e o verão, na Bacia de Santos. São listadas as espécies que mais contribuíram para a similaridade média em cada estrato.*

Região Oceânica Inverno 2019			**Região Oceânica Verão 2021/2022**		
	Similaridade média	Percentual acumulado		Similaridade média	Percentual acumulado
0 – 25m (A) **(Similaridade média = 14,83)**			**0 – 25m (A)** **(Similaridade média = 38,77)**		
Cyclothone spp	3,88	26,16	Myctophidae	16,47	42,49

PÚBLICA

Myctophidae	2,47	42,78
Diaphus spp	2,20	57,58
Lepidphanes guentheri	1,43	67,24
Vinciguerria nimbaria	1,06	74,39
Hygophum spp	0,76	79,50
Auxis spp	0,63	83,74
Lampanyctus spp	0,58	87,63
Polichthys mauli	0,53	91,22

Diaphus spp	9,44	66,83
Lepidophanes guentheri	5,62	81,32
Cyclothone spp	3,13	89,39
Cubiceps pauciradiatus	1,27	92,67

25 - 50m (B)
(Similaridade média = 21,63)

Diaphus spp	5,95	27,52
Polichthys mauli	3,89	45,51
Myctophidae	2,72	58,09
Lampanyctus spp	2,18	68,19
Cyclothone sp.	1,68	75,94
Hygophum spp	1,33	82,08
Ariomma bondi	1,01	86,77
Vinciguerria nimbaria	0,79	90,43

25 - 50m (B)
(Similaridade média = 43,03)

Diaphus spp	14,37	33,39
Myctophidae	10,35	57,44
Cyclothone spp	7,93	75,87
Vinciguerria nimbaria	4,35	85,97
Cubiceps pauciradiatus	1,17	88,69
Lampanyctus spp	0,66	90,21

50 - 100m (C)
(Similaridade média = 26,62)

Diaphus spp	5,99	22,50
Polichthys mauli	5,45	42,97
Hygophum spp	3,68	56,80
Bregmaceros atlanticus	3,39	69,52
Myctophum affine	3,14	81,34
Myctophidae	1,50	86,97
Vinciguerria nimbaria	0,88	90,26

50 - 100m (C)
(Similaridade média = 34,13)

Diaphus spp	11,87	34,79
Hygophum spp	3,57	45,24
Hygophum reinhardtii	2,97	53,94
Bregmaceros atlanticus	2,95	62,59
Myctophum affine	2,91	71,13
Vinciguerria nimbaria	1,80	76,41
Cyclothone spp	1,65	81,25
Myctophidae	1,64	86,06
Polichthys mauli	1,53	90,54

100 - 150m (D)
(Similaridade média = 9,16)

Benthosema suborbitale	2,25	24,54
Maurolicus stehmanni	1,94	45,66
Hygophum spp	1,35	60,37
Diaphus spp	0,98	71,08
Cyclothone spp	0,65	78,18
Notosudidae	0,58	84,56
Polichthys mauli	0,39	88,82
Hygophum reinhardtii	0,30	92,11

100 - 150m (D)
(Similaridade média = 17,51)

Benthosema suborbitale	4,34	24,77
Sigmops elongatum	3,07	42,29
Myctophidae	2,71	57,74
Notolychnus valdiviae	1,19	64,53
Myctophum affine	1,14	71,04
Bregmaceros atlanticus	1,07	77,15
Diaphus spp	1,06	83,23
Cyclothone spp	0,68	87,08
Polichthys mauli	0,63	90,70

150 - 550m (E)
(Similaridade média = 30,66)

Cyclothone spp	26,95	87,91

150 - 550m (E)
(Similaridade média = 28,88)

Cyclothone spp	22,28	77,14

PÚBLICA

Notosudidae	1,07	91,41	*Valenciennellus tripunctulatus*	1,62	82,76
			Argyropelecus spp	1,59	88,27
			Benthosema suborbitale	1,19	92,38
550 - 1100m (F) **(Similaridade média = 74,74)**			**550 - 1100m (F)** **(Similaridade média = 71,44)**		
Cyclothone spp	73,18	97,92	*Cyclothone* spp	67,04	93,84
1100 - 1500m (G) **(Similaridade média = 56,98)**			**1100 - 1500m (G)** **(Similaridade média =55,61)**		
Cyclothone spp	56,98	100,00	*Cyclothone* spp	55,61	100,00
1500 - 2400m (H) **(Similaridade média = 38,08)**			**1500 - 2400m (H)** **(Similaridade média = 56,91)**		
Cyclothone spp	56,98	100,00	*Cyclothone* spp	56,91	100,00

Dissimilaridade média Inverno								
	A	B	C	D	E	F	G	H
A	-	82,3	85,3	92,3	91,2	83,1	94,2	91,7
B	82,3	-	77,9	91,1	95,3	91,9	97,7	96,6
C	85,3	77,9	-	87,8	95,2	95,9	98,7	98,1
D	92,3	91,1	87,8	-	91,5	91,1	94,5	94,2
E	91,2	95,3	95,2	91,5	-	62,4	68,3	70,2
F	83,1	91,9	95,9	91,1	62,4	-	65,0	56,7
G	94,2	97,7	98,7	94,5	68,3	65,0	-	53,1
H	91,7	96,6	98,1	94,2	70,2	56,7	53,1	-

Dissimilaridade média Verão								
	A	B	C	D	E	F	G	H
A	-	63,7	80,1	89,7	94,8	86,9	96,5	97,7
B	63,7	-	71,1	87,9	93,5	83,8	95,2	97,1
C	80,1	71,1	-	87,8	93,4	89,9	95,5	96,7
D	89,7	87,9	87,8	-	92,2	90,2	96,8	97,7
E	94,8	93,5	93,4	92,2	-	66,3	68,3	74,5
F	86,9	83,8	89,9	90,2	66,3	-	63,6	76,4
G	96,5	95,2	95,5	96,8	68,3	63,6	-	44,6
H	97,4	97,1	96,7	97,7	74,5	76,4	44,6	-

A análise SOM mostrou a formação de 5 grupos no inverno (Figura VII.3.4-3) e 4 grupos no verão (Figura VII.3.4-4). Os mapas neurais evidenciam as diferenças entre as zonas nerítica e oceânica e as áreas de transição, já que é possível notar neurônios com agrupamentos de amostras exclusivamente neríticas ou oceânicas e neurônios contendo amostras das duas regiões nos dois períodos (Figuras VII.3.4-3 b e VII.3.4-4 b). Os 15 táxons com maior correlação e que evidenciam a formação dos grupos no inverno e no verão estão destacados nas Figuras VII.3.4-3 c e Figuras VII.3.4-4 c.

a)

PÚBLICA

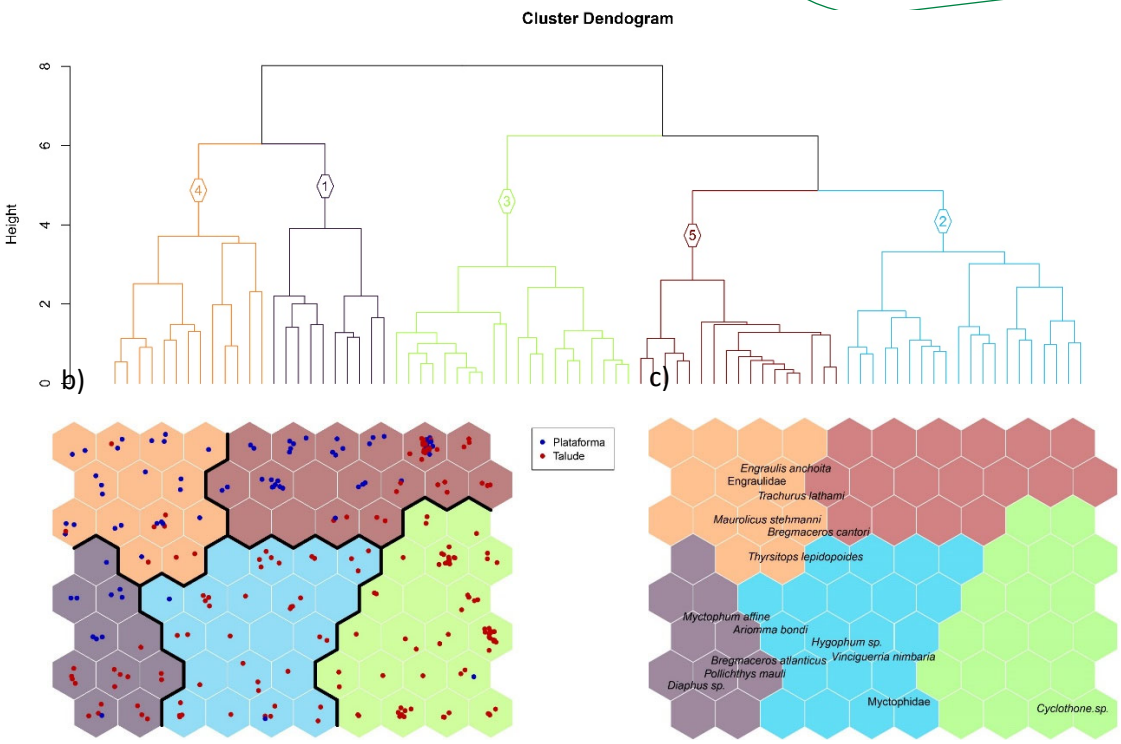


Figura VII.3.4-3 *Resultados da análise SOM (Self Organizing Maps) a partir de dados de abundância das larvas de peixes na bacia de Santos durante o inverno. a) Dendrograma, b) mapa neural das amostras, c) mapa neural indicando os 15 táxons com maior correlação.*

A distribuição espacial dos grupos gerados pela análise SOM foi diferente entre os dois períodos.

No inverno, foi evidenciada a formação de duas assembleias oceânicas: uma representada por *Cyclothone* sp (em verde) e outra dominada por Myctophidae, *Hygophum* sp e *V. nimbaria* (em azul ciano). As assembleias neríticas sul (em vermelho) e nerítica norte (em laranja) também estão destacadas, com as espécies *E. anchoita*, *T. lathami*, *M. stehmanni*, *B. cantori* e *T. lepidopoides* associadas à área norte. É notável também a formação de zonas de transição (em roxo), entre as áreas neríticas norte e sul e ao largo de São Sebastião, e entre a região nerítica e oceânica ao sul.

PÚBLICA

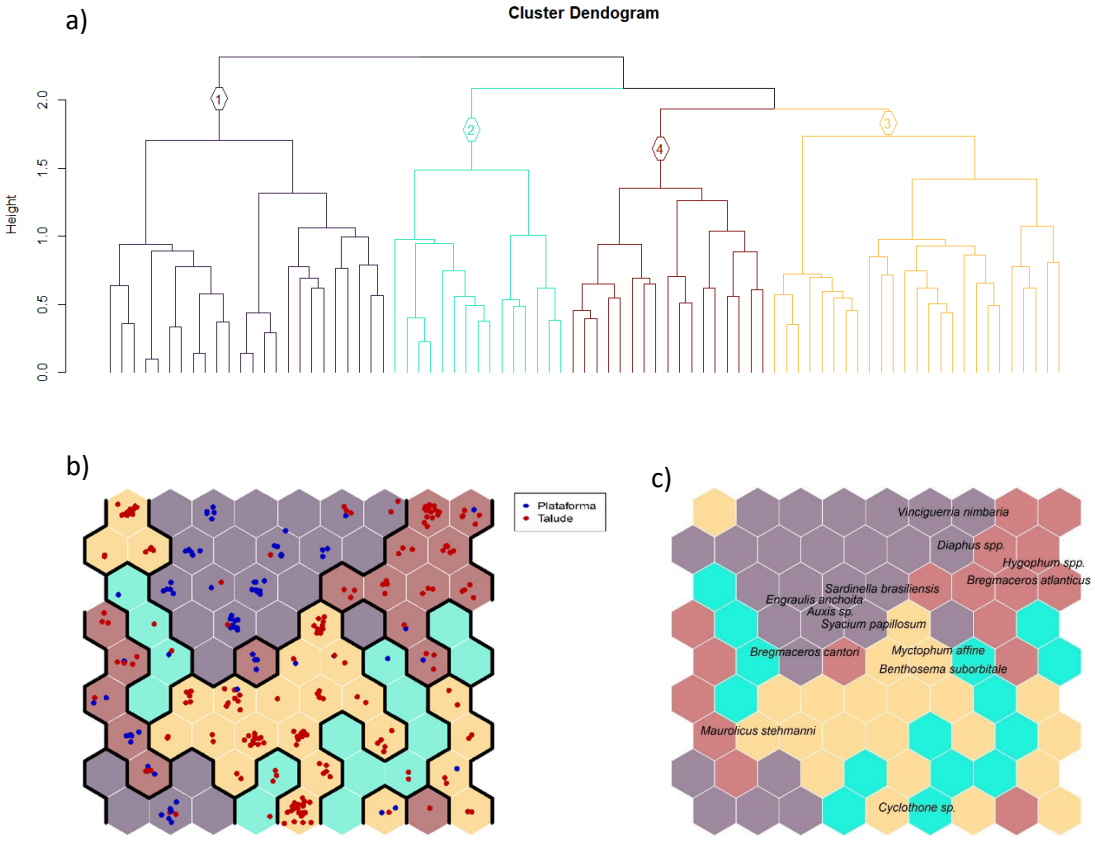


Figura VII.3.4-4 *Resultados da análise SOM (Self Organizing Maps) a partir de dados de abundância das larvas de peixes na bacia de Santos durante o verão. a) Dendrograma, b) mapa neural das amostras, c) mapa neural indicando os 15 táxons com maior correlação.*

No verão, a separação das assembleias norte e sul na região nerítica foi menos evidente, considerando a distribuição dos grupos formados. O grupo em roxo, composto por *V. nimbaria*, *Diaphus* spp, *S. brasiliensis*, *E. anchoita*, *Auxis* spp e *S. papillosum* foi amplamente distribuído na área nerítica sul e nas estações mais costeiras da área norte. O grupo em vermelho, representado por *Hygophum* spp, *B. atlanticus* e *M. stehmanni* formou uma faixa de transição entre as regiões nerítica e oceânica ao longo de toda a Bacia de Santos, com estações mais internas na área nerítica norte. O grupo em laranja foi representado por *Cyclothone* sp., e ocorreu por toda na região oceânica e sobre a região nerítica ao largo de São Sebastião, formando uma zona de transição entre as áreas norte e sul na região nerítica.

PÚBLICA

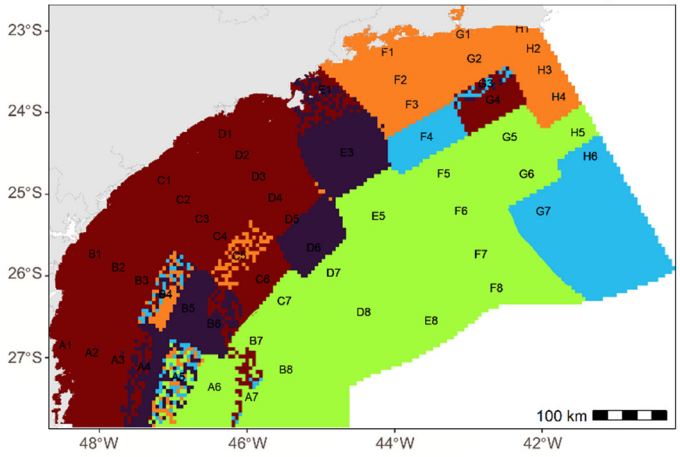


Figura VII.3.4-5 *Distribuição espacial dos grupos formados pela análise SOM (Self Organizing Maps) a partir de dados de abundância das larvas de peixes considerando todos os estratos amostrados na bacia de Santos durante o inverno.*

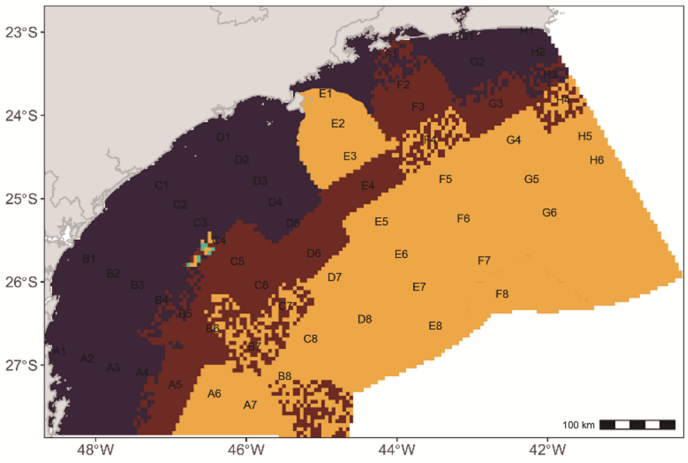


Figura VII.3.4-6 *Distribuição espacial dos grupos formados pela análise SOM (Self Organizing Maps) a partir de dados de abundância das larvas de peixes considerando todos os estratos amostrados na bacia de Santos durante o verão.*

PÚBLICA

VII.3.4.1 Relação com as variáveis ambientais

Segundo o teste de Monte Carlo, foram consideradas significativas (p<0,01) as variáveis ambientais: temperatura, salinidade, profundiddae local, biomassa, oxigênio e profundidade de coleta nos dois periodos amostrados.

No inverno, as variáveis ambientais explicaram aproximadamente 19% da variabilidade da distribuição das larvas de peixes. A correlação espécie-ambiente variou entre 0,4071 (eixo 1) e 0,0845 (eixo 4). A porcentagem de variância acumulada foi de 18% na abundância das espécies e de 96% na relação espécie ambiente para os quatro primeiros eixos da ACC. Os dois primeiros eixos representaram 73% da porcentagem da variância acumulada na relação espécie ambiente. O maior comprimento dos vetores de temperatura, salinidade e profundidade de coleta mostram são os fatores que têm maior influência sobre a distribuição das larvas de peixes (Figura VII.3.4.1-1).

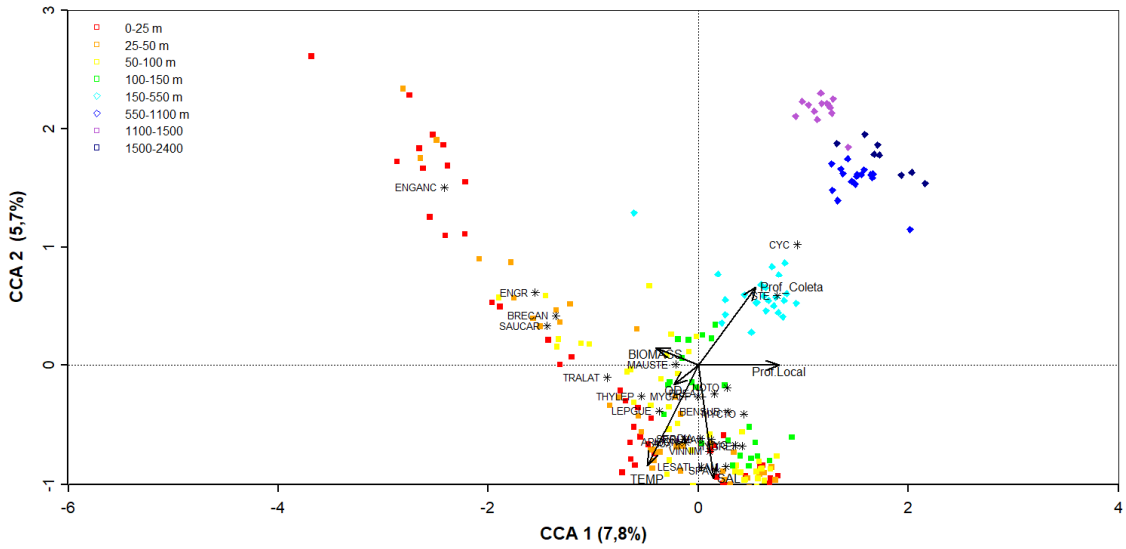


Figura VII.3.4.1-1: *Análise de Correspondência Canônica das assembleias de larvas de peixes na bacia de Santos durante o inverno.*

Durante o verão, as variáveis ambientais explicaram aproximadamente 17,4% da variabilidade da distribuição das larvas de peixes. A correlação espécie-ambiente variou entre 0,4426 (eixo 1) e 0,05679 (eixo 4). A porcentagem de variância acumulada foi de 18% na abundância das espécies e de 96% na relação espécie ambiente para os quatro primeiros eixos da ACC. Os dois primeiros eixos representaram 94% da porcentagem da variância acumulada na relação espécie ambiente. O maior comprimento dos vetores de temperatura,

PÚBLICA

salinidade, profundidade de coleta e profundidade local mostram são os fatores que têm maior influência sobre a distribuição das larvas de peixes (Figura VII.3.4.1-2).

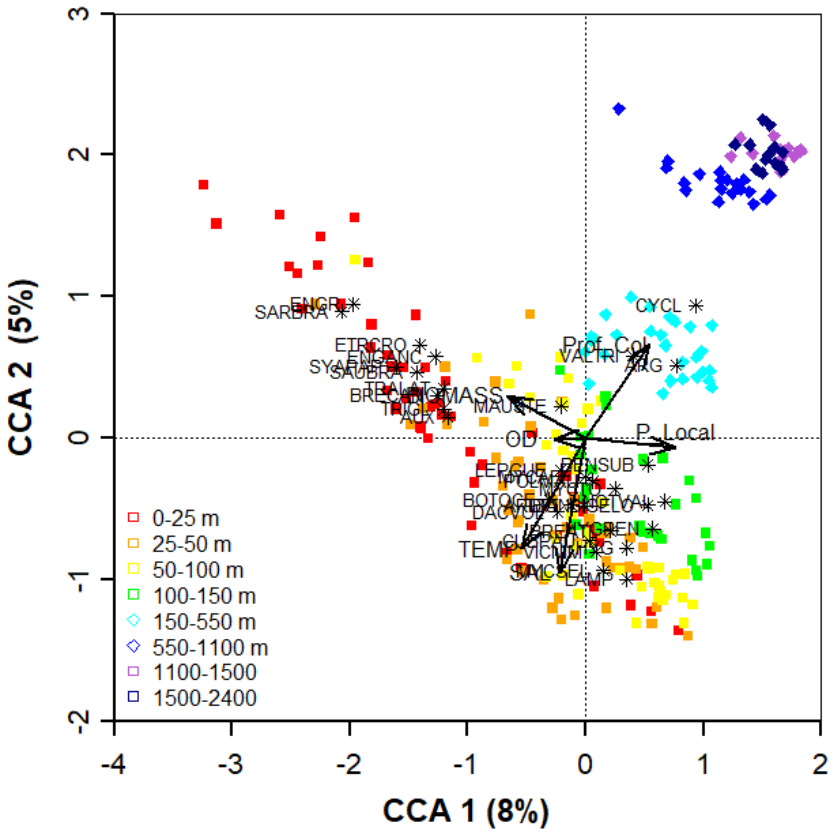


Figura VII.3.4.1-2: *Análise de Correspondência Canônica das assembleias de larvas de peixes na bacia de Santos durante o verão.*

Os vetores de profundidade local indicam um gradiente costa-oceano, onde os maiores valores de biomassa são observados nas estações mais próximas à costa e as maiores profundidades nas regiões oceânicas. A relação dos pares termohalinos pode ser associada às massas de água. Altos valores de salinidade e temperatura estão associados à alta porcentagem de AT e baixos valores de salinidade e temperatura à porcentagem de mais elevadas massas d'água mais frias, de estratos mais profundos. Nota-se que o gradiente de temperatura e salinidade coincide com a distribuição dos estratos de coleta que também representam as diferentes massas de água. Além disso, diagrama de ordenação da ACC mostra que as larvas de peixes possuem padrões distintos de distribuição ao longo dos gradientes analisados nos dois períodos (Figuras

PÚBLICA

VII.3.4.1-1 e VII.3.4.1-2). *Cyclothone* spp, a direita e acima do diagrama está relacionada com as amostras mais oceânicas, águas mais frias e maiores profundidades de coleta. À esquerda estão as espécies costeiras e de plataforma, como *E. anchoita* (verão e inverno) e *S. brasiliensis* (verão), relacionadas aos maiores valores de biomassa. Abaixo observa-se um grupo relacionado aos maiores valores de temperatura, salinidade e menores valores de profundidade de coleta. Neste grupo, tanto no inverno como no verão, dominam espécies mesopelágicas, principalmente da família Myctophidae, além de algumas espécies como *Auxis* spp, um pequeno pelágico da família Scombridae associado a massa de água tropical. Cabe ressaltar ainda a presença de *M. stehmanni* próximo ao centro do gráfico, relacionado a valores intermediários para a maioria dos fatores analisados, indicando a sua presença em profundidades de 100-150 m, associada a ACAS e plataforma externa.

VII.4 Discussão

Na Bacia de Santos, foram identificadas espécies comuns na costa brasileira, como a sardinha-verdadeira (*S. brasiliensis*), anchoita (*E. anchoita*), bonito-cachorra (*Auxis* spp), peixes-lanterna das famílias Myctophidae e Sternoptychidae, além de larvas de espécies mais raras, como o peixe-lua (*Mola sp.*), peixe-víbora (*Chauliodus minimus.*) e peixe dragão (*Idiacanthus atlanticus*). O número de táxons registrados nos dois períodos de coleta foi superior ao observado na Bacia de Campos, onde foram identificados 123 e 117 táxons nos períodos de verão e inverno, respectivamente (Bonecker et al., 2017). Na região sudeste brasileira são conhecidas 116 famílias e 518 espécies de peixes ósseos (Castello, 1994), e na Coleção Biológica do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo estão registradas ao menos 213 espécies de larvas de peixes, além de identificação em níveis superiores de gênero e família. Estes valores apontam para o sucesso da metodologia amostral utilizada na caracterização do ictioplâncton na Bacia de Santos.

Apesar da grande diversidade da comunidade ictioplanctônica da região, alguns grupos foram predominantes. Espécies da família Engraulidae e Clupeidae, como *E. anchoita* e a *S. brasiliensis*, estiveram entre as mais

PÚBLICA

abundantes e representativas da região nerítica, o que não é surpreendente, dado que possuem hábito costeiro (Whitehead *et al.,* 1988). Por outro lado, as larvas de peixes mesopelágicos das famílias Myctophidae, Sternoptychidae e Gonostomatidae foram as mais abundantes nas águas oceânicas da Bacia de Santos, como relatado em outros trabalhos realizados para além da isóbata de 100 m, em águas brasileiras e de outras localidades (Macedo-Soares *et al.,* 2014; Katsuragawa *et al.,* 2014, Bonecker *et al.,* 2012). As larvas destas famílias são consideradas membros permanentes das assembleias oceânicas de larvas de peixes (Doyle *et al.,* 1993; Nonaka et al., 2000; Macedo-Soares *et al.,* 2014; Katsuragawa *et al.,* 2014).

Em relação aos ovos de peixes, apesar dos amplos estudos sobre ictioplâncton na costa sudeste e sul do Brasil, os ovos normalmente não são identificados sistematicamente nem mesmo ao nível de família. Apenas grupos ou espécies com características exclusivas e conspícuas, como ovos da família Engraulidae, que são elipsoides (Favero et al., 2015) ou do gênero *Maurolicus*, que possem córion com ornamentação hexagonal, são identificados (Richards, 2006).

Embora haja uma variação na composição taxonômica, ovos e larvas de peixes foram coletados nos dois períodos amostrados, indicando atividade de desova durante todo o ano na Bacia de Santos. Contudo, a abundância do ictioplâncton foi maior durante o verão, provavelmente associada ao aumento da biomassa de zooplâncton na área costeira, devido ao enriquecimento das águas superficiais pela ACAS. A sardinha-verdadeira*, S. brasilienis*, por exemplo, foi abundante tanto no sul quanto no extremo norte da Bacia de Santos durante o verão. Porém, durante o inverno, as maiores abundancias da espécie ocorreram exclusivamente na região de Cabo Frio, possivelmente associada a entrada da ACAS. A ocorrência de vórtices frontais na região nerítica e a intensidade de penetração ACAS na região costeira promovem o aumento da produção primária e da estabilidade vertical da coluna d'água, aumentando a concentração de presas na subsuperfície e, consequentemente, criando condições favoráveis para o sucesso reprodutivo de peixes no verão (Bakun & Parrish, 1990, Jablonski & Legey, 2004). A sincronização da desova com o pico de produção de zooplâncton é de extrema importância para a alimentação e consequentemente

PÚBLICA

para a sobrevivência das larvas de peixes, e é a base da hipótese de encontros e desencontros de Cushing (1974), segundo a qual, a mortalidade é mais elevada quando o alimento não está disponível, principalmente nos primeiros dias em que a larva passa a se alimentar de maneira exógena.

Por outro lado, a desova durante o ano todo, sem diferença entre os períodos, é bastante comum entre as espécies oceânicas e deve refletir a relativa estabilidade dessa região (Doyle et al., 1993), que sofre menor variação sazonal tanto das condições oceanográficas como da biomassa de zooplâncton (Lopes *et al.,* 2006; Goçalo *et al.,* 2011). Essa biomassa diminui da região costeira em direção à oceânica, mas mesmo com baixas densidades de presas, as larvas de peixes apresentam altas taxas de alimentação, devido à microturbulência (Rothschild & Osborn, 1988; Dower *et al.,* 1997) e à distribuição agregada do plâncton, que elevam a taxa de encontro com a presa e garantem sua sobrevivência.

As análises estatísticas multivariadas apontaram diferenças na distribuição vertical (entre os estratos), latitudinal (norte-sul) e longitudinal (plataforma-talude) das larvas de peixes, sendo a diferença entre região nerítica e oceânica a mais evidente. A Análise de Correspondência Canônica demonstrou que as espécies estão distribuídas diferentemente ao logo dos gradientes ambientais de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, profundidade local e profundidade de coleta (estrato). A relação com valores extremos indica grande influência de determinado fator, mas a relação com valores intermediários pode indicar também uma ampla distribuição no gradiente (Ter Braak, 1986). Diferenças na composição das assembleias de larvas de peixes de acordo com os gradientes norte-sul e costa-oceano já foram observadas em outro estudo realizado na Bacia de Santos (Katsuragawa *et al.,* 2014) e apontam relação com as condições oceanográficas e com a distribuição da população adulta.

A relação dos pares termohalinos pode ser associada às massas de água. Altos valores de salinidade e temperatura estão associados à alta porcentagem de AT, altas temperaturas com baixa salinidade à presença de AC, baixos valores de salinidade e baixas temperaturas indicam a presença de ACAS, AIA, ACS e APAN, com os menores valores de salinidade e temperatura relacionados às águas mais profundas.

PÚBLICA

A baixa explicação das variáveis sobre a distribuição das larvas de peixe demonstra a complexidade em avaliar a distribuição desse grupo. Diversos fatores que não podem ser medidos diretamente também afetam a distribuição das espécies, incluindo local de desova dos adultos, predação, comportamento da larva, que por sua vez está muito ligado à morfologia, disponibilidade de alimento, velocidade das correntes de transporte, entre outros (Muhling *et al.,* 2007).

VII.5 Referências Bibliográficas

Bakun, A., Parrish, R.H. 1991. Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitats: the anchovy (Engraulis anchoita) of the southwestern Atlantic. **ICES Journal of Marine Science**, 48(3): 343-361.

Bonecker, A.C.T., Castro, M.S., 2006. Atlas de larvas de peixes da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira. **Série Livros/Documentos REVIZEE Score Central**. 214 p.

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. Série Zoologia, **Guias e manuais de identificação**. Curitiba. http://static.scielo.org/scielobooks/q7vqn/pdf/bonecker-9788598203102.pdf.

Bonecker, A.C.T., Katsuragawa, M., Castro, M.S., Gomes, E.A.P., Namiki, C.A.P., Zani-Teixeira, M.L., 2012. Larval fish of the Campos Basin, southeastern Brazil. **Check List**, (8): 1280–1291.

Bonecker, A.C.T., Katsuragawa, M., Castro, M.S., Gomes, E.A.P., Namiki, C.A.P., Zani-Teixeira, M.L. 2017. Estrutura espacial e temporal da comunidade ictioplanctônica. In: Falcão, A.P.C., Moreira, D.L. editores. **Ambiente pelágico: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste**. Rio de Janeiro: Elsevier. Habitats, v. 5. pp. 207-245.

Castello, J.P. 1994. Oceanografia biológica: Nécton. In: **Diagnóstico ambiental oceânico e costeiro das regiões sul e sudeste do Brasil**. FUNDESPA, São Paulo, 472p.

PÚBLICA

Cushing, D.H. 1974. The natural regulation of fish populations. In: Harden-Jones, F.R. (Ed.), **Sea fisheries research**. John Wiley and Sons. New York. pp. 399–412.

Doyle, M.J., Morse, W.W., Kendall, A.W., Jr., 1993. A comparison of larval fish assemblages in the temperate zone of the northeast Pacific and northwest Atlantic oceans. **Fisheries Science,** 53: 588-644.

Dower, J.F., Miller, T.J., Legget, W.C., 1997. The role of microscale turbulence in the feeding ecology of larval fish. **Advances in Marine Biology**, 31: 169–220.

Favero, J.M., Katsuragawa, M., Zani-Teixeira, M.L., Turner, J.T., 2015. Using new tools to identify eggs of Engraulis anchoita (Clupeiformes, Engraulidae). **Journal of Fish Biology,** 86: 822–826. http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12594.

Fahay, M.P. 2007. **Early Stages of Fishes in the Western North Atlantic Ocean (Davis Strait, Southern Greenland and Flemish Cap to Cape Hatteras)**. Nova Scotia: Northwest Atlantic Fisheries Organization.

Jablonski, S., Legey, L.F.L. 2004. Quantifying environmental effects on the recruitment of the Brazilian sardine (Sardinella brasiliensis), 1977-1993. **Scientia Marina**, 68(3): 385-398.

Goçalo, C.G., Katsuragawa, M., Silveira, I.C.A., 2011. Patterns of distribution and abundance of larval Phosichthyidae (Actinopterygii, Stomiiformes) in southeastern Brazilian waters. **Brazilian Journal of Oceanography**, 59: 213–229.

Gray, C., Miskiewicz, A.G., 2000. Larval fish assemblages in South-East Australian coastal waters: seasonal and spatial structure. **Estuarine, Coastal and Shelf Science,** 50: 549-570.

Hastie, T.J.; Tibshirani, R.J. 1990. **Generalized Additive Models**. New York: Chapman and Hall.

Hempel, G. 1979. **Early life history of marine fish. The egg stage**. University of Washington Press, Seatle, 70 p.

Holliday, D., Beckley, L. E., Olivar, M. P., 2011. Incorporation of larval fishes into a developing anti-cyclonic eddy of the Leeuwin Current off south-western Australia. **Journal of Plankton Research,** 33: 1696–1708.

Kohonen, V. 2001. Towards experiential foreign language education. In **Experiential learning in foreign language education**. (Eds.) Kohonen, V., Jaatinen, R., Kaikkonen, P., Lehtovaara, J. 8-60.

Legendre, P.; Gallagher, E.D. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. **Oecologia,** 129: 271–280. https://doi.org/10.1007/s004420100716

Loeb, V.J., 1979. Vertical distribution and development of larval fishes in the North Pacific Central Gyre during summer. **Fishery Bulletin,** 77: 777–793.

Lopes, C.L., 2006. Variação espaço-temporal do ictioplâncton e condições oceanográficas na região de Cabo Frio (RJ). Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. 197 p.

Lopes, R.M., Katsuragawa, M., Dias, J.F., Montú, M.A., Muelbert, J.H., Gorri, C., Brandini, F.P., 2006. Zooplankton and ichthyoplankton distribution on the southern Brazilian shelf : an overview. **Scientia Marina**,70: 189–202.

Macedo-Soares, L.C.P., Garcia, L.C.A., Freire, A.S., Muelbert, J.H. 2014. Large-scale ichthyoplankton and water mass distribution along the South Brazil shelf. **PLoS One** 9 (3), e91241.

Marancik, K.E., Clough, L.M., Hare, J.A., 2005. Cross-shelf and seasonal variation in larval fish assemblages on the southeast United States continental shelf off the coast of Georgia. **Fishery Bulletin,** 103: 108–129.

Matsuura, Y., Kitahara, E.M., 1995. Horizontal and vertical distribution of anchovy Engraulis anchoita eggs and larvae from Cape Santa Marta Grande in southern Brazil. **Archieves of Fisheries and Marine Research,** 42: 239–250.

Matsuura, Y. 1998. Brazilian Sardine (Sardinella brasiliensis) spawning in the Southeast Brazilian Bight over the period 1976-1993. **Revista Brasileira de Oceanografia,** 46(1): 33-43.

Matsuura, Y., Olivar, M.P. 1999. Fish larvae. In: BOLTOVSKOY, D. (ed.), **South Atlantic Zooplankton**, p. 1446-1496, Leiden: Backhuys, 1705p.

Moser, H.G., 1981. Morphological and functional aspects of marine fish larvae. In: Lasker, R. (Ed.), **Marine fish larvae: morphology, ecology, and relation to fisheries**. Washinton Sea Grant Program. Seatle and London. pp. 89-131.

Moser, H.G., Smith, P.E., 1993. Larval fish assemblages of the California Current region and their horizontal and vertical distributions across a front. **Bulletin of Marine Science,** 53: 645-691.

Muhling, B.A., Beckley, L.E., Olivar, M.P., 2007. Ichthyoplankton assemblage structure in two meso-scale Leeuwin Current eddies, eastern Indian Ocean. **Deep Sea Research Part II,** 54: 1113-1128.

Nonaka, R.H., Matsuura, Y., Susuki, K., 2000. Seasonal variation in larval fish assemblages in relation to oceanographic conditions in the Abrolhos Bank region off eastern Brazil. **Fishery Bulletin,** 98: 767–784.

Oksanen, J.; Simpson, G. L.; Blanchet, F. G.; Kindt, R.; Legendre, P.; Minchin, P. R.; O'hara, R. B.; *et al*. 2022. Package "vegan": Community Ecology Package. **R Package version 2.6-4**. Disponível em: https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html.

Park, Y. S., Céréghino, R., Compin, A., Lek, S. 2003. Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters. **Ecological Modelling**, 160: 265–280. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00258-2.

Richards, W.J. 2006. **Early Stages of Atlantic Fishes: An Identification Guide for the Western North Atlantic.** 2761 p.

Richards, W. J. 2006. Sternoptychidae: Marine hatchetfishes and relatives. In: Richards, W. J. (Ed.), Early Stages of Atlantic Fishes: An Identification Guide for the Western North Atlantic Volume I. pp. 217-246.

Rothschild, B.J., Osborn, T.R. 1988. Small-scale turbulence and plankton contact rates. **Journal of Plankton Research**, 10:465–474.

Sassa, C., Moser, H.G., Kawaguchi, K., 2002. Horizontal and vertical distribution patterns of larval myctophid fishes in the Kuroshio Current region**. Fisheries Oceanography,** 11: 1–10.

Ter Braak, C. J. F. 1986. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, 67: 1167–1179.

Ter Braak, C. J. F. 1994. Canonical community ordination. Part I: Basic theory and linear methods. **Ecoscience**, 1: 127–140.

Ter Braak, C. J. F. & Prentice, I. C. 1988. A theory of gradient analysis. Advances in **Ecological Research**, 18: 271–317.

Ter Braak, C. J. F. & Verdonschot, P. F. M. 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. **Aquatic Sciences**, 57: 255–289.

Vieira, D.C., Fonseca, G. 2022. **iMESc: An Interactive Machine Learning App for Environmental Science**. https://doi.org/10.5281/zenodo.6484391

Whitehead, P. J. P. 1988. An annotated and illustrated catalogue of herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeoidei). **FAO fisheries synopsis**, 125(2): 305-579.

PÚBLICA

VII.6 Equipe Técnica

Nomes	Formação	Atuação
Cláudia Namiki	Bióloga, Doutora em Oceanografia Biológica, IOUSP	Coordenação do Subprojeto IOUSP, coleta de campo, análises laboratoriais e processamento de dados.
Henrique Grande	Biólogo, Doutor em Oceanografia Biológica	Pós-doutorando IOUSP, coleta de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Mario Katsuragawa	Biólogo, Doutor em Oceanografia Biológica IOUSP	Responsável pelo laboratório de ictioplâncton IOUSP, análises laboratoriais e processamento de dados
Maria de Lourdes Zani-Teixeira	Bióloga, Mestre em Oceanografia Biológica IOUSP	Técnica do LABEIM IOUSP, análises laboratoriais e processamento de dados
Érico Silva Lima Gomes dos Santos	Graduando em Oceanografia IOUSP	Técnico, Coleta de campo e análises laboratoriais e processamento de dados
Maria Luiza Flaquer da Rocha	Bióloga, Doutora em Oceanografia Biológica IOUSP	Pós-doutoranda Análises laboratoriais e processamento de dados
Tulia Isabel Martinez Aguilar	Bióloga, Doutora em Oceanografia Biológica IOUSP	Pós-doutoranda Análises laboratoriais e processamento de dados
Ian Ikeda Pereira Ramos Camargo de Almeida	Bacharel em Oceanografia IOUSP	Técnico Análises laboratoriais e processamento de dados
Gabriel Vilanova	Graduando em Oceanografia IOUSP	Bolsista de Iniciação Científica Análises laboratoriais e processamento de dados
Gabriela Borges França	Graduanda em Oceanografia IOUSP	Bolsista de Iniciação Científica Análises laboratoriais e processamento de dados
Ulisses Cavalcante dos Santos	Graduando em Oceanografia IOUSP	Bolsista de Iniciação Científica Análises laboratoriais e processamento de dados
Fernando Masahiro Sato Tamashiro	Graduando em Oceanografia IOUSP	Bolsista de Iniciação Científica Análises laboratoriais

PÚBLICA

VIII. Composição e dinâmica espacial e sazonal do nêuston da Bacia de Santos

VIII.1 Introdução

O nêuston compreende os organismos que vivem associados à película de tensão superficial da água, permanecendo todo tempo ou parte dele, nos primeiros centímetros da coluna d'água (Zaitsev, 1971). Devido ao seu posicionamento entre a atmosfera e o oceano, os organismos neustônicos são os primeiros a ficarem expostos a diferentes fatores, como mudanças climáticas, radiação solar, precipitação, velocidade e direção do vento, temperatura, salinidade, matéria orgânica, correntes, ondas, sistemas frontais, bem como à poluição por dejetos humanos, incluindo nutrientes, toxinas, nanomateriais e detritos de plástico (Marshall & Burchardt, 2005; Bonecker *et al*., 2022). Além destes fatores, em função da solubilidade relativamente baixa dos hidrocarbonetos (Wagener *et al*., 2017), em caso de derrame de óleo no mar é nesta camada superficial que ocorrerá os maiores danos ambientais (Bonecker *et al.,* 1995; Varela *et al*., 2006).

As vantagens de uma existência no nêuston incluem maior crescimento, menores níveis de predação e concentrações adequadas de alimentos, entre outras. Diversas espécies escolhem o nêuston como um nicho ecológico devido às condições tróficas únicas que prevalecem nesta camada superficial (Doyle, 1992).

O interesse pelo nêuston marinho, ou plâncton da camada superficial, é bastante recente. A importância da camada superficial na economia do mar foi destacada pela primeira vez por Zaitevev (1970) em sua monografia que foi baseada em grande parte em estudos desenvolvidos no Mar Negro. Estudos posteriores no Atlântico Noroeste (Morris, 1975) e Golfo do México (Berkowitz, 1976) foram aprimorados, e realizaram a comparação com as camadas subsuperficiais.

Alguns estudos analisaram possíveis variações na composição da assembleia de larvas de peixes coletadas com a rede de nêuston (arrastos

PÚBLICA

horizontais) e com a rede bongô através de arrastos oblíquos (Ahlstrom & Stevens, 1976, Katsuragawa & Matsuura, 1990; Bonecker, 2007). Na costa brasileira a maioria dos estudos desenvolvidos até o momento com a comunidade neustônica objetivou conhecer a composição, distribuição espacial e temporal dos ovos e larvas de peixes nessa camada superficial. Todos esses estudos foram concentrados em regiões oceânicas, compreendendo projetos de caracterização (Gonçalves, 2004; Bonecker, 2007; Bonecker *et al*., 2015; Bonecker *et al*., 2017; Bonecker *et al*., 2019a; Schwamborn *et al*., 2020) e monitoramento ambiental (Bonecker *et al*., 2019b; 2022). Estudos de distribuição, abundância e aspectos ecológicos do ictionêuston e, em particular, de larvas de peixe voador foram realizados no nordeste brasileiro, próximo a Fernando de Noronha e ao Arquipélago de São Pedro e São Paulo (Lessa *et al*., 1997; 1999; Advincula *et al*., 1997). Monteiro *et al*. (1997) estudaram a ocorrência de peixe voador entre o Golfão Maranhense e Salvador.

A maioria dos estudos de zoonêuston realizados no mundo também teve como objetivo descrever a composição, abundância, diversidade e variação sazonal, principalmente em regiões oceânicas (p. ex. Ebberts & Wing, 1997; Collard *et al*., 2015; Smith *et al*., 2017; Schwamborn *et al*., 2019; Helm, 2021a e b). Entretanto, para a costa brasileira ainda existem poucos estudos sobre o zooplâncton da camada neustônica.

O objetivo do presente estudo foi estimar a biomassa, identificar a composição taxonômica dos organismos zoo e ictioneustônicos, analisar quali-quantitativamente a variação temporal (inverno e verão) e espacial (plataforma e região oceânica; norte e sul da Bacia de Santos) da abundância do nêuston. Além disso, pretendeu-se correlacionar as comunidades neustônicas com os fatores ambientais.

VIII.2 Métodos

VIII.2.1 Atividades de campo

As amostras estudadas são provenientes das coletas realizadas durante o dia através de arrastos horizontais com a rede de nêuston. Previamente, foram estabelecidas 60 estações de amostragem, distribuídas em oito transectos (A,

PÚBLICA

B, C, D, E, F, G, H) e em seis a oito isóbatas, desde a região costeira até a oceânica, dependendo da extensão da plataforma continental. Entretanto, devido às condições de mar muito restritivas para esta amostragem, na campanha realizada entre agosto e outubro de 2019 (inverno) foram coletadas amostras em 41 estações (82 amostras) e entre dezembro de 2021 e março de 2022 foram realizadas amostragens em 39 estações (78 amostras). A rede de nêuston utilizada (Hydro-Bios modelo 300) é composta por um corpo nadador de catamarã, uma moldura dupla para redes de superfície e subsuperfície, duas redes superpostas de malha 500 µm, com abertura de 15 cm de altura x 30 cm de largura e comprimento de 400 cm, na interface água/ar (epinêuston) e na camada inferior a aproximadamente de 15-30 cm abaixo (hiponêuston). A rede inferior foi equipada com fluxômetro (General Oceanics) para estimar o volume de água filtrada. Após a coleta, as amostras foram imediatamente fixadas com formaldeído diluído a 4%, preparado com água do mar e tamponado com tetraborato de sódio a razão de 20 g por litro.

VIII.2.2 Análises de laboratório

As amostras foram fracionadas com auxílio do Folsom Plankton Sample Splitter (Hydro-bios) para a triagem do zoonêuston (McEwen *et al*., 1954) (Figura VIII.2.2-1), mas o ictionêuston foi totalmente triado. Todos os grupos do zoonêuston foram quantificados e os mais abundantes e com importante interesse ecológico foram triados e quantificados. O número total de organismos do nêuston foi expresso em indivíduos por 100 metros cúbicos de água filtrada (ind.100 m^{-3}).

Figura VIII.2.2-1: *Folsom Plankton Sample Splitter utilizado para fracionamento das amostras.*

PÚBLICA

Os organismos foram identificados sob estereomicroscópio até o menor nível taxonômico possível, principalmente Actinopterygii (larvas de peixes), Copepoda, Branchiopoda, Decapoda (larvas), Salpidae, Chaetognatha, Thaliacea e Appendicularia. Os grupos foram identificados com referências bibliográficas especializadas, tais como: Boltovskoy (1999); Bonecker (2006); Richards (2006); Bonecker & Castro (2006); Bonecker *et al.* (2014), entre outros.

Foi realizada uma reanálise de 10% de todas as amostras avaliadas por cada triador, utilizando a experiência de um segundo analista. Os critérios observados, para aceitação do lote triado ou retriagem foram estabelecidos conjuntamente com a coordenação do Projeto, seguindo padrões reconhecidos internacionalmente. Quanto aos critérios de refinamento da identificação, os nomes científicos de espécies foram checados no banco de dados internacional "*World Register of Marine Species*" (WoRMS, 2022). O inventário de ovos e larvas de peixes seguiu a classificação proposta por Nelson *et al*. (2016). Todos os nomes de famílias e espécies de peixes identificadas no presente estudo foram atualizados de acordo com Fricke *et al.* (2022) e a seguir checados no WoRMS.

Após a identificação todos os organismos foram tombados nas coleções de zooplâncton e ictioplâncton do Laboratório Integrado de Zooplâncton e Ictioplâncton da Universidade Federal do Rio de Janeiro – DZUFRJ. Os grupos propostos para identificação correspondem a aproximadamente 95% dos táxons encontrados no nêuston marinho.

VIII.2.3 Análises Estatísticas

Foram aplicadas análises estatísticas multivariadas para testar a influência das variáveis ambientais sobre a distribuição do nêuston nas campanhas de verão e inverno, bem como sobre a composição do epinêuston e hiponêuston. A normalidade dos dados foi testada pelo teste de Shapiro-Wilk. A distribuição da biomassa e abundância total do nêuston foi avaliada através de testes não paramétricos. O teste de Mann-Whitney foi utilizado para verificar se houve diferença dos valores de biomassa e abundância dos organismos entre plataforma continental e zona oceânica, entre as regiões norte e sul da Bacia de

PÚBLICA

Santos e entre as campanhas de inverno e verão. Quando houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os fatores testados, foi realizado o teste *post-hoc* de Tukey (Stricker, 2008). Essas análises foram realizadas no programa Statistica® 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, U.S.A).

Calculou-se a frequência de ocorrência (FO) de todos os táxons identificados, para avaliar as mais representativas da área de estudo. O cálculo foi realizado utilizando a fórmula: FO = (pa/P)*100, onde: FO = frequência de ocorrência; pa = número de estações onde se encontra a categoria taxonômica (estação positiva) e P = número total de estações de coleta. Utilizou-se a seguinte classificação (Matteucci & Colma, 1982) de frequência de ocorrência: muito frequente - presente em ≥ 70% das amostras; frequente - presente entre ≥ 40% e < 70%; pouco frequente - presente entre ≥ 10% e < 40% e esporádica - presente em menos de 10% das amostras.

Verificou-se também a abundância relativa dos táxons em todas as amostras através da fórmula: AR = (N × 100)/n, onde: N = número total de cada táxon na amostra; N = número total de indivíduos na amostra. O critério de classificação adotado para a abundância relativa das espécies foi o descrito por Lobo & Leighton (1986), onde os resultados obtidos foram expressos como: dominante > 50%; abundante 50% - 30%; pouco abundante 30% - 10% e rara ≤ 10%.

Com a finalidade de realizar a integração dos dados bióticos e abióticos, foi realizada uma Análise de Redundância (RDA) para investigar os padrões de distribuição espacial dos principais grupos do zoonêuston e do ictionêuston, assim como suas relações com as variáveis físico-químicas. Os dados ambientais foram adquiridos a partir das planilhas de CTD disponibilizadas pelo navio. A matriz de dados foi construída e o *Variance Inflation Factor* (VIF) foi aplicado para diagnosticar a colinearidade entre as variáveis físico-químicas, sendo removidas aquelas com VIF>10. O RDA foi executado usando pacotes *vegan*, e *HH* (Oksanen *et al.,* 2013, Heiberger, 2013) no programa *R* (v3.2.4, R Core Team 2016).

Para verificar padrões na distribuição espacial do nêuston na Bacia de Santos, as abundâncias dos principais grupos taxonômicos das duas campanhas de amostragem foram utilizadas em testes realizados através de técnicas de *Machine Learning*. O *Self-Organizing Maps* (SOM), desenvolvido por

PÚBLICA

Kohonen (2001), é um tipo de rede neural artificial útil para extrair padrões em grandes conjuntos de dados multivariados. O *Hierarchical Clustering* (HC) foi utilizado para agrupar os neurônios gerados no SOM, e consequentemente as amostras, de acordo com a abundância dos grupos zooplanctônicos. O resultado do HC foi apresentado em mapas com as estações de coleta na Bacia de Santos. Estas análises e mapas foram confeccionados no iMESC (Vieira & Fonseca, 2022).

VIII.3 Resultados

VIII.3.1 Biomassa

A biomassa média registrada durante a campanha de inverno foi igual a 0,144 ± 0,33 g.m^{-3} no epinêuston (Tabela VIII.3.1-1), sendo a estação G1 (1,841 g.m^{-3}), em frente à Baía de Guanabara com a maior biomassa e as estações E8 (0,0004 g.m^{-3}), na região oceânica, e H3 (0,0009 g.m^{-3}), em frente a Cabo Frio, com as menores biomassas (Figura VIII.3.1-1a). No hiponêuston a média foi de 0,4830 ± 1,37 g.m^{-3} (Tabela VIII.3.1-1), sendo as estações C4 (7,0838 g.m^{-3}) e C2 (5,3064 g.m^{-3}), localizadas mais ao sul da área de estudo com as maiores biomassas, e a estação G4 (0,0005 g.m^{-3}), já na região oceânica (460 m) ao largo da Baía de Guanabara, e D8 (0,0072 g.m-^{3}), na isóbata de 2400m, com os menores valores de biomassa (Figura VIII.3.1-1b). As biomassas da campanha de inverno estão listadas no Anexo VIII-1.

Tabela VIII.3.1-1: *Número de amostras (N), valor médio (Média±Desvio Padrão), mínimo e máximo de biomassa planctônica (g.m^{-3}), obtida com a rede neustônica superior (epinêuston) e inferior (hiponêuston), durante as campanhas de inverno (2019) e verão (2021/2022).*

	Inverno		Verão	
	Epinêuston	Hiponêuston	Epinêuston	Hiponêuston
N	41	41	39	39
Min-Máx	0,0004 – 1,841	0,0004 – 7,0838	0,005 – 1,511	0,008 – 2,544
Média±DP	0,1444±0,33	0,483±1,37	0,218±0,35	0,292±0,54

PÚBLICA

Comparando-se as duas redes neustônicas, observou-se que a biomassa do hiponêuston foi significativamente superior à do epinêuston ($p < 0,05$). Foi observada também maior biomassa na plataforma quando comparada com a região oceânica ($p < 0,05$), tanto no epinêuston como no hiponêuston. Entre as áreas ao norte e ao sul da Ilha de São Sebastião, na Bacia de Santos, não houve diferença significativa entre os valores de biomassa ($p = 0,37$).

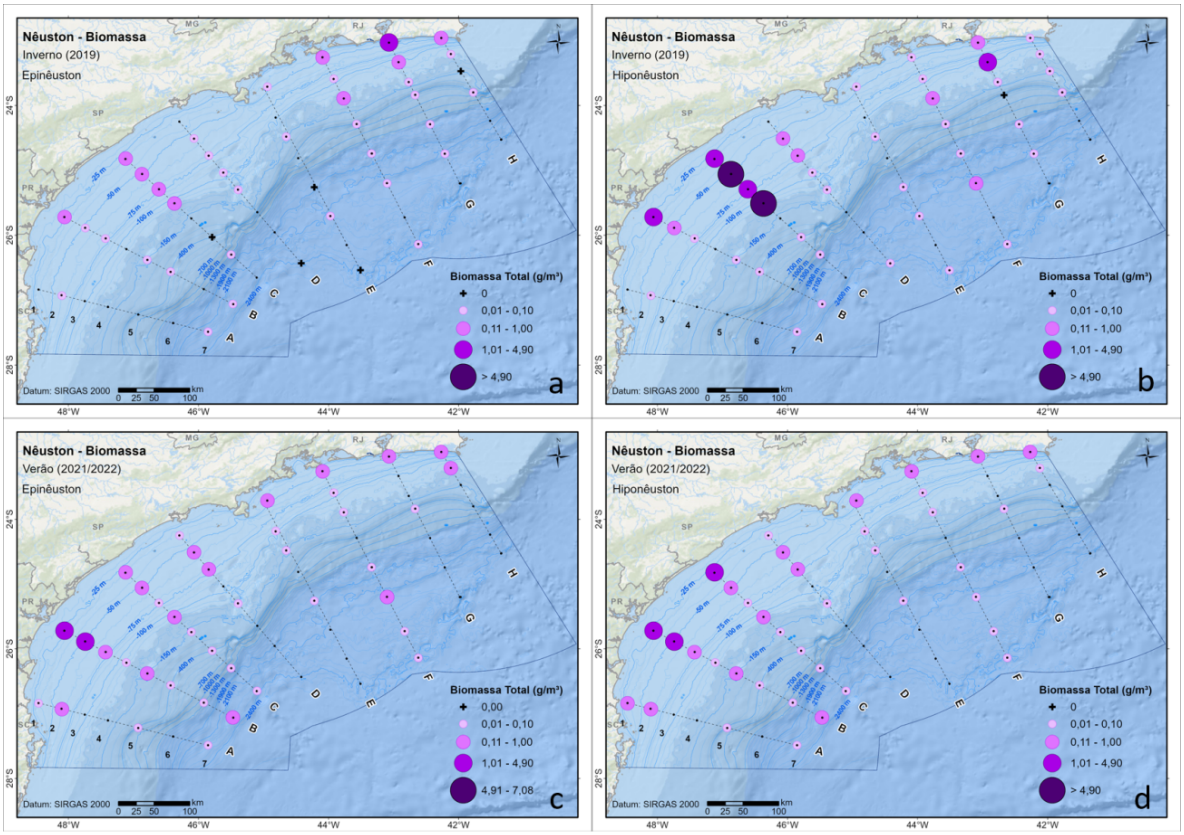


Figura VIII.3.1-1: *Biomassa total (g.m^{-3}) do nêuston amostrado durante as campanhas de inverno (2019) e verão (2021/2022) na Bacia de Santos. a= epinêuston da campanha de inverno; b= hiponêuston da campanha de inverno; c= epinêuston da campanha de verão; d= hiponêuston da campanha de verão.*

No verão, o valor médio da biomassa do epinêuston foi igual a 0,218 ± 0,35 g.m^{-3} (Tabela VIII.3.1-1). Os maiores valores de biomassa foram observados nas estações B2 (1,51 g.m^{-3}) e B1 (1,43 g.m^{-3}), localizadas mais ao sul sobre a plataforma, e as menores biomassas foram registradas nas estações A5 (0,005 g.m^{-3}) e B4 (0,006 g.m^{-3}), mas sobre o talude e plataforma continental, respectivamente (Figura VIII.3.1-1c). No hiponêuston, a biomassa média

PÚBLICA

registrada foi igual a 0,292 ± 0,54 g.m^{-3} (Tabela VIII.3.1-1). A maior biomassa foi observada na estação B1 (2,54 g.m^{-3}), na plataforma mais ao sul da bacia, e o menor valor de biomassa ocorreu na estação C7 (0,008 g.m^{-3}), na região oceânica (Figura VIII.3.1-1d). As abundâncias totais da campanha de verão estão listadas no Anexo VIII-2.

Não foi observada diferença significativa (p = 0,78) entre os valores de biomassa do epi- e do hiponêuston e entre as áreas norte e sul (p = 0,69). Entretanto, a biomassa foi significativamente maior na plataforma (p < 0,05) tanto no epinêuston como no hiponêuston. A biomassa total do verão foi significativamente superior à do inverno (p = 0,037).

VIII.3.2 Abundância total

Na campanha de inverno foram registrados 3.583 ovos de peixes, 34 larvas de peixes e 21 grupos zooneustônicos no epinêuston. No hiponêuston, foram coletados 5.424 ovos de peixes, 33 larvas de peixes e 22 grupos zooneustônicos (Tabela VIII.3.2-1).

As abundâncias totais da campanha de inverno estão listadas no Anexo VIII-1. As maiores abundâncias de organismos zooneustônicos no epinêuston foram registradas nos dois transectos mais ao norte da bacia (G e H) (Anexo VIII-4). As estações H1 (71.690,30 ind.100 m^{-3}) e G1 (37.905,36 ind.100 m^{-3}) tiveram as maiores abundâncias. No perfil C as abundâncias também se destacaram das demais com valores acima de 4.300 ind.100 m^{-3} nas amostras mais costeiras (Figura VIII.3.2-1a). No hiponêuston as maiores abundâncias foram observadas em estações do perfil C (C2 – 46.720,00 ind.100 m^{-3} e C4 – 28.461,98 ind.100 m^{-3}). As estações C1, B1 e H1 também se destacaram com valores acima de 12.000 ind.100 m^{-3} (Figura VIII.3.2-1b).

Foi observada diferença significativa entre as abundâncias do epi- e do hiponêuston (p < 0,05) e entre a região da plataforma e oceânica (p < 0,001), onde a abundância foi maior na região da plataforma. Não houve diferença significativa (p = 0,703937) entre os valores de abundância total entre as regiões norte e sul da Bacia de Santos, apesar das maiores abundâncias encontradas na porção sul da bacia.

PÚBLICA

Tabela VIII.3.2-1: *Número de amostras (N), mínimo e máximo (Min-Máx) e valor médio (Média±Desvio Padrão), da abundância dos organismos neustônicos (ind.100 m^{-3}), ovos (ovos.100 m^{-3}) e larvas de peixes (larvas.100 m^{-3}), obtida com a rede neustônica superior (epinêuston) e inferior (hiponêuston), durante as campanhas de inverno (2019) e verão (2021/2022).*

		Inverno		Verão	
		Epinêuston	Hiponêuston	Epinêuston	Hiponêuston
Zoonêuston	N	41	41	39	39
	Min-Máx	13,5-71.690,32	22,81-46718,33	76,89-77255,14	123,63-66864.57
	Média±DP	34.052,02±12.422,51	3890,6±8702,30	10.018,23±16254,85	8819.26±15174,32
Ovos de peixes	N	35	39	38	39
	Min-Máx	0,64-5032,20	1,86-3196,61	6.81-1.616,63	1.51-2189.36
	Média±DP	250,10±873,80	242,9±671,08	272,25±392,40	302,71±503,20
Larvas de peixes	N	13	16	22	23
	Min-Máx	0,64-16,07	1,20-7,80	1,96-156,97	1,30-209,30
	Média±DP	5,00±4,45	3,14±2,07	14,93±32,45	13,10±42,89

PÚBLICA

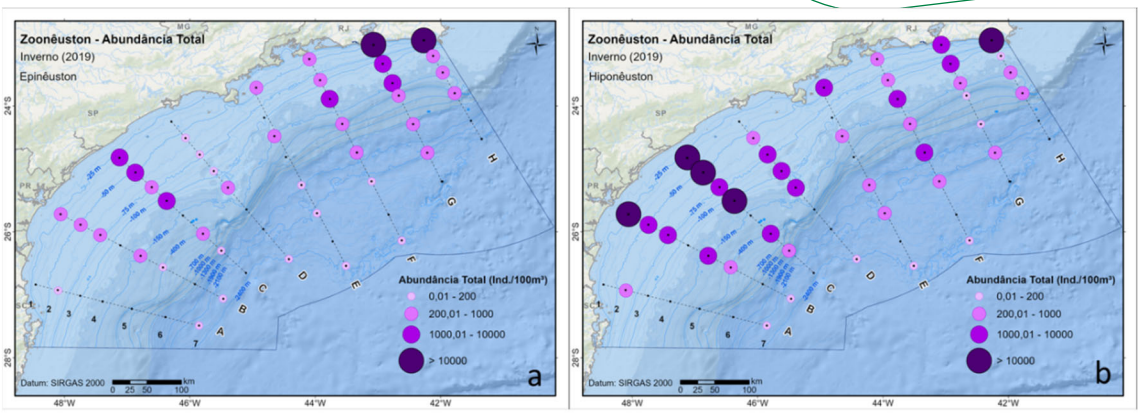


Figura VIII.3.2-1: *Abundância total (ind.100 m^{-3}) dos organismos neustônicos amostrados durante a campanha de inverno (2019) na Bacia de Santos. a= zoonêuston no epinêuston; b= zoonêuston no hiponêuston.*

Em relação ao ictionêuston, foram registradas baixas abundâncias de ovos de peixes no epinêuston, com a maioria dos valores (90%) abaixo de 200 ovos.100 m^{-3} (Anexo VIII-5). As maiores abundâncias de ovos ocorreram em dois transectos mais ao norte da bacia (F3 – 5.032,25 ovos.100 m^{-3} e G3 – 1.681,68 ovos.100 m^{-3}) (Figura VIII.3.2-2a). No hiponêuston, as maiores abundâncias de ovos de peixes foram registradas nas estações F3 (3.196,59 ovos.100 m^{-3}), D2 (2.651,22 ovos.100 m^{-3}) e G2 (1.388,92 ovos.100 m^{-3}) (Figura VIII.3.2-2b). Assim como no epinêuston, a maioria das abundâncias de ovos (83%) ficou abaixo de 200 ovos.100 m^{-3}.

As abundâncias de larvas de peixes são consideradas baixas quando comparadas a outros grupos do nêuston. As maiores abundâncias foram registradas nas estações H1 (16,07 larvas.100 m^{-3}) e E6 (12,12 larvas.100 m^{-3}) no epinêuston e nas estações F6 (7,80 larvas.100 m^{-3}), C6 (7,09 larvas.100 m^{-3}) e C4 (6,22 larvas.100 m^{-3}) no hiponêuston (Figura VIII.3.2-2c e d).

A abundância total do inverno no hiponêuston foi maior que no epinêuston (p<0,05). Em relação à variação latitudinal, não houve diferença significativa na abundância total entre as regiões norte e sul da Bacia de Santos no inverno (p=0,704).

PÚBLICA

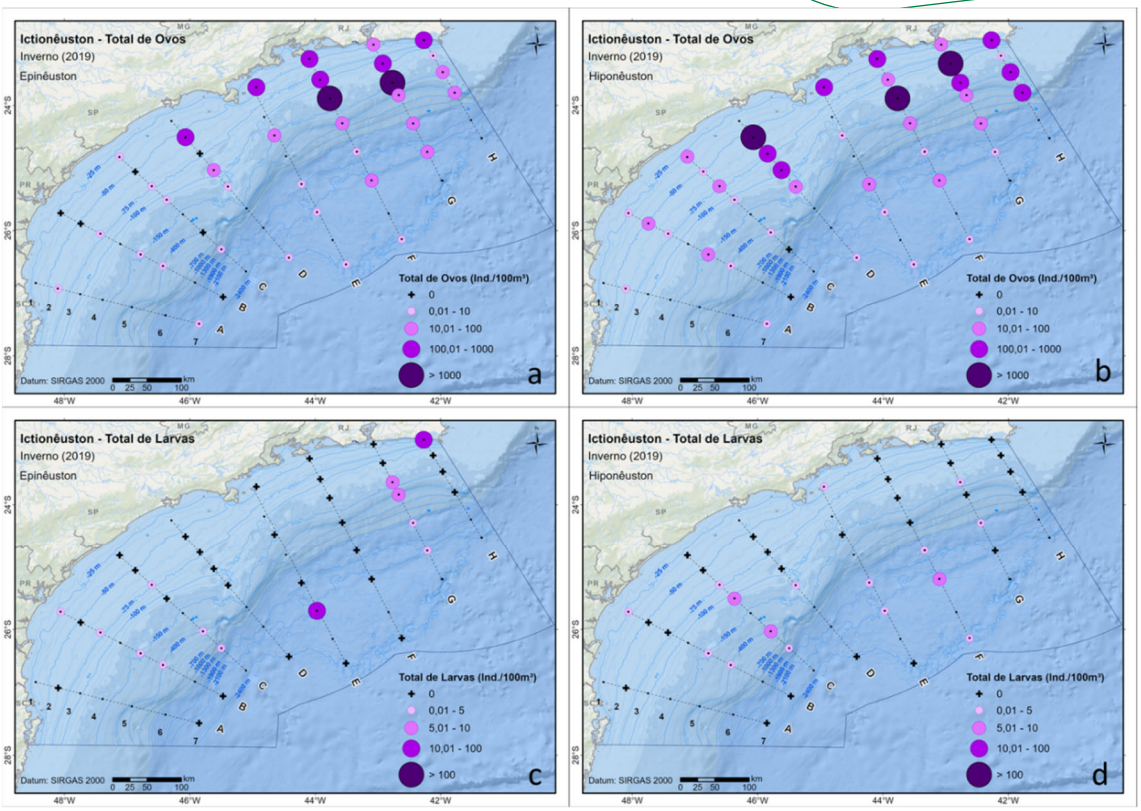


Figura VIII.3.2-2: *Abundância total) do ictionêuston amostrado durante a campanha de inverno (2019) na Bacia de Santos. a= ovos de peixes (ovos.100 m^{-3}) no epinêuston; b= ovos de peixes (ovos.100 m^{-3}) no hiponêuston; c= larvas de peixes (larvas.100 m^{-3}) no epinêuston; d= larvas de peixes (larvas.100 m^{-3}) no hiponêuston.*

Na campanha de verão, no epinêuston, foram encontrados 3.331 ovos de peixes, 71 larvas de peixes e 28 grupos zooneustônicos. No hiponêuston, foram coletados 5.589 ovos, 73 larvas e 27 grupos zooneustônicos (Tabela VIII.3.2-1).

As abundâncias totais da campanha de verão estão listadas no Anexo VIII-7. As maiores abundâncias de organismos zooneustônicos no epinêuston foram registradas nas estações G1 (77.255,14 ind.100 m^{-3}) e D3 (51.260,19 ind.100 m^{-3}). As estações D2, F1 e H2 também se destacam por abundâncias superiores a 30.000 ind.100 m^{-3} (Figura VIII.3.2-3a). No hiponêuston as maiores abundâncias foram observadas nas estações G1 (66.864,57 ind.100 m^{-3}) e F1 (50.578,24 ind.100 m^{-3}), localizadas ao norte da bacia, na região costeira. As estações D2 e E1 também se destacaram com valores acima de 36.000 ind.100 m^{-3} (Figura VIII.3.2-3b). As maiores abundâncias de organismos do zoonêuston ficaram

PÚBLICA

concentradas principalmente em estações da região norte da Bacia de Santos, na plataforma e mais próximas à região costeira (Tabela VIII.3.2-1).

Não houve diferença significativa entre a abundância do epi e do hiponêuston (p = 0,700426) e nem das áreas norte e sul (p = 0,940699). Entretanto, foi observada diferença significativa entre as campanhas de inverno e verão (p < 0,05) e entre a região da plataforma e região oceânica (p < 0,001), onde a abundância foi maior na plataforma.

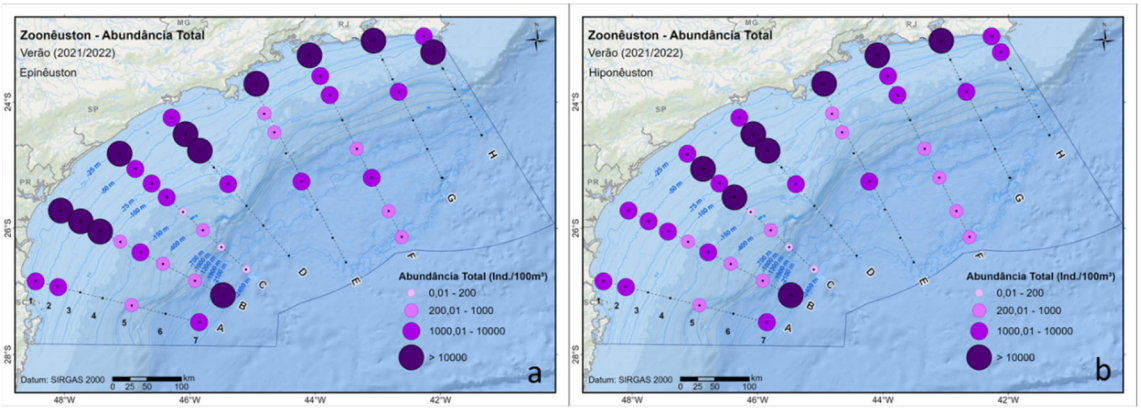


Figura VIII.3.2-3: *Abundância total (ind.100 m^{-3}) do zoonêuston amostrado durante a campanha de verão (2021/2022) na Bacia de Santos. a= zoonêuston no epinêuston; b= zoonêuston no hiponêuston.*

Para o ictionêuston as maiores abundâncias de ovos de peixes ocorreram nas mesmas estações em ambas as camadas amostradas: B1, D1 e D2 (Figura VIII.3.2-4a e b). No epinêuston, as maiores abundâncias foram registradas nas seguintes estações: B1 (1.616,63 ovos.100 m^{-3}), D1 (1.227,01 ovos.100 m^{-3}) e D2 (1.202,28 ovos.100 m^{-3}) (Anexo VIII-8). No hiponêuston, a estação D1 teve a maior abundância (2.189,36 ovos.100 m^{-3}), seguida de B1 (1.991,79 ovos.100 m^{-3}) e D2 (1.195,48 ovos.100 m^{-3}) (Anexo VIII-8). As abundâncias totais de ovos de peixes da campanha de verão estão listadas no Anexo VIII-8.

Na campanha de verão os valores de abundância de ovos de peixes foram um pouco maiores que na campanha de inverno. (Anexo VIII-8). De maneira geral, 66% das abundâncias ficaram abaixo de 200 ovos.100 m^{-3} (Figura VIII.3.2-4a e b). As maiores abundâncias de larvas de peixes ocorreram na estação B8 (Figura VIII.3.2-4c e d) em ambas as camadas amostradas: 156,97 larvas.100 m^{-3} no epinêuston e 209,30 larvas.100 m^{-3} no hiponêuston (Anexo VIII-8). As

PÚBLICA

abundâncias totais de larvas de peixes da campanha de verão estão listadas na Anexo VIII-9.

No verão, não houve diferença significativa entre a abundância do epi e do hiponêuston (p = 0,700426). A abundância total do nêuston também não foi diferente entre as regiões norte e sul da Bacia de Santos (p=0,94). Comparando as duas campanhas, a abundância neustônica foi significativamente maior no verão (p < 0,05).

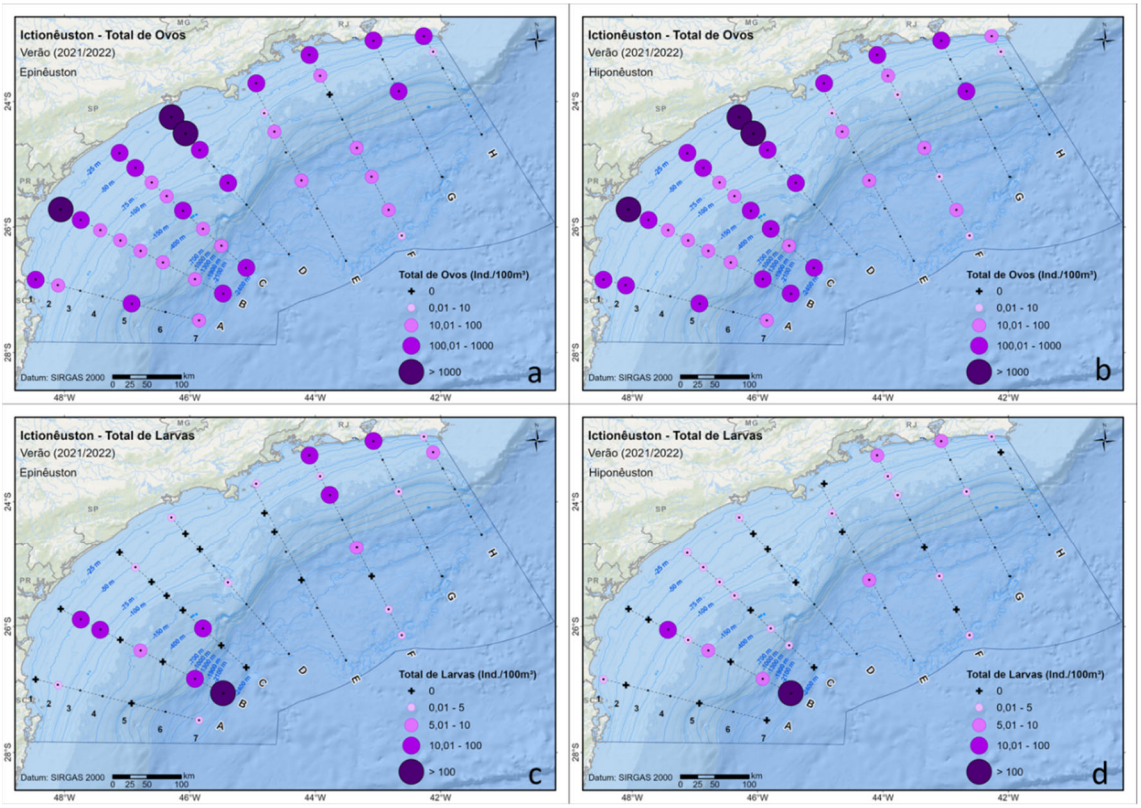


Figura VIII.3.2-4: *Abundância total do ictionêuston amostrado durante a campanha de verão (2021/2022) na Bacia de Santos. a= ovos de peixes (ovos.100 m^{-3}) no epinêuston; b= ovos de peixes (ovos.100 m^{-3}) no hiponêuston; c= larvas de peixes (larvas.100 m^{-3}) no epinêuston; d= larvas de peixes (larvas.100 m^{-3}) no hiponêuston.*

VIII.3.3 Composição taxonômica

A abundância relativa do zoonêuston da campanha de Inverno revelou que os grupos mais representativos no epinêuston e no hiponêuston foram principalmente Copepoda, Salpida e Siphonophorae (Figura VIII.3.3-1a e b). Os copépodes dominaram em quase todas as estações de amostragem,

PÚBLICA

alcançando mais de 50% de abundância relativa em 11 estações e foram muito frequentes em toda a extensão da Bacia de Santos, com mais de 97% de frequência de ocorrência nas estações de amostragem. As salpas dominaram em 12 estações, com mais de 50% de abundância relativa, mas em algumas estações, principalmente nos transectos C e G na região da plataforma. Este grupo também foi muito frequente (>70%) nas estações. Siphonophorae teve abundância relativa acima de 50% em quatro estações no epinêuston e em seis no hiponêuston e, assim como Copepoda, teve ampla distribuição na Bacia de Santos, ocorrendo em cerca de 90% das estações de amostragem. Cladocera também foi abundante na estação H1, com mais de 58% de abundância relativa, no perfil mais ao norte da Bacia de Santos, mas foram frequentes (entre ≥ 40% e < 70%) como os grupos mencionados anteriormente. Outros grupos não tão representativos, mas que se destacaram em determinadas áreas da Bacia de Santos foram Chaetognatha que foram muito frequentes, ocorrendo em todos os transectos amostrados e apresentou abundância relativa de mais de 40% em duas estações do perfil F (F1 e F8). Luciferidae foi pouco abundante (<30%) em poucas estações no epinêuston (D5, E1 e H2) (Figura VIII.3.3-1a e b). As abundâncias dos grupos zooneustônicos da campanha de inverno estão listadas no Anexo VIII-4).

Dentre os ovos de peixes, a maioria foi classificada como não identificados, entretanto em algumas estações destacamos ovos da família Clupeidae. No epinêuston, nas estações D2, D4 e F3 a abundância relativa de ovos de Clupeidae foi abundante, alcançando mais de 58% entre os ovos analisados, chegando a mais de 70% frequência de ocorrência na estação D2 (Figura VIII.3.3-2a). No hiponêuston, na estação D2, do total de ovos, mais de 83% são de Clupeidae. Foi observado também abundância relativa superior a 50% nas estações F3 e F5 de ovos desta família (Figura VIII.3.3-2b). As abundâncias totais dos ovos de peixes, assim como dos táxons da campanha de inverno estão listadas no Anexo VIII-5.

PÚBLICA

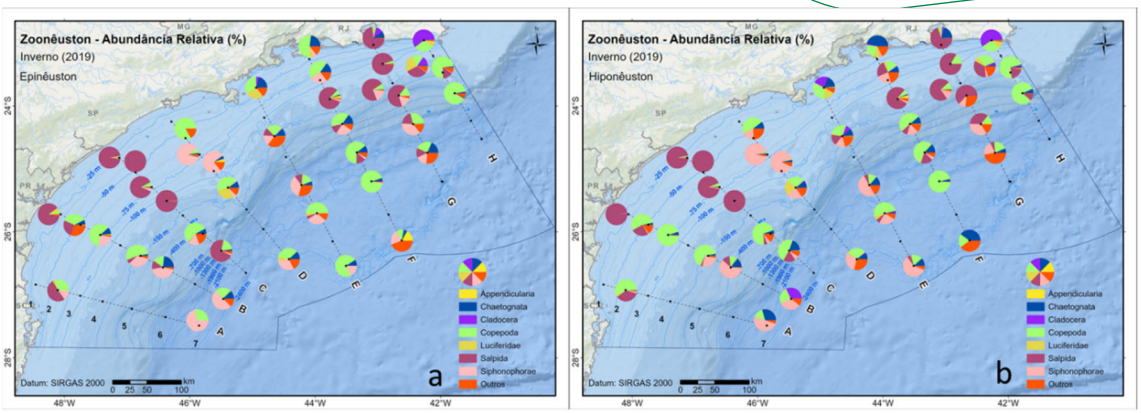


***Figura VIII.3.3-1**: Abundância relativa (%) do zoonêuston amostrado durante a campanha de inverno (2019) na Bacia de Santos. a= zoonêuston no epinêuston; b= zoonêuston no hiponêuston.*

Em relação às larvas de peixes, alguns táxons foram frequentes, mas foram pouco abundantes em comparação a outros grupos do nêuston (Figura 3.3-2c e d). As larvas da ordem Clupeiformes compõem 100% de frequência de ocorrência da estação B1 tanto no epi- como no hiponêuston, e ainda quase 60% da estação H1 no epinêuston e 100% da estação E1 no hiponêuston. Larvas da família Phycidae (*Urophycis cirrata*) compõem 100% das estações B3 e C3 tanto no epi como no hiponêuston e somente no hiponêuston dominou nas estações B5 e C4. Essa família, portanto, tem ocorrência registrada apenas na região sul da Bacia de Santos. A estação C6 no epinêuston é composta apenas por larvas da família Mullidae (*Upeneus parvus* e *Mullus auratus*), e no hiponêuston é composta pelas famílias Phycidae (25%), Mugilidae (25%) e Atherinopsidae (25%). As demais larvas não puderam ser identificadas (25%). A família Mugilidae (*Mugil curema*) domina nas estações B6, C7 e E6 no epinêuston e em B6 e G5 no hiponêuston. A família Macrohamphosidae (*Macrorhamphosus scolopax*) apresenta abundância relativa de 100% nas estações B5 do epinêuston e C7 do hiponêuston. Mullidae apresenta abundância relativa de 100% na estação C6, 44% em E6 e 50% em G4, no epinêuston, e na camada inferior atingem 75% de abundância relativa em E6 e 50% em G3. A família Myctophidae (*Benthosema suborbitale, Diogenichthys atlanticus, Hygophum hygomii, Hygophum reinhardtii, Myctophum* sp., *Diaphus* sp., *Lampanyctus* sp., *Lepidophanes* sp. e *Lepidophanes guentheri*) apresenta 100% de abundância relativa nas estações G6 do epinêuston e F5 do hiponêuston, ocorrendo somente

PÚBLICA

na região mais ao norte da Bacia. Carangidae (*Oligoplites* sp., *Decapterus punctatus* e *Chloroscombrus chrysurus)* apresentou abundância relativa de 50% em G4 no epinêuston e 100% em D5 no hiponêuston. Gempylidae (*Gempylus serpens*) domina 100% na estação E5 no hiponêuston. Larvas da família Coryphaenidae (*Coryphaena hippurus*) apresentam abundância relativa de 50% na estação G5 no epinêuston e dominam (100%) na estação F8 do hiponêuston (Figura VIII.3.3-2c e d). As abundâncias totais das larvas de peixes, assim como dos táxons da campanha de inverno estão listadas no Anexo VIII-6.

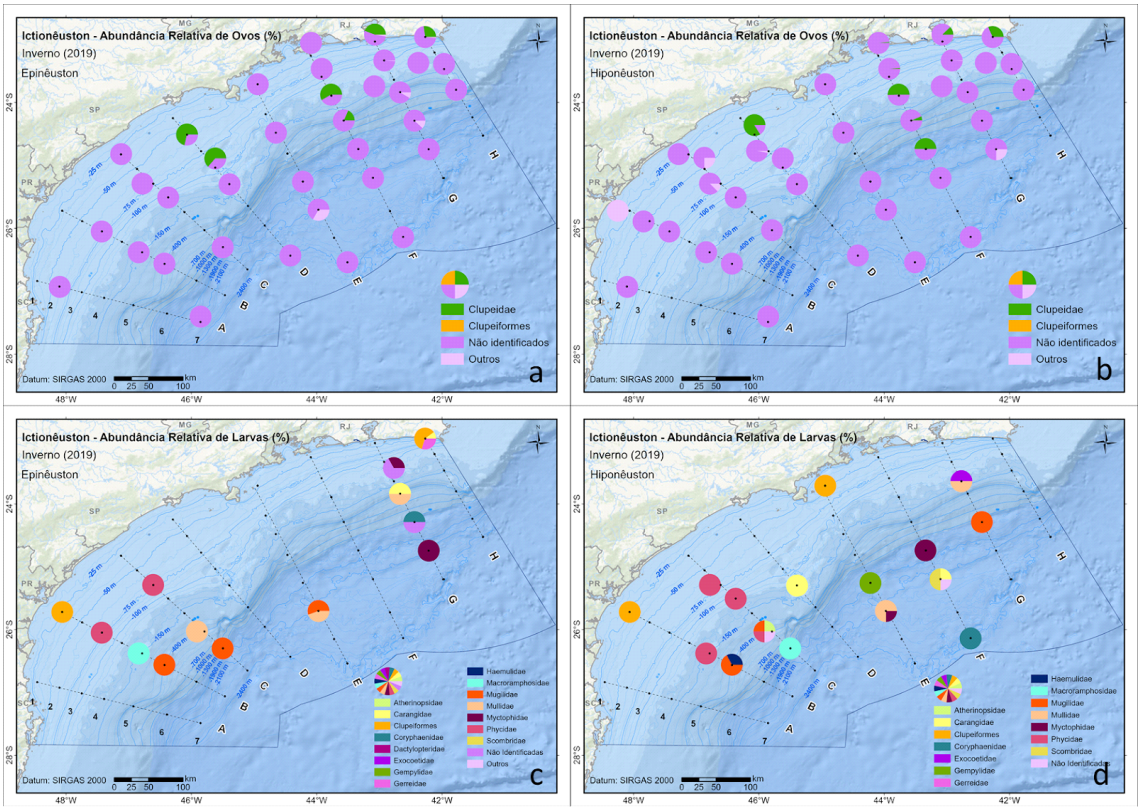


Figura VIII.3.3-2: *Abundância relativa (%) do ictionêuston amostrado durante a campanha de inverno (2019) na Bacia de Santos. a= ovos de peixes no epinêuston; b= ovos de peixes no hiponêuston; c= larvas de peixes no epinêuston; d= larvas de peixes no hiponêuston.*

Na campanha de verão, Copepoda também foi o grupo mais representativo e com ampla distribuição por toda a extensão da Bacia de Santos. Esse grupo dominou com abundância relativa acima de 50% em mais de 20 estações de amostragem (Figura 3.3-3a e b). Salpida, nesta campanha, não apareceu como grupo dominante, e foram abundantes (50% - 30%) e frequentes (≥ 40% e <

PÚBLICA

70%). Esse grupo dominou no epinêuston, com alta abundância relativa (>70%) em apenas três estações dos transectos A e B (A2, B1 e B2) mais ao sul e próximos à região costeira. Siphonophorae teve abundância relativa acima de 60% em apenas duas estações, em C6 e F7, mas teve ampla distribuição em toda a Bacia de Santos, ocorrendo em todas as estações de amostragem. Cladocera, de maneira geral, foi abundante (50% - 30%), e se destacou na estação D2 onde alcançou abundância relativa de mais de 90% e teve ampla distribuição (>70% de frequência de ocorrência). Em relação a outro grupo menos representativo na Bacia de Santos, Chaetognatha foi abundante (36%) na estação A1 no epinêuston e em F6 alcançou 38% e 43% de abundância relativa no epinêuston e hiponêuston, respectivamente (Figura VIII.3.3-3a e b). As abundâncias dos grupos zooneustônicos da campanha de verão estão listadas no Anexo VIII-7.

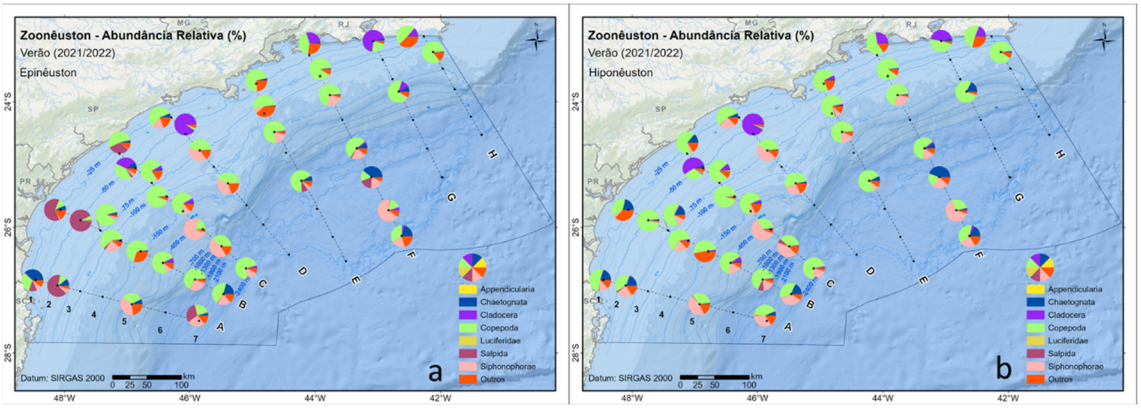


Figura VIII.3.3-3: *Abundância relativa (%) do zoonêuston amostrado durante a campanha de verão (2021/2022) na Bacia de Santos. a= Abundância relativa (%) do zoonêuston no epinêuston da campanha de verão (2021/2022); b= Abundância relativa (%) do zoonêuston no hiponêuston da campanha de verão (2021/2022).*

Em relação à abundância relativa dos ovos de peixes da campanha de verão, observamos que, assim como no inverno, a maioria dos ovos foi classificado como não identificados (Figura VIII.3.3-4a e b), alcançando 100% de abundância relativa na maior parte das estações. Entretanto, ovos da ordem Clupeiformes se destacaram em duas estações do perfil C, mais ao sul. Em ambas as camadas amostradas das estações C2 e C3, mais de 63% dos ovos foram identificados como pertencentes à Ordem Clupeiformes (Figura VIII.3.3-

PÚBLICA

4a e b). As abundâncias totais dos ovos de peixes, assim como dos táxons da campanha de verão estão listadas no Anexo VIII-8.

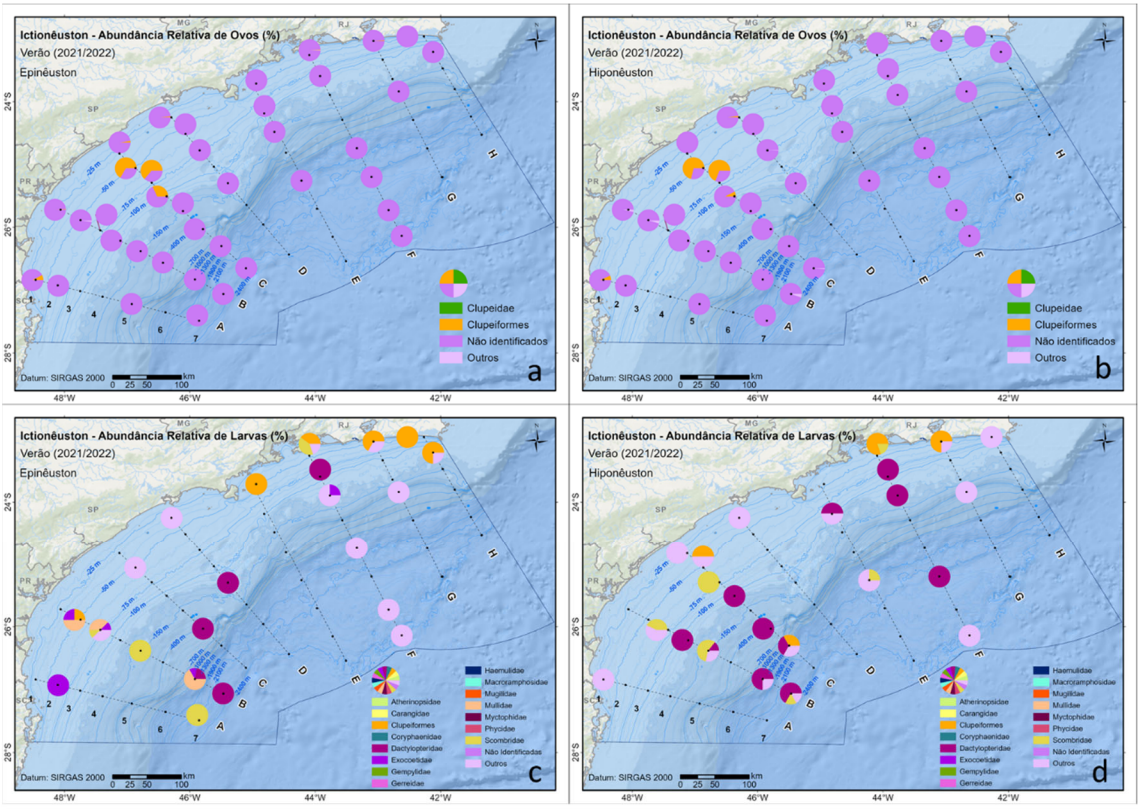


Figura VIII.3.3-4: *Abundância relativa (%) do ictionêuston amostrado durante a campanha de verão (2021/2022) na Bacia de Santos. a= ovos de peixes no epinêuston; b= ovos de peixes no hiponêuston; c= larvas de peixes no epinêuston; d= larvas de peixes no hiponêuston.*

A abundância relativa das larvas de peixes no verão revelou que a família Dactylopteridae (*Dactylopterus volitans*) dominou (100%) nas estações B8, C6, D5 e F2 do epinêuston. No hiponêuston, Dactylopteridae (*D. volitans*) ocorreu em mais estações de amostragem, com maiores porcentagens nos transectos B (B4, B7 e B8), C (C4 e C6), E (E2) e F (F2, F3 e F6). Larvas da ordem Clupeiformes (Engraulidae e Clupeidae) foram mais abundantes em estações próximas à costa, na região norte da Bacia de Santos. No epinêuston, tiveram abundância relativa mais alta nas estações da plataforma E1 (100%), F1 (33%), G1 (73%), H1 (100%) e H2 (75%). No hiponêuston, em F1 (67%) e G1 (92%). A família Exocoetidae teve abundância relativa de 100% na estação A2 do epinêuston. Scombridae dominou (100%) nas estações A7 e B5 no epinêuston

PÚBLICA

e B5 (57%) e C3 (100%) no hiponêuston. A família Mullidae teve abundância significativa em algumas estações do perfil B no epinêuston: B2 (50%), B3 (38%) e B7 (67%) (Figura VIII.3.3-4c e d). As abundâncias totais das larvas de peixes, assim como dos táxons da campanha de verão estão listadas no Anexo VIII-9.

VIII.3.4 Estrutura da comunidade

VIII.3.4.1 Comunidade zooneustônica

Os grupos mais representativos do zoonêuston em ambas as camadas e campanhas de amostragem foram Salpida, Copepoda e Cladocera (Figura VIII.3.4.1-1). Na campanha de inverno, o grupo Salpida (34%) foi o mais representativo no epinêuston, seguido de Cladocera (33%) e Copepoda (21%) (Figura VIII.3.4.1-1a). No hiponêuston, observamos Salpida com 75%, Copepoda como segundo táxon mais representativo (11%), seguido de Cladocera (5%) (Figura VIII.3.4.1-1b). Na campanha de verão, Copepoda dominou com mais de 40% em ambas as camadas amostradas, e Cladocera em seguida com mais de 20% (Figura VIII.3.4.1-1b). No epinêuston, Salpida representou 9% (Figura VIII.3.4.1-1c) e no hiponêuston contribuiu com 20% da composição dos táxons (Figura VIII.3.4.1-1d).

Na campanha de inverno, apenas uma espécie da Ordem Salpida foi identificada na Bacia de Santos, entretanto em altas abundâncias. A espécie *Thalia democratica* teve abundância total no epinêuston de 47.732,82 ind.100 m^{-3} e no hiponêuston de 120.012,10 ind.100 m^{-3}. Essa espécie ocorre em toda a extensão da Bacia de Santos, desde amostras localizadas na região da plataforma até a região oceânica.

No inverno no epinêuston, dentre as espécies de Copepoda identificadas, algumas se destacaram como *Temora turbinata*, *Calanoides carinatus* e *Temora stylifera*. Essas espécies tiveram abundância total acima dos 7.000 ind.100 m^{-3} cada e as maiores abundâncias foram registradas na estação mais ao norte na região costeira (H1), mas apresentam ampla distribuição em toda a área da Bacia de Santos. As espécies *Pontellopsis brevis* e *Subeucalanus pileatus* tiveram abundância total acima de 500 ind.100 m^{-3} cada, sendo que *P. brevis* se destacou na estação F1 (132,17 ind.100 m^{-3}) e *S. pileatus* em H1 (411,18 ind.100

PÚBLICA

m^{-3}). Os táxons de Copepoda que tiveram menores abundâncias totais, com valores menores que 3,00 ind.100 m^{-3} foram *Acartia tonsa*, *Pleuromamma gracilis*, *Paracalanus* spp., *Labidocera nerii*, *Pontellina* spp., *Subeucalanus crassus*, *Oithona* spp., *Sapphirina nigromaculata*, *Ditrichocorycaeus minimus* e *Macrosetella gracilis.*

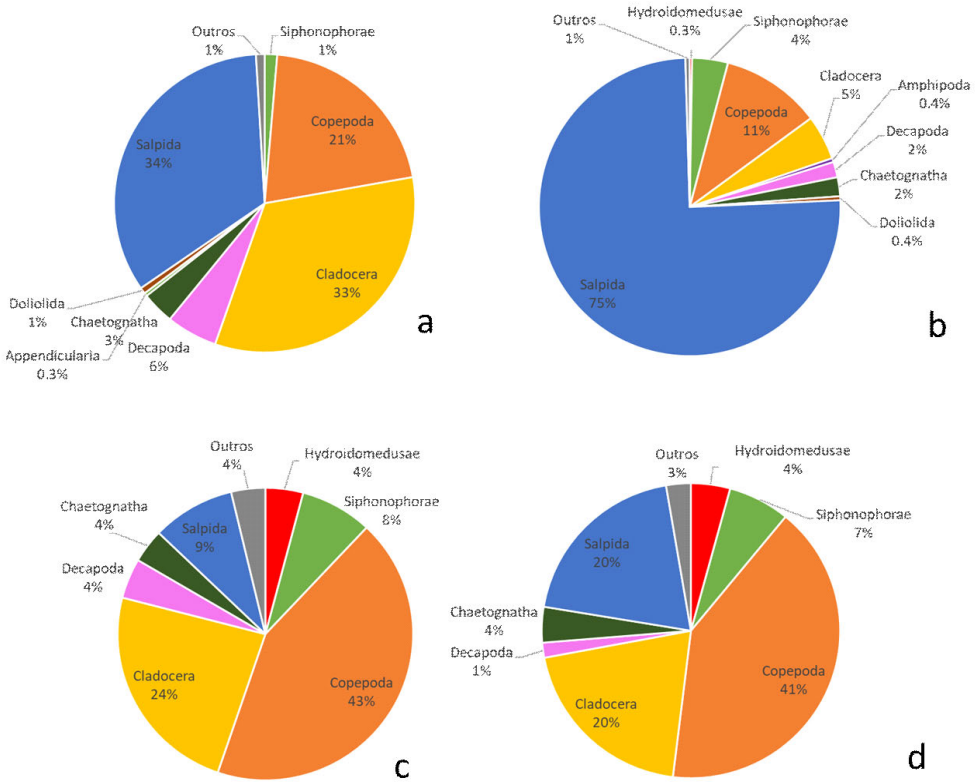


Figura VIII.3.4.1-1: *Composição do zoonêuston amostrado durante as campanhas de inverno (2019) e verão (2021/2022) na Bacia de Santos. a= táxons mais representativos no epinêuston da campanha de inverno (2019); b= táxons mais representativos no hiponêuston da campanha de inverno (2019); c= táxons mais representativos no epinêuston da campanha de verão (2021/2022); d= táxons mais representativos no hiponêuston da campanha de verão (2021/2022).*

No hiponêuston, as espécies de Copepoda que obtiveram maior abundância total foram *T. stylifera* (7435,97 ind.100 m^{-3}), *C. carinatus* (2440,65 ind.100 m^{-3}), *Nannocalanus minor* (1916,56 ind.100 m^{-3}) e *Undinula vulgaris* (1224,13 ind.100 m^{-3}). As duas primeiras espécies foram as mais abundantes na estação H1, localizada na região costeira mais ao norte, assim como na camada superior e também tiveram ampla distribuição na região estudada. As espécies *Euchaeta*

PÚBLICA

marina e *T. turbinata* tiveram abundância total acima de 500 ind.100 m^{-3}, onde *E. marina* teve maior abundância na estação B2 (363,57 ind.100 m^{-3}), localizada ao sul da Bacia de Santos, próximo à região costeira e *T. turbinata* obteve maior abundância na estação H1 (411,18 ind.100 m^{-3}), assim como no epinêuston. As menores abundâncias totais no hiponêuston foram dos táxons *Acartia danae*, *Haloptilus mucronatus*, *Candacia bispinosa*, *Lucicutia* spp., *Pleuromamma abdominalis*, *Subeucalanus* spp., *Oithona similis*, *Copilia mirabilis*, Corycaeidae, *Agetus flaccus* e *Miracia efferata*, que tiveram abundâncias totais menores que 3,00 ind.100 m^{-3}.

Das espécies de Cladocera foram identificadas na Bacia de Santos: *Evadne spinifera*, *Pseudevadne tergestina* e *Penilia avirostris.* No epinêuston e no hiponêuston a espécie *P. avirostris* teve maior abundância total, com 43.270,79 ind.100 m^{-3} e 7.478,73 ind.100 m^{-3}, respectivamente, sendo a maior abundância na estação H1 (39.062,33 ind.100 m^{-3}) e G1 (4.075,46 ind.100 m^{-3}) para o epinêuston e na estação H1 no hiponêuston (6.784,51 ind.100 m^{-3}). No epinêuston, essa espécie ocorreu também nas estações D5, E1, E3, G2 e H2, porém em baixas abundâncias (1,93 - 86,65 ind.100 m^{-3}). No hiponêuston, essa espécie teve uma distribuição mais ampla que na camada superior. A espécie *E. spinifera* ocorreu somente na estação H1 (1.644,73 ind.100 m^{-3} e 137,06 ind.100 m^{-3}) em ambas as camadas amostradas, mas *P. tergestina* ocorreu nas estações C1, D3, F1, F2, F3, H1, H3 e H4 no hiponêuston, com maior abundância na estação H1 (68,53 ind.100 m^{-3}). Foi possível observar que a ordem Cladocera ocorreu com maior abundância na camada superior durante a campanha de inverno.

No total para a campanha de inverno, foram identificadas 11 espécies de Chaetognatha em toda a Bacia de Santos. Tanto no epinêuston quanto no hiponêuston foi possível destacar as espécies *Flaccisagitta enflata* (2.312,55 ind.100 m^{-3} e 1.710,56 ind.100 m^{-3}) e *Flaccisagitta hexaptera* (1.863,50 ind.100 m^{-3} e 717,65 ind.100 m^{-3}) que tiveram maior abundância total entre as espécies identificadas, principalmente na estação G1, em frente a saída da Baía de Guanabara. As espécies *Ferosagitta hispida* (206,33 ind.100 m^{-3} e 219,97 ind.100 m^{-3}) e *Parasagitta friderici* (123,71 ind.100 m^{-3} e 133,12 ind.100 m^{-3}) tiveram abundâncias menores, mas ainda altas em ambas as camadas. As

PÚBLICA

demais espécies identificadas foram *Krohnitta mutabbii, Pterosagitta draco, Decipisagitta decipiens, Sagitta bipunctata, Sagitta helenae* e *Serratosagitta serratodentata* e tiveram baixas abundâncias, entre 6,32 e 84,58 ind.100 m^{-3}. A espécie *Parasagitta tenuis* ocorreu somente no hiponêuston na estação B2, em baixa abundância (4,26 ind.100 m^{-3}). De modo geral, Chaetognatha teve ampla distribuição em toda a Bacia de Santos.

As espécies de Appendicularia que ocorreram na região da Bacia de Santos pertencem ao gênero *Oikopleura*: *Oikopleura (Coecaria) fusiformis*, *Oikopleura (Vexillaria) dioica*, *Oikopleura (Coecaria) longicauda* e *Oikopleura (Coecaria) fusiformis cornutogastra* (Tabela VIII.3.4-1). A espécie *O. (Coecaria) longicauda* teve maior abundância total no epinêuston (466,45 ind.100 m^{-3}) e no hiponêuston (129,80 ind.100 m^{-3}) com maior abundância na estação H1 (369,42 ind.100 m^{-3} e 50,33 ind.100 m^{-3}), enquanto as demais espécies tiveram abundância total entre 3,21 e 16,48 ind.100 m^{-3} no epinêuston e entre 3,21 e 19,68 ind.100 m^{-3} no hiponêuston.

A família Doliolidae teve como principal representante a espécie *Doliolum nationalis* em ambas as camadas (939,98 ind.100 m^{-3} e 684,19 ind.100 m^{-3}), sendo mais abundante na estação H1 (693,87 ind.100 m^{-3}) no epinêuston e na estação C6 (232,35 ind.100 m^{-3}) no hiponêuston. Essa espécie teve ampla distribuição pela Bacia de Santos. Outras espécies de Doliolidae que também ocorreram na região, porém com menor abundância total, foram *Dolioletta gegenbauri* (20,43 ind.100 m^{-3} e 9,47 ind.100 m^{-3}) e *Doliolina (Doliolina) mülleri* (2,25 ind.100 m^{-3}), esta última ocorrendo somente no epinêuston.

A ordem Decapoda possui diversos representantes na região estudada, mas os táxons mais representativos na primeira campanha foram *Belzebub faxoni* e Brachyura. A espécie *B. faxoni* representou mais de 90% no epinêuston e cerca de 67% no hiponêuston, sendo a dominante, seguida de Brachyura com 8% no epinêuston e 30% no hiponêuston (Figura VIII.3.4.1-2).

PÚBLICA

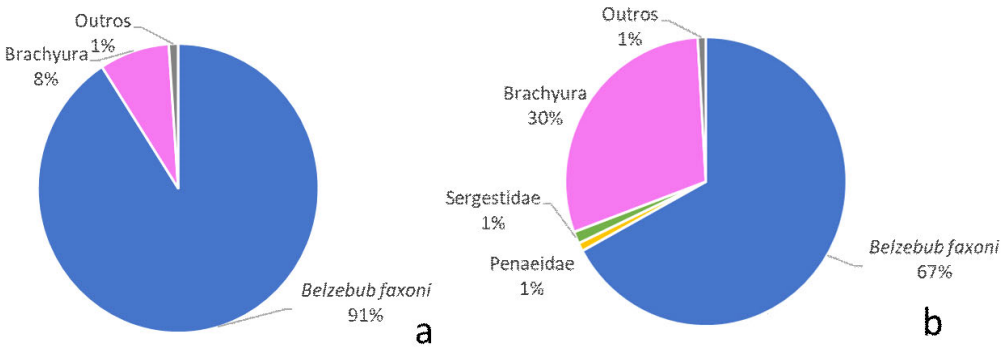


Figura VIII.3.4.1-2: *Composição dos principais táxons de Decapoda amostrado durante a campanha de inverno (2019) na Bacia de Santos. a= táxons mais representativos de Decapoda no epinêuston da campanha de inverno (2019); b= táxons mais representativos de Decapoda no hiponêuston da campanha de inverno (2019).*

A espécie de Decapoda com maior abundância total em ambas as camadas foi *Belzebub faxoni* (6.988,08 ind.100 m^{-3} e 1.790,46 ind.100 m^{-3}) pertencente à família Luciferidae, com maior abundância registrada na estação H1 (6.064,94 ind.100 m^{-3} e 1.139,32 ind.100 m^{-3}). O segundo táxon de Decapoda com maior abundância total foi a ordem Brachyura (619,25 ind.100 m^{-3} e 778,49 ind.100 m^{-3}), com maiores abundâncias nas estações H1 (207,20 ind.100 m^{-3}) e D4 (73,33 ind.100 m^{-3}) no epinêuston e em D5 (137,41 ind.100 m^{-3}) e H1 (94,23 ind.100 m^{-3}) no hiponêuston, ocorrendo em toda a área da Bacia na região da plataforma e oceânica.

Outros grupos com abundâncias importantes que compuseram o epinêuston durante o inverno foram Siphonophorae (1.894,66 ind.100 m^{-3}), Gastropoda (294,03 ind.100 m^{-3}), Cirripedia (271,70 ind.100 m^{-3}), Amphipoda (246,32 ind.100 m^{-3}), Hydroidomedusae (211,30 ind.100 m^{-3}) e Pteropoda (154,42 ind.100 m^{-3}). As menores abundâncias registradas foram dos grupos Ctenophora (1,93 ind.100 m^{-3}), larvas de Bivalvia (2,10 ind.100 m^{-3}) e Mysidacea (2,25 ind.100 m^{-3}). Para o hiponêuston, os grupos com maior abundância total na primeira campanha foram Siphonophorae (6125,06 ind.100 m^{-3}), Amphipoda (637,97 ind.100 m^{-3}), Hydroidomedusae (409,17 ind.100 m^{-3}), Gastropoda (206,70 ind.100 m^{-3}) e Pteropoda (124,26 ind.100 m^{-3}). As menores abundâncias observadas foram dos grupos Radiozoa (1,50 ind.100 m^{-3}), larvas de Cephalopoda (2,54 ind.100 m^{-3}) e Echinodermata (3,28 ind.100 m^{-3}).

PÚBLICA

Na campanha de verão, no epinêuston, Copepoda teve abundância total de 164.055,38 ind.100 m^{-3} com maior abundância nas estações H2 (26.602,22 ind.100 m^{-3}) e D3 (23.935,16 ind.100 m^{-3}). No hiponêuston, o grupo teve abundância total de 175.054,64 ind.100 m^{-3} com maior abundância nas estações G1 (32.039,24 ind.100 m^{-3}), F1 (28.628,71 ind.100 m^{-3}) e E1 (27382,44 ind.100 m^{-3}). Foi possível observar que Copepoda foi mais abundante em estações da região da plataforma, mais próximas à costa e ao norte da Bacia de Santos.

O segundo táxon mais abundante durante o verão foi a ordem Cladocera. No epinêuston teve abundância total de 95.272,18 ind.100 m^{-3}, predominando na estação G1 (53.520,10 ind.100 m^{-3}). No hiponêuston, Cladocera teve abundância total de 85.921,24 ind.100 m^{-3}, sendo mais abundante na estação G1 (29.490,67 ind.100 m^{-3}), assim como na camada superior. Cladocera teve ampla distribuição por toda extensão da Bacia de Santos, ocorrendo com maior abundância na estação localizada na entrada da Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro.

Em seguida, organismos da ordem Salpida tiveram altas abundâncias em ambas as camadas amostradas, principalmente no hiponêuston. No epinêuston, alcançou abundância total de 36.453,40 ind.100 m^{-3} e no hiponêuston, 84.188,94 ind.100 m^{-3}. Nas duas camadas, Salpida teve maior abundância na estação B2 (19.271,86 ind.100 m^{-3} e 59.818,51 ind.100 m^{-3}), localizada ao sul da região da Bacia de Santos, em frente à Baía de Paranaguá, Paraná.

O táxon mais abundante da ordem Decapoda no verão foi Brachyura (16.325,96 ind.100 m^{-3}), representando mais de 92% no epinêuston e 84% no hiponêuston. Um resultado distinto do inverno, onde a espécie *B. faxoni* dominou. Neste caso, representou apenas 3% e 4% da composição de Decapoda do epinêuston e hiponêuston, respectivamente (Figura VIII.3.4.1-3).

No epinêuston no verão, outros grupos que tiveram alta abundância total foram Siphonophorae (31.321,23 ind.100 m^{-3}), Hydroidomedusae (16.152,38 ind.100 m^{-3}) e Chaetognatha (14.842,15 ind.100 m^{-3}). As menores abundâncias no epinêuston foram Ctenophora (2,95 ind.100 m^{-3}) e Platyhelminthes (Turbellaria) (4,92 ind.100 m^{-3}). No hiponêuston, destacamos abundâncias relevantes de Siphonophorae (28.586,93 ind.100 m^{-3}), Hydroidolina (Hydroidomedusae) (18.139,67 ind.100 m^{-3}) e Chaetognatha (16.647,43 ind.100

m^{-3}). As menores abundâncias registradas para a camada inferior foram Turbellaria (1,30 ind.100 m^{-3}) e Echinodermata (1,98 ind.100 m^{-3}).

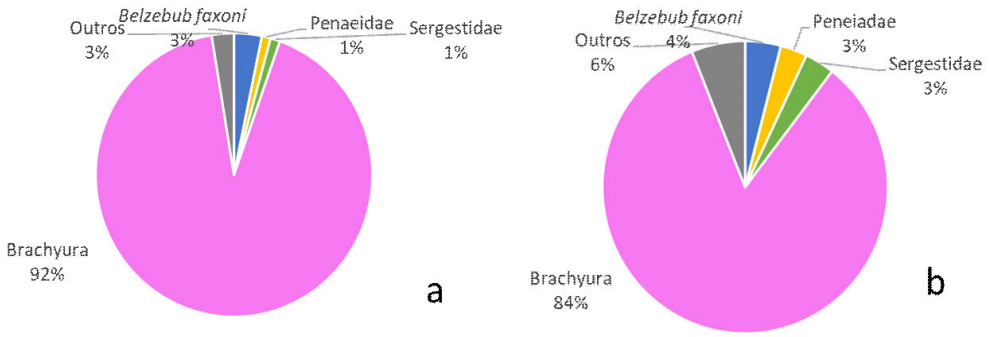


Figura VIII.3.4.1-3: *Composição dos principais táxons de Decapoda amostrado durante a campanha de verão (2021/2022) na Bacia de Santos. a= táxons mais representativos de Decapoda no epinêuston da campanha de verão (2021/2022); b= táxons mais representativos de Decapoda no hiponêuston da campanha de verão (2021/2022).*

VIII.3.4.2 Comunidade ictioneustônica

Na campanha de inverno, os ovos de peixes não identificados representaram 64% dos ovos analisados no epinêuston e 59% no hiponêuston. Entretanto, também foram registrados ovos da ordem Clupeiformes, com 36% de contribuição no epinêuston e 41% no hiponêuston (Figura VIII.3.4.2-1 a e b). Na campanha de verão, a maioria dos ovos de peixes também foi classificada como não identificados, com mais de 95% em ambas as camadas. A representatividade de ovos de Clupeiformes foi menor na campanha de verão em comparação com a campanha de inverno, com 3% e 4% no epinêuston e hiponêuston, respectivamente (Figura VIII.3.4.2-1 c e d).

PÚBLICA

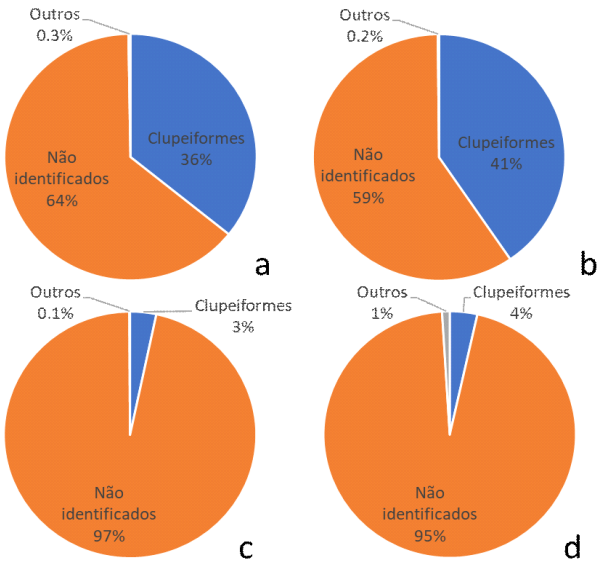


Figura VIII.3.4.2-1: *Composição dos principais táxons de ovos de peixes amostrados durante as campanhas de inverno (2019) e verão (2021/2022) na Bacia de Santos. a= ovos de peixes no epinêuston da campanha de inverno; b= ovos de peixes no hiponêuston da campanha de inverno; c= ovos de peixes no epinêuston da campanha de verão; d= ovos de peixes no hiponêuston da campanha de verão.*

Na campanha de inverno, os ovos de peixes não identificados representaram 64% dos ovos analisados no epinêuston e 59% no hiponêuston. As maiores abundâncias que compuseram a comunidade neustônica na região foram, principalmente, ovos não identificados (5.755,68 ovos.100 m^{-3} e 5.768,19 ovos.100 m^{-3}). Dentre os ovos identificados a maioria pertence à família Clupeidae, com abundância total de 3.065,86 ovos.100 m^{-3}, com maior abundância na estação F3 (2.943,39 ovos.100 m^{-3}) no epinêuston. No hiponêuston, ovos desta família apresentaram abundância total de 1.696,22 ovos.100 m^{-3} com maior abundância também em F3 (1.614,12 ovos.100 m^{-3}). Para o hiponêuston, ovos de peixes da espécie *Opistonema oglinum* da família Clupeidae foram muito abundantes (2.229,31 ovos.100 m^{-3}), principalmente na estação D2 (2.224,80 ovos.100 m^{-3}) (Figura VIII.3.4.2-1 a e b).

Na campanha de verão, assim como na de inverno, a maioria dos ovos de peixes foi classificado como não identificados, com mais de 95% em ambas as camadas. A representatividade de ovos de Clupeiformes foi menor na campanha de verão em comparação com a campanha de inverno, com 3% e 4% no

PÚBLICA

epinêuston e hiponêuston, respectivamente (Figura VIII.3.4.2-1 c e d). Em ambas as camadas amostradas, os ovos da família Clupeidae tiveram abundâncias altas (280,58 ovos.100 m^{-3} e 392,53 ovos.100 m^{-3}, epi- e hiponêuston, respectivamente), com maior abundância na estação C2 no epinêuston (138,42 ovos.100 m^{-3}) e no hiponêuston (247,32 ovos.100 m^{-3}). Essa estação está localizada ao sul do estado de São Paulo, na região da plataforma.

Os táxons de larvas de peixes mais representativos no inverno foram: Clupeiformes (19%), *Mugil curema* (17%) e Mullidae (17%) no epinêuston e *Urophycis cirrata* (29%) no hiponêuston (Figura VIII.3.4.2-2a e b). Dentre os táxons de larvas de peixes identificados no verão, a mais representativa foi a espécie *D. volitans* (>50%), nas duas camadas do nêuston. A espécie *Upeneus parvus* (7%) foi representativa no epinêuston, e no hiponêuston os táxons *Auxis rochei* (16%) e *Sphyraena guachancho* (13%) foram os que mais se destacaram (Figura VIII.3.4.2-3 a e b).

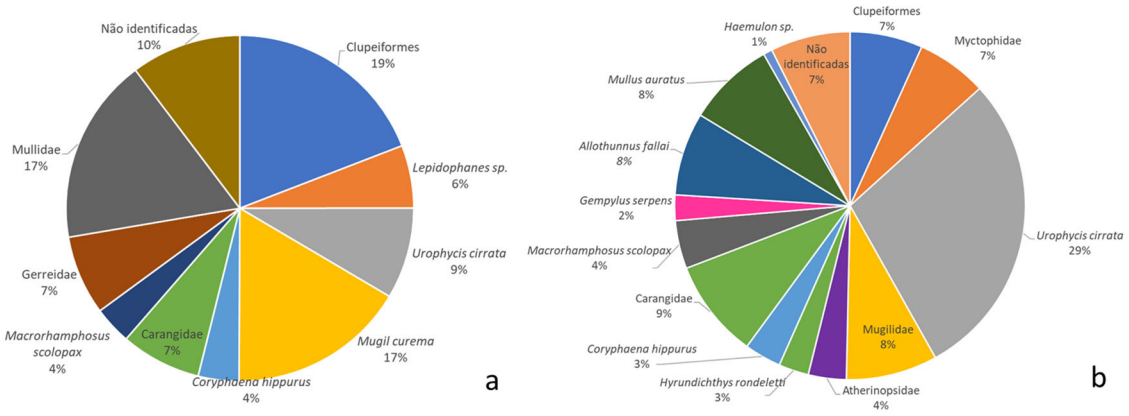


Figura VIII.3.4.2-2: *Composição dos principais táxons de larvas de peixes amostrados durante a campanha de inverno (2019) na Bacia de Santos. a= larvas de peixes no epinêuston; b= larvas de peixes no hiponêuston.*

Os táxons com maior abundância total no epinêuston no inverno foram *Mugil curema* (Mugilidae) (10,76 larvas.100 m^{-3}), principalmente na estação E6 (6,73 larvas.100 m^{-3}) e larvas da família Clupeidae (9,64 larvas.100 m^{-3}) ocorrendo apenas na estação H1. No hiponêuston, registrou-se maior abundância total da espécie *Urophycis cirrata (*Phycidae) (14,49 larvas.100 m^{-3}), ocorrendo nas

PÚBLICA

estações B5, C3, C4 e C6. Os demais táxons menos abundantes de larvas de peixes que ocorreram na Bacia de Santos representaram entre 0,42 e 5,54 larvas.100 m^{-3}.

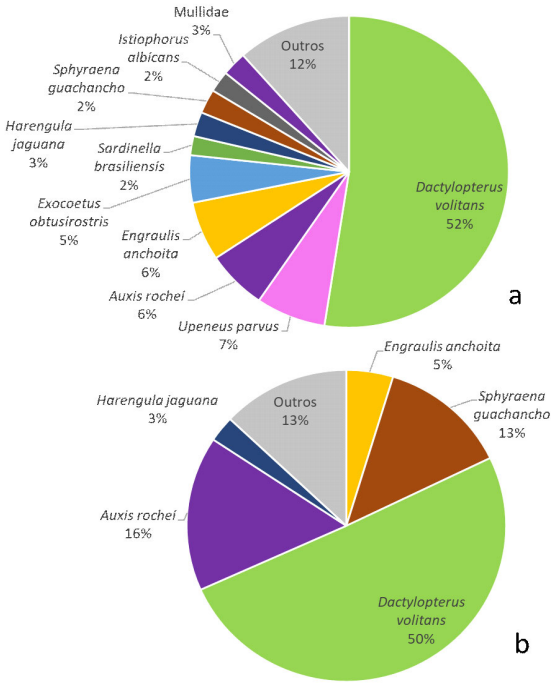


Figura VIII.3.4.2-3: *Composição dos principais táxons de larvas de peixes amostrados durante a campanha de verão na Bacia de Santos. a= larvas de peixes no epinêuston; b= larvas de peixes no hiponêuston (2021/2022).*

A maior abundância registrada no verão foi de *D. volitans*, em ambas as camadas amostradas (181,83 larvas.100 m^{-3} e 162,13 larvas.100 m^{-3}, epi- e hiponêuston, respectivamente). No epinêuston, o segundo táxon mais abundante foi a espécie *Engraulis anchoita* (Engraulidae) (21,75 larvas.100 m^{-3}), seguida da espécie *Auxis rochei* (Scombridae) (21,74 larvas.100 m^{-3}), *Exocoetus obtusirostris* (Exocoetidae) (15,28 larvas.100 m^{-3}), e *Upeneus parvus* (Mullidae) (12,52 larvas.100 m^{-3}). No hiponêuston, a segunda espécie mais abundante foi *A. rochei* (51,58 larvas.100 m^{-3}), seguida de *S. guachancho* (Sphyraenidae) (42,12 larvas.100 m^{-3}), e. *anchoita* (15,21 larvas.100 m^{-3}).

PÚBLICA

VIII.3.5 Integração entre os organismos neustônicos e as variáveis ambientais

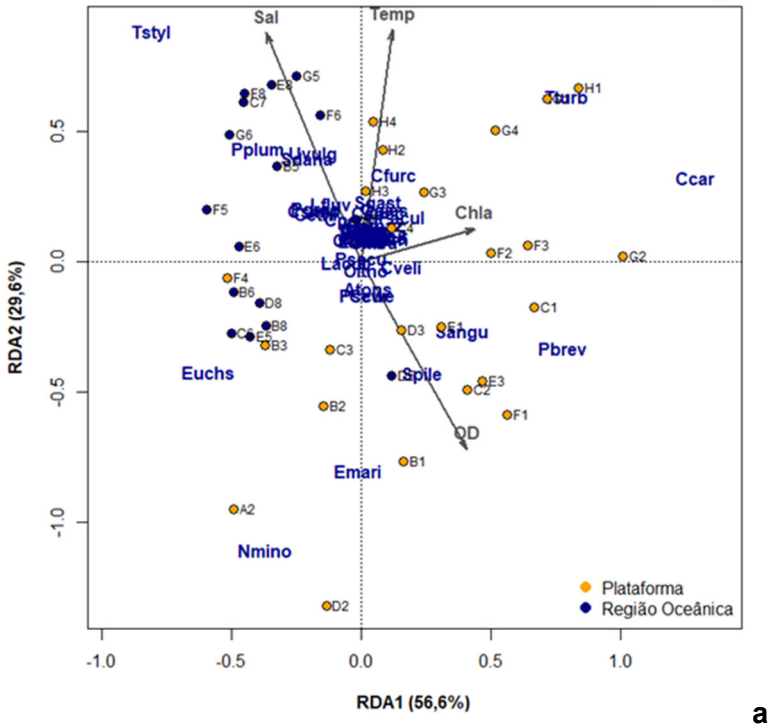
Dentre os principais grupos zooneustônicos analisados, apenas as espécies de copépodes tiveram uma resposta estatisticamente significativa em relação às variáveis ambientais. Os dois primeiros eixos da Análise de Redundância (RDA) mostraram que cerca de 80% da variação na distribuição das espécies de Copepoda, no epi- e no hiponêuston da Bacia de Santos, foram explicadas pelas variáveis ambientais (Figura VIII.3.5-1).

No epinêuston, as espécies *T. turbinata* (Tturb), *C. carinatus* (Ccar) e *C. furcatus* (Cfurc) foram relacionadas à maior temperatura e clorofila *a* na plataforma da região norte, enquanto que as espécies *Pontellopsis brevis* (Pbrev), *Sapphirina angusta* (Sangu), *Subeucalanus pileatus* (Spile), *Euchaeta marina* (Emari) e *Nannocalanus minor* (Nmino) foram associadas à plataforma sul com maior concentração de oxigênio dissolvido (OD) e menor temperatura. As espécies *Temora stylifera* (Tstyl), *Pontellina plumata* (Pplum), *Undinula vulgaris* (Uvulg) e *Scolecithrix danae* (Sdana) apresentaram maior relação com a maior salinidade na região oceânica (Figura VIII.3.5-1a).

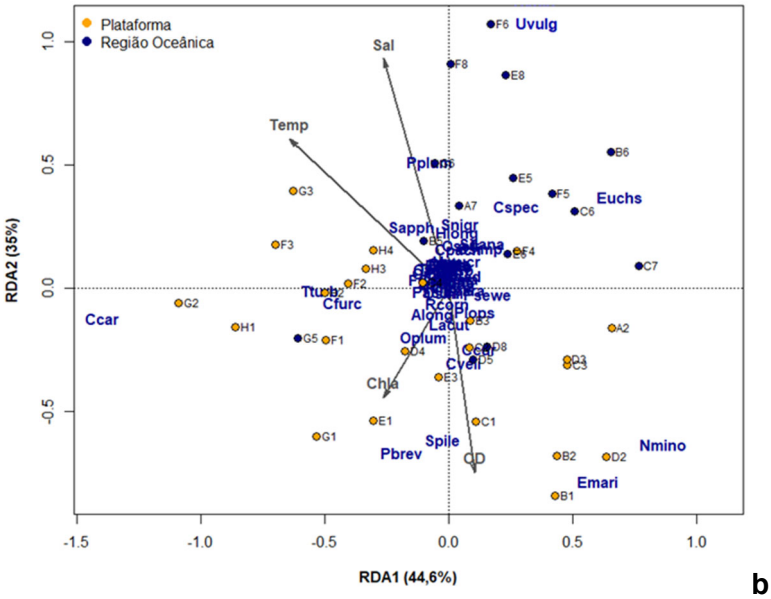
No hiponêuston, as espécies *U. vulgaris* e *P. plumata* ficaram mais relacionadas à salinidade e região oceânica, enquanto *Euchaeta marina*, *N. minor, P. brevis* e *S. pileatus* foram associados à maior concentração de clorofila *a* e oxigênio dissolvido na plataforma da região sul. Assim como no epinêuston, *C. carinatus, T. turbinata* e *C. furcatus* foram relacionadas à maior temperatura na plataforma da região norte (Figura VIII.3.5-1b).

Para o ictionêuston, apenas a RDA das larvas de peixes foi significativa. No epinêuston, a espécie *Lepidophanes* sp. (Lepid) ficou relacionada com a temperatura, enquanto *Engraulis anchoita* (Eanch) ficou mais associada à clorofila *a* e ao OD (Figura VIII.3.5-2a). No hiponêuston, *E. anchoita* também ficou relacionada ao OD, e as espécies *Mullus auratus* (Maura), *Decapterus punctatus* (Dpunc) e *Chloroscombrus chrysurus* (Cchry) ficaram mais relacionadas à temperatura e salinidade (Figura VIII.3.5-2b).

PÚBLICA



a



b

Figura VIII.3.5-1: *Primeiro e segundo eixos da Análise multivariada (RDA) realizada com espécies de copépodes do epinêuston (a) e do hiponêuston (b) da campanha de inverno (2019) em relação às variáveis ambientais. Siglas em azul representando as espécies de copépodes. Variáveis ambientais: Sal = salinidade; Temp = temperatura; OD = oxigênio dissolvido; Chla = Clorofila a. Pontos na cor laranja = amostras da plataforma; pontos na cor azul = amostras da região oceânica.*

PÚBLICA

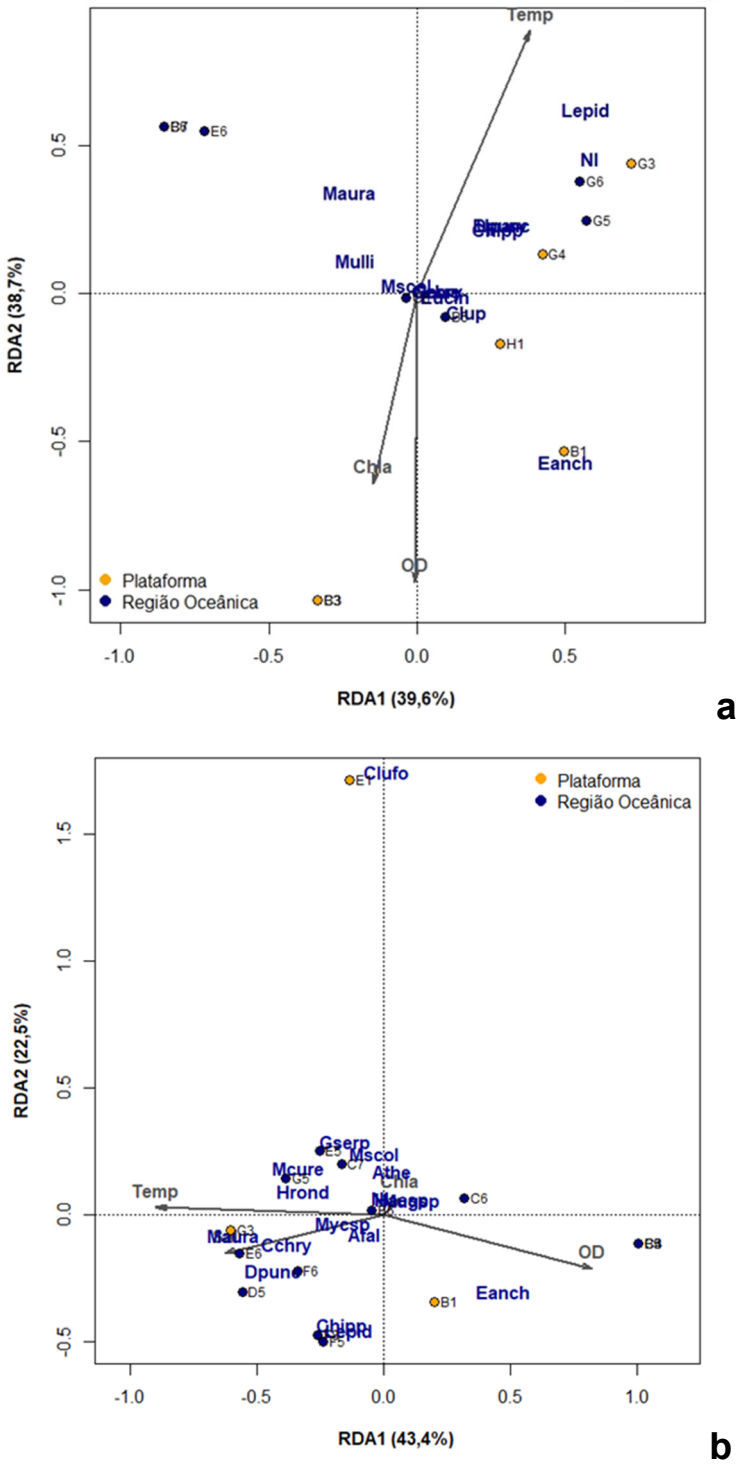


Figura *VIII.3.5-2:* *Primeiro e segundo eixos da Análise multivariada (RDA) realizada com espécies de larvas de peixes do epinêuston (a) e do hiponêuston (b) da campanha de inverno (2019) em relação às variáveis ambientais. Siglas em azul representando as espécies de larvas de peixes. Variáveis ambientais: Sal=salinidade; Temp=temperatura; OD=oxigênio dissolvido; Chla=Clorofila a. Pontos na cor laranja=amostras da plataforma; pontos na cor azul=amostras da região oceânica.*

PÚBLICA

VIII.3.6 Classificação da comunidade neustônica em grupos e distribuição na Bacia de Santos

Os testes realizados com os dados através de *Machine Learning*, *Self-Organizing Maps* (SOM) e *Hierarchical Clustering* (HC), classificaram em grupos a comunidade neustônica da Bacia de Santos de acordo com a comunidade neustônica, abundância e composição dos principais grupos taxonômicos. Na campanha de inverno, no epinêuston, foram formados quatro grupos (Figura VIII.3.6-1a).

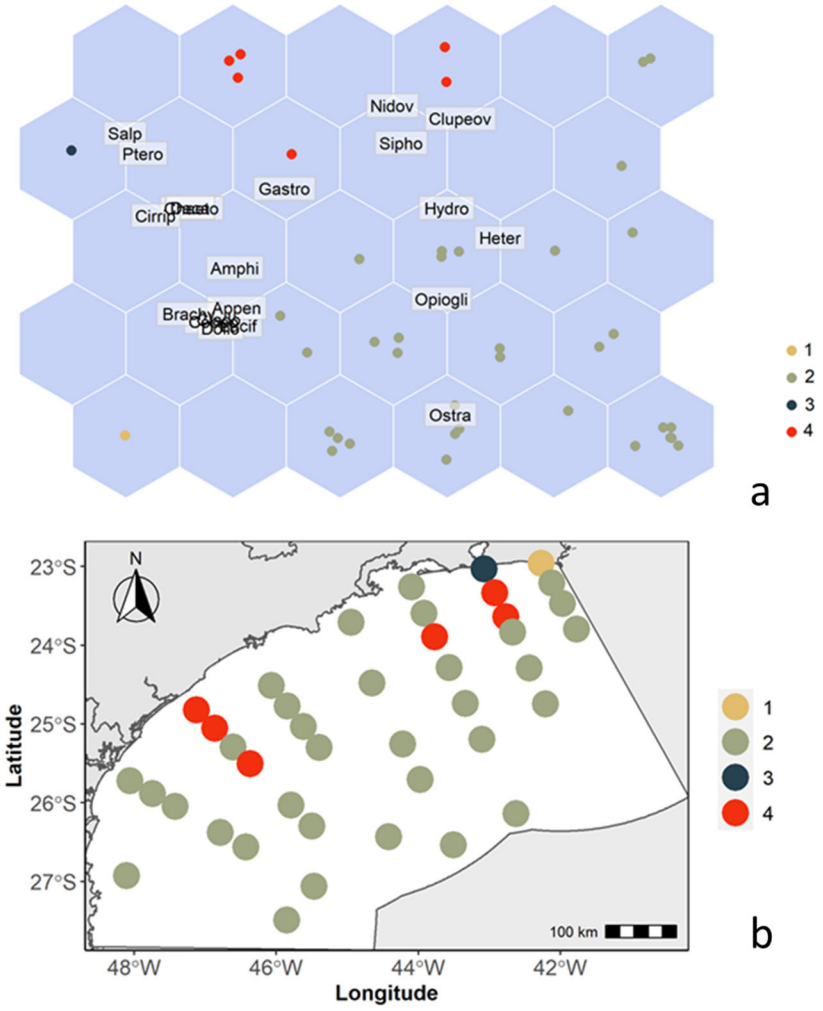


Figura VIII.3.6-1: *Distribuição e agrupamento da comunidade neustônica ilustrados pela rede de neurônios do Self-Organizing Maps (SOM) (a) e o resultado do Hierarchical Clustering (HC) no mapa (b) mostrando a distribuição dos grupos formados no epinêuston da campanha de inverno na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

O grupo 1 ficou isolado na análise e nenhuma espécie foi associada (Figura VIII.3.6-1a). É possível observar no mapa (Figura VIII.3.6-1b) a distribuição dos grupos de amostras formados nos transectos que corresponde à estação H1. O grupo 2 é formado pelos táxons Hydroidolina (Hydromedusae), Heteropoda, Ostracoda, Amphipoda, Appendicularia, Doliolida, Brachyura, Luciferidae e ovos de peixe da espécie *Opistonema oglinum.* Esse grupo domina quase toda a extensão da Bacia de Santos, em várias estações na região da plataforma e em toda a região oceânica, de norte a sul. O grupo 3 é formado por Salpida e Pteropoda, e corresponde à estação G1, em frente à Baía de Guanabara. O grupo 4 é composto por Siphonophorae, Gastropoda, ovos de peixes da família Clupeidae e ovos de peixes não identificados, e corresponde a estações pontuais da região da plataforma: C1, C2 e C4 no transecto C, F3 no transecto F e G2 e G3 no transecto G (Figura VIII.3.6-1b).

No hiponêuston, também foram formados quatro grupos (Figura VIII.3.6-2a), mas observou-se resultados diferentes da análise do epinêuston.

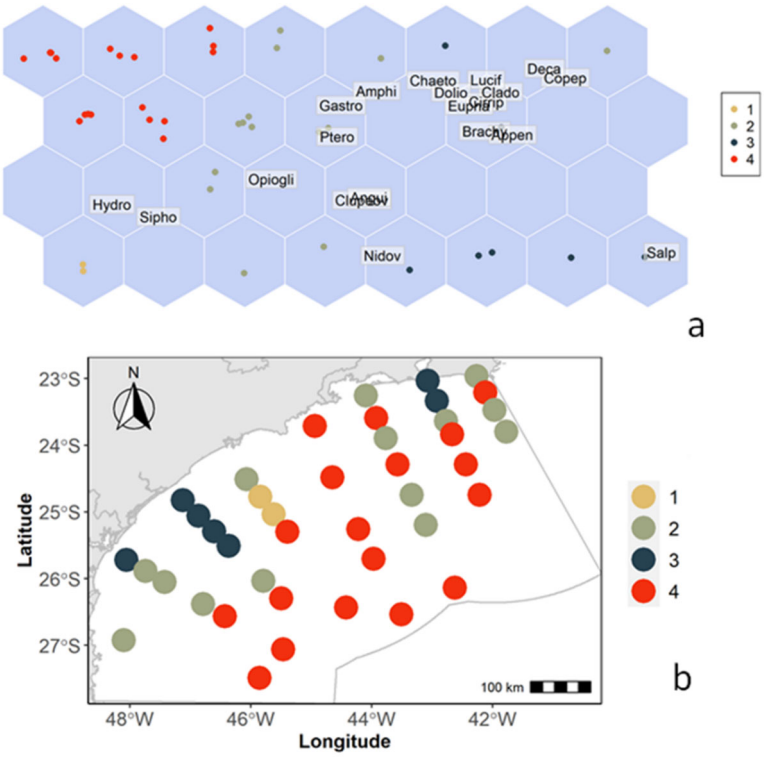


Figura VIII.3.6-2: *Distribuição e agrupamento da comunidade neustônica ilustrados pela rede de neurônios do Self-Organizing Maps (SOM) (a) e o resultado do Hierarchical Clustering (HC) no mapa (b) mostrando a distribuição dos grupos formados no hiponêuston da campanha de inverno na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

O grupo 1 foi associado à Hydroidolina (Hydroidomedusae) e Siphonophorae e através do mapa de distribuição dos grupos de amostras formados nos transectos que correspondeu às estações D3 e D4, na região da plataforma (Figura VIII.3.6-2b). O grupo 2 se concentrou, principalmente, em estações da região da plataforma e foi formado pelos táxons de ovos de peixes *O. oglinum*, Clupeidae e Anguilliformes, e os grupos zooneustônicos Pteropoda, Gastropoda, Amphipoda, Decapoda e Copepoda. O grupo 3 foi formado por ovos de peixes não identificados, Salpida, Chaetognatha, Doliolida, Luciferidae, Cladocera, Cirripedia e Euphausiacea. Esse grupo correspondeu às estações de plataforma, em B1 e C1, C2, C3 e C4 e as duas amostras mais costeiras do transecto G. O grupo 4 não possui nenhum grupo correspondente (Figura VIII.3.6-2b).

Na campanha de verão, no epinêuston, foram formados quatro grupos. O grupo 1 ficou mais associado às larvas de peixes da família Clupeidae e com a distribuição dos grupos de amostras formados nos transectos observamos que corresponde às estações costeiras D2, F1 e H1. O grupo 2 não possui nenhum táxon relacionado. O grupo 3, que se estende por toda a região da Bacia de Santos, representando a maioria das estações desde a região da plataforma até a região oceânica, ao norte e sul da Bacia, foi formado por Copepoda, Cladocera, Radiozoa e os táxons de larvas de peixes *Gempylus serpens*, *Cyclothone* sp. e *U. parvus*. O grupo 4 foi composto por Salpida, ovos de peixes da família Synodontidae e não identificados, e corresponde a estações costeiras pontuais B1 e B2 da região da plataforma ao sul (Figura VIII.3.6-3).

No hiponêuston da campanha de verão também foram formados quatro grupos. Entretanto, não foi observada uma separação definida dos táxons em grupos em alguns casos (Figura VIII.3.6-4a). Os táxons Stomatopoda, *G. serpens* e *U. parvus* parecem estar associados aos grupos 1 e 3. Ovos de Engraulidae e de Synodontidae estão associados aos grupos 2 e 4. Os táxons Cladocera, Salpida, larvas de Clupeidae e *Coryphaena* sp. estão mais associados ao grupo 2, e Copepoda ao grupo 4. Observando a Figura VIII.3.6-4b com a distribuição dos grupos pela Bacia de Santos, o grupo 1 aparece nos transectos B, C e F principalmente na região mais oceânica. O grupo 2 está mais na região da plataforma em quase todos os transectos. O grupo 3 em amostras

PÚBLICA

na plataforma dos transectos B, C e H, e o grupo 4 principalmente em amostras mais costeiras dos transectos E, F e G (Figura VIII.3.6-4b).

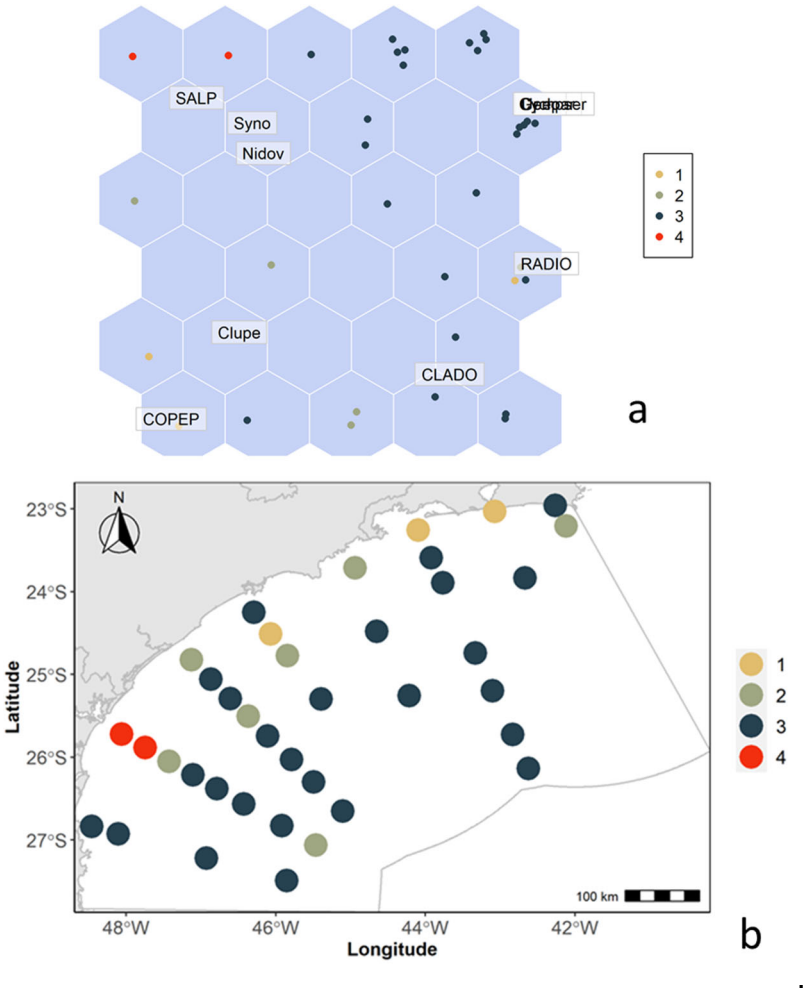


Figura VIII.3.6-3: *Distribuição e agrupamento da comunidade neustônica ilustrados pela rede de neurônios do Self-Organizing Maps (SOM) (a) e o resultado do Hierarchical Clustering (HC) no mapa (b) mostrando a distribuição dos grupos formados no epinêuston da campanha de verão na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

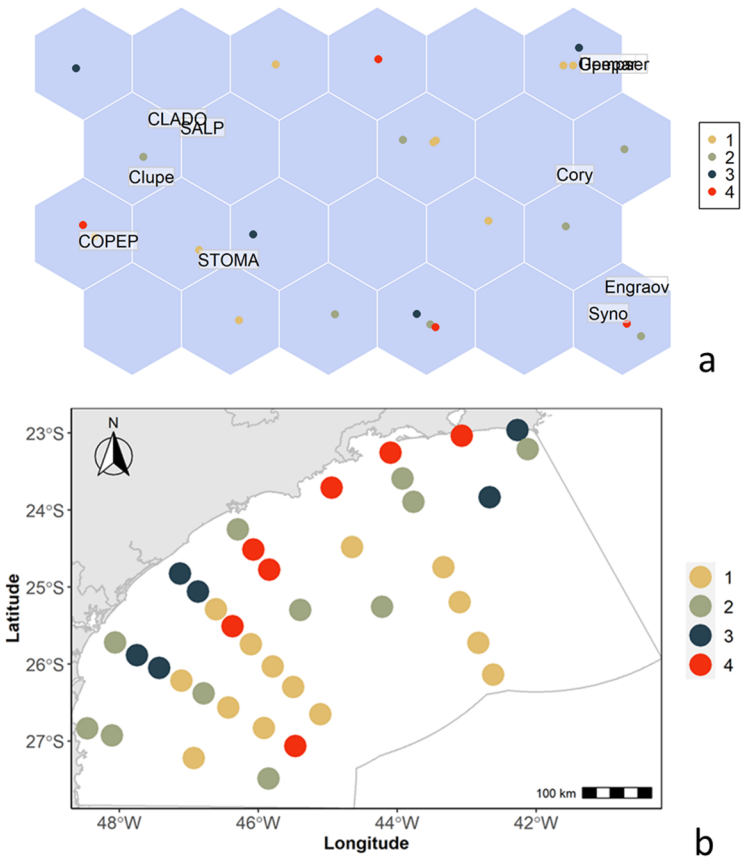


Figura VIII.3.6-4: *Distribuição e agrupamento da comunidade neustônica ilustrados pela rede de neurônios do Self-Organizing Maps (SOM) (a) e o resultado do Hierarchical Clustering (HC) no mapa (b) mostrando a distribuição dos grupos formados no hiponêuston da campanha de verão na Bacia de Santos.*

VIII.4 Discussão

Os valores de biomassa registrados na Bacia de Santos foram baixos, mas semelhantes aos observados em outras regiões oligotróficas da costa brasileira (Bonecker *et al*., 2015; Bonecker *et al*., 2017; Bonecker *et al*., 2019a). Apesar disso, foram registrados picos no norte da Bacia de Santos, na região costeira próxima à Baía de Guanabara e Cabo Frio. Durante o verão no presente estudo, a presença da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) próximo a superfície na região de Cabo Frio provocou o aumento da biomassa planctônica, assim como observado em outros estudos (Valentin *et al.,* 1987; Guenter *et al*., 2008). Esse resultado também foi relatado para a mesma região por McManus *et al*. (2007),

PÚBLICA

que registraram uma grande quantidade de biomassa zooplanctônica influenciada pela forte ressurgência local, típica do período de verão, e uma forte relação entre biomassa fitoplanctônica e microzooplâncton. Estes dados corroboram os resultados encontrados no atual estudo, onde a biomassa do nêuston foi significativamente maior no verão e sobre a plataforma continental.

De maneira geral, a abundância do zoonêuston seguiu o mesmo padrão da biomassa. Os valores mais altos ocorreram na campanha de verão, tanto no epi- quanto no hiponêuston, assim como as maiores abundâncias foram registradas sobre a plataforma. As maiores abundâncias do zoonêuston, dos ovos e larvas de peixes encontrados na campanha de verão coincidiram com os maiores valores de temperatura e a presença de vórtices na área de estudo. Em função da drenagem continental a área da plataforma continental tem uma concentração de nutrientes superior à observada na região oceânica (Suzuki *et al.*, 2017). Essa maior concentração de nutrientes favorece o aumento da biomassa fitoplanctônica e, consequentemente, da abundância dos organismos do zooplâncton que dela se alimentam (Hoover *et al.*, 2006).

No geral, os copépodes foram dominantes nas duas campanhas realizadas na Bacia de Santos, e esta dominância de Copepoda é esperada e amplamente reportada para o zooplâncton marinho sobre a plataforma continental e região oceânica adjacente (Bonecker *et al*., 2009). Entretanto, no inverno foi observado um *bloom* de salpas na área ao sul de São Paulo e no transecto em frente a Baía de Guanabara, ultrapassando a abundância de copépodes. As salpas são organismos filtradores, herbívoros, com reprodução sexuada e assexuada (Carvalho & Bonecker, 2016). Em condições favoráveis se reproduzem rapidamente, de maneira assexuada, ampliando a sua densidade em pouco tempo causando *blooms* e consumindo o estoque de alimento rapidamente (Bonecker *et al*., 1995; Carvalho & Bonecker, 2016). Consequentemente há uma queda na abundância de outros organismos zooplanctônicos, como copépodes herbívoros e cladóceros (Resgalla *et al*., 2001; Codina, 2010). Esse aumento na densidade das salpas está associado à alta capacidade reprodutiva da espécie *Thalia democratica*. Essa espécie é oportunista, possui uma alta capacidade reprodutiva, formando imensos agregados que podem alterar a biota local (Resgalla *et al.*, 2001). Recentemente, esse fenômeno foi observado no Atlântico

PÚBLICA

Norte onde a abundância de *T. democratica* chegou a mais de 100 ind.m^{-3} associado a altas concentrações de nutrientes (Ishak *et al*., 2022). No verão as salpas foram abundantes, principalmente nos perfis mais ao sul da Bacia de Santos, sem formação de *blooms*. Estas formações de *blooms* dos salpídeos estão associados às mudanças bruscas no ambiente como passagem de frentes (Bonecker *et al*., 1995; Groeneveld *et al.,* 2020), mais comuns durante o período de inverno.

Foi observado também, tanto no inverno quanto no verão, que a abundância de Cladocera foi superior aos demais grupos nas estações do transecto em frente à Baía de Guanabara, sendo mais abundante que Copepoda. Dentre os cladóceros a espécie *Penilia avirostris* que foi a mais abundante do grupo é eurihalina, euritérmica e termófila, ocorrendo em águas costeiras, neríticas e oceânicas quentes, especialmente em águas de plataforma até 50 m, além de serem abundantes em baías (Domingos-Nunes & Resgalla Jr., 2012). Sua distribuição é controlada principalmente pela capacidade de dispersão em se mover ou ser facilmente transportada e tolerância a condições ambientais diversas (Korhola & Rautio, 2001).

Os copépodes foram o grupo mais diverso entre os grupos zooneustônicos na Bacia de Santos, com algumas espécies detectadas como típicas de ambiente neustônico (Smith *et al*., 2017). A maioria destas espécies são consideradas onívoras preferencialmente herbívoras, como *T. turbinata* e *C. carinatus*, e foram associadas à região de plataforma na porção norte da área de estudo. *C. carinatus* é considerado um típico bioindicador da ressurgência costeira (Bonecker *et al*., 2014). Espécies detritívoras e carnívoras, como *Pontellina plumata* e *Scolecithrix danae* foram relacionadas à região oceânica mais oligotrófica. Resultado semelhante foi encontrado para o zooplâncton de subsuperfície da costa de Santa Catarina, onde copépodes herbívoros foram associados à predominância de fitoplâncton e as espécies com outros hábitos alimentares foram favorecidos na presença de microzooplâncton em condições mais oligotróficas (Menezes *et al.,* 2019). A família Pontellidae, representada por *Labidocera acutifrons*, *Labidocera nerii*, *Labidocera fluviatilis*, *Pontellopsis brevis*, *Pontella patagoniensis*, *Pontellina plumata* e *Pontella securifer*, é majoritariamente de hábitos carnívoros e tipicamente encontradas no nêuston

PÚBLICA

(Collard *et al.*, 2015). A preferência destas espécies pelo ambiente neustônico foi confirmada com os resultados encontrados na Bacia de Santos, pois a maioria destas espécies não foi registrada para o zooplâncton, relatado no capítulo VI deste volume. Outro fato interessante é que as espécies desta família possuem o comportamento de saltar para fora da coluna de água para escapar de peixes planctívoros (Gemmell *et al.*, 2012).

O grupo Chaetognatha foi um dos mais representativos em ambas as campanhas de amostragem e camadas do nêuston, ocorrendo com frequência e ampla distribuição pela região da Bacia de Santos. Lira (2013) relatou em seu estudo que esse grupo foi muito frequente e abundante em amostragens neustônicas na região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, no Atol das Rocas e no Arquipélago de Fernando de Noronha. Os quetognatos possuem ampla distribuição, sendo encontrados em todos os mares e oceanos do mundo. São peças importantes na teia alimentar visto que são carnívoros vorazes e se alimentam de uma grande variedade de organismos incluindo ovos e larvas de peixes, copépodes e outros quetognatos (Vega-Pérez & Schinke, 2011).

Outro grupo frequente em toda a área nas duas campanhas foi Siphonophorae, que são organismos holoplanctônicos de natureza gelatinosa, carnívoros e extremamente frágeis (Nogueira Jr. *et al.*, 2018). A maior dominância na campanha de inverno foi no transecto em frente à cidade de Santos e na campanha de verão ao sul de São Paulo e em frente às baías de Sepetiba e Ilha Grande, principalmente sobre a região oceânica. As espécies deste grupo variam sazonalmente de acordo com a temperatura e vivem preferencialmente nos primeiros 40 m de profundidade (Nogueira Jr. *et al.*, 2015).

A abundância das apendicularias na Bacia de Santos foi baixa, corroborando com observado em outros estudos (Herrera *et al.*, 2020; Ishak *et al.,* 2022) indicando que esse grupo não tem uma importância grande no nêuston. Um estudo realizado no Mar Vermelho levantou que as hipóteses de uma diminuição das apendicularias no nêuston pode estar associada às altas concentrações de raios ultravioletas na camada superficial, gerando morte ou a migração desses organismos para as camadas inferiores (Mojib *et al.*, 2017). As espécies de apendicularia encontradas neste estudo são típicas da costa brasileira e já foram registradas em outros estudos (Vega-Pérez *et al.*, 2011; Bonecker *et al.*, 2014,

Carvalho & Bonecker, 2016). A espécie mais frequente e abundante foi *Oikopleura longicauda*, também registrada em outros estudos como a espécie predominante entre as apendicularias (Esnal, 1981; Bonecker & Carvalho, 2006; Hidaka, 2008; Touzri *et al*., 2012; Carvalho & Bonecker, 2016).

Dentre os crustáceos da ordem Decapoda, os caranguejos da infraordem Brachyura e os camarões da espécie *Belzebub faxoni* foram os mais abundantes ao longo da Bacia de Santos. Dentre as larvas de decápodes bentônicos, caranguejos braquiúros tiveram maior abundância e diversidade, especialmente próximo à costa assim como observado em outro estudo na mesma região (Brandão, 2015). Brachyura é o grupo com maior diversidade e maior abundância entre os decápodes bentônicos nas regiões neríticas, tanto na fase larval quanto adulta (Shanks *et al*., 2003; Boos *et al*., 2012). Lira (2013) listou 29 táxons de Decapoda associados à comunidade neustônica nos ambientes insulares do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Atol das Rocas e Arquipélago de Fernando de Noronha onde os grupos mais representativos quanto a abundância relativa foram Brachyura e Luciferidae, assim como registrado no presente estudo, seguido de Sergestidae.

A espécie *B. faxoni* teve maior abundância na estação costeira do transecto mais ao norte, próximo à Cabo Frio no presente estudo. Esta espécie foi observada em regiões mais costeiras em toda a costa brasileira (Martin & Davis, 2001; Fernandes *et al*., 2006; Cardoso, 2014).

A região da interface água-ar possui uma alta abundância de peixes. Essa região é considerada uma área de berçário importante para as larvas de vários peixes e, portanto, ovos, larvas e juvenis de peixes são abundantes no nêuston (Doyle, 1992). Os ovos de peixes estão entre os mais abundantes no nêuston, eles se acumulam na superfície por causa da flutuabilidade positiva (Gray & Miskiewicz, 2000). Esta camada superficial é extremamente importante para os ovos de peixes, uma vez que a radiação solar que penetra na água é fundamental para fornecer energia para o desenvolvimento embrionário da larva, enquanto que após a eclosão as larvas se dispersam ao longo de toda a coluna de água. Os ovos, na maioria, são transparentes e por isso ficam “invisíveis” para os predadores quando visualizados do corpo de água para a superfície (Bonecker *et al*., 2022).

PÚBLICA

A maioria dos ovos de peixes permaneceu não identificado. Em muitos estudos de ictioplâncton os ovos normalmente não são identificados, uma vez que há carência de literatura sobre a descrição desse estágio para várias famílias (Gleason & Burton, 2011; Kurtz, 2012). Entretanto, ovos de algumas espécies ou de alguns grupos já foram descritos e possuem características muito singulares tornando possível a identificação dos mesmos. Durante a campanha de inverno estes ovos ocorreram em maiores abundâncias na área da plataforma e em frente aos transectos em frente a Cananéia (SP), das baías de Sepetiba, Ilha Grande e Guanabara (RJ) e em Cabo Frio (RJ). De acordo com Matsuura (1977) os clupeídeos desovam preferencialmente na área da plataforma no período de final de primavera ao final de verão, mas seus ovos são encontrados ao longo de todo o ano.

Assim como no presente estudo, na área entre Cabo de São Tomé (RJ) até o rio Real (BA) (Bonecker, 2007) e na Bacia de Campos (Bonecker *et al*., 2019a) também foi relatado que a maior parte dos ovos de peixes amostrados no nêuston ficou como não identificados. Tanto na Bacia de Campos (Bonecker, 2007; Bonecker *et al*., 2019a) quanto no presente estudo, foram identificados ovos de Anguilliformes, Engraulidae, Clupeidae, Synodontidae, Trichiuridae e *Maurolicus stehmanni*. Na Bacia de Campos (Bonecker *et al*., 2012, 2017), a família Engraulidae foi a mais abundante em ambas as camadas e campanhas, realizadas nos períodos seco e chuvoso, enquanto que na Bacia de Santos, a família Clupeidae ocorreu com maior abundância. Na área entre Cabo Frio e Bahia ovos de *Maurolicus stehmanni* foi a espécie mais abundante seguidas de Beloniformes, Anguilliformes e Synodontidae (Bonecker, 2007; Bonecker *et al*., 2019a).

As larvas de peixes foram encontradas em abundâncias menores que os ovos de peixes. As maiores abundâncias foram encontradas nos transectos em frente à Baía de Paranaguá, ao sul de São Paulo e em frente à Baía de Guanabara durante a campanha de inverno, enquanto que na campanha de verão as larvas foram mais concentradas ao sul e ao norte da área de estudo. Na campanha de inverno as larvas de *Urophycis cirrata* foram abundantes e as larvas da família Myctophidae (*Benthosema suborbitale, Diogenichthys atlanticus, Hygophum hygomii, Hygophum reinhardtii, Myctophum* sp., *Diaphus*

sp., *Lampanyctus* sp., *Lepidophanes* sp. e *Lepidophanes guentheri*) foram encontradas na área oceânica.

A composição das larvas de peixes foi diferente na campanha de verão, com a dominância da espécie de *Dactylopterus volitans.* Os adultos são encontrados principalmente em regiões de baixa profundidade próximo à costa e associados ao fundo (Bonecker *et al*. 2017; Segadilha *et al*., 2018). Esta espécie já foi citada com altas abundâncias no nêuston próxima ao arquipélago Fernando de Noronha (Lessa *et al*., 1999).

Estas famílias encontradas na Bacia de Santos já foram citadas para outras bacias. Na Bacia de Campos, os táxons de larvas de peixes mais abundantes foram Mullidae (43%), Myctophidae (18%) e *Upeneus parvus* (10%) (Bonecker *et al*. 2017). Na Bacia Sergipe/Alagoas as famílias mais frequentes no ambiente neustônico foram Mugilidae (46%), Mullidae (29%), Carangidae (27%), Tetraodontidae (23%) e Exocoetidae (23%) (Schwamborn *et al.,* 2020).

De acordo com uma classificação proposta por Hempel & Weikert (1972), podemos classificar os organismos no nêuston de acordo com sua distribuição na camada de água em eunêuston (organismos que permanecem todo o tempo na camada superficial), nêuston facultativo (organismos que se concentram próximo à superfície apenas durante um período do dia, normalmente ao escurecer) e pseudonêuston (organismos que se concentram nas camadas inferiores, mas a amplitude de distribuição pode atingir a superfície em determinadas horas do dia).

Entre os táxons registrados no atual estudo, podemos classificar como eunêuston as larvas de peixes das famílias Mullidae, Exocoetidae, Coryphaenidae, Scombridae, Macroramphosidae e Phycidae, além dos copépodes da família Pontellidae, o Hydrozoa *Porpita* sp. e o Mollusca *Glaucus atlanticus*. Diversos grupos neustônicos possuem adaptações que ajudam a aumentar sobrevivência destes na camada superficial, como a presença de pigmentação azul, que reduz a visibilidade destes organismos na interface água-ar e confere camuflagem contra os predadores (Rahlff *et al*., 2018). Alguns organismos euneustônicos encontrados possuem está característica de pigmentação azulada, como os copépodes Pontellidae, o hidrozoário *Porpita* sp.

PÚBLICA

e o molusco *Glaucus atlanticus*, confirmando esta característica importante para o nêuston.

Como nêuston facultativo, classificamos as famílias Myctophidae e Gempylidae de larvas de peixes. A família Myctophidae possui hábitos mesopelágicos, evidenciando uma migração vertical diária. Esta migração é mais evidente em arrastos noturnos, quando procuram a superfície em busca de alimento (Angel, 2003, Namiki *et al*., 2017). Entretanto larvas de mictofídeos vêm sendo citadas nos primeiros centímetros da coluna de água em arrastos diurnos também (Bonecker *et al*., 2022). Muitas espécies visitam este habitat para forragear ou reproduzir (Olivar *et al*., 2015).

Como pseudonêuston foram registradas as larvas das famílias de peixes Clupeidae, Engraulidae, Gerreidae, Carangidae, Haemulidae, Mugilidae e Atherinopsidae.

Segundo Vilchis *et al*. (2009) a formação das assembleias de larvas de peixes no nêuston é influenciada principalmente pelo comportamento de desova do adulto, pela disponibilidade de alimento e pelos processos físicos do ambiente.

Apesar da distribuição espacial da comunidade neustônica ser muito influenciada por vários fatores citados anteriormente, tais como, vórtices, frentes frias, ressurgências de massas de água, plumas costeiras e aporte continental de rios locais, que modificam temporariamente a condição ambiental de oligotrófica para meso- ou eutrófica (McKinnon *et al*., 1991). As análises *Self-Organizing Maps* e *Hierarchical Clustering* não mostraram um padrão consistente na variação espacial do nêuston, visto que diversos grupos neustônicos tiveram maior importância em situações pontuais.

VIII.5 Conclusão

A comunidade neustônica na área da Bacia de Santos mostrou que a composição dos grupos zooplanctônicos, abundância total e estrutura da comunidade foram diferentes entre as campanhas de inverno e do verão, demonstrando que a sazonalidade tem forte influência nesta área da costa brasileira. Além disso, foi observado também diferença entre os transectos do

PÚBLICA

norte e do sul e das regiões nerítica e oceânica. Estes resultados evidenciaram ainda organismos característicos desta comunidade neustônica contribuindo para o conhecimento da biodiversidade desta camada superficial.

VIII.6 Referências Bibliográficas

Advincula, R, Lessa, R.P., Freire, K., Medeiros, C. 1997. **Larvas de peixe-voador: distribuição e abundância relacionados às características ambientais.** VII Colacmar, São Paulo, Brasil, 352-353.

Ahlstrom, E.H., Stevens, S. 1976. **Report of neuston (surface) collection made on an extended CalCOFI cruise during May 1972**. CalCOFI Report, v. 18, p. 167-180.

Angel, M.V. 2003. The Pelagic Environment of the Open Ocean. Chapter 3. In: Haedrich, R.L. **Ecosystems of the World.** Elsevier Science, 28: 39-79.

Berkowitz, S.P. 1976. **A comparison of the neuston and near-surface zooplankton in the northwest Gulf of Mexico**. (M.S. Thesis), Texas A&M University, College Station, 148p.

Bonecker, A.C.T. 2007. Ictionêuston. In: **Características hidrobiológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ)** (Valentin, J.L., ed.). Brasília: Ideal Gráfica e Editora. (Série Documentos REVIZEE/SCORE Central). Pp. 161-168.

Bonecker, A.C.T., Bonecker, S.L.C., Nogueira, C.R., Kraus, L.A.S. 1995. Studies on zooplankton and ichthyoplankton in the estuarine system of Ilha Grande Bay (RJ-Brazil). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, 38(2): 593-604.

Bonecker, A.C.T., Castro, M.S. 2006. **Atlas de larvas de peixes da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira**. 1 ed. Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série Livros nº. 19, 214p.

Bonecker, A.C.T., Castro, M.S., Costa, P.G., Bianchini, A., Bonecker, S.L.C., 2019b. Larval fish assemblages of the coastal area affected by the tailings of the collapsed dam in Southeast Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, 32.

Bonecker, A.C.T., Castro, M.S. Dias, C.O., Sá, F., Mill, G.N., Ghisolfi, R.D., Bonecker, S.L.C. 2022 Monitoring of ichthyoplanktonic community at the Doce zam collapse. **Journal of Sea Research,** 189: 102284.

Bonecker, A.C.T., Katsuragawa, M., Castro, M.S., Gomes, E.A.P., Namiki, C., Zani-Teixeira, M.L. 2012. Larval fish of the Campos Basin, southeastern Brazil. **Checklist,** 8(6): 1280 – 1291.

Bonecker, A.C.T., Katsuragawa, M., Castro, M.S., Gomes, E.A.P., Namiki, C.A.P., Zani-Teixeira, M.L. 2017. Estrutura espacial e temporal da comunidade ictioplanctônica. In: **Ambiente pelágico: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste** (Falcão, A.P.C., Moreira, D.L., eds.). Rio de Janeiro: Elsevier. Habitats, 5: 207-245.

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 séries. Disponível em SciELO Books, 295p.

Bonecker, S.L.C. (ed.). 2006. **Atlas da Região Central da Zona Econômica Exclusiva brasileira.** 1 ed. Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série de livros, n. 21, 232p.

Bonecker, S.L.C., Araujo, A.V., Carvalho, P.F., Dias, C.O., Fernandes, L.F.L., Migotto, A.E., Oliveira, O.M.P. 2014. Horizontal and vertical distribution of mesozooplankton species richness and composition down to 2,300 m in the southwest Atlantic Ocean. **Zoologia**, 31: 445-462.

Bonecker, S.L.C., Carvalho, P.F. 2006. Appendicularia. In: **Atlas da Região Central da Zona Econômica Exclusiva brasileira** (Bonecker, S.L.C, ed.). Museu Nacional Série de livros n. 21, Rio de Janeiro, p. 185-203.

Boos H., Bond-Buckup G., Buckup L., Araujo P.B., Magalhães C., Almerão M.P., Santos R.A., Mantelatto F.R. 2012. Checklist of the Crustacea from the state of Santa Catarina, Brazil. **Check List**, 8: 1020– 1046.

Brandão, 2015. **Biodiversidade e distribuição de larvas de invertebrados da plataforma Sudeste-Sul do Brasil (21–34 ºS), com ênfase em larvas de Decapoda.** (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina.

Cardoso, C.S. 2014. **Abundância, distribuição e biomassa espacial e sazonal de camarões Luciferídeos (Crustacea, Decapoda) na Bacia de Campos,**

RJ – Brasil (Dissertação de Mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Oceanografia.

Carvalho, P.F., Bonecker, S.L.C. 2016. Variação da composição e abundância das espécies da Classe Appendicularia e seu uso como potenciais bioindicadoras de regiões e massas de água superfi ciais na área da Bacia de Campos, Rio de Janeiro, Brasil. **Iheringia**, Série Zoologia, 106.

Codina, J.C.U. 2010. **Zooplâncton associado aos máximos sub-superficiais de clorofila na plataforma continental Sudeste do Brasil. (**Tese de doutorado). Universidade Federal do Paraná, 181 p.

Collard, F., Collignon, A., Hecq, J-H., Michel, L., Goffart, A. 2015. Biodiversity and seasonal variations of zooneuston in the northwestern Mediterranean Sea. Belgian Journal of Zoology, 145(1): 40-48.

Domingos-Nunes, R., Resgalla Jr., C. 2012. The zooplankton of Santa Catarina continental shelf in southern Brazil with emphasis on Copepoda and Cladocera and their relationship with physical coastal processes. **Latin American Journal of Aquatic Research**, 40: 893–913.

Doyle, M.J. 1992. Neustonic ichthyoplankton in the northern region of California Current ecosystem. **California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report**, 33: 141–161.

Ebberts, B.D., Wing, B.L. 1997. **Diversity and abundance of neustonic zooplankton in the North Pacific Subartic Frontal Zone**. NOAA Technical Memorandum NMFS-AFSC-70, 39p.

Esnal, G.B. 1981. Appendicularia. In: **Atlas del Zooplancton del Atlantico Sudoccidental y metodos de trabajo com el zooplancton marino**. (Boltovskoy, D., ed.). Mar del Plata: INIDEP, p. 809-827.

Fernandes, L.D.A.; Almeida, E.V., Peixoto, B.J.F.S., Souza, M.F. 2006. In: **Atlas da Região Central da Zona Econômica Exclusiva brasileira** (Bonecker, S.L.C, ed.). Museu Nacional Série de livros n. 21, Rio de Janeiro, p. 185-203.

Fricke, R., Eschmeyer, W. N., Fong, J. D. 2022. **Eschmeyer's Catalog of Fishes: Species by Family/Subfamily.** Disponível em: <https://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. Acesso em: 17/10/2022.

Gemmell, B.J., Jiang, H., Strickler, J.R., Buskey, E.J. 2002. Plankton reach new heights in effort to avoid predators. **Proceedings of the Royal Society B**, 279: 2786–2792.

Gleason, L.U., Burton, R.S. 2012. High-throughput molecular identification of fish eggs using multiplex suspension bead arrays. **Molecular Ecology Resources**, 12: 57-66.

Gonçalves, L.A. 2004. **Estudo do Ictionêuston da costa leste brasileira**. (Monografia de bacharelado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. 41p.

Gray, C.A., Miskiewicz, A.G. 2000. Larval Fish Assemblages in South-east Australian Coastal Waters: Seasonal and Spatial Structure. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 50(4): 549-570.

Groeneveld, J., Berger, U., Henschke, N., Pakhomov, E.A., Reiss, C.S., Meyer, B. 2020. Blooms of a key grazer in the Southern Ocean – An individual-based model of *Salpa thompsoni*. **Progress in Oceanography**, 185:102339. Guenther, M., Gonzalez-Rodriguez, E., Carvalho, W., Rezende, C., Mugrabe, G., Valentin, J. 2008. Plankton trophic structure and particulate organic carbon production during a coastal downwelling-upwelling cycle. **Marine Ecology Progress Series**, 363: 109–119.

Heiberger, R.M., 2013. HH: Statistical Analysis and Data Display: Heiberger and Holland. R package version 3.1-34. URL https://CRAN.R-project.org/package=HH.

Helm, R.R. 2021a. The mysterious ecosystem at the ocean's surface. **PLoS Biology** 19(4): e3001046.

Helm, R.R. 2021b. Natural history of neustonic animals in the Sargasso Sea: reproduction, predation, and behavior of *Glaucus atlanticus*, *Velella*, and *Janthina* spp. **Marine Biodiversity**, 51: 99

Hempel, G., Weikert, N. 1972. The neuston of the subtropical and boreal Northeastern Atlantic Ocean. A review. **Marine Biology**, 13: 70-88.

Herrera, A., Raymond, E., Martínez, I., Álvarez, S., Canning-Clode, J., Gestoso, I., Pham, C.K., Ríos, N., Rodríguez, Y., Gómez, M., 2020. First evaluation of neustonic microplastics in the Macaronesian region, NE Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, 153: 110999.

Hidaka, K. 2008. Species composition and horizontal distribution of the appendicularian community in waters adjacent to the Kuroshio in winter-early spring. **Plankton and Benthos Research,** 3: 152-164.

Hoover, R.S., Hoover, D., Miller, M., Landry, M.R., Decarlo, E.H., Mackenzie, F.T. 2006. Zooplankton response to storm runoff in a tropical estuary: bottom-up and top-down controls. **Marine Ecology Progress Series**, 318:187–201.

Ishak, N.H.A., Motoki, K., Miyamoto, H., Fuji, T., Taniuchi, Y., Kakehi, S., Kuroda, H., Setou, T., Takahashi, K. 2022. Basin-scale distribution of salps and doliolids in the transition region of the North Pacific Ocean in summer: Drivers of bloom occurrence and effect on the pelagic ecosystem. **Progress in Oceanography**, 204: 102793.

Katsuragawa, M., Matsuura, Y. 1990. Comparison of the diel and spatial distribution patterns of ichthyoplankton and ichthyoneuston in the southeastern Brazilian Bight. **Boletim do Instituto Oceanográfico***,* 38(2): 133-146.

Kohonen, T. 2001. Self-organizing maps. 3rd edition, Berlin: Springer. Vieira, D.C., Fonseca, G. 2022. **iMESc: An Interactive Machine Learning App for Environmental Science (Version 2.1.0.1)** [Computer software].

Korhola, A., Rautio, M. 2001. Cladocera and Other Branchiopod Crustaceans. **Developments in Paleoenvironmental Research**, 5–41.

Kurtz, F.W. 2012. Caracterização do Ictioplâncton. In: **Baía de Guanabara. Síntese do Conhecimento Ambiental - Biodiversidade** (Meniconi, M.F.G., Silva, T.A., Fonseca, M.L., Lima, S.O.F., Lima, E.F.A., Lavrado, H.P., Figueiredo Jr., A.G. F. (Eds.). Rio de Janeiro: Ipsis Gráfica e Editora, v. 2, 479 p

Lessa, R.P., Lucchesi, R. B.; Oliveira Jr., P. M.; Vaske Jr., T.; Bezerra Jr., J.L.; Ropk, A. 1997. **Ecological aspects of neuston fish larvae, around islands, rocks and oceanic Banks in northeast brazilian coast (leg – 4 – "joint oceanografic projects II – JOP'S II)**. VII Colacmar, São Paulo – Brasil. p. 76-77.

Lessa, R.P., Mafalda Jr., P.; Advíncula, R., Lucchesi, R.B., Bezerra Jr., J.L., Vaske Jr., T., Hellebrandt, D. 1999. Distribution and abundance of ichthyoneuston at seamonts and islands off north-eastern Brazil. **Marine Research,** 47(2/3): 239-252.

Lira, S.M. de A. 2013. **Distribuição e composição do zoonêuston em ambientes insulares do Oceano Atlântico Tropical com ênfase em Decapoda.** (Dissertação Mestrado) Universidade Federal de Pernambuco.

Lobo, E., Leighton, G. 1986. Estruturas comunitárias de las fitocenosis plantónicas de lós sistemas de desembocaduras de rios y esteros de La zona Central de Chile. **Revista de Biologia Marinha**, 22(1): 1-29.

Marshall, H.G., Burchardt, L. 2005. Neuston: Its definition with a historical review regarding its concept and community structure. **Archiv für Hydrobiologie**, 164(4): 429-448.

Martin, J.W., Davis, G.E. 2001. An Update Classification of the recent Crustacea. Los Angeles: Natural History Museum of Los Angeles Country. **Science**, 39.

Matsuura, Y. 1977. A Study of the Life History of Brazilian Sardine *Sardinella brasiliensis.* IV. Distribution and Abundance of Sardine Larvae. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, 26(2): 219-283.

Matteucci, D., Colma, A**.** 1982. **Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos**. Washington, D.C: Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Serie Biología. Monografía. n. 22, 159 p.

McEwen, G.F., JohnsoN, M.W., Folsom, T.R. 1954. A statistical analysis of the performance of the Folsom plankton sample splitter, based upon test observations. **Archives of Metereology, Geophys and Bioklimatology** (Ser. A), 7: 502-527.

McKinnon, A.D. 1991. Community composition of reef associated copepods in the lagoon of Davies Reef, Great Barrier Reef, Australia. **Bulletin of the Plankton Society of Japan**, 467–478.

McManus, G., Costas, B.A., Dam, H.G., Lopes, R.M., Gaeta, A,S., Susini, S.M., Rosetta, C.H. 2007. Microzooplankton grazing of phytoplankton in a tropical upwelling region. **Hydrobiologia**, 575: 69–81.

Menezes, B.S., Macedo-Soares, L.C.P., Freire, A.S. 2019. Changes in the plankton community according to oceanographic variability in a shallow subtropical shelf: SW Atlantic. **Hydrobiologia**, 835: 165-178.

PÚBLICA

Mojib, N., Thimma, M., Kumaran, M., Sougrat, R., Irigoien, X. 2017. Comparative metatranscriptomics reveals decline of a neustonic planktonic population. **Limnology and Oceanography**, 62(1): 299-310.

Monteiro, A., Vaske Jr., T., Lessa, R.P., El-Deir, A.C.A. 1997. **Occurrence of flyingfishes (pisces: Exocoetidae) in the northeast of Brazil.** VII Colacmar, São Paulo – Brasil. Pp. 180 -181.

Morris, B.F. 1975. The neuston of the northwest Atlantic. (PhD Thesis).Dalhousie Univ., Halifax, 285p.

Nogueira Jr., M.,Brandini, F.P., Codina, J. 2015. Diel vertical dynamics of gelatinous zooplankton (Cnidaria, Ctenophora and Thaliacea) in a subtropical stratified ecosystem (South Brazilian Bight). **PLoS One** 10:0144161–0144128.

Nogueira Jr., M., Nascimento, L.S., Maciel, P.V., Tilbert, S., Oliveira, L.D. 2018. Diversity, Species Composition and Assemblage Dynamics of Estuarine Gelatinous and Semi-Gelatinous Zooplankton from Brazil. In: **Plankton Ecology of the Southwestern Atlantic**. (Hoffmeyer, M.S. et al. (eds.). Springer International Publishing AG, Pp.375-412.

Namiki, C., Katsuragawa, M., Napolitano, D.C., Zani-Teixeira, M.L., Mattos, R.A., Silveira, I.C.A. 2017. Hydrodynamically-driven distribution of lanternfish larvae in the Southeast Brazilian Bight. **Journal of Marine Systems**, 170: 115-133.

Nelson J.S., Grande T.C., Wilson M.V.H. 2016. **Fishes of the World**. 5th edition. Wiley, Hoboken, New Jersey.

Olivar, M., González-Gordillo, I.J., Salat, J., Chust, G., Cózar, A., Hernández-León, S., Puelles, M.L.F., Irigoien, X. 2015. The contribution of migratory mesopelagic fishes to neuston fish assemblages across the Atlantic, Indian and Pacific Oceans. **Marine and Freshwater Research**, 67(8): 1114-1127.

Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., Mcglinn, D., Minchin, P.R., O'hara, R.B., Simpson, G.L., Soltmos, P., Stevens, H.; Szöis, E., Wagner, H.H. 2020. **Vegan: community ecology package**. **Ordination methods, diversity analysis and other functions for community and vegetation ecologists**. **Version 2.5-**1. Disponível em: http://cran.r-project.org/package=vega. Acesso em 05/08/2022.

R Development Core Team, 2020. **R: A language and environment for statistical computing**. **Vienna: R Foundation for Statistical Computing**.

ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: http://www.r-project.org. Acesso em 07/05/2022.

Rahlff, J., Ribas-Ribas, M., Brown, S., Mustaffa, N., Renz, J., Peck, M., Bird, K., Cunliffe, M., Melkonian, K., Zappa, C. 2018. Blue pigmentation of neustonic copepods benefits exploitation of a prey-rich niche at the air-sea boundary. **Scientific Reports**, 8: 11510.

Resgalla Jr., C. 2001. Estudo de impacto ambiental sobre a comunidade do zooplâncton na enseada do saco do Limões, baía sul da ilha de Santa Catarina, Brasil. **Atlântica**, 23: 5-16.

Richards, W.J. 2006. **Early stages of Atlantic Fishes: An Identification Guide for the Western Central North Atlantic**. Taylor & Francis Group, 2640 p.

Schwamborn, R., Neumann Leitão, S., Silva, A.P., Lira, S.M.A., Costa, D.F.M., Díaz, X.F.G., Figueirêdo, L.G.P., Costa, A. E. S. F., Lima, C.D.M., Nascimento, D.A., Correia, E.P., Santos, G.S., Oliveira, G.M., Teixeira, I.A., Fernandes, L.D.A., Melo, P.A.C., Campelo, R.P.S., Silva, T.A., Santos, Z.F. 2019. Zooplâncton e Zoonêuston na Bacia de Sergipe e Sul de Alagoas. In: **Ambiente Pelágico da Bacia de Sergipe-Alagoas** (Moreira, D.L., Carneiro, M.E.R., Silva, A.P., Schwamborn, R., orgs). Editora UFS, 575p.

Schwamborn, S.H.L., Botelho, M.J.C., Kurtz, F.W., Santana, J.R., Sales, A.J. 2020. Ictiooplâncton e Ictionêuston na Bacia de Sergipe e Sul de Alagoas. In: **Ambiente Pelágico da Bacia de Sergipe-Alagoas** (Moreira, D.L., Carneiro, M.E.R., Silva, A.P., Schwamborn, R., orgs). Editora UFS, 575p.

Segadilha, J.L., Nascimento, P.S., Mauro, F.M., Serejo, C.S., Ramos, T.R., Cardoso, I.A., Martins, A.S., Costa, P.A.S. 2018. The carcinofauna found in stomach contents of the flying gurnard (*Dactylopterus volitans*) on the continental shelf of the Campos Basin, Brazil. **Journal of Natural History**, 52 (1-2):1-11.

Shanks A.L., Mcculloch A., Miller J. 2003. Topographically generated fronts, very nearshore oceanography and the distribution of larval invertebrates and holoplankters. **Journal of Plankton Research**, 25: 1251–1277.

Smith, J., Richter, C., Fabricius, K., Cornils, A. 2017. Neustonic copepods (Labidocera spp.) discovered living residentially in coral reefs. Marine Biodiversity, 49: 345–355.

PÚBLICA

Suzuki, M.S., Paranhos, R., Rezende, C.E., Pinto, F.N., Gobo, A.A.R., Pedrosa P. 2017. Hidroquímica, carbono orgânico e nutrientes dissolvidos e particulados na Bacia de Campos. In: **Química ambiental: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste**. (Falcão, A.P.C., Wagener, A.L.R., Carreira, R.S., eds.). Elsevier. Habitats, Rio de Janeiro. Pp. 65–94.

Touzri, C., Hamdi, H., Goy, J., Daly Yahia, M.N. 2012. Diversity and distribution of gelatinous zooplankton in the Southwestern Mediterranean Sea. **Marine Ecology,** 33: 393-406.

Valentin JL, Monteiro-Ribas WM, Mureb MA, Pessotti E (1987) Sur quelques zooplanctontes abondants dans l'upwelling de Cabo Frio (Brésil). J Plankton Res 9:1195–1216.

Varela, M., Bode, A., Lorenzo, J., Álvarez-Ossorio, M.T., Miranda, A., Patrocinio, T., Anadón, R., Viesca, L., Rodríguez, N., Valdés, L., Cabal, J., Urrutia, A., García-Soto, C., Rodríguez, M., Álvarez-Salgado, X.A., Groom, S. 2006. The effect of the "Prestige" oil spill on the plankton of the N–NW Spanish coast, **Marine Pollution Bulletin**, 53(5–7): 272-286.

Vega-Pérez, L.A., Campos, M.A.G., Schinke, K.P. 2011. Checklist of chaetognatha phyllum from São Paulo State, Brazil. **Biota Neotropica**, 11: 761-769.

Vieira, D.C., Fonseca, G. 2022. iMESc: An Interactive Machine Learning App for Environmental Science (Version 2.1.0.1) [Computer software].

Vilchis, L.I., Balance, L.T., Watson, W. 2009. Temporal variability of neustonic ichthyoplankton assemblages of the eastern Pacific warm pool: Can community structure be linked to climate variability? **Deep-Sea Research Part I: oceanographic research papers**, 56(1): 125-140.

Wagener, A.L.R., Farias, C.O., Molina, F.F., Mauad, C.R., Scofield, A.L. 2017. Hidrocarbonetos em sedimentos da Bacia de Campos. In: **Química ambiental: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste**. (Falcão, A.P.C., Wagener, A.R., Carreira, R.S., Eds.). Rio de Janeiro: Elsevier. Habitats, 6: 277-312.

WoRMS Editorial Board (2022). World Register of Marine Species. Available from https://www.marinespecies.org at VLIZ. Accesso em 05/11/2022.

Zaitsev, Y.P., 1971. **Marine Neustonology**, Washington, D.C., National Marine Fisheries Service, NOAA and NSF.

PÚBLICA

VIII.7 Equipe Técnica

Nomes	Formação	Atuação
Dra. Ana Cristina Teixeira Bonecker	Bióloga	Coordenação
MSc. Mariana Muguet Julio	Doutoranda em Zoologia – Pós-graduação em Zoologia – MN/UFRJ	Bolsista de Doutorado: análises laboratoriais, processamento de dados e confecção de relatório
MSc. Cintia Cardoso Okada	Mestre em Oceanografia	Técnico: análises laboratoriais, processamento de dados e confecção de relatório
Dra. Márcia Salustiano de Castro	Doutora em Biologia Marinha	Pós doc (colaboradora): Análises laboratoriais e processamento de dados
Dra. Cristina de Oliveira Dias	Doutora em Zoologia	Pós doc (colaboradora): Análises laboratoriais e processamento de dados
MSc. Pedro Freitas de Carvalho	Mestre em Engenharia Ambiental	Técnico: análises laboratoriais, processamento de dados e confecção de relatório
Dra. Bárbara Santos Menezes	Doutora em Ecologia	Bolsista Pós Doc: análises laboratoriais, processamento de dados e confeccção de relatório
Maria Gabrielli Santos Ribeiro	Bióloga	Técnico: análises laboratoriais e processamento de dados
Camila Andrade dos Santos	Bióloga	Técnico: análises laboratoriais
Karen Gabriela Borges de Sousa	Bióloga	Técnico: análises laboratoriais

PÚBLICA

IX. Produtividade Primária Foto- e Quimiossintética e Seus Fatores Reguladores na Bacia de Santos

IX.1 Introdução

A comunidade microbiana, incluindo microalgas, bactérias e arqueias, executa um papel importante no funcionamento dos ecossistemas marinhos. São esses organismos que, através dos processos de fotossíntese e quimiossíntese, sintetizam a matéria orgânica necessária para seu crescimento e sobrevivência no sistema pelágico. Uma vez fixada nesses processos, pode ser transferida para toda a teia alimentar, sustentando os demais organismos que a compõem e, contribuindo, dessa forma, para o funcionamento dos ciclos biogeoquímicos marinhos de compostos distintos, como o carbono e o nitrogênio (Kirchman, 2012).

O processo pelo qual o carbono inorgânico (CO_2) é assimilado pelos organismos autotróficos (fixação de carbono) e transformado em matéria orgânica é conhecido como produção primária. Segundo Falkowski (1994), os representantes fotoautotróficos (fitoplâncton marinho) incluídos nessa comunidade sintetizam, anualmente, entre 30 a 50 Pg (pentagramas – 10^{15} g) de carbono orgânico, além de fornecer mais da metade do oxigênio encontrado na atmosfera terrestre.

A produção primária pode ser classificada de acordo com a fonte energética utilizada pelos organismos autotróficos; conforme a origem e o estado de oxidação do nitrogênio; ou considerando a quantidade de matéria orgânica fixada nos processos de foto- e quimiossíntese.

A produção primária fotossintética (PPF) ocorre quando a energia proveniente da luz solar é absorvida por pigmentos fotossintéticos (clorofila-a, ficoeritrina, ficocianina, etc), transformada em energia química e armazenada em moléculas de alto valor energético, como a glicose ($C_6H_{12}O_6$). Na coluna d'água, este processo é realizado majoritariamente por cianobactérias, protistas e microalgas (Longhurst *et al.,* 1995).

PÚBLICA

Já a produção primária quimiossintética (PPQ) ocorre quando a energia é oriunda da oxidação de compostos químicos, como amônia (NH_4), metano (CH_4) e sulfeto de hidrogênio (H_2S). Neste caso, ela é exclusivamente realizada por bactérias e arqueias (Enrich-Prast *et al.,* 2014).

O nitrogênio, além de ser um fator limitante da produção primária marinha, é um dos nutrientes essenciais para a formação de proteínas e ácidos nucleicos (DNA e RNA) nos seres vivos. Por isso, sua disponibilidade nesse ambiente é fundamental para garantir a vida no nosso planeta (Garcia *et al.,* 2013).

No oceano, tal elemento pode ser encontrado como nitrogênio molecular (N_2); e em formas inorgânicas, como nitrito (NO_2), nitrato (NO_3^-) e amônia (NH_4^+), e orgânicas, como a ureia ($CO(NH_2)_2$) (Gaeta e Brandini, 2006).

Existem dois mecanismos que diferenciam a produção primária, segundo a fonte de nitrogênio. Uma delas é a produção nova (associada à assimilação de nitrato), que ocorre quando o nitrogênio tem origens externas e entra no sistema através da drenagem de rios, chuvas, sistemas frontais entre massas d'água, suspensão de material sedimentado e fixação pelas cianobactérias (Dugdale e Goering, 1967).

A outra, a produção regenerada (assimilação de amônia), é mantida pela regeneração de nutrientes advindos de processos químicos e da decomposição das bactérias heterotróficas que disponibilizam sua forma inorgânica para os produtores primários (Gaeta e Brandini, 2006).

Um outro fator de classificação da produção primária é a quantidade de matéria orgânica fixada pelos organismos autotróficos.

Quando a matéria orgânica é totalmente fixada pela foto- ou quimiossíntese, é denominada produção primária bruta (PPB). Entretanto, uma parte significativa dessa produção é destinada à manutenção do metabolismo dos próprios indivíduos (respiração), fazendo com que apenas uma pequena parte seja transferida ao longo da teia alimentar para sustentar os demais níveis tróficos. Essa fração é conhecida por produção primária líquida (PPL) (Soares-Gomes e Figueiredo, 2002).

Quantificar a taxa de produção de carbono por unidade de tempo e área ou volume (produtividade) é fundamental para estimar a capacidade produtiva do

ecossistema marinho e determinar seu grau de eutrofização (Parsons *et al.,* 1984; Feitosa *et al.,* 2019).

Além disso, pode-se estimar o potencial pesqueiro de uma determinada região, uma vez que a sobrevivência e o sucesso do recrutamento larval estão associados a locais com elevada produtividade. Isso se verifica em espécies comercialmente importantes no sudeste e sul do Brasil, como sardinhas, atuns e bonitos, em razão de maior disponibilidade alimentar dessas regiões (Brandini, 1990; Cushing, 1990).

Considerando a distribuição da produtividade primária na Bacia de Santos (Oceano Atlântico Sudoeste), sabe-se que a região da plataforma continental tende a ser mais produtiva, já que consegue sustentar elevadas taxas de produção e biomassa autotrófica, através do incremento nutricional advindo de locais com ressurgência costeira, como em Cabo Frio (RJ), cuja produtividade primária máxima potencial (Pmax) varia de 9,77 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$ (superfície) a 14,98 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$ (base da camada de mistura) (Gonzalez-Rodriguez *et al.,* 2017).

Outros aportes continentais que contribuem para o aumento da produtividade primária nessa região são oriundos da descarga de estuários, como o sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) (Teixeira e Gaeta, 1991; Barrera-Alba *et al*., 2009) e baías eutrofizadas, como a de Santos (SP) e Guanabara (RJ) (Gianezella-Galvão, 1982; Guenther *et al.,* 2012).

Já a porção oceânica é predominantemente oligotrófica, com valores de produção primária integrada, estimados entre 100 e 450 $mgC.m^{-2}.d^{-1}$ (Brandini, 1990).

Gaeta e Brandini (2006) e Lutz *et al.* (2018) realizaram um levantamento bibliográfico consistente das taxas de produção primária entre Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS) – região em que a Bacia de Santos está inserida - e entre as costas do Brasil, Uruguai e Argentina, respectivamente.

A partir desses levantamentos, pode-se notar que a maioria dos trabalhos que utilizaram a técnica de assimilação de radioisótopo de carbono (^{14}C) proposta por Steemann-Nielsen (1952), foram realizados em escalas espaço-temporais menores e em cenários oceanográficos específicos, como os listados acima (Teixeira, 1973; Teixeira e Gaeta, 1991; Gonzalez-Rodriguez *et al.,* 1992; Gonzalez-Rodriguez *et al.,* 1994; Braga, 1999; Gaeta *et al,* 1999; Saldanha-

Corrêa e Gianesella, 2008; Barrera-Alba *et al.,* 2009; Gonzalez-Rodriguez *et al.,* 2017).

Contudo, trabalhos que consideram áreas mais extensas, como a da Bacia de Santos, e que exploram fenômenos como a interferência de vórtices ciclônicos e anticiclônicos na produção primária são mais escassos (Aidar-Aragão *et al.,* 1980; Brandini, 1990; Metzler *et al.,* 1997; Gaeta *et al.,* 1999; Brandini *et al.,* 2018; Frazão *et al.,* 2021). Isso provavelmente se deve a elevados custos, à necessidade de embarcações com autonomia para longas distâncias e ao acesso a equipamentos adequados.

Apesar de ser considerada tão relevante quanto a fotossíntese em sustentar a vida em regiões abaixo da zona eufótica (que corresponde a 70% da superfície terrestre), a quimiossíntese vem recebendo pouca atenção, sobretudo no que diz respeito à distribuição desse processo em diferentes ecossistemas e na magnitude da sua contribuição em relação à produção primária total (Enrich-Prast *et al.,* 2014).

Foram registrados poucos trabalhos focados em avaliar a quimiossíntese na Bacia de Santos, tendo destaque para Signori *et al.* (2017 e 2020) que avaliaram a contribuição desse processo em relação à produção bacteriana heterotrófica em sistema estuarino tropical (Baía de Guanabara - RJ) e em lagoas costeiras (Rodrigo de Freitas – RJ), respectivamente. Mais recentemente, Kutner *et al.* (2022 – em revisão) relataram a alta variabilidade da distribuição quimiossintética e baixa contribuição relativa desse processo ao longo da Bacia de Santos, e Passos *et al.* (2022 – em revisão) compararam a PPQ na coluna d'água e em sedimentos ao norte da Bacia.

Assim, este trabalho visou estimar e caracterizar espacialmente a produtividade primária foto- e quimiossintética da Bacia de Santos, bem como apontar a influência de fatores ambientais nessas taxas.

Desse modo, buscou-se suprir significativa lacuna temporal nas estimativas de produtividade primária fotossintética, além de apresentar dados relevantes acerca das taxas quimiossintéticas, contribuindo para uma visão integradora de tais processos no Oceano Atlântico Sudoeste.

IX.2 Métodos

Foram realizadas, na Bacia de Santos, duas campanhas oceanográficas; a primeira, entre agosto e outubro de 2019 (a de inverno), a bordo do navio R/V *Ocean Stalwart* e a segunda, entre dezembro de 2021 e março de 2022 (a de verão), a bordo do navio R/V *Seward Johnson*.

Das 60 estações, alocadas em oito transectos (A-H), 16 foram selecionadas para a realização dos experimentos de foto- e quimiossíntese na primeira campanha (B02, B04, B07, C01, D01, E01, E04, E06, E08, F04, F06, G01, G03, G05, H01 e H05), e apenas cinco (A05, C01, C07, E03 e F07) na segunda campanha (Figura IX.3.1.1).

As amostras de água foram coletadas com auxílio de garrafas de Niskin (5L), acopladas ao sistema CTD-Rosette.

IX.2.1 Experimentos de Produtividade – Método in situ simulado com incubação de radioisótopo (^{14}C)

Para a determinação da produtividade primária, foi utilizado o método de incubação com radioisótopo de carbono (^{14}C), adaptado de Steemann-Nielsen (1952).

Para a fotossíntese, alíquotas de 70 mL de amostra foram coletadas na zona eufótica, em duas profundidades distintas – superfície (1 m) e Profundidade de Máximo de Clorofila (PMC).

As alíquotas foram inoculadas em frascos de polietileno claros e um escuro (controle), contendo solução de bicarbonato de sódio marcada com radioisótopo ^{14}C ($Na^{14}CO_3$, atividade de 5 µCi).

Em seguida, as amostras foram incubadas durante aproximadamente oito horas, em oito níveis de intensidade luminosa (0%, 1%, 4%, 8%, 16%, 37%, 55% e 100%), e em temperatura controlada por fluxo de água do mar superficial na incubadora, simulando as condições encontradas *in situ*.

Para a quimiossíntese, 70 mL de água do mar foram coletados em diferentes níveis de profundidade (superfície, PMC, 250 m, 900 m, 1200 m, 2300 m),

PÚBLICA

seguindo o empilhamento das massas d'água identificadas na região, e separadas em três frascos, sendo duas réplicas e um controle.

Da mesma forma que a fotossíntese, as amostras foram inoculadas com $Na^{14}CO_3$ (atividade de 5 µCi) e o formaldeído (2% concentração final) foi adicionado apenas nos frascos de controle, a fim de interromper a atividade microbiana.

As amostras foram incubadas no escuro e em temperaturas próximas a da água amostral (acima de 250 m – temperatura ambiente; em 250 m – ar condicionado; abaixo de 250 m – incubação em geladeira ou câmara fria), por um período entre nove e doze horas.

Após incubação de ambos os processos, as amostras foram filtradas em membranas de 0,22 µm de porosidade com auxílio de sistema *manifold* e bomba à vácuo sob baixa pressão. Os filtros foram armazenados em criotubos de 2 mL e congelados em temperatura de -20°C, até análise no Laboratório de Radioisótopos do Departamento de Oceanografia Biológica do IO-USP (LARADOB), licenciado junto à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

No LARADOB, as membranas foram submetidas a vapor de ácido clorídrico (com concentração de 1M), para a retirada do carbono não incorporado no experimento. Em seguida, foram transferidas para *vials* de cintilação com 5 mL de líquido de cintilação (Ultima Gold) e armazenadas na geladeira por, no mínimo, 24 horas.

Por fim, as amostras foram lidas no cintilador líquido Tri-Carb 2810 (Perkin Elmer, USA), por um período de 30 min/amostra.

As taxas de assimilação de carbono por área e tempo (produtividade primária - $\mu gC.m^{-3}.h^{-1}$) foram calculadas a partir de valores de desintegração por minuto (DPMs), obtidos no cintilador, de acordo com fórmula descrita por Teixeira (1973):

$$\textbf{PP (mgC.m}^{-3}\textbf{.h}^{-1}\textbf{)} = \frac{DPM\ da\ amostra}{DPM\ disponível} \times \frac{1}{Tempo\ de\ incubação} \times 1,06\ x\ \frac{[CO2]}{1} \times \frac{12}{44} \times 1000$$

Em que:

- **DPM da amostra:** valor de leitura das amostras no cintilador *1,06 (razão isotópica de carbono no ambiente marinho);

- **DPM disponível**: valor de leitura referente ao ^{14}C-bicarbonato adicionado aos experimentos;
- **[CO_2] =** 90 mg.L^{-1} (referente a região de salinidade acima de 30 e pH entre 7,5 e 8).

No caso da fotossíntese, para cada nível de luminosidade foi subtraído o controle (frasco escuro) dos valores dos frascos claros. Já para quimiossíntese, foi calculada a média das réplicas e o controle foi subtraído desse valor.

Em seguida, as taxas de produção foram integradas na coluna d'água, a fim de compará-las entre as estações amostradas. Primeiramente, as taxas fotossintéticas foram multiplicadas pelo fotoperíodo (aproximadamente 12 h), e as quimiossintéticas, por 24 h e, em seguida, foi aplicado o método dos trapézios, originando valores da ordem de mgC.m^{-2}.d^{1}.

Como a qualidade e intensidade de luz podem interferir nos processos fotossintéticos e, consequentemente, na produtividade primária, foram confeccionadas curvas de produção – irradiância (Curvas P-I), a fim de obter os seguintes parâmetros: Produtividade máxima potencial (Pmax – mgC.m^{-3}.h^{-1}) e normalizada pela biomassa para intensidade de luz saturante, ou número de assimilação (Pbmax – mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}); eficiência fotossintética (α – inclinação inicial da curva P-I) e parâmetro de fotoinibição (β). As curvas foram confeccionadas com uso do software KaleidaGraph 4.0.

A irradiância foi calculada a partir do modelo de insolação de Bird e Hulstrom (1981). Os dados foram multiplicados por 4,57 (Thimijan e Heins, 1983) para conversão de W.m^{-2} para µE.m^{-2}.s^{-1} e por 0,48 para encontrar a Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA – Frouin e Pinker, 1995). E, por fim, os valores de irradiância foram integrados no tempo de incubação e divididos pelo tempo total de incubação.

Após a determinação das taxas de irradiância e produtividade máxima (normalizada pela clorofila e não normalizada), as curvas foram ajustadas seguindo os modelos empíricos: Platt *et al.* (1980), considerando o efeito da fotoinibição; e Jassby e Platt (1976), quando o ajuste com fotoinibição não foi adequado, ou quando o parâmetro apresentou dados negativos.

IX.2.2 Análises Estatísticas

Todas as análises estatísticas e confecções de gráficos, discriminadas a seguir, foram realizadas no software R (R Core Team, 2022).

Para investigar padrões espaciais de distribuição ao longo da Bacia de Santos, os dados de produtividade primária foto- e quimiossintética foram comparados, observando a distância da costa (plataforma, zona de transição e oceânica), a profundidade (superfície e PMC) e as regiões da Bacia (norte – transectos G e H; central – E, F e sul – A até D). Para a quimiossíntese, a distribuição vertical considerou as zonas pelágicas (epipelágica – superfície e PMC; mesopelágica – 250 e 900 m; e batipelágica – 1200 e 2300 m).

Além dos valores de estatística descritivas, foram aplicados testes estatísticos uni e multivariados, a fim de avaliar diferenças significativas entre os grupos de dados. Primeiramente, foram verificados os pressupostos de normalidade dos dados (Shapiro-Wilk) e homoscedasticidade de variâncias (Teste-F, para dois grupos e Levene, para mais de dois grupos) (Zar, 2010).

Ao confirmar os pressupostos acima, foram aplicados Teste-T simples para dois grupos, ou ANOVA simples com teste *a posteriori* de Tukey, a fim de verificar as variações espaciais entre as taxas de produção primária ao longo da Bacia de Santos. Caso contrário, foram considerados os testes de Mann-Whitney bicaudal ou Kruskal-Wallis, com teste *a posteriori* de Nemenyi. O critério de seleção adotado considerou o Índice de Significância de 0,05 (Zar, 2010).

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada com base na matriz de distância Euclidiana, a fim de avaliar a influência dos parâmetros ambientais nas taxas foto- e quimiossintética das duas campanhas. Para a segunda campanha (verão), foram confeccionadas duas matrizes distintas, a que considerou as taxas fotossintéticas e outra, apenas as estações em que houve quimiossíntese.

Os dados foram transformados por log(x)+1 para que as variáveis ficassem na mesma escala (Zar, 2010). As variáveis ambientais e bióticas consideradas nessa análise foram: latitude; longitude; profundidade local; distância da costa; temperatura; salinidade absoluta; densidade neutra; nutrientes inorgânicos (nitrito, nitrato, fosfato, silicato, amônio); clorofila-a; produção primária

fotossintética (PPF); produção primária fotossintética normalizada pela biomassa (PPFNORM); produção primária quimiossintética (PPQ); produção primária máxima potencial (Pmax) e produção máxima potencial normalizada pela biomassa (Pbmax).

IX.3 Resultados

IX.3.1 Variação espacial da produtividade primária fotossintética

A Figura IX.3.1-1 ilustra a variação da produtividade primária fotossintética em superfície (A e C) e profundidade de máximo de clorofila (PMC – B e D) na Bacia de Santos, tanto para as coletas realizadas na campanha de inverno de 2019, quanto para a de verão de 2021/2022, respectivamente. Cabe ressaltar que, devido a diferenças na malha amostral das duas campanhas, não foi possível compará-las considerando a variação sazonal. Dessa forma, os resultados serão apresentados separadamente.

A estação costeira próxima à Baía de Guanabara (G01) registrou a maior produtividade fotossintética (62,98 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$) e, por ser um valor extremo (*outlier*), ela foi excluída das análises estatísticas da campanha de inverno. Na campanha de verão, a estação oceânica C07, localizada no litoral sul de São Paulo, também foi desconsiderada, uma vez que seus valores se encontravam muito mais elevados do que o esperado para a região, indicando possível erro amostral.

De modo geral, a média ± desvio padrão da produtividade fotossintética (PPF) na região amostrada foi de 3,00 ± 3,26 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$ na campanha de inverno, e de 0,57 ± 0,76 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$ na campanha de verão. Possivelmente, essa menor PPF encontrada na campanha de verão ocorreu devido a sua espacialidade não cobrir a bacia de forma homogênea, além dos pontos amostrados serem distintos e submetidos a condições diferentes.

Apenas na campanha de inverno foi evidenciado significativo gradiente horizontal, sentido costa - oceano (Kruskal-Wallis, $p < 0,001$ – Figura IX.3.1-2A). Conforme observado nas Figuras IX.3.1-1 e IX.3.1-2, a maior média de PPF foi registrada na região da plataforma (5,87 ± 3,87 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$), com a estação mais costeira próxima de Cabo Frio (H01) apresentando as maiores taxas de PPF,

tanto para a superfície, com 10,83 mgC.m^{-3}.h^{-1}, como para a PMC, 13,47 mgC.m^{-3}.h^{-1} (Figura IX.3.1-1). Na região de transição costa - oceano (considerando plataforma externa e talude superior), a PPF média foi de 1,25 ± 1,12 mgC.m^{-3}.h^{-1}, com a maior PPF registrada na estação E04 em superfície (3,6 mgC.m^{-3}.h^{-1}). Na região oceânica, a média foi de 0,99 ± 0,44 mgC.m^{-3}.h^{-1}, com a estação G05 (transecto na direção da Baía de Guanabara – RJ) apresentando a maior produtividade, igual a 1,73 mgC.m^{-3}.h-^{1} (Figuras IX.3.1-1 e IX.3.1-2A).

Apesar de a Figura IX.3.1-2D mostrar médias distintas em relação à distância da costa na campanha de verão, não foram constatadas diferenças significativas nas taxas fotossintéticas (Kruskal-Wallis, p-valor = 0,07). Neste período, a estação C01 apresentou as maiores taxas de PPF, tanto na camada superficial, com 2,20 mgC.m^{-3}.h^{-1}, quanto na PMC, com 0,9 mgC.m^{-3}.h^{-1}. Por sua vez a estação oceânica A05, no transecto mais ao sul da bacia, foi maior na camada superficial (1,01 mgC.m^{-3}.h^{-1}) do que na PMC (0,07 mgC.m^{-3}.h^{-1}). Na zona de transição do litoral norte de São Paulo, a E03 apresentou taxas fotossintéticas com valores próximos em relação às duas profundidades amostradas, sendo 0,19 mgC.m^{-3}.h^{-1} registrado para a superfície e 0,16 mgC.m^{-3}.h-^{1}, para a PMC. E, por fim, F07, estação oceânica no transecto Ilha Grande – Sepetiba (RJ), apresentou as menores taxas de PPF, sendo 0,05 para a superfície e <0,01 mgC.m^{-3}.h^{-1} para a PMC (Figura IX.3.1-1).

Não foram constatadas diferenças significativas em relação à variação da PPF, seja considerando a distribuição vertical (superfície e PMC – Mann-Whitney, p-valor > 0,05), quanto as regiões amostradas (Norte, Central e Sul - Kruskal-Wallis, p-valor > 0,05) nos dois períodos analisados, evidenciando possivelmente maior contribuição de condições específicas locais na variabilidade da PPF, do que em um cenário mais abrangente.

No inverno, a produtividade primária fotossintética normalizada pela biomassa (PPFNORM) na Bacia de Santos variou entre 0,64 e 14,45 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}, tendo menor taxa na estação E06 na PMC e maior, na estação B02 em superfície (Figura IX.3.1-3A e B). No verão, a produtividade normalizada variou entre 0,0005 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}, para a estação A05 na PMC, e 14,07 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}, para a C01 em superfície.

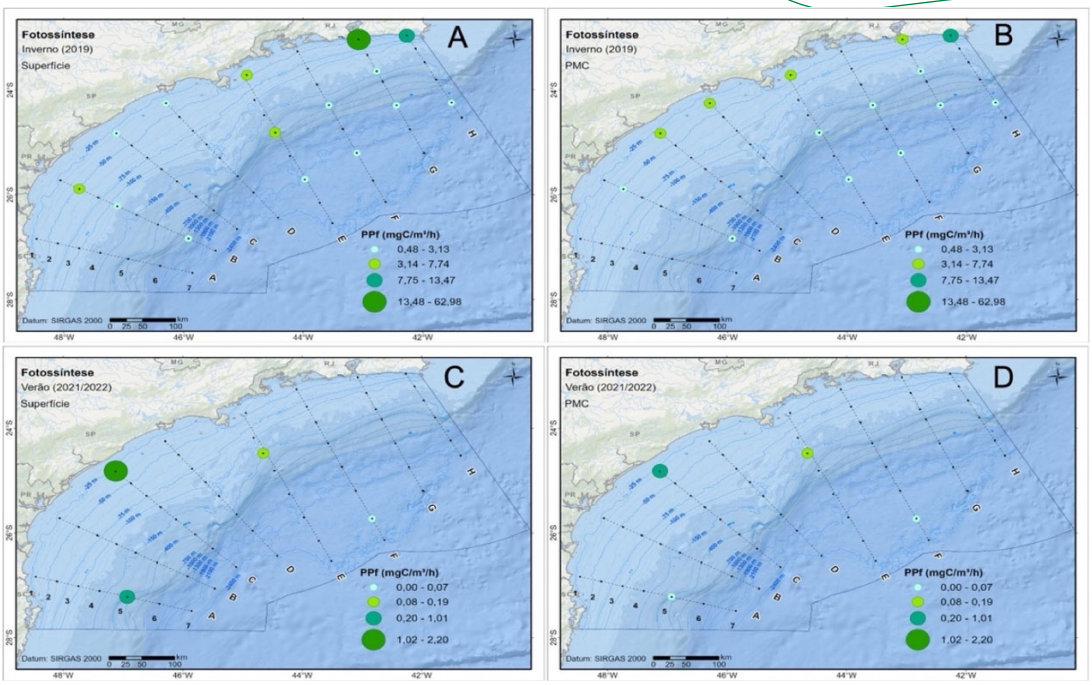


Figura IX.3.1-1: *Distribuição espacial da produtividade primária fotossintética (PPF - mgC.m^{-3}.h^{-1}) na Bacia de Santos (Oceano Atlântico Sudoeste), para as campanhas de inverno (A e B) e verão (C e D).*

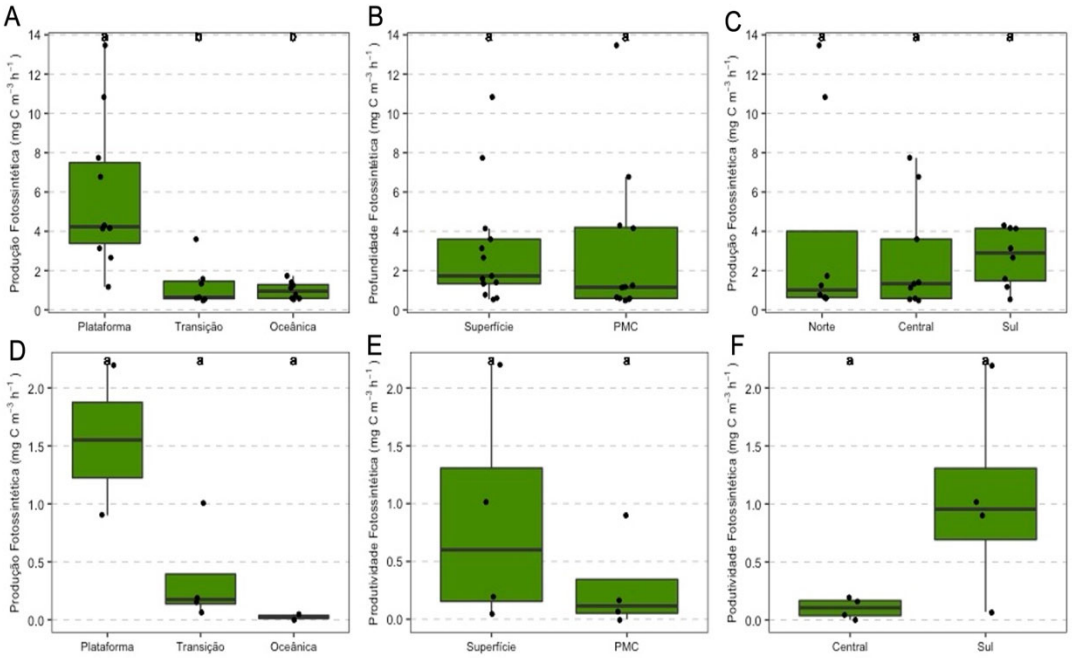


Figura IX.3.1-2: *Variação da produtividade primária fotossintética na Bacia de Santos, para as campanhas de inverno (A-C) e de verão (D-F), considerando distância da costa (A e D), profundidade amostrada (B e) e regiões (C e F). PMC = Profundidade de Máximo de Clorofila.*

PÚBLICA

Na comparação com a PPF no verão, constatou-se um padrão diferente na distribuição da PPFNORM. A produtividade normalizada das estações superficiais foi significantemente maior (Mann-Whitney, p-valor < 0,001) do que em PMC, principalmente entre as estações do transecto E, ao largo do litoral norte de São Paulo, e no transecto G, em frente à Baía de Guanabara (Figuras IX.3.1-3A e B e IX.3.1-4B). As médias para esse período foram de 9,67 ± 3,33 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$ em superfície, e de 3,46 ± 3,44 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$, na PMC. Também não foram encontradas diferenças significativas ao considerar a distribuição em relação à distância da costa e nas regiões da Bacia de Santos (Figura IX.3.1-4).

Para a campanha de verão, apesar de não se constatar diferenças significativas em relação à distribuição espacial da PPFNORM (Figura IX.3.1-4), a maior taxa foi encontrada na superfície da estação C01 - 14,07 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$, enquanto a menor, na PMC da F07 – < 0,01 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$ (Figura IX.3.1-3).

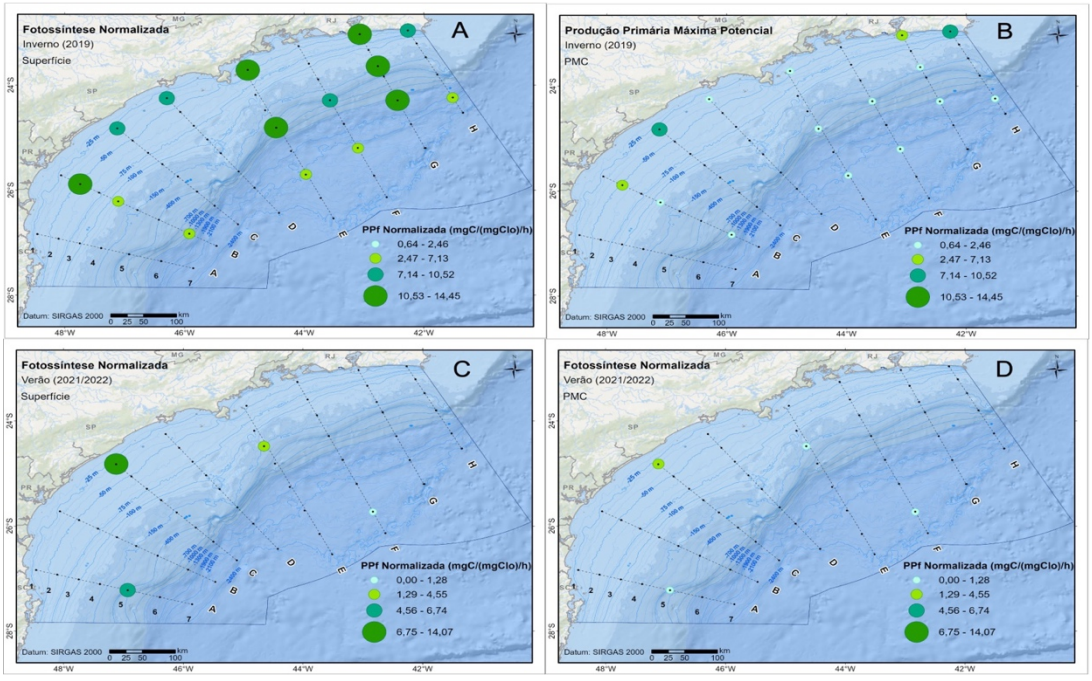


Figura IX.3.1-3: *Distribuição espacial da produtividade primária fotossintética normalizada pela biomassa (PPFNORM – $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$) na Bacia de Santos (Oceano Atlântico Sudoeste), nas campanhas de inverno (A e B) e verão (C e D).*

PÚBLICA

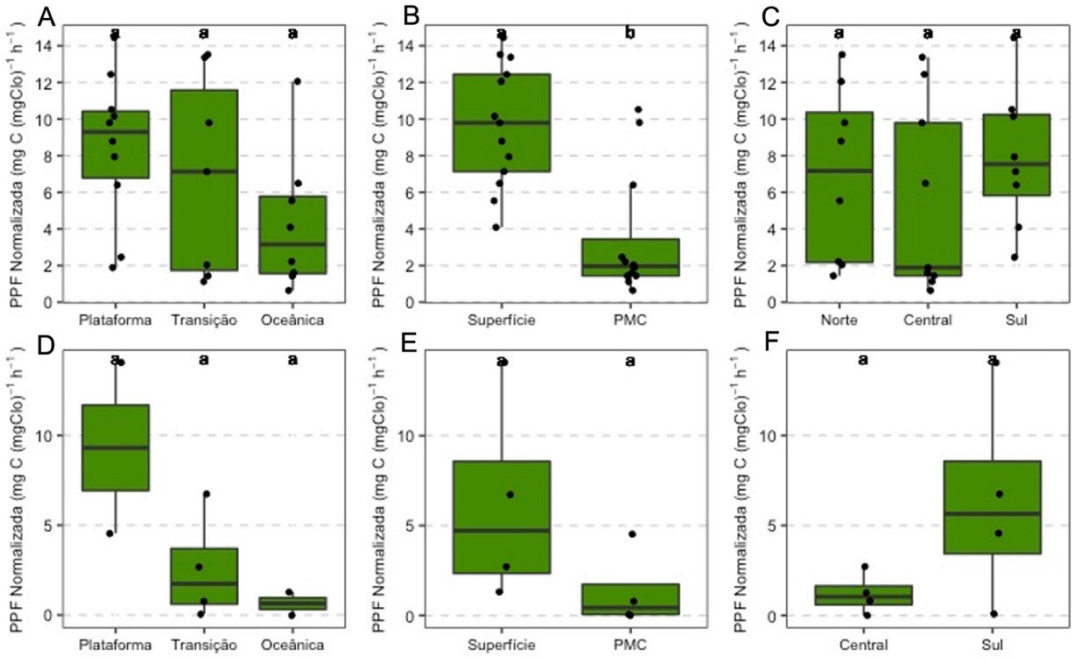


Figura IX.3.1-4: *Produtividade primária fotossintética normalizada pela biomassa (mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}) da Bacia de Santos, nas campanhas de inverno (A-C) e de verão (D-F), considerando a distância da costa (A e D), profundidade amostrada (B e) e regiões (C e F). PMC = Profundidade de Máximo de Clorofila.*

IX.3.2 Parâmetros Fotossintéticos

As Tabelas de IX.3.2-1 a IX.3.2-4 apresentam os parâmetros fotossintéticos calculados a partir das curvas de luz nas duas campanhas amostradas. Foram analisados os seguintes parâmetros: produção máxima potencial (Pmax – mgC.m^{-3}.h^{-1}); produção máxima normalizada pela biomassa, também conhecida por taxa de assimilação (Pbmax – mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}); eficiência fotossintética, ou inclinação inicial da curva de saturação (α - mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$) e a fotoinibição, ou inclinação negativa da curva de saturação (β - mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$).

Para a obtenção desses parâmetros, as curvas de luz seguiram dois modelos distintos: o de Jassby e Platt (1976), que desconsidera a fotoinibição; e o de Platt *et al.* (1980) que leva em conta a fotoinibição. Em relação aos modelos de curva de luz aplicados, a maioria das estações referentes à campanha de inverno mostraram melhor ajuste naqueles em que se considerou a fotoinibição (β). Na campanha de verão, os parâmetros baseados na produtividade

fotossintética sem normalização da biomassa ficaram igualmente bem ajustados em ambos os modelos. Enquanto isso, o melhor ajuste para as taxas normalizadas foi aquele em que se desconsiderou a fotoinibição, como demonstrado nas tabelas a seguir. É importante alertar que a escolha do modelo de ajuste adotou, como critério de exclusão, a presença de dados discrepantes ou valores negativos.

Na campanha de inverno, a produção máxima potencial sob intensidade saturante (Pmax) variou entre 1,12 e 68,39 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$ na superfície, e entre 0,94 e 30,46 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$ na PMC (Anexo IX-1). Assim como na PPF, foi constatado significativo gradiente horizontal (Kruskal-Wallis, p-valor < 0,001), com as maiores taxas observadas na região costeira, sobretudo nas estações G01 e H01. Não foram, contudo, constatadas diferenças significativas entre as profundidades e regiões amostradas, conforme Figuras IX.3.2-1A a C.

Nesse mesmo período e na camada superficial, a eficiência fotossintética (α) baseada na produtividade fotossintética não normalizada variou entre 0,01 e 0,31 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$, sendo os menores valores registrado para as estações do transecto G (G03 e G05), e o maior, para a estação H05. A estação F06 apresentou a menor taxa de fotoinibição (β) – 0,0003 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$, enquanto a estação E01 obteve a maior fotoinibição – 0,007 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$ (Anexo IX-1). Em relação à PMC, a estação E04 registrou, no mesmo período, a menor eficiência fotossintética (0,02 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$), enquanto a estação E01, o maior valor (16,9 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$). Considerando a fotoinibição, a taxa de 0,001 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$ foi encontrada nas estações B07 e D01, e a maior fotoinibição, 0,01 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$, na estação E06 (Anexo IX-1).

Na campanha de verão, foram encontradas diferenças significativas da Pmax em relação à distância da costa (ANOVA, p-valor = 0,007) e entre as regiões (teste-T, p-valor = 0,007), como mostra a Figura IX.3.2-1D. A estação C01 apresentou as maiores Pmax (2,28 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$ em superfície e 1,96 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$ na PMC). Na A05, a Pmax na PMC foi mais elevada (1.53 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$) do que em superfície (1,01 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$), enquanto na E03, a Pmax em superfície foi ligeiramente maior (0,63 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$) do que na PMC (0,45 $mgC.m^{-}$

^{3}.h^{-1}). Por fim, a F07 se mostrou maior em superfície (0,05 mgC.m^{-3}.h^{-1}) do que na PMC (0,04 mgC.m^{-3}.h^{-1}), como mostra o Anexo IX-2).

Nessa mesma campanha, na camada superficial a estação C01 registrou a menor eficiência fotossintética (0,007 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$) e a maior fotoinibição (0,005 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$), enquanto a E03 registrou a maior eficiência (0,01 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$) e a menor fotoinibição (0,001 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$). As estações A05 e F07 registraram a eficiência fotossintética igual a 0,01 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$. Na PMC, a estação A05 registrou as maiores taxas de eficiência e fotoinibição, 0,02 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$ e 0,007 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$, respectivamente, enquanto a E03 apresentou os menores valores, 0,01 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$ para a eficiência e 0,006 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$ para a fotoinibição. Já nas estações C01 e F07 a eficiência fotossintética foi de 0,01 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$.

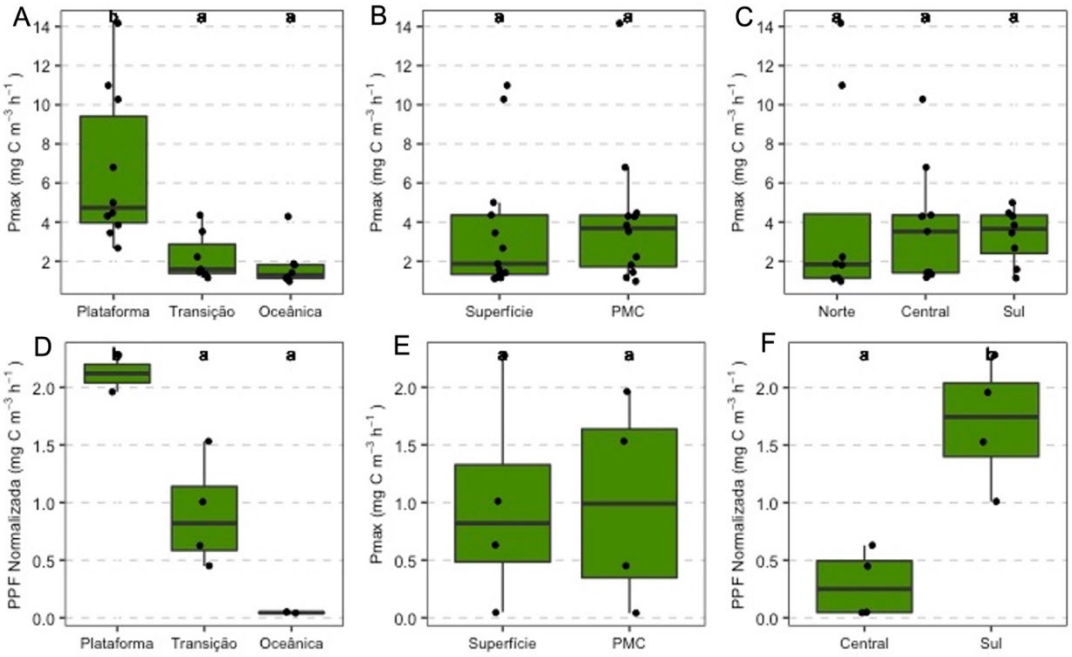


Figura IX.3.2-1: *Produtividade máxima potencial em luz saturante - Pmax (mgC.m^{-3}.h^{-1}) da Bacia de Santos, nas campanhas de inverno (A-C) e de verão (D-F), considerando a distância da costa (A e D), profundidade amostrada (B e) e regiões (C e F). PMC = Profundidade de Máximo de Clorofila.*

PÚBLICA

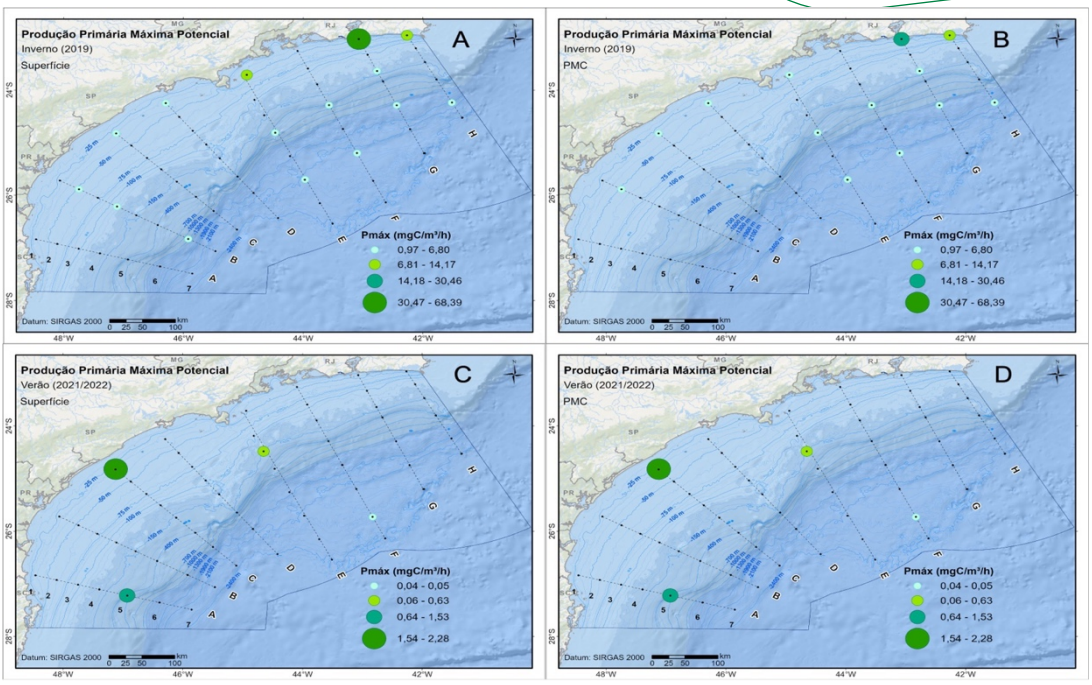


Figura IX.3.2-2: *Distribuição espacial da produtividade máxima potencial em luz saturante - Pmax ($mgC.m^{-3}.h^{-1}$) da Bacia de Santos, nas campanhas de inverno (A-B) e de verão (C-D), considerando superfície (A e C) e PMC (B e D). PMC = Profundidade de Máximo de Clorofila.*

A taxa de assimilação fotossintética, ou Pbmax, representa o valor da produtividade primária instantânea obtida em condição ótima de intensidade luminosa, estimada a partir da produtividade primária fotossintética normalizada pela biomassa (PPFNORM). As Tabelas IX.3.2-3 e IX.3.2-4 sumarizam os padrões fotossintéticos da Bacia de Santos nas campanhas de inverno e verão, respectivamente.

Na campanha de inverno, a menor Pbmax foi registrada na PMC da estação H05 (transecto em direção a Cabo Frio - RJ) - 2,3 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$, e a maior, encontrada na B02 (transecto ao largo da baía de Paranaguá - PR) – 22,21 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$ (Anexo IX-3). Foram encontradas diferenças significativas entre a Pbmax em plataforma e na região oceânica (ANOVA, p-valor= 0,053), como ilustra a Figura IX.3.2-2A. Apesar de não terem sido constatadas diferenças significativas entre essa taxa em relação à profundidade coletada e entre as regiões, percebeu-se, pelos mapas IX.3.2-4A e B que, na camada superficial, as maiores taxas de assimilação foram registradas entre os transectos da região central (E F) e norte (G e H).

PÚBLICA

Nessa mesma camada, a menor eficiência fotossintética, 0,06 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$, foi registrada na estação costeira H01, e a maior, 0,26 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$, na E01. A menor taxa de fotoinibição foi registrada na C01 (0,002 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$ e a maior, na E1 (0,01 mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}.(µE.m^{-2}.s^{-1})$^{-1}$) (Anexo IX-3). Na PMC, a estação C01 contou com a maior eficiência fotossintética, enquanto a estação E06 foi a menor. Considerando a fotoinibição, C01, D01 e F06 tiveram menores taxas e a B02, a maior (Anexo IX-3).

Na campanha de verão, a Pbmax também foi significativa em relação à distância da costa (ANOVA, p-valor= 0,01). Em superfície, a estação costeira C01 apresentou a maior taxa de assimilação e menor eficiência fotossintética e F07 a menor taxa de assimilação e maior eficiência. Na PMC, C01 apresentou as maiores taxas de assimilação e eficiência fotossintética, enquanto F07 obteve a menor taxa de assimilação. A05 teve a menor eficiência. E3 foi a única estação que considerou fotoinibição e, junto com a C01, apresentou a maior eficiência (Anexo IX-4 e Figuras IX 3.2-2D a F).

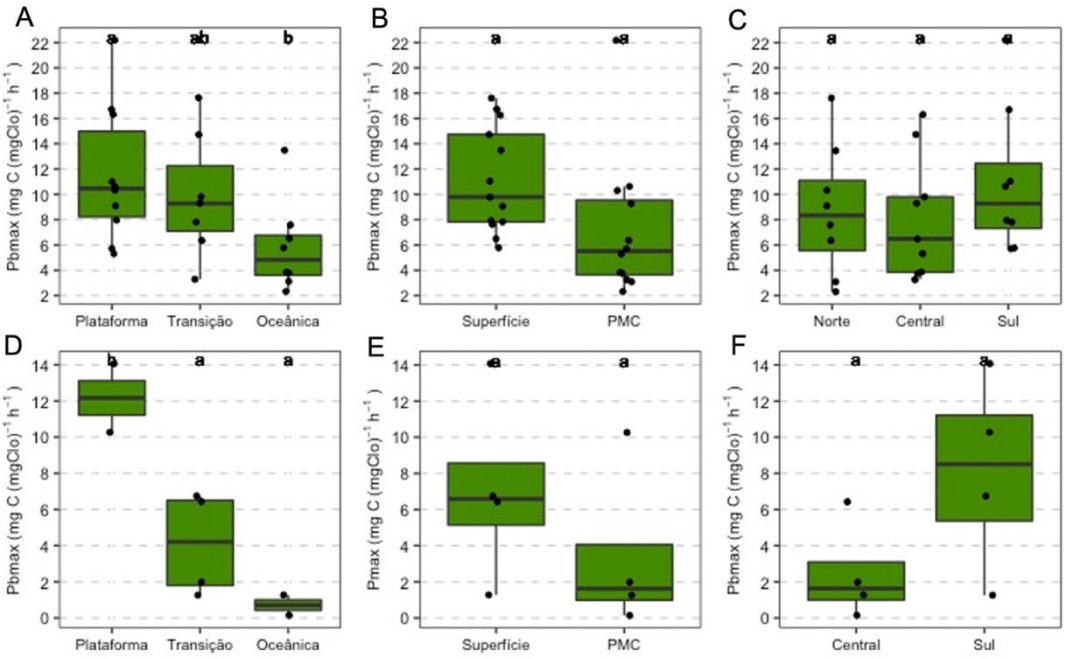


Figura IX.3.2-3: *Produtividade primária máxima potencial normalizada pela biomassa - Pbmax (mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}) da Bacia de Santos, nas campanhas de inverno (A-C) e de verão (D-F), considerando a distância da costa (A e D), a profundidade amostrada (B e) e regiões (C e F). PMC = Profundidade de Máximo de Clorofila.*

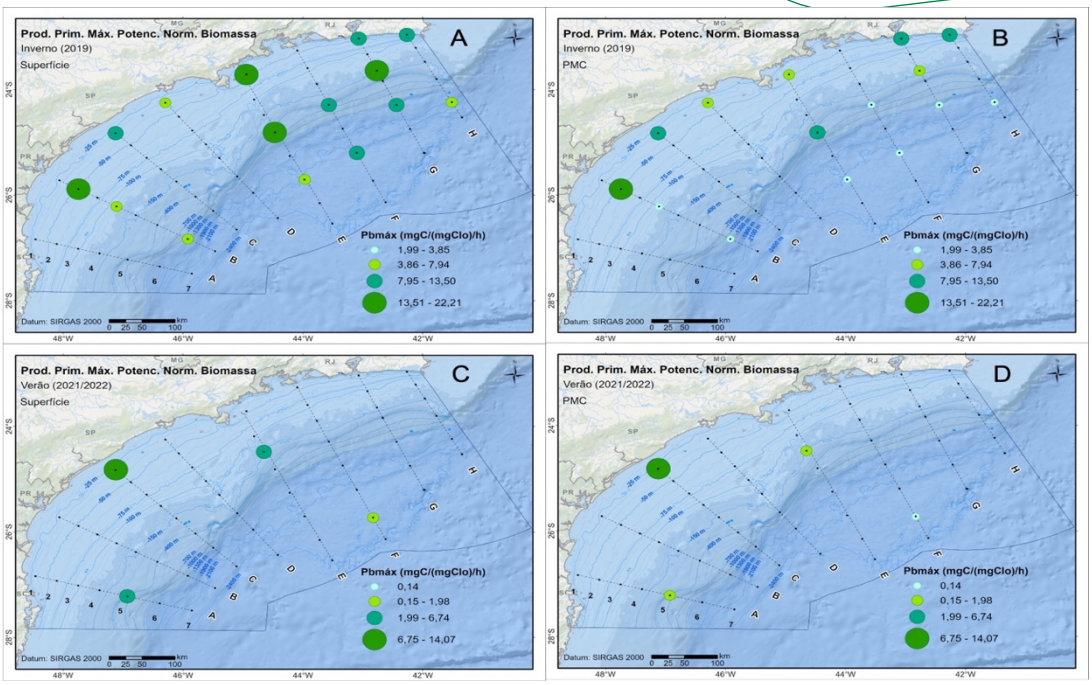


Figura IX.3.2-4: *Distribuição espacial da produtividade primária máxima potencial normalizada pela biomassa – Pbmax (mgC.m^{-3}.h^{-1}) da Bacia de Santos, nas campanhas de inverno (A-B) e de verão (C-D), considerando superfície (A e C) e PMC (B e D). PMC = Profundidade de Máximo de Clorofila.*

IX.3.3 Variação espacial da produtividade primária quimiossintética

O Anexo IX-5 apresenta os dados de produtividade primária quimiossintética (PPQ) das campanhas de inverno e verão.

Em relação a de inverno, a PPQ variou de 0,02 a 4,47 mgC.m^{-3}.h^{-1}, sendo os maiores valores registrados nas estações do transecto E (litoral norte de São Paulo, próximo a Ilha de São Sebastião). Além dessas estações, também foram observadas taxas mais elevadas no transecto H (H01 e H05), cuja região é influenciada pela ressurgência de Cabo Frio (RJ), com a PPQ estimada entre 1,01 mgC.m^{-3}.h^{-1} (H01 em superfície) e 1,86 mgC.m^{-3}.h^{-1} (H05 na PMC), como mostram o Anexo IX-5 e a Figura IX.3.3-1. Foram encontradas diferenças significativas apenas entre as regiões analisadas (Kruskal-Wallis, p-valor ~ 0), com a região central apresentando a maior média (1,78 ± 1,38 mgC.m^{-3}.h^{-1}), comparada às regiões norte (0,56 ± 0,58 mgC.m^{-3}.h^{-1}) e sul (0,03 ± 0,02 mgC.m^{-3}.h^{-1}), como mostra a Figura IX.3.3-2C.

PÚBLICA

Na campanha de verão, a quimiossíntese foi realizada em três das cinco estações amostradas (C01, C07 e E3) e apenas a estação C07 (oceânica) contou com a análise de outras profundidades (250 m, 900 m e 1200 m) além de superfície e PMC (Anexo IX-5). A maior taxa de PPQ, 0,07 mgC.m^{-3}.h^{-1}, foi encontrada na estação C01 superfície (costeira ao largo do litoral sul de São Paulo), enquanto as menores corresponderam às estações E03 em superfície (zona de transição no litoral norte de São Paulo) e C07, em 900 m e em 1200 m, todas com valor inferior à 0,01 mgC.m^{-3}.h^{-1} (Figuras IX.3.3-1C e D e IX.3.3.2). Não foram constatadas diferenças significativas em nenhum dos critérios espaciais analisados durante essa campanha (Kuskal-Wallis, p-valor 0,59 para distância da costa; Mann-Whitney, p-valor = 0,55 para as regiões e zonas epipelágicas) (Figura IX.3.3-2 D a F).

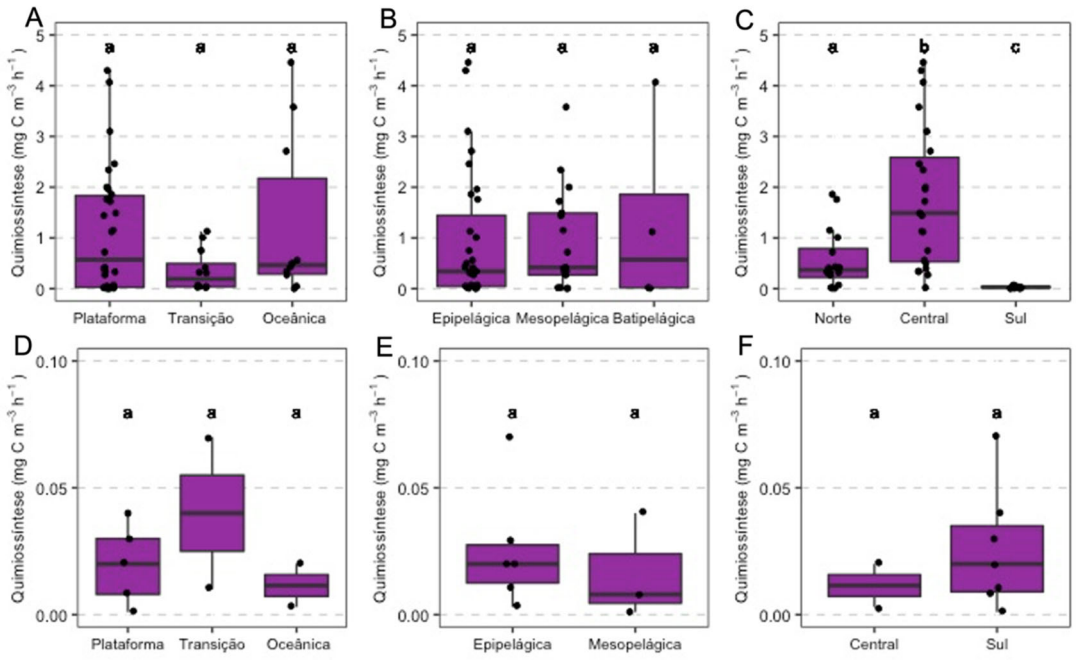


Figura IX.3.3-2: *Produtividade primária quimiossintética - PPQ (mgC.m^{-3}.h^{-1}) da Bacia de Santos, nas campanhas de inverno (A-C) e de verão (D-F), considerando a distância da costa (A e D), zonas pelágicas (B e E) e regiões (C e F).*

PÚBLICA

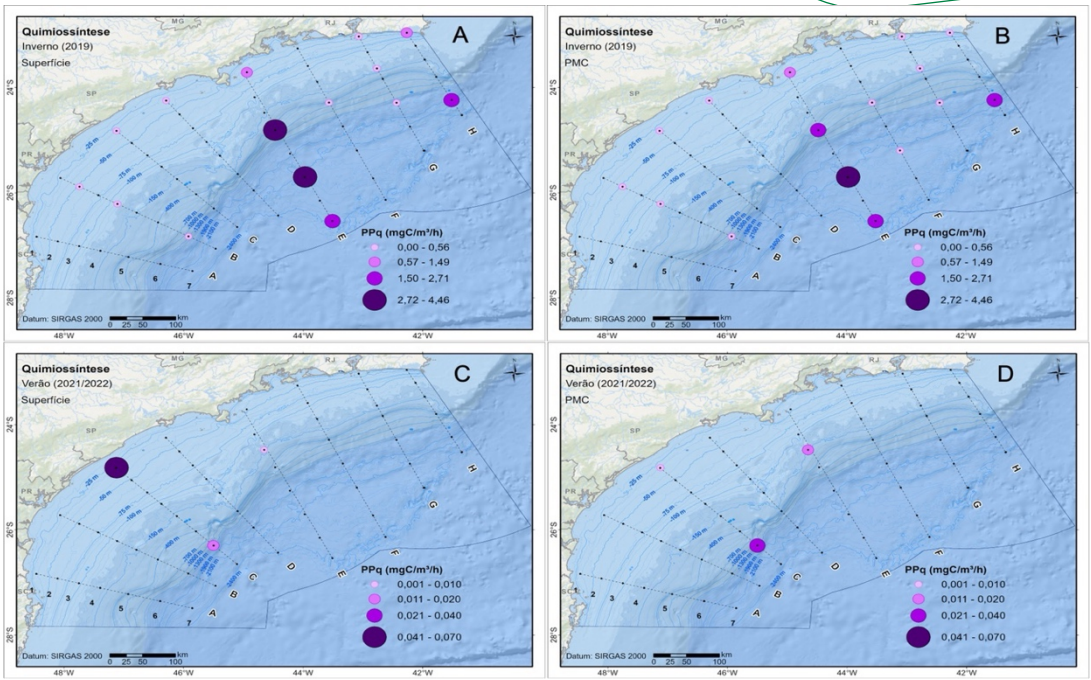


Figura IX.3.3-1: *Distribuição espacial da produtividade primária quimiossintética - PPQ (mgC.m^{-3}.h^{-1}) da Bacia de Santos, nas campanhas de inverno (A-B) e de verão (C-D), considerando a superfície (A e C) e PMC (B e D). PMC = Profundidade de Máximo de Clorofila.*

IX.3.4 Valores integrados e comparação entre PPF e PPQ

A produtividade primária fotossintética integrada na camada eufótica na campanha de inverno variou entre 0,45 e 2,63 gC.m^{-2}.d^{-1}, com média de 1,15 ± 0,63 gC.m^{-2}.d^{-1} (Figura IX.3.4-2A). Não foram observadas diferenças significativas quanto à variação horizontal (distância da costa – Kruskal-Wallis, p-valor = 0,30), com a plataforma apresentando média de 1,36 ± 0,93 gC.m^{-2}.d^{-1}, seguida da região oceânica, com 1,14 ± 0,1 gC.m^{-2}.d^{-1}, e da transição entre costa e região oceânica, com 0,74 ± 0,24 gC.m^{-2}.d^{-1}. Apesar de não terem sido registradas diferenças significativas em relação às regiões (ANOVA, p-valor = 0,22), notou-se que as maiores taxas integradas estavam ao norte da bacia, nas estações costeiras E01 (litoral norte de São Paulo, com 2,21 gC.m^{-2}.d^{-1}), G01 (Baía de Guanabara – RJ, com 2,63 gC.m^{-2}.d^{-1}), H01 (Cabo Frio – RJ, com 1,66 gC.m^{-2}.d^{-1}) e G05, sendo esta ultima, oceânica, localizada no transecto ao largo da Baía de Guanabara, com 1,33 gC.m^{-2}.d^{-1} (Figura IX.3.4-1 A e B).

A produção fotossintética integrada, na campanha de verão, variou entre 0,03 e 0,45 gC.m^{-2}.d^{-1}, com a média de 0,26 ± 0,20 gC.m^{-2}.d^{-1} . A maior taxa

PÚBLICA

integrada foi registrada na estação oceânica A05, transecto mais ao sul da Bacia, próximo à Ilha de Florianópolis (SC), com valor de 0,45 $gC.m^{-2}.d^{-1}$; enquanto a menor, foi registrada na, também oceânica, F07, com 0,03 $gC.m^{-2}.d^{-1}$, localizada ao largo do Rio de Janeiro. (Figura IX.3.4-2B). Assim como na campanha de inverno, não foram constatadas diferenças significativas entre a distância da costa (ANOVA, p-valor = 0,6) e entre as regiões central e sul (Teste-T, p-valor = 0,08) (Figura IX.3.4-1 C e D).

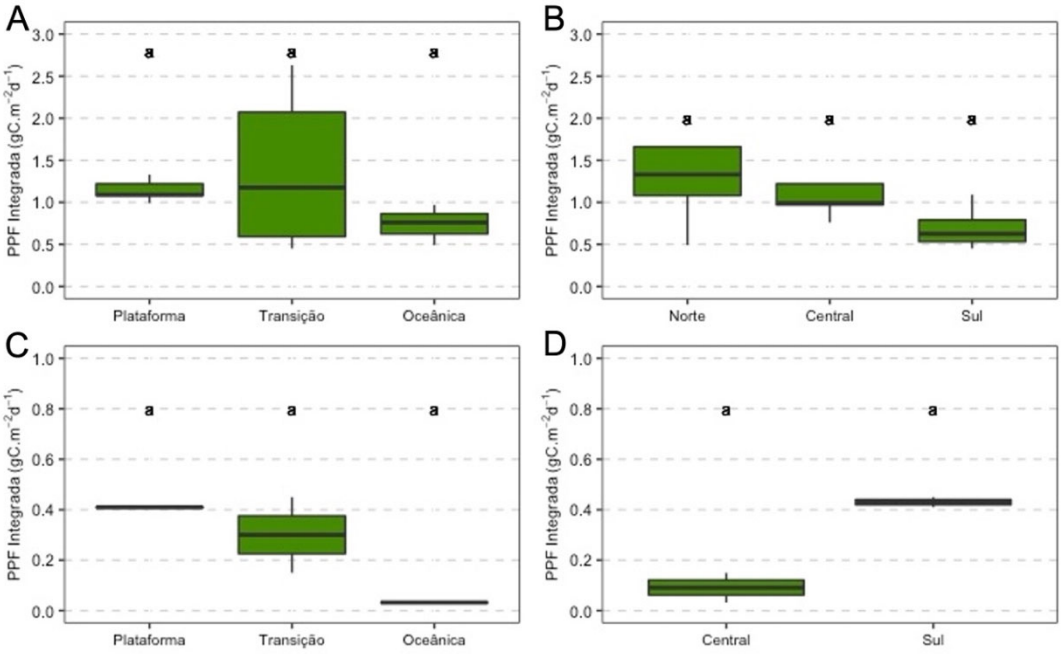


Figura IX.3.4-1: *Produtividade primária fotossintética integrada à coluna de água da Bacia de Santos, nas campanhas de inverno (A e B) e de verão (C e D).*

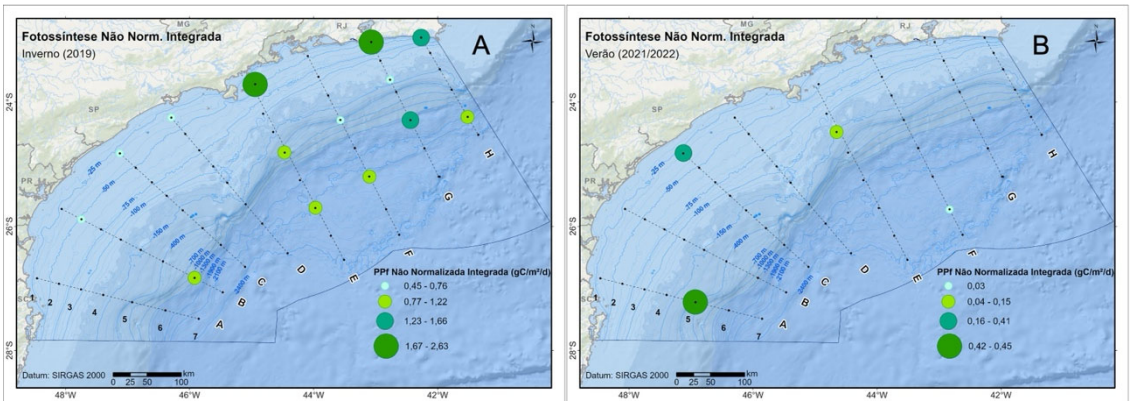


Figura IX.3.4-2: *Distribuição espacial da produtividade primária fotossintética não normalizada integrada à coluna de água nas campanhas de inverno (A) e verão (B) da Bacia de Santos.*

PÚBLICA

A taxa de produção quimiossintética integrada na campanha inverno variou entre 0,01 gC.m^{-2}.d^{-1} (nas estações B02 e C01) e 7,46 gC.m^{-2}.d^{-1} (E06) (Figura IX.3.4-4A), com a média de 1,33 ± 2,37 gC.m^{-2}.d^{-1}. Não foram constatadas diferenças significativas em relação à distância da costa (Kruskal-Wallis, p-valor = 0,12), com a média de 0,13 ± 0,21 gC.m^{-2}.d^{-1} na plataforma; de 1,17 ± 1,49 gC.m^{-2}.d^{-1} na zona de transição e 3,28 ± gC.m^{-2}.d^{-1} na região oceânica (Figura IX.3.4-3A). Contudo, ao se considerar as diferentes regiões da bacia, foram observadas diferenças significativas (Kruskal-Wallis, p-valor = 0,01), sendo a região central a que apresentou a maior média de PPQ integrada (3,04 ± 3,20 gC.m^{-2}.d^{-1}). A média da PPQ integrada para a região norte da bacia foi de 1,26 ± 2,37 gC.m^{-2}.d^{-1}. Por sua vez, a região sul contou com a menor média (0,03 ± 0,04 gC.m^{-2}.d^{-1}) (Figura IX.3.4-3B).

Na campanha de verão, as estações C01 (costeira) e E03 (zona de transição) tiveram a PPQ integrada de 0,02 gC.m^{-2}.d^{-1}, enquanto a estação oceânica C07 obteve a menor taxa de PPQ integrada, igual a 0,01 gC.m^{-2}.d^{-1} (Figura IX.3.4-4B).

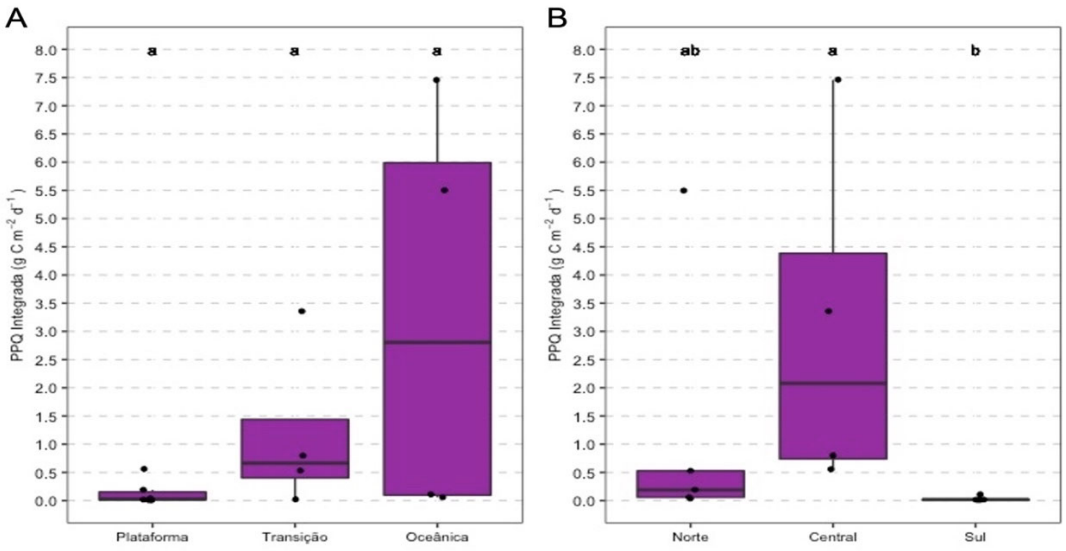


Figura IX.3.4-3: *Produtividade primária quimiossintética integrada na coluna de água da Bacia de Santos, na campanha de inverno, em relação à distância da costa (A) e regiões (B).*

PÚBLICA

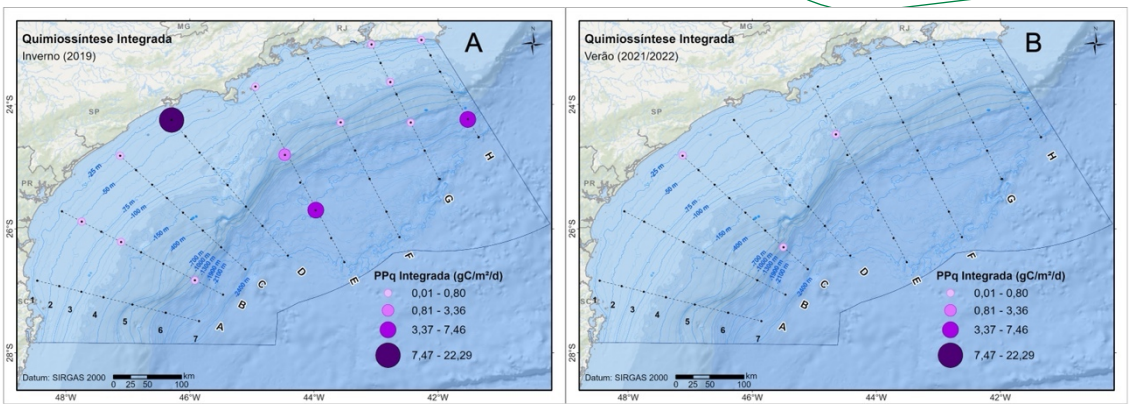


Figura IX.3.4-4: *Distribuição espacial da produtividade primária quimiossintética integrada à coluna de água nas campanhas de inverno (A) e verão (B) da Bacia de Santos.*

Para avaliar a contribuição relativa (%) entre as produtividades na Bacia de Santos, foram considerados os dados fotossintéticos não normalizados pela biomassa, possibilitando a comparação direta com a quimiossíntese. A Figura IX.3.4-5 ilustra a contribuição relativa entre as produtividades primárias fotossintética e quimiossintética integradas na coluna d'água entre superfície e PMC ($gC.m^{-2}.d^{-1}$) da região nos dois períodos amostrados.

Na campanha de inverno, a contribuição da PPF para a produtividade total variou de 11,70 a 98,10%. Foram observadas diferenças significativas entre a contribuição da PPF e as diferentes regiões da bacia (ANOVA, p-valor = 0,02), constatadas entre as regiões da plataforma e da zona de transição (Tukey, Plataforma - Transição: p-valor = 0,03). Nas regiões costeiras (B02, C01, D01, E01, G01 e H01), a média da contribuição da PPF foi de 93,14%, enquanto nas estações de transição (E04, F04 e G03), a média foi de 38,92%. Por fim, nas estações oceânicas (B07, E06, F06, G05 e H05), a média foi de 53,44% (Figura IX.3.4-5A).

Na campanha de verão, apenas duas estações puderam ser analisadas, uma vez que as demais não tiveram dados conjuntos de fotossíntese e quimiossíntese. Em ambas, a produtividade primária fotossintética teve maior contribuição relativa quando comparada à quimiossintética. Para a estação C01, a PPF integrada contribuiu com 95,3% da produtividade total, enquanto a E03 apresentou 88,2% de contribuição (Figura IX.3.4-5B).

PÚBLICA

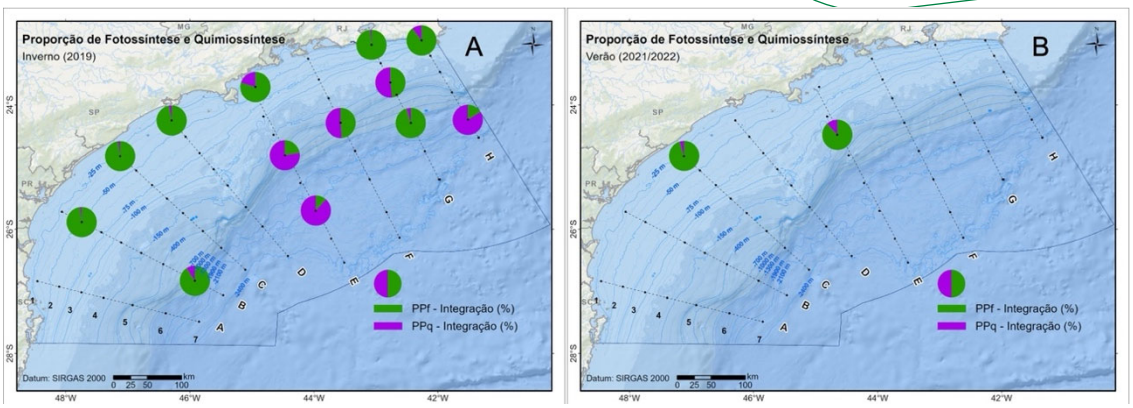


Figura IX.3.4-5: *Contribuição relativa (%) das produtividades primárias fotossintética e quimiossintética integradas na Bacia de Santos, durante as campanhas de inverno (A) e verão (B).*

IX.3.5 Relação entre a produtividade primária e os fatores ambientais

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi utilizada a fim de verificar a influência dos parâmetros ambientais nas taxas foto- e quimiossintéticas da Bacia de Santos, nos dois períodos avaliados. Foram consideradas as seguintes variáveis ambientais: latitude, longitude, profundidade local, distância da costa, temperatura, salinidade absoluta, densidade neutra, oxigênio dissolvido, nutrientes (nitrito, nitrato, silicato, fosfato e amônio), clorofila-a, produtividade primária fotossintética (PPF), produtividade normalizada pela biomassa (PPFNORM), taxas de produção máxima potencial (Pmax) e normalizada pela biomassa (Pbmax) e produtividade primária quimiossintética (PPQ).

Em relação aos dados da campanha de inverno, as variáveis ambientais conseguiram explicar 60,28% da distribuição das amostras na Bacia de Santos. O primeiro eixo (PC1), com 40,45% de explicação, correlacionou-se positivamente com nutrientes (silicato, fosfato, amônio), longitude, oxigênio dissolvido, PPF, PPFNORM, Pmax e Pbmax; e negativamente com PPQ, temperatura, profundidade local, distância da costa, salinidade absoluta e densidade neutra. O segundo eixo (PC2 – 19,83%) correlacionou-se positivamente com clorofila-a, nutrientes (nitrito e nitrato), PPF e PMAX e negativamente com latitude, longitude e oxigênio dissolvido (Anexo IX-6).

Na ordenação (Figura IX.3.5-1), notou-se clara separação entre as amostras, com as estações costeiras (círculos avermelhados) associadas à Água Costeira (AC), e com as estações oceânicas (quadrados azuis) à Água

PÚBLICA

Tropical (AT), no lado oposto. As estações B02, C01 e D01, tanto na superfície quanto na PMC, e a estação E01 na superfície, apresentaram relação positiva com os parâmetros fotossintéticos, nutrientes (silicato e fosfato), oxigênio dissolvido, e negativa com a salinidade, densidade, temperatura e PPQ. Em relação às estações oceânicas, observou-se correlação negativa com os dados de nutrientes, clorofila-a, e oxigênio dissolvido, indicando padrão de oligotrofia característico dessa região, com forte influência da AT (Figura IX.3.3-1).

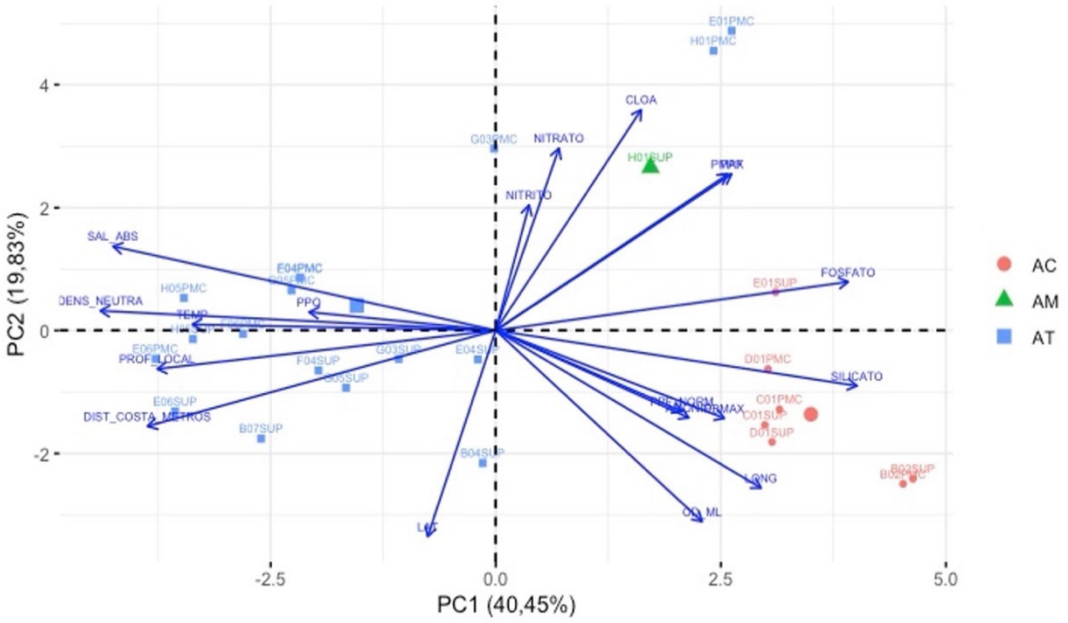


Figura IX.3.5-1: *Análise de Componentes Principais (PCA) referente à campanha de inverno (2019) na Bacia de Santos. As cores indicam as massas de água presentes na região: Água Tropical (AT); Água Costeira (AC) e Água de Mistura (AM). Variáveis: Temperatura (TEMP - °C); Latitude (LAT - ° decimais); Longitude (LONG - ° decimais); Produtividade Primária Fotossintética (PPF – mgC.m^{-3}.h^{-1}); Produtividade fotossintética normalizada pela clorofila (PPF_NORM – mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}); Produção primária máxima potencial (PMAX – mgC.m^{-3}.h^{-1}); Produção primária máxima normalizada pela clorofila (PBMAX – mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}); Clorofila-a (CLOA - µg.L^{-1}); Densidade neutra (DENS_NEUTRA – kg.m^{-3}); Distância da costa (DIST_COSTA_METROS – m); Profundidade local (PROF_LOCAL – m) e Salinidade absoluta (SAL_ABS).*

Na campanha de verão, as variáveis ambientais e bióticas selecionadas explicaram 67,09% da distribuição espacial das amostras, estando o primeiro

PÚBLICA

eixo (40,7%) correlacionado significativa e positivamente com PPF, PPFNORM, Pmax, Pbmax e longitude; e negativamente correlacionado com distância da costa, salinidade absoluta e profundidade local, representando um gradiente horizontal em direção a região oceânica. Por sua vez, o segundo eixo (26,34%) mostrou-se positivamente correlacionado com nitrato e clorofila-a e negativamente, com a temperatura (Anexo IX-7).

Levando em consideração a distribuição das estações no diagrama de ordenação (Figura IX.3.5-2), observou-se um padrão semelhante ao encontrado na campanha de inverno, em que há separação entre as estações costeira (C01) e oceânica (F07) e as intermediárias (A05, E03), mais localizadas no meio do gráfico, representando a zona de transição entre as duas regiões listadas acima. A estação C01 em superfície se apresentou mais próxima das variáveis relacionadas à PPF, em oposição à distância da costa, profundidade local e salinidade, corroborando com as características de regiões mais costeiras. Tal fato pode ser confirmado pelos maiores valores de PPF (2,20 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$), PPFNORM e Pbmax (ambos com 14,07 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$). Já na PMC, a distribuição foi marcada pelos nutrientes fosfato e silicato, característica da região frontal entre AT e Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (Figura IX.3.5-2)

Em relação à zona de transição, entre a plataforma continental e a região oceânica da bacia, as camadas superficiais das estações A05 e E03 apresentaram comportamento semelhante ao descrito anteriormente na PMC da estação C01, porém com maior influência da AT. Já a PMC na estação A05 mostrou-se mais relacionada ao nitrito (0,44 µM) e à clorofila-a (0,69 $\mu g.L^{-1}$), apontando a influência da ACAS nessa estação (Figura IX.3.5-2). Por fim, a estação F07, tanto em superfície quanto na PMC, apresentou relação com a distância da costa, profundidade local e salinidade absoluta e oposta à concentração de nutrientes (nitrato, fosfato e silicato), características que indicam oligotrofia da região oceânica (Figura IX.3.5-2).

PÚBLICA

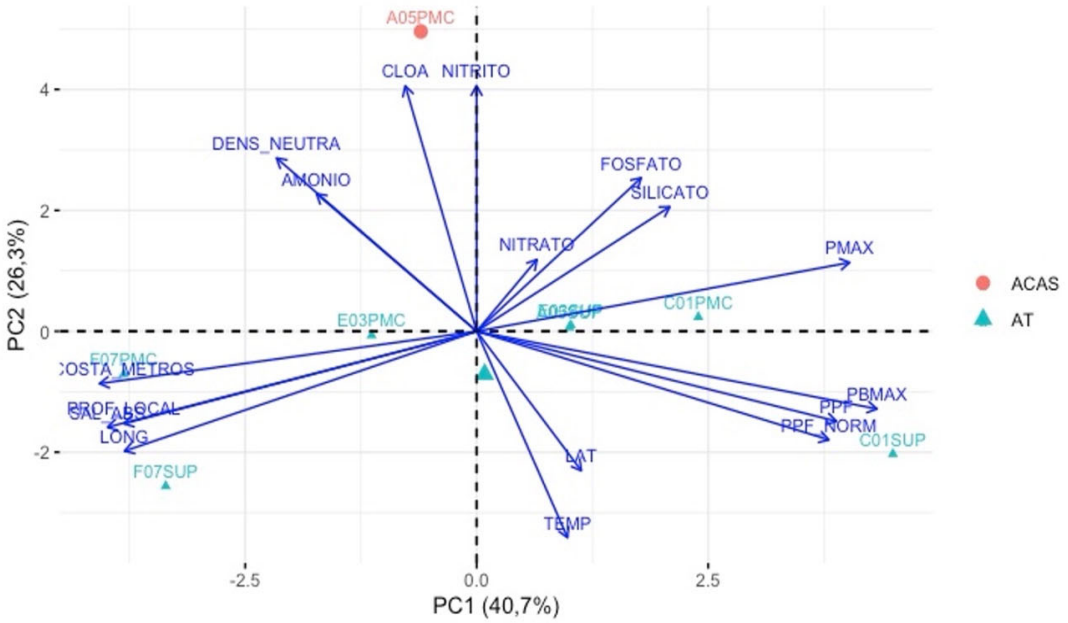


Figura IX.3.5-2: *Análise de Componentes Principais (PCA) referente à campanha de verão (2021/2022) na Bacia de Santos. As cores indicam as massas de água presentes na região: Água Tropical (AT) e Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Variáveis: Temperatura (TEMP - ºC); Latitude (LAT - ° decimais); Longitude (LONG - ° decimais); Produtividade Primária Fotossintética (PPF – mgC.m^{-3}.h^{-1}); Produtividade fotossintética normalizada pela clorofila (PPF_NORM – mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}); Produção primária máxima potencial (PMAX – mgC.m^{-3}.h^{-1}); Produção primária máxima normalizada pela clorofila (PBMAX – mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}); Clorofila-a (CLOA - µg.L^{-1}); Densidade neutra (DENS_NEUTRA – kg.m^{-3}); Distância da costa (DIST_COSTA_METROS – m); Profundidade local (PROF_LOCAL – m) e Salinidade absoluta (SAL_ABS).*

IX.4 Discussão

A produtividade primária na Bacia de Santos foi obtida através da aplicação da técnica de assimilação de radioisótopo de carbono (^{14}C), proposta por Steemann-Nielsen (1952). Esse método, considerado um dos mais importantes avanços científicos em análise de produção primária, continua ainda hoje a ser muito aplicado, devido à precisão das medidas de assimilação de carbono orgânico, rapidez e sensibilidade da execução dos experimentos. Além disso,

PÚBLICA

permite o estabelecimento de padrões de comparação entre as diferentes regiões do planeta (Prakash *et al.,* 1991; Saldanha-Corrêa e Gianesella, 2008; Baltar e Herndl, 2019).

Contudo, apesar das vantagens listadas ao se aplicar essa técnica, deve-se ter em mente algumas restrições importantes que impactam, direta e indiretamente, a estratégia amostral utilizada. Dependendo do tipo de análise e grau de eutrofização do ambiente, as amostras devem passar por longos períodos de incubação (chegando a doze horas para quimiossíntese), além de exigir condições adequadas de iluminação para fotossíntese, o que diminui consideravelmente a aplicação em malhas amostrais amplas como a aqui utilizada, havendo, muitas vezes, a necessidade de selecionar as estações que melhor caracterizem o ambiente estudado.

Ao analisar a distribuição espacial da produtividade primária fotossintética da Bacia de Santos, na campanha de inverno, foi observado considerável gradiente horizontal (sentido costa - oceano), com as estações costeiras apresentando as maiores taxas se comparadas às de zonas de transição (região da plataforma externa e talude superior), e oceânicas. Embora esse gradiente não tenha sido considerado significativo na campanha de verão, observou-se a mesma tendência. Estudos anteriores realizados nessa bacia (Aidar-Aragão *et al.,* 1980; Brandini, 1990) e em outras bacias sedimentares da costa brasileira (Gonzalez-Rodrioguez *et al.*, 2017; Feitosa *et al.,* 2019) também encontraram padrão semelhante, com as maiores taxas fotossintéticas em regiões costeiras. No litoral entre São Paulo e Santa Catarina, Brandini (1990) encontrou valores de produção fotossintética normalizada pela biomassa entre 0,21 e 9,34 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$ na campanha de inverno e 0,35 e 11,65 $mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$ na campanha de verão, considerados ligeiramente menores em relação ao presente estudo. Uma justificativa possível está no fato de que em seu estudo, Brandini não contemplou áreas como Cabo Frio e Baía de Guanabara (RJ), que costumam apresentar taxas fotossintéticas mais elevadas (Guenther *et al.,* 2012; Gonzalez-Rodriguez *et al.,* 2017).

Na Bacia de Sergipe-Alagoas, Feitosa *et al*. (2019) encontraram valores de produção máxima potencial entre 0,08 e 2,68 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$, também apontando gradiente decrescente de produtividade em direção oceânica, com o maior valor

registrado para a região entre os rios Sergipe e Vasa-Barris, entre os estados de Sergipe e Alagoas. Na Bacia de Campos, Gonzalez-Rodriguez *et al.* (2017) registraram valores entre 0,33 e 14,98 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$, com os maiores valores na estação entre Cabo Frio e São Tomé (RJ). Assim, ao se comparar as três bacias, pode-se constatar que a de Santos apresentou as maiores taxas de Pmax (Anexo IX-8). Estes autores afirmaram que o gradiente horizontal é considerado uma das forçantes mais relevantes para a distribuição da produtividade primária da bacia. O presente trabalho corrobora tal afirmação ao constatar diferenças significativas nas taxas fotossintéticas na distância da costa, mas não entre as regiões norte, central e sul da Bacia de Santos. Em sua revisão, Lutz *et al.* (2018) apontaram que o gradiente horizontal encontrado pode estar associado a diferentes processos, tais como drenagem continental de rios, estuários e baías eutrofizadas que fertilizam essa região e favorecem a produção primária se submetidos a condições adequadas de luz.

Mesmo não havendo diferenças significativas entre as taxas fotossintéticas em relação às regiões amostradas, foram constatados, neste trabalho, três cenários distintos: o da região norte, com contribuição de aportes continentais oriundos da Baía de Guanabara (RJ) e eventos de ressurgência costeira em Cabo Frio (RJ); o da porção central, com predomínio da entrada da ACAS na zona eufótica e, por fim, o da porção sul da bacia que sofre influência da pluma do Rio da Prata. A influência desses três cenários nas produtividades foto- e quimiossintéticas da bacia será abordada mais detalhadamente a seguir.

Apesar de a estação G01 (Baía de Guanabara) ser desconsiderada nas análises estatísticas deste trabalho, o valor elevado da PPF encontrado, não surpreende. Guenther *et al.* (2008) encontrou valores entre 8,78 e 20,3 $\mu molC.L^{-1}.h^{-1}$ (equivalentes a 105,4 e 243 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$) em superfície, e 0,20 e 0,38 $\mu molC.L^{-1}.h^{-1}$ (2,4 e 4,6 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$) a 20 metros de profundidade em diferentes condições de maré. O intenso crescimento urbano desordenado e desenvolvimento agroindustrial no entorno da baía, a partir da década de 1950, contribuíram significativamente para o despejo ilegal de efluentes domésticos e industriais, o que acarretou aumento na taxa de nutrientes, fertilização das águas continentais adjacentes e favorecimento da produção auto- e heterotrófica (Villac e Tenembaum, 2010; Meniconi *et al.,* 2012; Signori *et al.,* 2018).

Além da Baía de Guanabara, outro aporte significativo de nutrientes na região é a ressurgência de Cabo Frio (RJ). Apesar de ser mais frequente e intenso nos meses de primavera e verão, tal fenômeno também pode ser observado durante o período de inverno (Castro *et al.*, 2006). A constatação desse fato são as taxas relativamente elevadas de clorofila-a (1,08 $\mu g.L^{-1}$ para superfície e 1,43 $\mu g.L^{-1}$ para a PMC) e produtividade primária encontradas na estação H01, tanto em superfície, quanto em PMC. Gonzalez-Rodriguez *et al.* (1992) identificaram diferentes fases da ressurgência de Cabo Frio (RJ) e as associaram aos valores de clorofila e produtividade primária. Estes autores constataram que, na fase mais produtiva da ressurgência (4º dia do evento), a produtividade primária estava em 14,3 $mgC.m^{-3}.h^{-1}$ em superfície. No presente trabalho, a PPF em superfície se apresentou menor do que os indicados por esses autores. Ao se associar a valores mais baixos de clorofila-a e nitrato, podem indicar uma fase de enfraquecimento do efeito de ressurgência.

Apesar de Brandini *et al.* (nesse volume) terem apontado a influência da intrusão da ACAS na porção mais central da Bacia de Santos, acredita-se que esse incremento nutricional não tenha contribuído com as taxas fotossintéticas da região, uma vez que os menores valores de PPF foram registrados nas estações dos transectos E e F. Além disso, ao analisar a contribuição das produtividades foto- e quimiossintética integradas, observou-se maior contribuição dos processos quimiossintéticos, sobretudo nas zonas de transição e oceânicas da bacia (estações E04, E06 e H05).

Além de fatores como o período e condições de incubação, remoção ineficiente de carbono inorgânico e taxas de excreção (não quantificadas no presente trabalho), o que poderia também ter contribuído com esse cenário foi a presença do Vórtice Anticiclônico das Agulhas na região (Kutner *et al*., 2022 – em revisão). Essa estrutura circular de mesoescala, caracterizada por possuir aproximadamente 200 km de diâmetro e 1000 m em altura, é formada pelo intenso meandramento da Corrente das Agulhas que se fecha, “aprisionando” e transportando águas quentes, salinas e mais oligotróficas do Oceano Índico. Ao migrarem, na Corrente de Benguela, podem chegar até a costa oeste do Atlântico (Guerra *et al.,* 2018; Cesar-Ribeiro *et al.,* 2020). De acordo com Silveira *et al.* (nesse volume), o Vórtice das Agulhas identificado no presente trabalho

PÚBLICA

possivelmente teria feito o trajeto mencionado anteriormente e ficado aprisionado por vórtices ciclônicos menores originários da Corrente do Brasil, o que contribuiu para a sua permanência na região estudada. O vórtice circular em sentido anti-horário faz com que o movimento de águas, associado ao transporte de Ekman, direcionasse a água do entorno para o seu centro, criando uma condição de "crista". Esse empilhamento favoreceu a subsidência das águas nessa região, aumentando a contribuição da AT (mais oligotrófica) e impedindo que águas mais frias e ricas em nutrientes, oriundas da ACAS, encontrem a zona eufótica, dificultando o desenvolvimento de autotróficos e comprometendo a produção primária fotossintética, culminando nas menores taxas na região dos transectos E e F (Kutner *et al.,* 2022 – em revisão).

Estrutura semelhante ao do Vórtice das Agulhas e em menor escala foi encontrada na estação mais oceânica do transecto H, ao largo de Cabo Frio – RJ (H05), corroborando com os menores valores de produção fotossintética na camada superficial e em PMC, possibilitando maior contribuição relativa da quimiossíntese na produtividade da região.

Por fim, foram encontradas taxas fotossintéticas relativamente mais elevadas na porção mais ao sul da Bacia de Santos, se comparadas à central, sobretudo na campanha de inverno. O provável cenário que pode ter contribuído para esses valores, é o da advecção lateral da pluma do Rio da Prata, na região mais costeira, com formação da Frente Subtropical de Plataforma, evidenciado pelos valores mais baixos, tanto de temperatura, quanto de salinidade. Segundo Brandini (1999), Campos *et al*. (1996) e Brandini *et al.* (2018), durante o período de inverno, a incidência maior de ventos de quadrante sul-sudoeste favorecem o transporte de águas costeiras, cujas características são temperaturas mais frias (entre 15-18ºC) e com baixa salinidade, em direção ao norte do estado de São Paulo. Ao encontrar as águas mais quentes dessa região, forma-se a Frente Subtropical de Plataforma. Essas águas do rio da Prata são ricas em fosfatos e silicatos, o que pode ter contribuído para com os valores de produtividade fotossintéticas da estação B02.

No que diz respeito à variação das taxas quimiossintéticas da Bacia de Santos encontradas no presente trabalho, observou-se que elas estiveram dentro do esperado em regiões como o Oceano Atlântico (0,17 e 3,81 mgC.m^{-}

^{3}.h^{-1} Prakash *et al.,* 1991) e costa do Chile (0,008 – 6,04 mgC.m^{-3}.h^{-1} – Farías *et al.,* 2009). Ao avaliar a contribuição quimiossintética em dois pontos distintos da Baía de Guanabara durante dois anos, Signori *et al.* (2017) encontraram valores entre 0,001 e 2,51 mgC.m^{-3}.h^{-1}, na estação próxima à desembocadura da baía e com menores concentrações de poluentes, e entre 0,001 e 2,71 mgC.m^{-3}.h^{-1} na mais interna, próxima à descarga de efluentes domésticos e industriais. Os autores apontaram que o processo quimiossintético, em termos quantitativos, não se mostrou tão relevante quanto à produção bacteriana heterotrófica na região da baía.

Não foram encontradas diferenças significativas em relação à profundidade e à distância da costa e nem foi possível determinar quais fatores ambientais pudessem explicar melhor essa distribuição, corroborando as fracas correlações encontradas entre a PPQ e os fatores abióticos por Reinthaler *et al.* (2010), Kutner *et al.* (2022 – em revisão) e Passos *et al.* (2022 – em revisão). Mesmo com o padrão de distribuição espacial incerto e a superior contribuição relativa da produção fotossintética na maioria das estações amostradas, a produção quimiossintética demonstrou ser um processo importante na Bacia de Santos, sobretudo em situações onde a fotossíntese é limitada pela ausência de luz e/ou disponibilidade de nutrientes. Outro fator que poderia ter contribuído para as incertezas em relação às taxas quimiossintética é devido a falta de trabalhos relacionados ao acoplamento físico-biológico sobretudo em ambientes oligotróficos característicos da Bacia de Santos. Nesses ambientes, a forçante ambiental desempenha um papel importante nas taxas biológicas e poucos estudos relacionados à produção quimiossintética na região foram conduzidos até o presente momento (Kutner *et al.,* 2022 – em revisão), reforçando a necessidade de mais estudos, sobretudo avaliando a contribuição das diferentes variáveis ambientais e bióticas em cenários distintos da Bacia de Santos.

IX.5 Conclusão

A aplicação do método tradicional de incubação de radioisótopo de carbono, simulando condições encontradas *in situ,* além de possibilitar a caracterização espacial da produtividade primária ao longo da Bacia de Santos e a comparação

com outras bacias sedimentares relevantes para a costa brasileira (Campos e Sergipe-Alagoas), também trouxe a compreensão de como as variáveis ambientais contribuíram para favorecer ou não os processos foto- e quimiossintéticos da região.

A baixa produtividade primária fotossintética aqui apresentada confirmou a natureza oligotrófica e regenerativa da Bacia de Santos. Entretanto, as maiores taxas registradas para as estações costeiras refletiram a significativa contribuição de aporte nutricional de origem terrestre, favorecendo a produtividade nova nessa região.

Em consonância com o que foi observado por outros grupos de pesquisa deste amplo estudo integrativo da Bacia de Santos, apesar da não constatação de diferenças significativas na produtividade fotossintética entre as regiões, notou-se a influência de três cenários distintos:

- porção costeira norte da bacia - eutrofizada devido à contribuição da Baía de Guanabara e ressurgência de Cabo Frio;
- porção central e mais oceânica - possivelmente influenciada pelo Vórtice Anticiclônico das Agulhas sob o Platô de São Paulo, diminuindo a produtividade fotossintética local;
- porção sul – fotossíntese mais elevada devido à presença da pluma do Rio da Prata e formação da Frente Subtropical de Plataforma, sobretudo na campanha de inverno.

Apesar de pouco explorada na região, a quimiossíntese demonstrou ser um processo importante para a Bacia de Santos, sobretudo em condições em que a contribuição da fotossíntese é limitada pela baixa disponibilidade de luz e de nutrientes. Para suprir essa lacuna do conhecimento e dado o crescente reconhecimento de que esse processo microbiano pode contribuir para mitigar o efeito estufa através da incorporação do dióxido de carbono, a Petrobras incluiu a avaliação da produtividade primária quimiossintética de forma inédita no âmbito do Programa de Caracterização e Monitoramento de Bacias Sedimentares da Costa Brasileira, trazendo uma contribuição relevante para o conhecimento acerca da produção primária integradora da Bacia de Santos.

IX.6 Referências Bibliográficas

Araujo, S.A.C., Deminicis, B.B. 2009. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, 7(4): 463-472.

Aidar-Aragão, E., Teixeira, C., Vieira, A.A.H. 1980. Produção primária e concentração de clorofila-a na costa brasileira (Lat. 22º31'S – Long. 41º52'W a Lat.28º43'S – Long. 47º57'W). Boletim do Instituto Oceanográfico, 29(2): 9-14.

Baltar, F., Herndl, G.J. 2019. Ideas and perspectives: is dark carbon fixation relevant for oceanic primary production estimates? **Biogeosciences**, 16(19): 3793-3799.

Barrera-Alba, J.J., Gianesella, S.M.F., Moser, G.A.O., Saldanha-Corrêa, F.M.P. 2009. Influence of allochthonous organic matter on bacterioplankton biomass and activity in an eutrophic, sub-tropical estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science,** 82: 84-94.

Bird, R.E., Hulstrom, R.L. 1981. A Simplified Clear Sky model for direct and difuse insolation on horizontal surfaces. (SERI Technical Reports/ TR-642-761). Golden,CO: Solar Energy Research Institute.

Braga, E.S. 1999. Seasonal variation of atmospheric and terrestrial nutrients and their influence on primary production in an oligotrophic coastal system – southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Oceanografia,** 47(1): 47-57.

Brandini, F.P. 1990. Produção primária e características fotossintéticas do fitoplâncton na região sueste do Brasil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, 38(2): 147-159.

Brandini, F.P., Tura, P.M., Santos, P.P.G.M. 2018. Ecosystem responses to biogeochemical fronts in the South Brazil Bight. **Progress in Oceanography,** 164: 52-62.

Campos, E.J.D., Ikeda, Y., Castro, B.M., Gaeta, S.A., Lorenzetti, J.A., Stevenson, M.R. 1996. Experiment studies circulation in Western South Atlantic. **EOS Science News,** 77(27): 253-259.

Castro, B.M., Lorenzetti, J.A., Silveira, I.C.A., Miranda, L.B. 2006. Estrutura termohalina e circulação na região entre Cabo de São Tomé (RJ) e Chuí (RS). In: **O ambiente oceanográfico entre a plataforma continental e o talude**

PÚBLICA

na região sudeste e sul do Brasil. (Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B., Madureira, L.S.P., eds.) EdUSP, São Paulo. Pp. 11-20.

Cesar-Ribeiro, C., Piedras, F.R., Cunha, L.C., Lima, D.T., Pinho, L.Q., Moser, G.A.O. 2020. Is oligotrophy an equalizing factor driving microplankton species functional diversity within Agulhas rings? **Frontiers in Marine Science,** 7: 1-16.

Cushing, D.H. 1990. Plankton production and year-class strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis. **Advances in Marine Biology,** 26: 249-293.

Dugdale, R.C., Goering, J.J. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. **Limnology and Oceanography**, 12(2): 196 - 206.

Enrich-Prast, A., Bastviken, D., Crill, P., Santoro, A.L., Signori, C.N., Sanseverino, A.M. 2014. **Chemosynthesis.** Encyclopedia of Inland Waters. Elsevier: Oxford. Pp. 211-225.

Falkowski, P.G. 1994. The role of phytoplankton photosynthesis in global biogeochemical cycle. **Photosynthesis Research,** 39: 235-258.

Farías, L., Fernández, C., Faúndez, J., Cornejo, M., Alcaman, M.E. 2009. Chemolithoautotrophic production mediating the cycling of the greenhouse gases N_2O and CH_4 in an upwelling ecosystem. **Biogeosciences,** 6(12): 3053-3069.

Feitosa, F.A.N., Ostuka, A.Y., Silva, L.M., Saldanha-Corrêa, F.M.P., Jales, M.C., Guennes, M., Grego, C.K.S., Cordeiro, I.A. 2019. **Biomassa e produtividade fitoplanctônica da Bacia de Sergipe e Sul de Alagoas.** Ambiente pelágico da Bacia de Sergipe-Alagoas. Editora Universidade Federal de Sergipe: Sergipe. Pp. 222-253.

Frazão, L.R., Penninck, S.B., Michelazzo, L.S., Moreno, G., Guimarães, C., Lopes, R.M., Signori, C. N. 2021. Microbial ecology of the South Atlantic Subtropical Gyre: a state-of-the-art review of an understudied ocean region. **Ocean and Coastal Research,** 69: e-21027.

Frouin, R., Pinker, R.T. 1995. Estimating photosynthetically active radiation (PAR) at the earth's surface from satellite observations. **Remote Sensing of Environment,** 51(1): 98-107.

Gaeta, S.A., Ribeiro, S.M.S., Metzler, P.M., Francos, M.S., Abe, D.S. 1999. Environmental forcing on phytoplankton biomass and primary productivity of the coastal ecosystem in Ubatuba region, southern Brazil. **Revista Brasileira de Oceanografia,** 47(1): 11-27.

Gaeta, S.A., Lorenzetti, J.A., Miranda, L.B., Susini-Ribeiro, S.M.M., Pompeu, M., Araujo, C.E.S. 1999. The Vitoria Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral fall of 1995. **Archives of Fishery and Marine Research,** 47(2): 253-270.

Gaeta, S.A., Brandini, F.P. 2006. Produção primária do fitoplâncton na região entre cabo de São Tomé (RJ) e Chuí (RS). In: **O ambiente oceanográfico entre a plataforma continental e o talude na região sudeste e sul do Brasil.** (Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B., Madureira, L.S.P., eds.) EdUSP, São Paulo. Pp. 219-264.

Garcia, G., Cardoso, A.A., Santos, O.A.M. 2013. Da escassez ao estresse do planeta: um século de mudanças no ciclo do nitrogênio. **Química Nova,** 36(9): 1468-1476.

Gianesella-Galvão, S.M.F. 1982. Standing-stock and potential of phytoplankton production in the bay of Santos, Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico,** 31(2): 85-94.

Gonzalez-Rodriguez, E., Valentin, J.L., André, D.L., Jacob, S.A. 1992. Upwelling and downwelling at Cabo Frio (Brazil): comparison of biomass and primary production responses. **Journal of Plankton Research,** 14(2): 289-306.

Gonzalez-Rodriguez, E. 1994. Yearly variation in primary production of marine phytoplankton from Cabo Frio (RJ, Brazil) region. **Hydrobiologia,** 294: 145-156.

Gonzalez-Rodriguez, E., Rodrigues, S.V., Marinho, M.M., Carvalho, W.F., Pinto, F.N., Paranhos, R. 2017. Biomassa fitoplanctônica e produção primária. In: **Ambiente pelágico: caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste.** (Falcão, A.P.C., Moreira, D.L., eds.). Elsevier, Rio de Janeiro. Pp. 69-87.

Guenther, M., Lima, I., Mugrabe, G., Tenembaum, D.R., Gonzalez-Rodriguez, E., Valentin, J. L. 2012. Small time scale plankton structure variation at the

entrance of a tropical eutrophic bay (Guanabara Bay, Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography,** 60(4): 405-414.

Guenther, M., Paranhos, R., Rezende, C., Gonzalez-Rodriguez, E., Valentin, J.L. 2008. Dynamics of bacterial carbon metabolism at the entrance of a tropical eutrophic bay influenced by tidal oscillation. **Aquatic Microbial Ecology**, 50: 123-133.

Guerra, L.A.A., Paiva, A.M., Chassignet, E.P. 2018. On the translation of Agulhas rings to the western South Atlantic Ocean. **Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers,** 139: 104-113.

Jassby, A.D., Platt, T. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. **Limnology and Oceanography,** 21(4): 540-547.

Kirchman, D.L. 2012. **Processes in microbial ecology.** Oxford University Press: New York. Pp. 312.

Kutner, D.S., Bowman, J.S., Saldanha-Corrêa, F.M.P., Chuqui, M.G., Tura, P.M., Moreira, D.L., Brandini, F.P., Signori, C.N. 2022. Inorganic carbon assimilation by planktonic community in Santos Basin, Southwestern Atlantic Ocean. **Ocean and Coastal Research, (*in press*)**

Longhurst, A., Sathyendranath, S., Platt, T., Caverhill, C. 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. **Journal of Plankton Research,** 17(6): 1245-1271.

Lutz, V., Segura, V., Dogliotti, A., Tavano, V., Brandini, F.P., Calliari, D.L., Ciotti, A.M., Villafañe, V.F., Schloss, I.R., Saldanha-Corrêa, F.M.P., Benavides, H., Cantonnet, D.V. 2018. Overview on primary production in the Southwestern Atlantic. In: **Plankton Ecology of the Southwestern Atlantic: from the subtropical to the Subantarctic Realm.** (Hoffmeyer, M.S., Sabatini, M.E., Brandini, F.P., Calliari, D.L., Santinelli, N.H., eds.). Springer Nature, Switzerland. Pp. 101-126.

Meniconi M.F.G., Silva, T.A., Fonseca, M.L., Lima, S.O.F., Lima, E.F.A., Lavrado H.P., Jr. Figueiredo, A.G. 2012. **Baía de Guanabara: Síntese do conhecimento ambiental.** 2 Vol. Petrobras, Rio de Janeiro. Pp. 479.

Metzler, P.M., Glibert, P.M., Gaeta, S.A., Ludlam, J.M. 1997. New and regenerated production in the South Atlantic off Brazil. **Deep-Sea Research,** 44(3): 363-384.

Parsons, T.R., Takahashi, M., Hargrave, B. 1984. **Biological Oceanographic Prossess.** 2nd edition. Pergamon Press, Oxford.

Passos, J.G., Soares, L.F., Sumida, P.Y.G., Bendia, A.G., Nakamura, F.M., Pellizari, V.H., Signori, C.N. 2022. Contribution of chemoautotrophy and heterotrophy to the microbial carbon cycle in the Southwestern Atlantic Ocean. **Ocean and Coastal Research, (*in press*)**

Platt, T., Gallegos, C.L., Harrison, W.G. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. **Journal of Marine Research,** 38: 687-701.

Prakash, A., Sheldon, R.W., Sutcliffe, W.H. 1991. Geographic variation of oceanic ^{14}C dark uptake. **Limnology and Oceanography,** 36(1): 30-39.

R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, https://www.R-project.org/.

Reinthaler, T., Van Aken, H.M., Herndl, G.J. 2010. Major contribution of autotrophy to microbial carbon cycling in the deep North Atlantic's interior. **Deep-Sea Research Part II: Tropical Studies in Oceanography,** 57(16): 1572-1580.

Saldanha–Corrêa, F.M.P., Gianesella, S.M.F. 2008. Produção Primária e Fitoplâncton. In: **Oceanografia de um ecossistema subtropical.** (Pires–Vanin, A.M.S., ed.). EdUSP, São Paulo. Pp. 223–251.

Signori, C.N., Valentin, J.L., Pollery, R.C.G., Enrich-Prast, A. 2017. Temporal variability of dark carbon fixation and bacterial production and their relation with environmental factors in a tropical estuarine system. **Estuaries and Coasts,** 41(4): 1089-1101.

Signori, C.N., Felizardo, J.P.S., Enrich-Prast, A. 2020. Bacterial production prevails over photo- and chemosynthesis in a eutrophic tropical lagoon. **Estuarine, Coastal and Shelf Science,** 243: e106889.

Soares-Gomes, A., Figueiredo, A.G. 2002. O ambiente marinho. **Biologia Marinha,** 2: 1-34.

Steemann-Nielsen, E. 1952. The use of radioactive carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea. **Journal du Conseil Perm Internacional pour l'Exploration de la Mer,** 18: 117-140.

Teixeira, C. 1973. Preliminary studies of primary production in the Ubatuba region (Lat. 23°30'S – Long 45°06'W), Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico,** 22: 59-92.

Teixeira, C., Gazeta, S. A. 1991. Variação nictemeral da clorofila-a, produção primária do fitoplâncton e fatores ambientais na região de Ubatuba (Lat. 23º30'S - Long. 45º06'W). **Boletim do Instituto Oceanográfico,** 39(1): 15-24.

Thimijan, R.W., Heins, R.D. 1983. Photometric, radiometric and quantum light units of measure: a review of procedures for interconvertion. **Hortscience,** 18(6): 818-822.

Villac, M.C., Tenembaum, D.R. 2010. The phytoplankton of Guanabara Bay, Brazil: I. Historical account of its biodiversity. **Biota Neotropica,** 10(2): 271-293.

Zar, J.H. 2010. **Biostatistical analysis.** 5 ed. Prendice Hall, Illinois. Pp. 944.

IX.7 Equipe Técnica

Nomes	**Formação**	**Atuação**
Camila Negrão Signori	Oceanógrafa, Doutora em Ciências/ Microbiologia, Docente IOUSP	Coordenação do subgrupo
Deborah Sigaud Kutner	Aluna de Graduação em Oceanografia - IOUSP	Bolsista Iniciação Científica; análises de laboratório e dados da primeira campanha; escrita de relatórios da primeira campanha
Mariana Rodrigues dos Santos	Aluna de Doutorado em Oceanografia Biológica - IOUSP	Análises laboratoriais e de dados da segunda campanha; organização e escrita do documento final

PÚBLICA

X. Acoplamento bento-pelágico na Bacia de Santos e o seu papel na bomba biológica do Atlântico Sul-Ocidental

X.1 Introdução

Entre a superfície e o fundo marinho, diversas relações de troca ocorrem continuamente, transferindo matéria e energia entre esses ambientes. Tais relações podem ser entendidas através do termo *acoplamento bento-pelágico*, que faz referência ao ambiente bentônico (fundo) e ao ambiente pelágico (coluna de água). Essas relações, entretanto, não são homogeneamente distribuídas em todo o oceano, variando tanto em escala temporal quanto em escala espacial. Na região costeira, por exemplo, as correntes geradas por ondas e marés, o balanço sedimentar, e o aporte de água fluvial e subterrânea, são importantes processos físicos e biogeoquímicos que atuam no acoplamento bento-pelágico local. Esses processos têm uma influência direta no fluxo de matéria orgânica e inorgânica, além na transferência de energia entre a coluna de água sobrejacente e o leito marinho (Simpson & Sharples, 2012). Por outro lado, à medida que nos afastamos da plataforma continental em direção às bacias oceânicas, o acoplamento bento-pelágico é dominado por um processo conhecido como *bomba biológica*, que torna-se o principal exportador de matéria e energia da superfície para o sistema bentônico (Honjo *et al.*, 2008).

Na zona eufótica, região da coluna de água onde há penetração da luz solar, os produtores primários fixam nutrientes e carbono inorgânico (em balanço com o CO_2 atmosférico) para sintetizar sua biomassa. A maior parte desse carbono permanece na própria zona eufótica, sendo remineralizado através da respiração dos próprios produtores primários e demais consumidores da teia trófica. Uma pequena parcela deste carbono não é remineralizada, e afunda em direção ao sistema bentônico na forma de material particulado (organismos mortos, mucos e mucilagens excretadas, pelotas fecais, neve marinha, etc.). Assim, a *bomba biológica* pode ser definida como o excedente da produção primária líquida que é transportada para além da zona eufótica em direção ao fundo (Volk & Hoffert, 1985). Além do afundamento passivo da matéria orgânica particulada, a migração vertical de organismos (principalmente do microzooplâncton e

micronécton) e a mistura (advecção + difusão) de matéria orgânica dissolvida são processos que complementam a bomba biológica nos oceanos. A importância relativa entre esses processos varia localmente, entretanto é estimado que 70% da exportação seja feita através do afundamento passivo, enquanto que a mistura e a migração vertical representem 20% e 10%, respectivamente (Nowicki *et al.*, 2022).

A produção primária fitoplanctônica global assimila anualmente 47,5 - 67 Gt de C (1 Gt = 10^{15} g, Behrenfeld & Falkowski, 1997; Field *et al.*,1998; Behrenfeld *et al.*, 2005), dos quais 10 - 15 Gt são exportados da zona eufótica para a zona mesopelágica (Kwon & Primeau 2006, Siegel *et al.*, 2016). Estima-se que apenas 1% da matéria orgânica produzida na superfície atinge o fundo marinho, uma vez que a comunidade mesopelágica eficientemente remineraliza essa matéria orgânica (Buesseler, 1998). Contudo, essa proporção pode chegar à 50% em plataformas continentais em regiões de intensa produção primária e regiões polares (Honjo *et al.*, 2008, Jahnke, 2010). Apesar de exportar apenas uma fração do material fixado na zona eufótica, a bomba biológica atua continuamente em toda a área oceânica, compreendendo assim um importante elo biogeoquímico no ciclo do carbono e dos demais elementos associados na produção biológica. Dessa forma, a bomba biológica é crucial não apenas para a sustentação das comunidades biológicas bentônicas, mas também para a remoção do CO_2 atmosférico e na manutenção do clima terrestre (Sarmiento *et al.*, 1998). Com o excesso de CO_2 oriundo da revolução industrial e sua expansão no modelo de produção capitalista, compreender esse serviço ecológico torna-se cada vez mais relevante. Por exemplo, é estimado que os oceanos já absorveram 1/3 de todo o carbono antropogênico emitido desde 1800, cerca de 118 Gt C (Sabine *et al.*, 2004), e hoje o maior reservatório de carbono ativo é encontrado nas águas intermediárias e profundas dos oceanos, com 40 Tt C (Siegenthaler & Sarmiento, 1993).

Diferentes processos interferem e regulam na eficiência da bomba biológica, como a composição da própria comunidade fitoplanctônica (Tréguer *et al.*, 2018; Leblanc *et al.*, 2018, Bach *et al.*, 2019); a produção secundária e a comunidade zooplanctônica (Turner, 2015; Cavan *et al.*, 2016); a taxa de regeneração microbiana e atenuação do fluxo na zona meso-pelagial (McDonnell *et al.*, 2015;

Marsay *et al.*, 2015). Assim, ainda há muita dúvida e debate na comunidade científica sobre as particularidades da bomba biológica (Boyd & Trull, 2007) e, sobretudo, como esses processos e interações irão se comportar com as mudanças climáticas. Recentemente, Martin *et al.* (2020) publicaram no periódico científico *Nature* o artigo intitulado *'The oceans' twilight zone must be studied now, before it is too late'*, que ressalta a necessidade e, principalmente, a urgência de estudos sobre os processos que controlam a força e atenuação da bomba biológica nas camadas intermediárias dos oceanos em face dos impactos causados pelas mudanças climáticas.

Os estudos sobre a bomba biológica ganharam força a partir da década de 1980, quando foram desenvolvidas as técnicas para captura e análise de partículas, sendo a mais importante as armadilhas de sedimento (Gardner, 1985). Esse equipamento intercepta e armazena o material particulado em afundamento, possibilitando caracterizar a qualidade e magnitude do fluxo. De lá para cá, avanços nos modelos das armadilhas de sedimento (Estapa *et al.*, 2020), nas análises químicas (ex. Ebersbach & Trull, 2008), nas câmeras e instrumentos ópticos (Giering *et al.*, 2020), nos modelos computacionais (ex. Jackson & Burd, 2015; Jokulsdottir & Archer, 2016), e no próprio entendimento do ecossistema pelagial (ex. Bach *et al.*, 2019; Burd & Thomson, 2022), possibilitaram aprimorar o estudo da bomba biológica nos oceanos. Porém, ainda existem lacunas no entendimento de suas especificidades devido principalmente pela grande área oceânica e pela variabilidade do fenômeno, mas também é agravado pelo viés econômico-social que tem priorizado estudos focados no norte global. Este capítulo explora como essas lacunas vêm sendo preenchidas na Bacia de Santos, e como os resultados obtidos até o momento podem nos ajudar a entender o funcionamento da bomba biológica em uma margem continental tropical de borda oeste.

X.2 Fluxo na Bacia de Santos

Poucos trabalhos investigaram o reservatório, a qualidade e o fluxo do material particulado na Bacia de Santos. Devido ao caráter euleriano dos modelos mais utilizados de armadilhas de sedimento, os estudos que abordam

esse tema enfrentam a dificuldade de descrever uma grande área com uma pequena amostragem. Apesar das limitações metodológicas, resultados interessantes vêm sendo obtidos. Albuquerque *et al.* (2014), por exemplo, avaliaram o fluxo de massa total e o fluxo de carbono orgânico particulado capturado por duas armadilhas de sedimentos eulerianas, em 50 e 100 metros de profundidade, na plataforma da região de Cabo Frio (isóbata de 150 m). Entre 2010 e 2012, coletas intermitentes revelaram uma grande variabilidade no fluxo de massa. Curiosamente, o fluxo capturado pela armadilha mais profunda (100 m) pouco se relacionou com o da mais rasa (50 m), sendo muitas vezes mais intenso e com características geoquímicas distintas (Razões C/N, $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$). Esse fato revela a complexidade do estudo em regiões com alto hidrodinamismo como a plataforma de Cabo Frio. Para além da influência da advecção na eficiência das armadilhas de sedimento (ver Baker *et al.*, 1988 e Buesseler *et al.*, 2007), os autores não encontraram um distinto padrão sazonal nos fluxos, mas identificaram dois cenários biogeoquímicos principais que favoreceram o transporte vertical: *(i)* o soerguimento da Água Central do Atlântico Sul para a zona eufótica pelos processos de ressurgência costeira; e *(ii)* intrusões da Corrente do Brasil na plataforma continental gerando movimento vertical descendente (*downwelling*). Pelas análises geoquímicas, a presença de material terrígeno também foi identificada pelos autores, tendo como potenciais fontes a Baía de Guanabara e o Rio Paraíba do Sul.

Sobre o talude continental ao largo de Santos, Tura *et al.* (2021) investigaram o fluxo de partículas entre novembro de 2016 e setembro de 2017. Armadilhas de sedimento eulerianas foram instaladas nas isóbatas de 900 m e 2000 m, nas profundidades de 400 m e 750 m respectivamente. Os autores calcularam o fluxo de massa total, e os conteúdos de carbono orgânico, de nitrogênio, de sílica biogênica, de carbonato de cálcio e de material litogênico coletado em intervalos de 10 dias para a armadilha mais rasa e de 15 dias para a mais profunda.

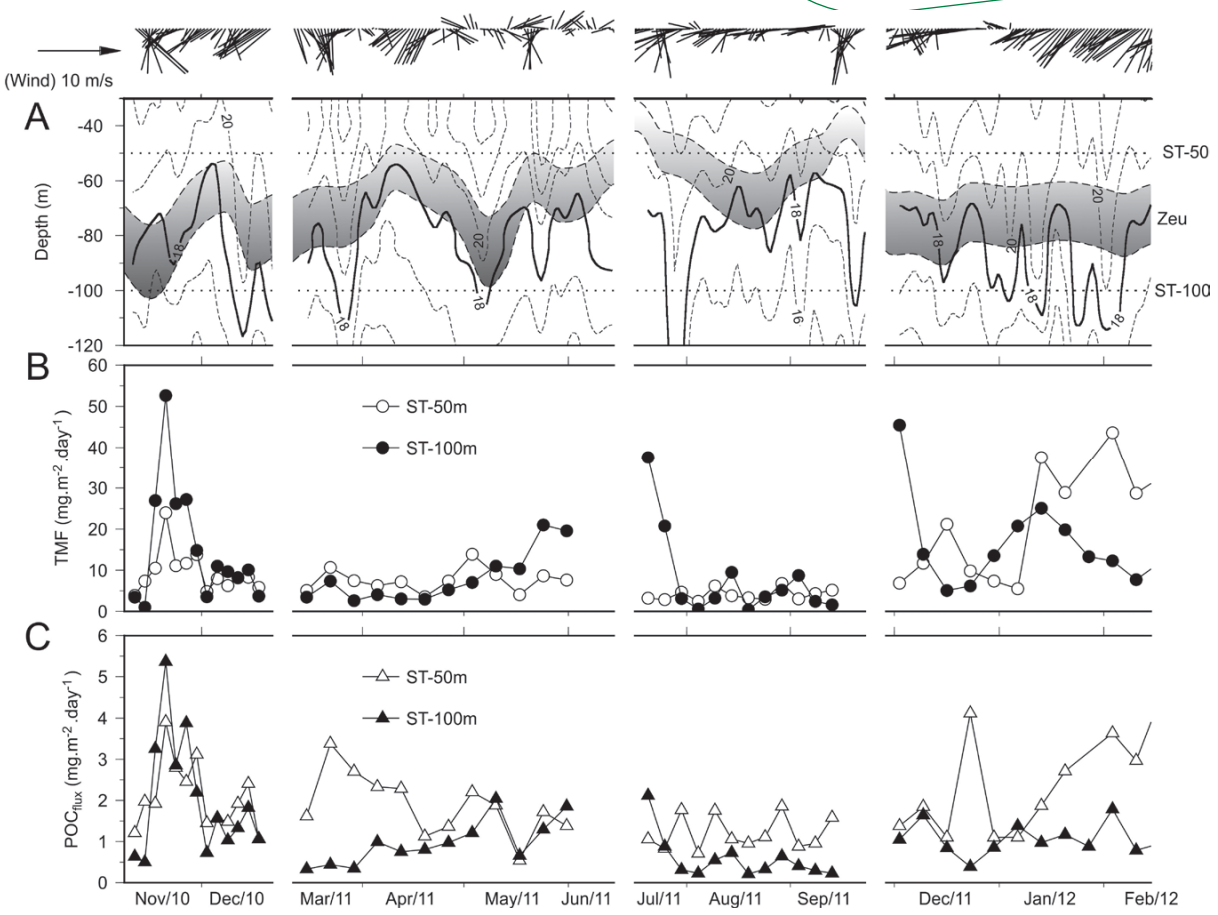


Figura X.2.1: Resultados do estudo de fluxo de material particulado na plataforma continental ao largo de Cabo Frio (isóbata de 150 m), retirado de Albuquerque *et al.* (2014). A) Vento regional, isotermas e extensão da zona eufótica. B) Fluxo de massa total (mg m^{-2} d^{-1}). C) Fluxo de carbono orgânico particulado (mg m^{-2} d^{-1}).

Na isóbata de 900 m os autores encontraram períodos com fluxos totais e elementares extremamente altos (> 1000 mg m^{-2} d^{-1}) com uma notável contribuição de material ressuspendido. A hipótese mais provável discutida pelos autores é a captura de sedimento transportado por um ou mais fluxos de gravidade, que são fluxos turbulentos relativamente comuns sobre feições de gradiente batimétrico acentuado, como cânions submarinos (Parsons *et al.*, 2007). Apesar de impossibilitar uma estimativa acurada da exportação proveniente da zona eufótica nesse caso, os autores compreendem que este é um resultado interessante que revela a importância destes eventos no acoplamento bento-pelágico do talude. Por exemplo, a quantidade total de

PÚBLICA

carbono, nitrogênio, sílica biogênica e carbonato de cálcio transportada por um fluxo de gravidade é superior à quantidade exportada anualmente pela zona eufótica. Em termos qualitativos, a matéria orgânica sedimentar é mais refratária comparada à proveniente da bomba biológica, com menor conteúdo de nitrogênio e fósforo e matéria orgânica recalcitrante (ex. Henrichs, 1992; Ransom *et al.*, 1998), o que não necessariamente implica em transferência de energia para o sistema bentônico da bacia oceânica. Entretanto, seu efeito no balanço biogeoquímico não pode ser desprezado. A geração de camadas nefelóides intermediárias e de fundo no talude podem transportar essa matéria sobre barreiras isopicnais milhares quilômetros, como demonstrado por Gardner *et al.* (2018) para o Atlântico Norte.

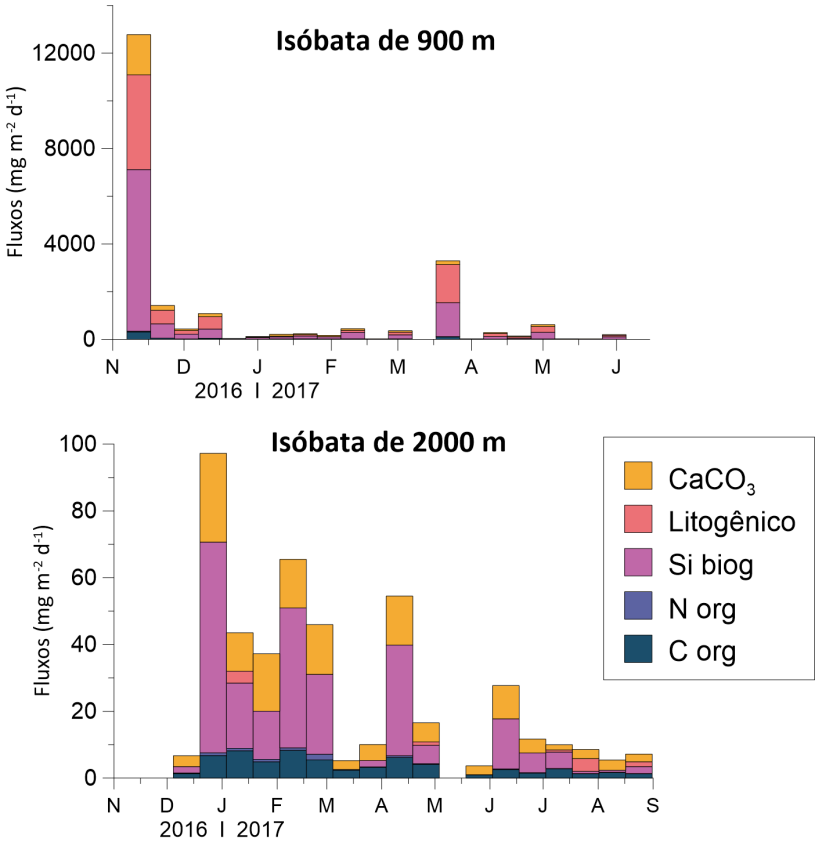


Figura X.2.2: Fluxo de massa e elementos (mg m^{-2} d^{-1}) sobre o talude continental ao largo de Santos, retirado de Tura *et al.* (2021).

Já sobre a isóbata de 2000 m Tura *et al.* (2021) discutem os padrões intra e intersazonais dos fluxos na região. Em geral, o fluxo dos elementos analisados durante os meses de verão e início de outono foi maior, um reflexo da elevada

PÚBLICA

produção primária superficial. Em contrapartida, os fluxos nos meses de final de outono e inverno foram significativamente mais baixos, acompanhando a diminuição da produção primária. Os autores discutem uma alta variabilidade no fluxo de partículas durante toda a amostragem, mas principalmente durante o verão, e sugerem que as instabilidades de mesoescala associadas à Corrente do Brasil são as responsáveis por alterar o cenário biogeoquímico, e consequentemente o fluxo, nessa escala de tempo. A região do talude da Bacia de Santos é dominada pelo Sistema Corrente do Brasil (Silveira *et al.*, 2020), que na superfície sofre frequentemente influência de diversos vórtices e meandros associados à corrente de contorno. Movimentos ciclônicos são capazes de elevar a nutriclina para menores profundidades, favorecendo a formação de máximos subsuperficiais de clorofila, enquanto movimentos anticiclônicos podem aumentar o transporte lateral entre plataforma e talude (Marone *et al.*, 2010). Dessa forma, por mais que o caráter sazonal domine o fluxo meso-pelagial, variações intrasazonais podem alterar o regime favorecendo a exportação ou a advecção do material produzido na zona eufótica.

Tabela X.2.1: Fluxos (mg $m^{-2}d^{-1}$) encontrados por Tura *et al.* (2021) em 750 m na isóbata de 2000 m.

	C Org		N Org		Si Biog		$CaCO_3$	
	Min–Max	Média (Desv. Pad)	Min–Max	Média (Desv. Pad)	Min–Max	Média (Desv. Pad)	Min–Max	Média (Desv. Pad)
Verão – início Outono	1,3 – 8,3	5,1 (2,7)	0,2 – 1,7	0,6 (0,5)	1,9 – 63,1	22,8 (20,5)	2,7 – 26,7	11,6 (7,6)
final Outono – Inverno	0,9 – 2,8	1,7 (0,7)	0,1 – 0,3	0,1 (0,1)	0,1 – 15,0	4,2 (5,3)	1,6 – 10,0	3,8 (2,8)

Os fluxos de sílica biogênica e carbonato de cálcio são importantes para compreender a *eficiência da bomba biológica* na região, definida como a porcentagem da exportação de carbono medida em determinada profundidade de referência (no caso do estudo, 750 m) em relação à exportação da zona eufótica. Esses elementos, chamados de minerais lastro, são sintetizados por microrganismos planctônicos e, devido a sua maior densidade, aumentam a velocidade de afundamento de partículas, pelotas fecais e agregados, podendo

também atuar como proteção à remineralização microbiana (Armstrong *et al.*, 2002). A partir de análises de razões isotópicas ($\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$) e contagens de estruturas planctônicas presentes nas amostras, os máximos subsuperficiais de clorofila foram identificados como importante fonte do material particulado, principalmente no verão. Trabalhos anteriores como Brandini *et al.* (1990, 2014) e Tura & Brandini (2020) já identificavam os máximos subsuperficiais como feições produtivas relevantes na plataforma externa e talude da Bacia de Santos. Por sua vez, Tura *et al.* (2021) discutem que a eficiência na transferência de carbono pode crescer uma ordem de grandeza quando ocorre a predominância da sílica biogênica no fluxo, isto é diatomáceas e silicoflagelados (Lins, 2022), devido à produção nova proporcionada pela injeção de nitrato na subsuperfície. Durante o final de outono e inverno, por outro lado, o carbonato de cálcio se torna o principal mineral lastro, representado por cistos de dinoflagelados e cocolitoforídeos, resultado de um regime de produção regenerado na zona eufótica, com uma exportação menor e menos eficiente.

X.3 Fluxo no Atlântico Sul em outras margens de borda oeste

Trabalhos que estudaram a magnitude e qualidade do fluxo vertical sobre a bacia do Atlântico Sul subtropical e em outras bordas de contorno oeste tropical podem nos ajudar a entender melhor os processos que regulam o fluxo vertical da Bacia de Santos. Entretanto, vale ressaltar que um dos principais desafios na comparação de estudos de exportação é a profundidade de referência utilizada em cada trabalho. Como discutido anteriormente, a matéria orgânica exportada da zona eufótica é eficientemente remineralizada à medida que afunda em direção ao oceano profundo, de forma que a magnitude do fluxo diminui exponencialmente ao longo da coluna de água (*curva de Martin*, Martin *et al.*, 1987), e a qualidade das partículas se altera, seja na composição lábil (Wakeham & Lee, 1993), seja no tamanho das partículas (McCave, 1975).

No Atlântico Sul subtropical foi verificado baixa variabilidade sazonal no fluxo de carbono orgânico ao oceano profundo, um reflexo da forte estratificação da camada superficial dos giros subtropicais (Pabortsava *et al.*, 2017). Nesse regime, a exportação é fortemente dominada por partículas e agregados

PÚBLICA

pequenos (< 73 µm) com rara contribuição de partículas maiores. Durkin *et al.* (2016) analisaram as partículas exportadas logo abaixo da zona eufótica e identificou que a composição dessas pequenas partículas era predominantemente de pelotas fecais e nanocélulas de proveniência heterotrófica. Os autótrofos identificados eram cianobactérias assimiladas em agregados, seguidas por cocolitoforídeos e diatomáceas nanoplanctônicas (mais detalhes ver Leblanc *et al.*, 2018).

Historicamente, os sistemas de borda oeste chamaram menos a atenção da comunidade científica do que a contraparte leste, que sustenta um regime de ressurgência permanente. Para além do Atlântico Sul-Ocidental, os sistemas de borda oeste são compostos pelas correntes de Kuroshio (Pacífico Norte), leste Australiana (Pacífico Sul), do Golfo (Atlântico Norte) e de Madagascar (Índico). Os fluxos de partículas ao longo da corrente do Golfo foram estudados nas décadas de 1980-90 impulsionados programa SEEP (*Shelf Edge Export Project*), que buscava calcular a exportação proveniente da plataforma continental para o talude na região. Falkowski *et al.* (1988) discutem que, em geral, a maior porção do carbono produzido na plataforma continental é remineralizado pela própria comunidade planctônica e bentônica nerítica, contabilizando uma exportação de cerca de 5% do excedente para o talude adjacente (Biscaye *et al.*,1994). Também foram verificados eventos intermitentes de alta exportação associados à produção de sílica biogênica e influência de material ressuspendido (Walsh *et al.*, 1988; Walsh, 1991). Entretanto, a maior parte dos trabalhos feitos na corrente do Golfo é focada na região temperada, que é marcada por um forte padrão sazonal de produção primária.

Tabela X.2-1: Fluxo de carbono orgânico particulado (mg m^{-2} d^{-1}) reportado na Bacia de Santos, no Giro Subtropical do Atlântico Sul e em margens de borda oeste. Zeu = profundidade da zona eufótica; Z eq = profundidade do equilíbrio das atividades ^{234}Th e ^{238}U

	Prof.	Min - Max	Média (Desv. Pad)	Referência	Método
Plataforma - Cabo Frio	50 m	0,5 - 4,4	1,9 (0,5)	Albuquerque *et al.*(2014)	Armadilhas eulerianas
	100 m	0,2 - 5,4	1,1 (0,6)		

(continuação Tabela X.2-1)

Talude - Santos	120 m	21,8 - 78,9	37,5 (15,1)	Tura *et al.* 2021	Armadilhas eulerianas
	750 m	0,9 - 8,3	3,7 (2,5)		
	1500 m	0,3 - 4,1	1,6 (1,3)		
Giro subtropical do Atlântico Sul	Zeu		28,8 (7,2)	Owens *et al.* (2015)	Desequilíbrio ^{234}Th-^{238}U
	Zeq		37,4 (54,4)	Le Moigne *et al.* (2013)	Desequilíbrio ^{234}Th-^{238}U
	120 m		30,0 (38,4)	Thomalla *et al.* (2006)	Desequilíbrio ^{234}Th-^{238}U
	125 m		54,8 (11,3)	Durkin *et al.* (2015)	Armadilhas lagrangianas
	3000 m	0,2 - 0,9	0,5	Pabortsava *et al.* (2017)	Armadilhas eulerianas
Corrente do Golfo (Mid Atlantic Bight)	130 m		12	Biscaye & Anderson (1994) [a]	Armadilhas eulerianas
	410 m		33		
Mar da China do Sul	100 m		84,96	Hung *et al.* (2007)	Armadilhas eulerianas
	740 m		78	Hung *et al.* (2003)	Armadilhas eulerianas
	980 m		104,5		
	1380 m		128		
	150 m [b]	15 - 166	63,2 (54,3)	Shih *et al.* (2020)	Armadilhas lagrangianas
	150 m [c]	32,6 – 110,9	55,2 (32,2)	Li *et al.* (2018)	Armadilhas lagrangianas

[a] Fundeio SEEP-II;

[b] Instalados em vórtices ciclônicos e anticiclônico;

[c] Experimentos feitos sob influência de ondas internas.

Recentemente, vários trabalhos de medição e caracterização de fluxo ocorreram na margem continental sul chinesa e, de especial interesse para a Bacia de Santos, no mar do sul da China. Shih *et al.* (2019) encontraram alta contribuição de material litogênico e de transporte lateral na zona mesopelagial. Nessa profundidade, os autores não conseguiram identificar o pico produtivo do inverno, causado pela injeção de nutrientes proveniente de mistura (Lui *et al.*, 2018), nem a influência do rio Zhujiang, importante fonte de matéria orgânica

PÚBLICA

dissolvida na região (Hung *et al.*, 2007). A partir de armadilhas lagrangianas instaladas abaixo da zona eufótica, Shih *et al.* (2020) calcularam um aumento significativo, cerca de quatro vezes maior, na magnitude do fluxo de carbono particulado sob um vórtice ciclônico comparado a um vórtice anticiclônico. Os autores ainda discutem que o fluxo chegou à 166 mg C m^{-2} d^{-1} sob um vórtice de submesoescala, apontando a importância desses processos na borda de plataforma. De forma similar, Li *et al.* (2018) verificaram o mesmo incremento no fluxo a partir do efeito de ondas internas na região. Os autores estimam que a passagem e dissipação das ondas internas é capaz de injetar 635 µmol m^{-2} d^{-1} de nitrato, que proporcionou uma exportação de ~110 mg C m^{-2} d^{-1}.

X.4 Principais lacunas

Nesses cerca de 50 anos de estudos sobre a bomba biológica, grandes avanços foram alcançados no entendimento do processo e suas singularidades regionais. Entretanto, como discutido anteriormente, ainda restam muitas lacunas em vista de limitações metodológicas, da vasta e heterogênea área oceânica, e das mudanças climáticas antropogênicas. Na Bacia de Santos esse campo de estudo ainda é incipiente. Para melhor compreender os padrões que regem a magnitude e as características do fluxo, levantamos as principais lacunas a serem abordadas em trabalhos futuros:

- Devido à extensão geográfica e aos diferentes processos físicos-biogeoquímicos que atuam na Bacia de Santos, é necessário ampliar a quantidade e a frequência de experimentos, de modo a cobrir a variabilidade espacial e temporal do fenômeno. Por exemplo, na porção norte da bacia a ressurgência, e eventual afloramento, da Água Central do Atlântico Sul é a principal fonte de nutriente novo que altera o regime de produção sobre a plataforma continental. Por outro lado, a porção sul é influenciada por intrusões sazonais de águas menos salinas, provenientes principalmente do Rio da Prata. É necessário entender como esses e outros processos modulam a exportação de matéria orgânica para melhor compreender a dinâmica de transferência de matéria e energia na Bacia de Santos.

- Os trabalhos realizados por Albuquerque *et al.* (2014) e Tura *et al.* (2021) foram importantes levantamentos iniciais que dimensionaram e investigaram padrões sazonais do fluxo. É necessário, entretanto, ampliar o conhecimento sobre a composição, origem e morfologia do material particulado, fornecendo assim uma compreensão holística dos processos envolvidos na bomba biológica.

- A exportação de material proveniente da plataforma continental para a bacia oceânica pode ser importante fonte de energia para as comunidades meso-pelágicas e bentônicas. Entretanto, quantificar essa troca ainda é um grande desafio condicionado, principalmente, por limitações metodológicas. Modelos físico-biológicos, como os NPZD (ex. Kishi *et al.*, 2004; Bianchi *et al.*, 2013), tem sido aperfeiçoados e podem auxiliar no entendimento desse processo. Entretanto, esses modelos ainda necessitam de trabalhos basilares para validação das parametrizações e dos resultados gerados. Por exemplo, pouco é conhecido sobre a composição e morfologia das partículas exportadas, como sua frequência de tamanho, densidade e velocidade de afundamento, ou mesmo sobre a dinâmica de remineralização.

- Um melhor entendimento da bomba biológica é feito a partir da sobreposição de diferentes métodos, devido às limitações e erros inerentes de cada técnica, e à escala temporal que cada um cobre. Por exemplo, armadilhas de sedimento lagrangianas instaladas na base da zona eufótica podem fornecer informações importantes sobre a procedência e composição do fluxo, que por sua vez já se perderiam em armadilhas eulerianas profundas (mais informações McDonnell *et al.*, 2015). Por outro lado, medições do desequilíbrio entre os radioisótopos ^{234}Th – ^{238}U fornecem estimativas de fluxo que podem ser replicadas em áreas maiores, cobrindo assim fenômenos oceanográficos distintos (ex. Cai *et al.*, 2008; Zhou *et al.*, 2013).

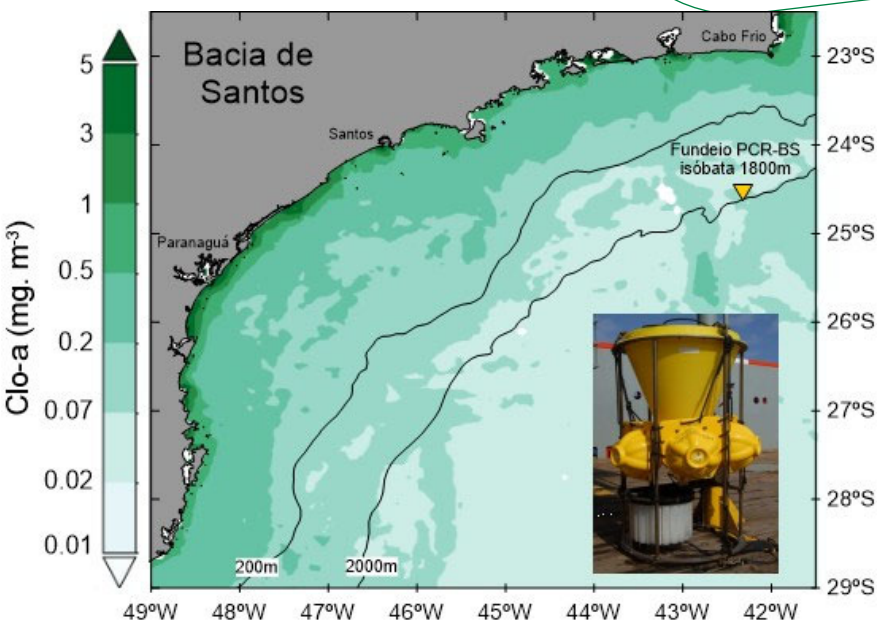


Figura X.4-1: Posição do fundeio instalado ao largo de Cabo Frio -RJ e distribuição da concentração de clorofila-a superficial na Bacia de Santos na semana do lançamento (*composite* do dia 19 à 26/02/2022, obtido pelo sensor MODIS/AQUA). Em destaque, fotografia da armadilha de sedimento Mark78H-21 utilizada.

Figura X.4-2: Sequência de fotos do lançamento do fundeio oceanográfico realizado em fevereiro/2022 à bordo do *RV Ocean Stalwart*.

PÚBLICA

X.5 Referências Bibliográficas

Albuquerque, A. L. S., Belém, A. L., Zuluaga, F. J. . B., Cordeiro, L. G. M., Mendoza, U., Knoppers, B., Gurgel, M. H. C., Meyers, P. A., & Capilla, R. 2014. Particle Fluxes and Bulk Geochemical Characterization of the Cabo Frio Upwelling System in Southeastern Brazil : Sediment Trap Experiments between Spring 2010 and Summer 2012. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**: 86(2): 601–619.

Armstrong, R. A., Lee, C., Hedges, J. I., Honjo, S., & Wakeham, S. G. 2002. A new, mechanistic model for organic carbon fluxes in the ocean based on the quantitative association of POC with ballast minerals. **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**: 49: 219–236. https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00101-1

Bach, L. T., Stange, P., Taucher, J., Achterberg, E. P., Algueró-Muñiz, M., Horn, H., Esposito, M., & Riebesell, U. 2019. The Influence of Plankton Community Structure on Sinking Velocity and Remineralization Rate of Marine Aggregates. **Global Biogeochemical Cycles**: 33(8): 971–994. https://doi.org/10.1029/2019GB006256

Baker, E. T., Milburn, H. B., & Tennant, D. A. 1988. Field assessment of sediment trap efficiency under varying flow conditions. **Journal of Marine Research**: 46(3): 573–592. https://doi.org/10.1357/002224088785113522

Behrenfeld, M. J., & Falkowski, P. G. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. **Limnology and Oceanography**: 42(1): 1–20. https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.1.0001

Behrenfeld, M. J., Boss, E., Siegel, D. A., & Shea, D. M. 2005. Carbon-based ocean productivity and phytoplankton physiology from space. **Global Biogeochemical Cycles**: 19(1): 1–14. https://doi.org/10.1029/2004GB002299

Bianchi, D., Stock, C., Galbraith, E. D., & Sarmiento, J. L. 2013. Diel vertical migration: Ecological controls and impacts on the biological pump in a one-dimensional ocean model. **Global Biogeochemical Cycles**: 27(2): 478–491. https://doi.org/10.1002/gbc.20031

Biscaye, P. E., & Anderson, R. F. 1994. Fluxes of particulate matter on the slope of the southern Middle Atlantic Bight: SEEP-II. **Deep-Sea Research Part II**: 41(2–3): 459–509. https://doi.org/10.1016/0967-0645(94)90032-9

Biscaye, P. E., Flagg, C. N., & Falkowski, P. G. 1994. The shelf edge exchange processes experiment, SEEP-II: an introduction to hypotheses, results and conclusions. **Deep Sea Research Part II**: 41(2): 231–252.

Boyd, P. W., & Trull, T. W. 2007. Understanding the export of biogenic particles in oceanic waters: Is there consensus? **Progress in Oceanography**: 72(4): 276–312. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.10.007

Brandini, F. P. 1990. Produção primária e características fotossintéticas do fitoplâncton na região sueste do Brasil. **Brazilian Journal of Oceanography**: 38(2): 147–159. https://doi.org/10.1590/S1679-87591990000200004

Brandini, F., Nogueira, M., Simião, M., Carlos Ugaz Codina, J., & Almeida Noernberg, M. 2014. Deep chlorophyll maximum and plankton community response to oceanic bottom intrusions on the continental shelf in the South Brazilian Bight. **Continental Shelf Research**: 89: 61–75. https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.08.002

Buesseler, K. O. 1998. The decoupling of production and particulate export in the surface ocean. **Global Biogeochemical Cycles**: 12(2): 297–310. https://doi.org/10.1029/97GB03366

Buesseler, K. O., Antia, A. N., Chen, M., Fowler, S. W., Gardner, W. D., Gustafsson, O., Harada, K., Michaels, A. F., Rutgers van der Loeff, M., Sarin, M., Steinberg, D. K., & Trull, T. 2007. An assessment of the use of sediment traps for estimating upper ocean particle fluxes. **Journal of Marine Research**: 65(3): 345–416. https://doi.org/10.1357/002224007781567621

Burd, B. J., & Thomson, R. E. 2022. A review of zooplankton and deep carbon fixation contributions to carbon cycling in the dark ocean. **Journal of Marine Systems**: 236(June 2021): 103800. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2022.103800

Cai, P., Chen, W., Dai, M., Wan, Z., Wang, D., Li, Q., Tang, T., & Lv, D. 2008. A high-resolution study of particle export in the southern South China sea based on 234Th:238U disequilibrium. **Journal of Geophysical Research: Oceans**: 113(4): 1–15. https://doi.org/10.1029/2007JC004268

Cavan, E. L., Henson, S. A., Belcher, A., & Sanders, R. 2016. Role of zooplankton in determining the efficiency of the biological carbon pump. **Biogeosciences Discussions**: *June*: 1–25. https://doi.org/10.5194/bg-2016-251

Durkin, C. A., Estapa, M. L., & Buesseler, K. O. 2015. Observations of carbon export by small sinking particles in the upper mesopelagic. **Marine Chemistry**: 175: 72–81. https://doi.org/10.1016/j.marchem.2015.02.011

Durkin, C. A., Van Mooy, B. A. S., Dyhrman, S. T., & Buesseler, K. O. 2016. Sinking phytoplankton associated with carbon flux in the Atlantic Ocean. **Limnology and Oceanography**: 61(4): 1172–1187. https://doi.org/10.1002/lno.10253

Ebersbach, F., & Trull, T. W. 2008. Sinking particle properties from polyacrylamide gels during the KErguelen Ocean and Plateau compared Study (KEOPS): Zooplankton control of carbon export in an area of persistent natural iron inputs in the Southern Ocean. **Limnology and Oceanography**: 53(1): 212–224. https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.1.0212

Estapa, M., Valdes, J., Tradd, K., Sugar, J., Omand, M., & Buesseler, K. 2020. The neutrally buoyant sediment trap: Two decades of progress. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**: 37(6): 957–973. https://doi.org/10.1175/JTECH-D-19-0118.1

Falkowski, P. G., Barber, R. T., & Smetacek, V. 1998. Biogeochemical Controls and Feedbacks on Ocean Primary Production. **Science**: 281(5374): 200–207.

Field, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., & Falkowski, P. 1998. Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. **Science**: 281(5374): 237–240. https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237

Gardner, W. D. 1985. The effect of tilt on sediment trap efficiency. **Deep Sea Research Part A, Oceanographic Research Papers**: 32(3): 349–361. https://doi.org/10.1016/0198-0149(85)90083-4

Gardner, W. D., Jo Richardson, M., Mishonov, A. V., & Biscaye, P. E. 2018. Global comparison of benthic nepheloid layers based on 52 years of nephelometer and transmissometer measurements. **Progress in Oceanography**: 168: 100–111. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.09.008

Giering, S. L. C., Hosking, B., Briggs, N., & Iversen, M. H. 2020. The Interpretation of Particle Size, Shape, and Carbon Flux of Marine Particle Images Is Strongly

Affected by the Choice of Particle Detection Algorithm. **Frontiers in Marine Science**: 7(July). https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00564

Henrichs, S. M. 1992. Early diagenesis of organic matter in marine sediments: progress and perplexity. **Marine Chemistry**: 39: 119–149. https://doi.org/10.1016/0304-4203(92)90098-U

Honjo, S., Manganini, S. J., Krishfield, R. A., & Francois, R. 2008. Particulate organic carbon fluxes to the ocean interior and factors controlling the biological pump: A synthesis of global sediment trap programs since 1983. **Progress in Oceanography**: 76: 217–285. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2007.11.003

Hung, J. J., Chen, C. H., Gong, G. C., Sheu, D. D., & Shiah, F. K. 2003. Distributions, stoichiometric patterns and cross-shelf exports of dissolved organic matter in the East China Sea. **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**: 50(6–7): 1127–1145. https://doi.org/10.1016/S0967-0645(03)00014-6

Hung, J. J., Wang, S. M., & Chen, Y. L. 2007. Biogeochemical controls on distributions and fluxes of dissolved and particulate organic carbon in the Northern South China Sea. **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**: 54(14–15): 1486–1503. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2007.05.006

Jackson, G. A., & Burd, A. B. 2015. Simulating aggregate dynamics in ocean biogeochemical models. **Progress in Oceanography**: 133: 55–65. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.08.014

Jahnke, R. A. 2010. Global Synthesis. In K.-K. Liu, L. Atkinson, R. Quiñones, & L. Talaue-McManus (Eds.), **Carbon and nutrient fluxes in continental margins**. Springer, Berlin. pp. 597–616.

Jokulsdottir, T., & Archer, D. 2016. A stochastic, Lagrangian model of sinking biogenic aggregates in the ocean (SLAMS 1.0): Model formulation, validation and sensitivity. **Geoscientific Model Development**: 9(4): 1455–1476. https://doi.org/10.5194/gmd-9-1455-2016

Kishi, M. J., Okunishi, T., & Yamanaka, Y. 2004. A Comparison of Simulated Particle Fluxes Using NEMURO and Other Ecosystem Models in the Western North Pacific. **Journal of Oceanography**: 60(1): 63–73. https://doi.org/10.1023/B:JOCE.0000038319.89808.ef

Kwon, E. Y., & Primeau, F. 2006. Optimization and sensitivity study of a biogeochemistry ocean model using an implicit solver and in situ phosphate data. **Global Biogeochemical Cycles**: 20(GB4009): 1–13. https://doi.org/10.1029/2005GB002631

Le Moigne, F. A. C., Henson, S. A., Sanders, R. J., & Madsen, E. 2013. Global database of surface ocean particulate organic carbon export fluxes diagnosed from the 234Th technique. **Earth System Science Data**: 5(2): 295–304. https://doi.org/10.5194/essd-5-295-2013

Leblanc, K., Quéguiner, B., Diaz, F., Cornet, V., Michel-Rodriguez, M., Durrieu De Madron, X., Bowler, C., Malviya, S., Thyssen, M., Grégori, G., Rembauville, M., Grosso, O., Poulain, J., De Vargas, C., Pujo-Pay, M., & Conan, P. 2018. Nanoplanktonic diatoms are globally overlooked but play a role in spring blooms and carbon export. **Nature Communications**: 9(1): 1–12. https://doi.org/10.1038/s41467-018-03376-9

Li, D., Chou, W.-C., Shih, Y.-Y., Chen, G.-Y., Chang, Y., Chow, C. H., Lin, T.-Y., & Hung, C.-C. 2018. Elevated particulate organic carbon export flux induced by internal waves in the oligotrophic northern South China Sea. **Scientific Reports**: 8(1): 2042. https://doi.org/10.1038/s41598-018-20184-9

Lins, João Vitor Heberle. 2022. Variação sazonal da composição taxonômica e natureza biogênica do fluxo vertical de material particulado na plataforma externa da Região Sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.

Lui, H. K., Chen, K. Y., Chen, C. T. A., Wang, B. S., Lin, H. L., Ho, S. H., Tseng, C. J., Yang, Y., & Chan, J. W. 2018. Physical forcing-driven productivity and sediment flux to the deep basin of northern South China Sea: A decadal Time Series Study. **Sustainability (Switzerland)**: 10(4). https://doi.org/10.3390/su10040971

Marone, E., Knoppers, B. A., Souza, W. F. L., Silveira, I. C. A., & Godoi, S. S. 2010. The Brazil Current: Physical–Biogeochemical Domains. In K.-K. Liu, L. Atkinson, R. Quiñones, & L. Talaue-McManus (Eds.), **Carbon and nutrient fluxes in continental margins**. Springer, Berlin. pp. 153–171.

Marsay, C. M., Sanders, R. J., Henson, S. A., Pabortsava, K., Achterberg, E. P., & Lampitt, R. S. 2015. Attenuation of sinking particulate organic carbon flux

PÚBLICA

through the mesopelagic ocean. **Proceedings of the National Academy of Sciences**: 112(4): 1089–1094. https://doi.org/10.1073/pnas.1415311112

Martin, A., Boyd, P., Buesseler, K., Cetinic, I., Claustre, H., Giering, S., Henson, S., Irigoien, X., Kriest, I., Memery, L., Robinson, C., Saba, G., Sanders, R., Siegel, D., Villa-Alfageme, M., & Guidi, L. 2020. The oceans' twilight zone must be studied now, before it is too late. **Nature**: 580(7801): 26–28. https://doi.org/10.1038/d41586-020-00915-7

Martin, J. H., Knauer, G. A., Karl, D. M., & Broenkow, W. W. 1987. VERTEX: carbon cycling in the northeast Pacific. **Deep Sea Research Part A, Oceanographic Research Papers**: 34(2): 267–285. https://doi.org/10.1016/0198-0149(87)90086-0

McCave, I. N. 1975. Vertical flux of particles in the ocean. **Deep-Sea Research and Oceanographic Abstracts**: 22(7): 491–502. https://doi.org/10.1016/0011-7471(75)90022-4

McDonnell, A. M. P., Boyd, P. W., & Buesseler, K. O. 2015. Effects of sinking velocities and microbial respiration rates on the attenuation of particulate carbon fluxes through the mesopelagic zone. **Global Biogeochemical Cycles**: 29(2): 175–193. https://doi.org/10.1002/2014GB004935

Nowicki, M., DeVries, T., & Siegel, D. A. 2022. Quantifying the Carbon Export and Sequestration Pathways of the Ocean's Biological Carbon Pump. **Global Biogeochemical Cycles**: 36(3): 1–22. https://doi.org/10.1029/2021GB007083

Owens, S. A., Pike, S., & Buesseler, K. O. 2015. Thorium-234 as a tracer of particle dynamics and upper ocean export in the Atlantic Ocean. **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**: 116: 42–59. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2014.11.010

Pabortsava, K., Lampitt, R. S., Benson, J., Crowe, C., McLachlan, R., Le Moigne, F. A. C., Mark Moore, C., Pebody, C., Provost, P., Rees, A. P., Tilstone, G. H., & Woodward, E. M. S. 2017. Carbon sequestration in the deep Atlantic enhanced by Saharan dust. **Nature Geoscience**: 10(3): 189–194. https://doi.org/10.1038/ngeo2899

Parsons, J. D., Friedrichs, C. T., Traykovski, P. A., Mohrig, D., Imran, J., Syvitski, J. P. M., Parker, G., Puig, P., Buttles, J. L., & Garca, M. H. 2007. The

Mechanics of Marine Sediment Gravity Flows. In **Continental Margin Sedimentation**. Blackwell Publishing Ltd, Oxford. pp. 275–337. https://doi.org/10.1002/9781444304398.ch6

Ransom, B., Kim, D., Kastner, M., & Wainwright, S. 1998. Organic matter preservation on continental slopes: importance of mineralogy and surface area. **Geochimica et Cosmochimica Acta**: 62(8): 1329–1345. https://doi.org/10.1016/S0016-7037(98)00050-7

Sabine, C. L., Feely, R. a, Gruber, N., Key, R. M., Lee, K., Bullister, J. L., Wanninkhof, R., Wong, C. S., Wallace, D. W. R., Tilbrook, B., Millero, F. J., Peng, T.-H., Kozyr, A., Ono, T., & Rios, A. F. 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO2. **Science**: 305(5682): 367–371. https://doi.org/10.1126/science.1097403

Sarmiento, J. L., Hughes, T. M. C., Stouffer, R. J., & Manabe, S. 1998. Simulated response of the ocean carbon cycle to anthropogenic climate warming. **Nature**: 393(6682): 245–249. https://doi.org/10.1038/30455

Shih, Y. Y., Lin, H. H., Li, D., Hsieh, H. H., Hung, C. C., & Chen, C. T. A. 2019. Elevated carbon flux in deep waters of the South China Sea. **Scientific Reports**: 9(1): 1–8. https://doi.org/10.1038/s41598-018-37726-w

Shih, Y., Hung, C., Tuo, S., Shao, H., Chow, C. H., Muller, F. L. L., & Cai, Y. 2020. The Impact of Eddies on Nutrient Supply, Diatom Biomass and Carbon Export in the Northern South China Sea. **Frontiers in Earth Science**: 8(December): 1–17. https://doi.org/10.3389/feart.2020.537332

Siegel, D. A., Buesseler, K. O., Behrenfeld, M. J., Benitez-Nelson, C. R., Boss, E., Brzezinski, M. A., Burd, A., Carlson, C. A., D'Asaro, E. A., Doney, S. C., Perry, M. J., Stanley, R. H. R., & Steinberg, D. K. 2016. Prediction of the Export and Fate of Global Ocean Net Primary Production: The EXPORTS Science Plan. **Frontiers in Marine Science**: 3(March): 1–10. https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00022

Siegenthaler, U., & Sarmiento, J. L. 1993. Atmospheric carbon dioxide and the ocean. **Nature**: 365(6442): 119–125. https://doi.org/10.1038/365119a0

Silveira, I. . C. A., Napolitano, D. C., & Farias, I. U. 2020. Water Masses and Oceanic Circulation of the Brazilian Continental Margin and Adjacent Abyssal

Plain. In P. Y. G. Sumida, A. F. Bernardino, & F. C. De Léo (Eds.), **Brazilian Deep-Sea Biodiversity**. Springer. pp. 7–36.

Simpson, J. H., & Sharples, J. 2012. **Introduction to the physical and biological oceanography of shelf seas**. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 424

Thomalla, S., Turnewitsch, R., Lucas, M., & Poulton, A. 2006. Particulate organic carbon export from the North and South Atlantic gyres: The 234Th/238U disequilibrium approach. **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**: 53(14–16): 1629–1648. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2006.05.018

Tréguer, P., Bowler, C., Moriceau, B., Dutkiewicz, S., Gehlen, M., Aumont, O., Bittner, L., Dugdale, R., Finkel, Z., Iudicone, D., Jahn, O., Guidi, L., Lasbleiz, M., Leblanc, K., Levy, M., & Pondaven, P. 2018. Influence of diatom diversity on the ocean biological carbon pump. **Nature Geoscience**: 11(1): 27–37. https://doi.org/10.1038/s41561-017-0028-x

Tura, P. M., & Brandini, F. P. 2020. Nutrients and particulate organic matter dynamics in the outer-shelf of the South Brazil Bight: Two distinct scenarios during summer 2013. **Regional Studies in Marine Science**: 37: 101345. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101345

Tura, P. M., Pilskaln, C. H., & Brandini, F. P. 2021. A first assessment of particle flux over the South Brazil Bight continental slope. **Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**: 178(October): 103643. https://doi.org/10.1016/j.dsr.2021.103643

Turner, J. T. 2015. Zooplankton fecal pellets, marine snow, phytodetritus and the ocean's biological pump. **Progress in Oceanography**: 130: 205–248. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.08.005

Volk, T., & Hoffert, M. I. 1985. Ocean Carbon Pumps: Analysis of Relative Strengths and Efficiencies in Ocean-Driven Atmospheric CO 2 Changes. In E. T. Sundquist & W. S. Broecker (Eds.), **The Carbon Cycle and Atmospheric CO2: Natural Variations Archean to Present**. American Geophysical Union, Geophysical Monograph. pp. 99–110. https://doi.org/10.1029/GM032p0099

Wakeham, S., & Lee, C. 1993. Production, Transport and Alteration of Particulate Organic Matter in the Marine Water Column. In M. H. Engel & S. A. Macko

(Eds.), *Organic Geochemistry* (pp. 145–169). Plenum Press. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2890-6

Walsh, J. J. 1991. Importance of continental margins in the marine biogeochemical cycling of carbon and nitrogen. **Nature**: 350: 53–55. https://doi.org/10.1038/350053a0

Walsh, J. J., Biscaye, P. E., & Csanady, G. T. 1988. The 1983–1984 shelf edge exchange processes (SEEP)—I experiment: hypotheses and highlights. **Continental Shelf Research**: 8(5–7): 435–456. https://doi.org/10.1016/0278-4343(88)90063-5

Zhou, K., Dai, M., Kao, S. J., Wang, L., Xiu, P., Chai, F., Tian, J., & Liu, Y. 2013. Apparent enhancement of 234Th-based particle export associated with anticyclonic eddies. **Earth and Planetary Science Letters**: 381: 198–209. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.07.039

X.6 Equipe Técnica

Nomes	Formação	Atuação
Pedro Marone Tura	Oceanógrafo Doutor em Oceanografia Biológica	Coordenação do subprojeto Bolsista Pós Doc: coleta de campo, análises laboratoriais, processamento de dados, levantamento bibliográfico
João Vitor Heberle Lins	Oceanógrafo Mestre em Oceanografia Biológica	Bolsista de Mestrado: análises laboratoriais, processamento de dados, levantamento bibliográfico
Frederico Pereira Brandini	Biólogo Doutor em Oceanografia Biológica	Coordenação geral

PÚBLICA

XI. Sensoriamento Remoto - Caracterização bio-óptica e radiométrica in situ e meteoceanográfica por satélite

XI.1 Caracterização bio-óptica e avaliação dos produtos de sensoriamento remoto da cor do oceano

XI.1.1 Introdução

O sensoriamento remoto dos oceanos está se tornando uma ferramenta cada vez mais eficaz e indispensável para a caracterização e o monitoramento das águas superficiais do mar, com uma constelação de sensores a bordo de satélites ambientais de diversas agências espaciais. Dentre estes se destacam os satélites do programa operacional da *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA) *Joint Polar Satellite System* (JPSS) (noaa.nesdis.gov) com o sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) e os satélites do Programa Copernicus (www.copernicus.eu) da União Européia, com o Sentinel-3 dedicado ao oceano. Os campos superficiais de vento, altimetria, temperatura e cor do oceano, permitem analisar os padrões espaço-temporais dos processos que imprimem feições na superfície do oceano, colaborando com o entendimento destes processos e o acompanhamento de mudanças em séries históricas. Estes produtos também são essenciais para a assimilação e validação de modelos numéricos que colaboram com a compreensão dos processos e a previsão de cenários futuros, essencial para guiar as tomadas de decisões para o enfrentamento e adaptações às mudanças ambientais e antropogênicas.

O sensoriamento remoto da cor do oceano é empregado para estudar as propriedades ópticas e biogeoquímicas da superfície do mar. As propriedades ópticas que modulam o campo de luz subaquático são os coeficientes de absorção e espalhamento da luz pelas moléculas de água, fitoplâncton, matéria orgânica colorida dissolvida (CDOM, do inglês *Colored Dissolved Organic Matter*), e as partículas não-algais (detritos e sedimentos inorgânicos em suspensão). Estas propriedades estão intrinsecamente ligadas a propriedades biogeoquímicas como a biomassa e o tamanho das células fitoplanctônicas, concentração e origem do CDOM, detritos e sedimentos em suspensão. A

PÚBLICA

caracterização bio-óptica das águas superficiais permite a descrição do estado atual e dos principais processos que governam a distribuição espaço-temporal dos constituintes ópticos e propriedades biogeoquímicas associadas. Desta forma, contribui para a compreensão dos ciclos biogeoquímicos no oceano, principalmente do carbono, e para o entendimento sobre os fatores que influenciam o campo de luz subaquático. A caracterização bio-óptica também permite avaliar o desempenho de produtos de cor do oceano estimados por modelos bio-ópticos aplicados a dados de sensores orbitais, úteis para o monitoramento oceânico por satélite (Groom et al., 2019). Esta sessão apresentará os resultados da caracterização bio-óptica do sistema pelágico da Bacia de Santos com vistas à compreensão da distribuição das propriedades e dos principais processos que governam essa distribuição, e a validação de produtos de sensoriamento remoto da cor do oceano dos principais sensores a bordo de programas operacionais.

XI.1.2 Material e Métodos

XI.1.2.1 Constituintes opticamente ativos

As propriedades bio-ópticas foram analisadas nas profundidades de superfície (SUP) e do máximo subsuperficial de concentração de clorofila-*a* (PMC), nas 60 estações amostradas nos cruzeiros de 2019 (inverno-primavera) e 2021-22 (verão). Os coeficientes de absorção da luz do material particulado (a_p) e das respectivas frações de fitoplâncton (a_{ph}) e detritos (a_d) foram determinados segundo Tassan e Ferrari (1995, 2002), com a filtração de 0,5-2 L de amostras de água em filtros de GF/F (0,7 µm) e armazenados em ultrafreezer (-80°C) até a análise em laboratório. As medidas espectrais de a_p, a_d e a_{ph} (200-800 nm), foram realizadas com espectrofotômetro de feixe duplo (Shimadzu UV-2450) equipado com esfera integradora. Para a determinação do coeficiente de absorção da matéria orgânica dissolvida colorida (a_{cdom}) foram filtradas 250 mL de amostras de água, utilizando filtros de membrana Nucleopore (0,2 µm) (na campanha 2019) e filtro encapsulado Polycap 75 AS Whatman (0,2 µm) diretamente nas garrafas de amostragem (na campanha de 2021/22), e posteriormente armazenadas em frascos de vidro mantidos refrigerados no

escuro até a análise em laboratório. O a_{cdom} (200-800 nm) foi determinado segundo Mitchell et al. (2002) com espectrofotômetro e cubeta de 10 cm. O parâmetro de decaimento espectral da absorção de luz do CDOM com o aumento do comprimento de onda (S_{cdom}) foi determinado a partir de um ajuste exponencial no intervalo de 240-700 nm, retirando intervalos com feições de outras substâncias coloridas dissolvidas (e.g. Aminoácidos tipo Microsporina – MAAs, entre 320-380 nm) quando presentes (Massicotte e Markager, 2016). Este parâmetro pode indicar a origem alóctone ou autóctone e o estado de degradação do CDOM em regiões costeiras e oceânicas (Helms et al., 2008).

XI.1.2.2 Propriedades ópticas aparentes

A profundidade da zona eufótica foi estimada a partir da estimativa do coeficiente de atenuação difuso (K_d), calculado a partir da profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (Z_d), de acordo com Poole e Atkins (1929) ($1{,}70/Z_d$). A profundidade da zona eufótica (Z_{eu}) foi aqui definida como a profundidade equivalente a 1% da irradiância superficial ($4{,}6/K_d$). Outro parâmetro importante para o sensoriamento remoto é a primeira profundidade óptica (Z_{90}), pois cerca de 90% da radiância ascendente do oceano é proveniente dessa camada. A Z_{90} pode ser estimada a partir da Z_{eu}, de acordo com Morel (1988).

Em cada uma das estações amostrais também foram obtidas medidas radiométricas acima-da-água com espectrorradiômetro ASD FieldSpec Hand Held Pro para determinação da reflectância de sensoriamento remoto acima da água (R_{rs}) segundo os protocolos de Mueller et al. (2003), Mobley (1999) e recomendações de Rudorff et al. (2014).

XI.1.2.3 Avaliação dos produtos de sensoriamento remoto da cor do oceano

Os produtos de satélite de cor do oceano foram obtidos dos sensores: (i) *Visible Imaging Infrared Radiometer* (VIIRS) abordo das plataformas S-NPP e NOAA-20 (JPSS-1); (ii) *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo da plataforma Aqua (NASA) e (iii) *Ocean and Land Colour Instrument* (OLCI) a bordo do Sentinel-3A (ESA/Copernicus). Foram analisados os produtos dos algoritmos padrões de correção atmosférica para a determinação da: (i) R_{rs} e razão de bandas; (ii) dos modelos empíricos OCi (Hu

et al., 2012) e OC3 (O'Reilly and Werdell, 2019) e do modelo semi-analítico *Generalized Inherent Optical Properties* (GIOP) (Werdell et al., 2013), para a determinação da concentração de clorofila-*a* (Cla) e os coeficientes de absorção de luz. Os dados foram extraídos de uma janela espacial de 3 x 3 pixels centralizada em cada estação amostral, para o mesmo dia da coleta e ± 1 dia, utilizando o valor médio da janela. Foram extraídos dados somente de janelas com ao menos 5 pixels válidos e com coeficiente de variação menor que 30%, considerando a aquisição mais próxima ao horário de coleta. As análises da reflectância não consideraram o critério do coeficiente de variação. As análises comparativas entre as medidas in situ e as estimativas por satélite foram baseadas em métricas estatísticas como o coeficiente de correlação de Pearson (R), o coeficiente de determinação (R^2), o erro médio quadrático (EMQ), e o erro médio absoluto (EMA), em escala logarítmica, já que os parâmetros não apresentaram distribuições normais e seguindo recomendações de Seegers et al. (2018), com exceção do EMQ, que foi calculado sem ser na escala logarítmica.

XI.1.3 Resultados e Discussão

XI.1.3.1 Caracterização bio-óptica

A partir dos dados obtidos (Tabela XI.1.3.1-1) e imagens termais de satélite (Figura XI.1.3.1-1a), é possível observar um padrão típico de inverno durante a campanha de 2019, com águas frias vindas de sul sobre a plataforma continental (Brandini et al., 2018). Na campanha de 2021/22 (Figura XI.1.3.1-1b), observa-se um padrão típico de verão, com temperaturas da superfície do mar (TSM) mais quentes (>26°C) e a ocorrência de eventos de ressurgência como em Cabo Frio, RJ. Daqui em diante, as campanhas serão referenciadas como de inverno (2019) ou verão (2021/22).

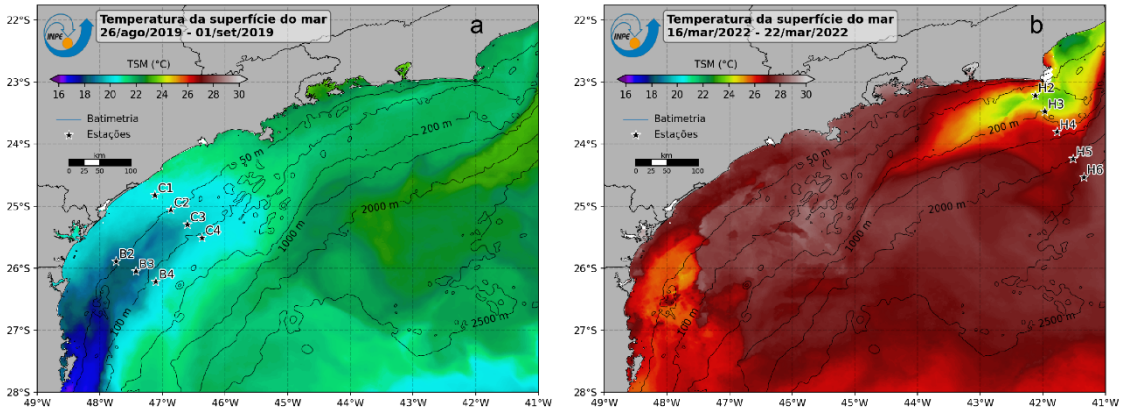


Figura XI.1.3.1-1: *Temperatura da superfície do mar (GOES-16) (a) na campanha de 2019 (inverno) e (b) campanha de 2021/22 (verão).*

A Z_{eu} indica como a luz interage na coluna de água, sendo importante porque os produtores primários dos quais dependem grande parte da cadeia alimentar marinha, aí se concentram. Outra camada superficial oceânica importante para entender os processos que regulam a distribuição vertical e horizontal dos constituintes ópticos na água do mar é a camada de mistura, aqui indexada por sua profundidade (Z_m). A partir dos dados obtidos, a Z_{eu} foi ligeiramente mais profunda durante a campanha de verão (média de 37 m, variando de 19 a 67 m) (Figura XI.1.3.1-3d) do que na de inverno (média de 32 m, variando entre 16 e 62 m) (Figura XI.1.3.1-2d). A Z_m foi ligeiramente mais rasa no verão (média de 12 m, variando de 3 a 32 m) do que no inverno (média 15 m, variando de 4 a 51 m). Para o talude e região oceânica, as diferenças foram mais notáveis e inversas para a Z_{eu}, sendo mais profunda no inverno (19 a 73 m) e mais rasa no verão (24 a 54 m). A Z_m esteve mais profunda no inverno (14 a 184 m) e mais rasa no verão (13 a 57 m). Essa diminuição da Z_m durante o verão está relacionada à maior estratificação da coluna de água nesse período de maior irradiância solar e aquecimento superficial.

PÚBLICA

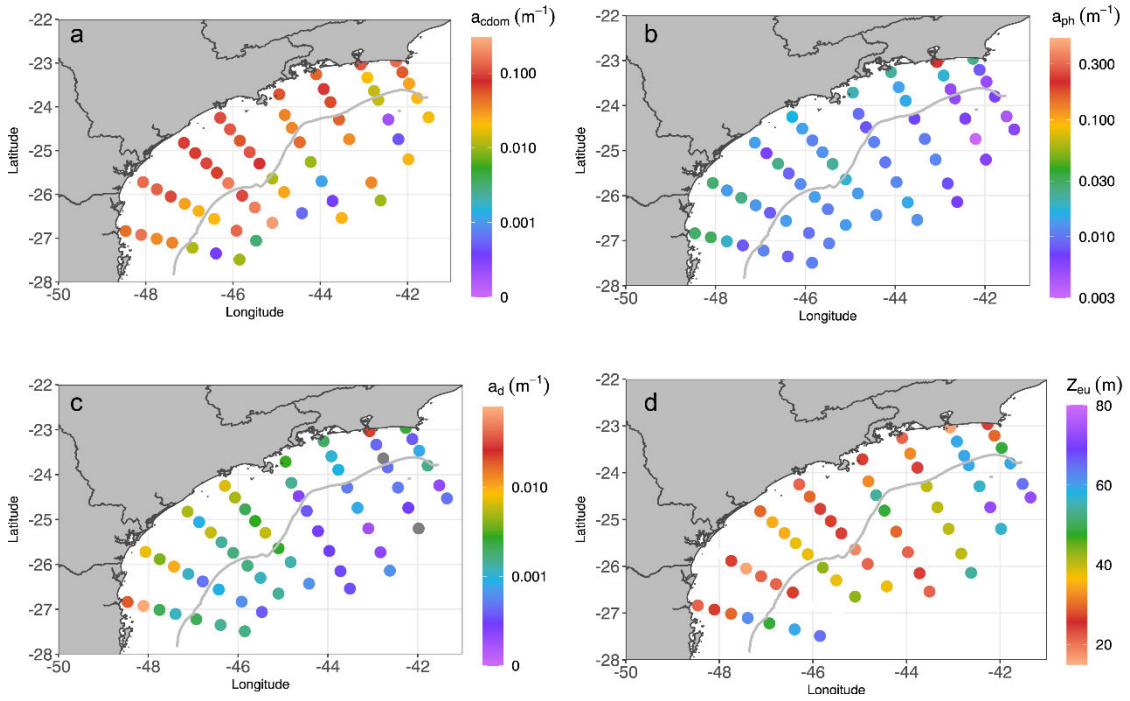


Figura XI.1.3.1-2: *Distribuição em superfície, na campanha de 2019, dos coeficientes de absorção de luz em 443 nm por (A) CDOM (a_{cdom}); (B) fitoplâncton (a_{ph}); (C) detritos (a_d); (D) profundidade da zona eufótica (Z_{eu}). Isóbata de 200m indicada pela linha cinza sólida.*

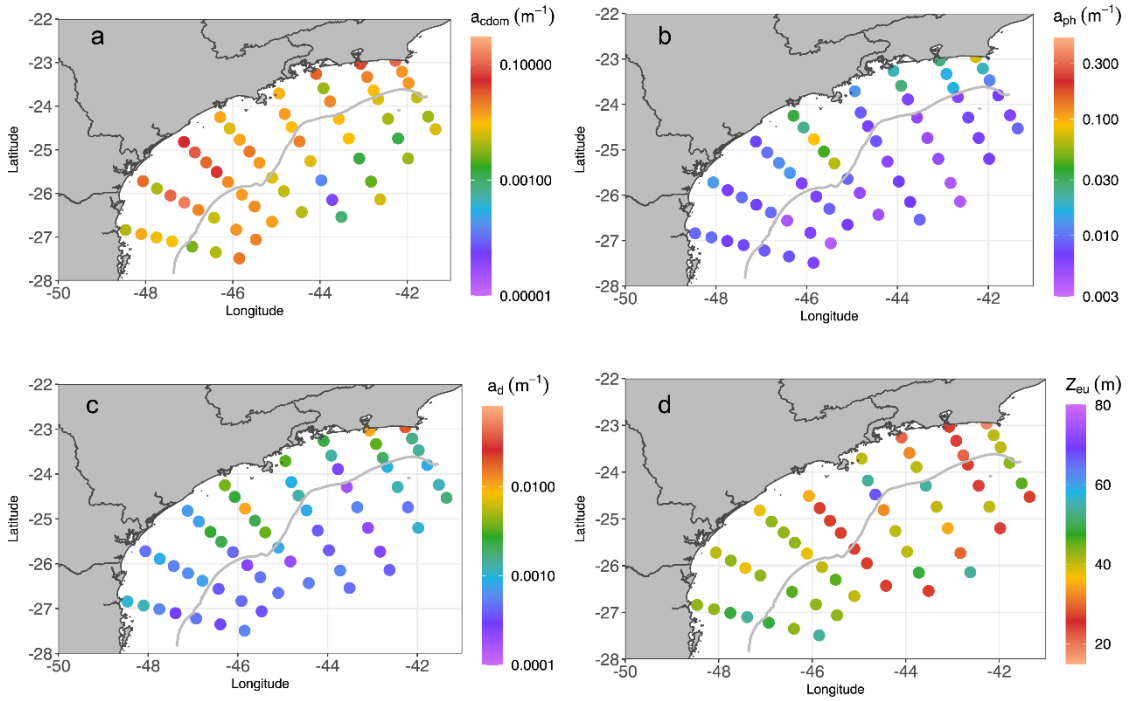


Figura XI.1.3.1-3*: Distribuição em superfície, na campanha de 2021/22, dos coeficientes de absorção de luz em 443 nm por (A) CDOM (a_{cdom}); (B) fitoplâncton (a_{ph}); (C) detritos (a_d); (D) profundidade da zona eufótica (Z_{eu}). Isóbata de 200m indicada pela linha cinza sólida.*

PÚBLICA

A razão entre a Z_m e a Z_{eu} é usada como um índice de disponibilidade de luz na camada de mistura. No talude em 2019, a Z_m/Z_{eu} variou de 0,2 a 8,4, com média de 2,05. Entretanto, essa maior variação pode estar relacionada à maior profundidade da camada de mistura no inverno. No talude em 2021/22, a razão Z_m/Z_{eu} variou de 0,3 a 2,3, com média de 0,78. A primeira profundidade óptica (Z_{90}) variou de 3,53 a 8,28 m (média de 8,27 m), no inverno e de 4,12 a 14,71 m (média de 8,31 m), no verão. De modo geral, as profundidades do máximo subsuperficial de clorofila foram maiores que Z_{90}, com exceção da estação H3 na campanha de verão (PMC 3,0 m e Z_{90} 8,8 m).

De modo geral, os coeficientes de absorção de luz pelos constituintes ópticamente ativos (COAs) foram maiores na plataforma continental do que no talude e região oceânica. No inverno, as médias de $a_{ph}(443)$ (0,0225±0,0380 m^{-1}) e $a_{cdom}(443)$ (0,0763±0,0433 m^{-1}), na plataforma, foram o dobro dos valores observados no talude ($a_{ph}(443)$ = 0,0100±0,0036 m^{-1}, $a_{cdom}(443)$ = 0,0366±0,0572 m^{-1}). Para o coeficiente de absorção de luz dos detritos em 443 nm, o valor médio foi sete vezes superior na plataforma do que no talude. No entanto, aqui cabe destacar que na estação G1, próxima à entrada da Baía de Guanabara, RJ, os valores de $a_{ph}(443)$ e $a_d(443)$ foram bem maiores que nas demais estações. Por exemplo, a_{ph} (443) de 0,22 m^{-1} em G1 é uma ordem de grandeza maior que o valor médio (Figura XI.1.3.1-6e). No verão, essa diferença também foi observada, com diferenças ainda maiores entre a plataforma e o talude. A média do $a_{cdom}(443)$ na plataforma foi quatro vezes superior do que no talude e região oceânica. As média do $a_{ph}(443)$ e $a_d(443)$ foram 3 e 4 vezes maiores na plataforma que no talude, respectivamente (Tabela XI.1.3.1-1).

Comparando os períodos amostrais, observa-se que os valores no inverno foram mais elevados do que no verão, tanto na plataforma como no talude, em superfície (Tabela XI.1.3.1-1). A diferença do a_{cdom} é a mais notável principalmente na região do talude, onde a média do $a_{cdom}(443)$ foi cerca de quatro vezes superior no inverno (0,0366 m^{-1}) do que no verão (0,0079 m^{-1}).

O coeficiente de absorção de luz pelo fitoplâncton apresentou uma relação linear significativa com a concentração de clorofila-*a* (R, 0,98), como esperado de acordo com Bricaud et al. (1998, 2010) e Ferreira et al. (2017). O $a_{ph}(443)$ normalizado pela Cla ($a_{ph}(443)^*$) pode indicar o grupo dominante de fitoplâncton

PÚBLICA

segundo a classe de tamanho. Isso se deve ao efeito de sombreamento intracelular dos pigmentos ou efeito de empacotamento (Ciotti et al., 2002; Bricaud et al., 2004). Na campanha de inverno, os valores de $a_{ph}(443)^*$ foram menores que no verão, tanto na plataforma (0,04 mgCla.m^{-2} versus 0,07 mgCla.m^{-2}), como no talude (0,04 mgCla.m^{-2} versus 0,10 mgCla.m^{-2}). Isso indica um padrão geral de dominância de células maiores (de nano e microplâncton) na Bacia de Santos no inverno e células menores (nano e picofitoplâncton) no verão. Esse padrão já foi reportado na literatura, com exceção das zonas sob influência de ressurgência costeira onde a entrada de nutrientes novos promove a floração de grupos de células maiores (e.g., diatomáceas) na primavera-verão (Aidar et al., 1993; Brandini et al., 2014; Brandini et al., 2018). Esse contraste de aumento da dominância de grupos menores de picoplâncton, devido à maior estratificação (menor Z_m) e influência da Água Tropical transportada pela Corrente do Brasil, com zonas de ressurgência costeira e florações fitoplanctônicas dominadas por grupos de células maiores, reflete a alta variabilidade do $a_{ph}(443)^*$ encontrado no verão em toda a Bacia de Santos (0,027-0,27 mgCla.m^{-2}). Um estudo na região da plataforma interna ao largo de Ubatuba, SP, também indicou uma alta variabilidade no tamanho das células dominantes de acordo com os processos oceanográficos atuantes na região e período de estudo (Oliveira et al., 2021).

Tabela XI.1.3.1-1: *Valores mínimos, máximos, médios e desvios padrões (DP) dos constituintes opticamente ativos medidos na campanha de 2019 (inverno) e 2021/22 (verão), no domínio de plataforma (até 200 m), em superfície.*

Campanha 2019								
	Plataforma Continental (<200m)				Talude e região oceânica (>200m)			
	Média	Min.	Máx.	DP	Média	Min.	Máx.	DP
Cla (mg. m^{-3})	0,580	0,084	4,931	0,865	0,228	0,074	0,451	0,101
a_{ph} (443) (m^{-1})	0,0225	0,0052	0,2234	0,0380	0,0100	0,0032	0,0179	0,0036
$a_d(443)$ (m^{-1})	0,0062	0,0000	0,0732	0,0135	0,0008	0,0000	0,0027	0,0007
$a_{cdom}(443)$ (m^{-1})	0,0763	0,0133	0,1686	0,0433	0,0366	0,0001	0,2377	0,0572
S_{cdom} (nm^{-1})	0,0220	0,0156	0,0342	0,0044	0,0292	0,0175	0,0391	0,0054
a_{ph}^*(m².mgCla)	0,0443	0,0179	0,1027	0,0164	0,0462	0,0306	0,0681	0,0094

(continuação Tabela XI.1.3.1-1)

Campanha 2021/2022 (Verão)								
	Plataforma Continental (<200)				Talude e área oceânica (>200m)			
	Média	Min.	Máx.	DP	Média	Min.	Máx.	DP
Cla (mg. m^{-3})	0,376	0,039	2,149	0,520	0,078	0,026	0,155	0,037
a_{ph} (443) (m^{-1})	0,0203	0,0063	0,0908	0,0208	0,0065	0,0040	0,0090	0,0015
a_d(443) (m^{-1})	0,0027	0,0003	0,0194	0,0039	0,0006	0,0002	0,0018	0,0004
a_{cdom}(443) (m^{-1})	0,0305	0,0037	0,1425	0,0345	0,0079	0,0000	0,0236	0,0068
S_{cdom} (nm^{-1})	0,0256	0,0158	0,0463	0,0064	0,0308	0,0223	0,0564	0,0073
a_{ph}^*(m^2.mgCla)	0,0735	0,0274	0,1635	0,0357	0,0977	0,0516	0,2720	0,0470

O parâmetro de decaimento espectral do CDOM (S_{cdom}) variou de 0,016 a 0,05 nm^{-1} em toda a área de estudo, nos dois períodos amostrais, com um valor médio próximo a 0,03 nm^{-1} (Tabela XI.1.3.1-1). Estes valores concordam com trabalhos anteriores reportados para a Bacia de Santos (Carvalho et al., 2014; Ferreira et al., 2014; Gonçalves-Araujo et al., 2019) e em outras regiões costeiras com influência de fontes alóctones (de descarga continental) e autóctones (produção marinha) de CDOM (Blough e Del Vecchio, 2002). A plataforma continental apresentou valores de S_{cdom} menores que o talude e região oceânica, principalmente no inverno e no setor sul da Bacia de Santos, sob influência das águas vindas de sul (pluma do Rio da Prata e Lagoa dos Patos). O S_{cdom} apresentou uma relação inversa com o a_{cdom}(443) (R -0,78) e positiva com a salinidade (R 0,62), sendo um bom indicador das massas d'água dominantes na região. Os menores valores são observados nas águas costeiras sob influência de aportes continentais e valores mais elevados são observados em águas da plataforma externa, talude e região oceânica, como salinidades > 36 psu (Figura XI.1.3.1-4 e Figura XI.1.3.1-5). Além de indicar as possíveis fontes/origem do CDOM, este parâmetro espectral S_{cdom} também pode indicar o estado de degradação do CDOM. Valores mais elevados encontrados tanto na plataforma como no talude, principalmente no verão (> 0,03 nm^{-1}) podem estar relacionados à fotodegradação do CDOM devido a processos hidrodinâmicos regionais, com o maior tempo de residência da água superficial e maior exposição do CDOM à luz solar, já reportado em trabalhos anteriores na região (Gonçalves-Araujo et al., 2019).

As medidas de reflectância de sensoriamento remoto acima-da-água na plataforma continental durante o inverno (Figura XI.1.3.1-6 g) apresentaram espectros indicando maior presença de COAs que absorvem nos comprimentos de onda do azul (400-500 nm), como o CDOM e os pigmentos fitoplanctônicos (Tabela XI.1.3.1-1 e Figura XI.1.3.1-6a a f). Alguns espectros de R_{rs} também apresentaram valores mais elevados entre 500-570 nm indicando a presença de sedimentos em suspensão, nas estações mais costeiras do transecto D (ao largo do estuário de Santos, SP) e F (Baía de Sepetiba, RJ). Já na campanha de inverno, os espectros de R_{rs} indicaram a presença de águas com menor concentração dos COAs, tanto na plataforma como no talude, com maior R_{rs} nos comprimentos de onda do azul (Figura XI.1.3.1-6g a p).

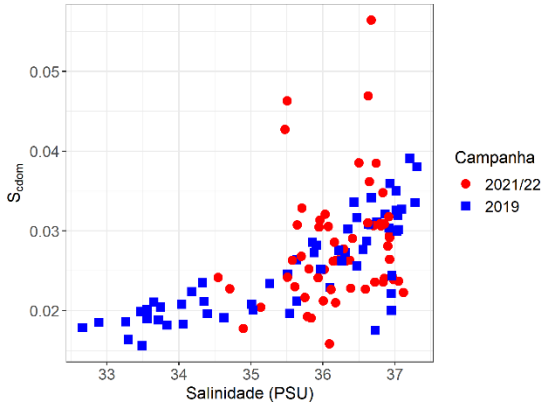


***Figura XI.1.3.1-4**: Comparação entre a salinidade superficial e S_{cdom} nas campanhas de 2019 e 2021/22.*

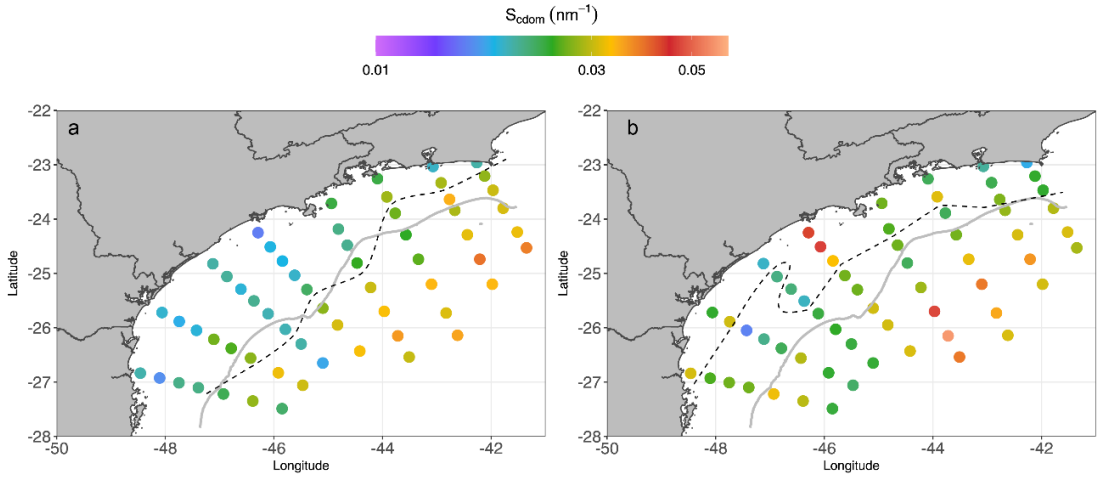


***Figura XI.1.3.1-5:** Distribuição do S_{cdom} nas campanhas de (a) 2019 e (b) 2021/22. A linha preta tracejada representa de forma aproximada a isohalina de 36 psu; isóbata de 200m indicada pela linha cinza sólida.*

PÚBLICA

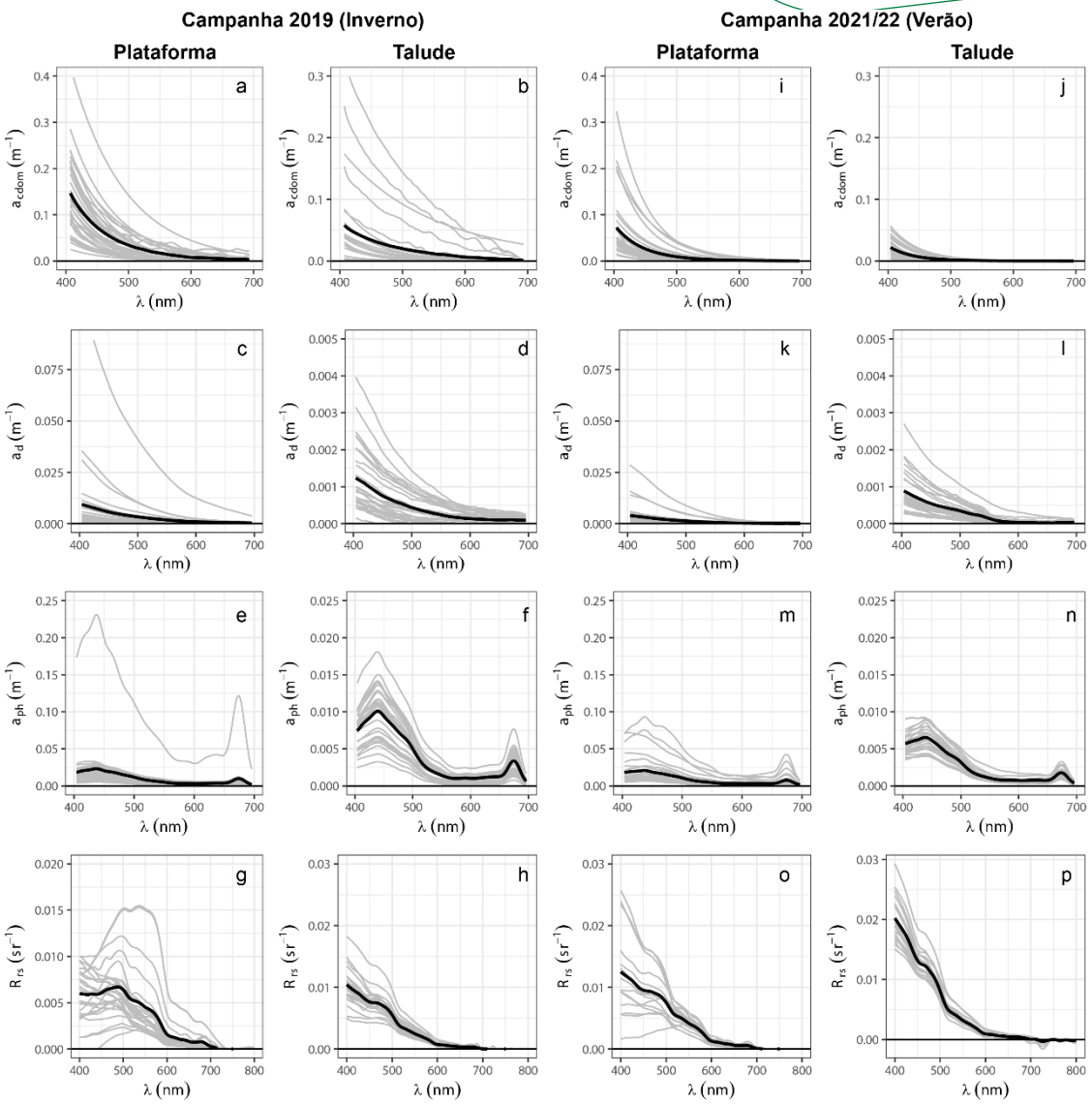


***Figura XI.1.3.1-6**: Espectros dos coeficientes de absorção de luz em superfície pelos constituintes opticamente ativos (a-n) e reflectância de sensoriamento remoto in situ acima-da-superfície-da-água (g-p). Campanha de 2019 (a-h) e 2021/22 (i-p). A linha preta sólida representa o valor médio, as linhas cinzas representam as medidas médias de cada estação.*

Na campanha de inverno, foi observada uma dominância do coeficiente de absorção de luz pelo CDOM, tanto na plataforma como no talude e região oceânica (Figura XI.1.3.1-7a e c, Figura XI.1.3.1-2a). O a_{cdom} foi o constituinte opticamente ativo dominante em 78% das estações em superfície e 64% na PMC, nos comprimentos de onda do azul. Em superfície, o a_{cdom} foi dominante em 93% das estações na plataforma continental e em 61% das estações no talude. Na PMC, o a_{cdom} foi dominante em 68% das estações na plataforma e

PÚBLICA

60% no talude. Os detritos não foram expressivos na maioria das estações, mas nota-se sua ocorrência nas estações da plataforma continental ao sul da Bacia de Santos (Figura XI.1.3.1-2c), nos transectos A, B, C e D, assim como, próximo a entrada da Baía da Guanabara, RJ.

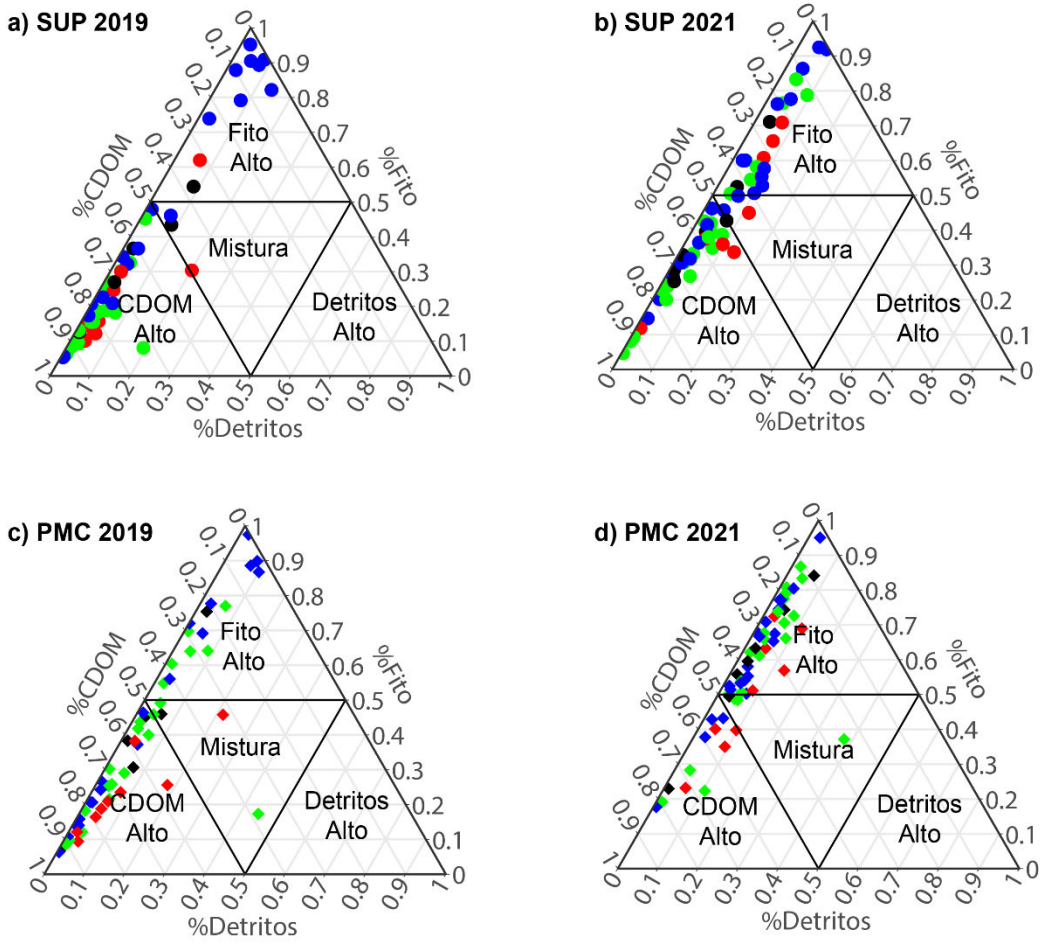


Figura XI.1.3.1-7: *Diagramas ternários das proporções de absorção da luz em 443 nm dos constituintes opticamente ativos: fitoplâncton (Fito), CDOM e detritos. A cor vermelha representa as estações em profundidades da plataforma interna (<50m), verde plataforma externa (50-200m), preto talude (200 – 1000m) e azul região oceânica adjacente (>1000m).*

Na campanha de verão, o CDOM foi dominante em 57% das estações em superfície (Figura XI.1.3.1-3a, Figura XI.1.3.1-7b) e em 20% das estações na PMC (Figura XI.1.3.1-7d). No verão, o fitoplâncton teve uma importância relativa maior se comparada ao inverno, dominando em 38% das estações em superfície (Figura XI.1.3.1-3b) e 73% na PMC (Figura XI.1.3.1-7d). Em superfície, o a_{cdom} foi dominante em 65% das estações na plataforma, com o a_{ph} dominando em

PÚBLICA

32%. O domínio pelo a_{cdom} foi relativamente menor nas estações do talude e região oceânica, dominando em 45% dessas estações, enquanto o a_{ph} foi dominante em 44% dessas estações. A absorção de luz por detritos também não foi muito expressiva no verão, com proporções relativamente maiores na entrada da Baía de Guanabara (G1) e próximo a Cabo Frio (H1) (Figura XI.1.3.1-3c).

Na PMC, o a_{cdom} foi dominante em apenas 23% das estações na plataforma, e em 17% no talude (Figura XI.1.3.1-7d). O a_{ph} foi dominante em 68% e 79% das estações na plataforma e no talude, respectivamente. Essa diferença marcante entre os constituintes dominantes no verão e no inverno, pode ser associada aos diferentes processos oceanográficos atuantes em cada período amostral. No inverno, foi observada a presença de uma massa de água mais fria vinda de sul, relacionada a águas costeiras da Patagônia Argentina e plumas do Rio da Prata, Lagoa dos Patos e estuários locais. O a_{cdom} foi dominante tanto na plataforma quanto no talude, em superfície e em uma parcela importante da PMC. No verão, sem a influência desta massa de água vinda de sul, os coeficientes de absorção foram em geral, mais baixos do que no inverno. Porém, a dominância pelo a_{ph} foi relativamente maior, que pode estar relacionado a uma redução no aporte de CDOM continental (alóctone) a à degradação desse material pela maior radiação solar e tempo de residência das águas superficiais (Gonçalves-Araujo et al., 2019). Eventos de ressurgência costeira que enriquecem com nutrientes a zona eufótica, promovendo aumento de biomassa fitoplanctônica, também podem influenciar no aumento relativo de dominância pelo a_{ph}, no verão.

A dominância do a_{cdom} em superfície também foi observada na Bacia Sergipe-Alagoas, com valores de $a_{cdom}(443)$ ainda mais expressivos, com média de 0,146 m^{-1} na plataforma continental e 0,136 m^{-1} no talude (Kampel et al., 2019). Este padrão foi relacionado à maior contribuição do aporte continental oriundo de rios de pequeno e médio porte naquela região, como o Rio São Francisco. O S_{cdom} reportado na Bacia Sergipe-Alagoas, apresentou valor médio na plataforma e no talude menor que 0,011 nm^{-1} (Kampel et al., 2019), valores mais baixos do que os obtidos aqui para a Bacia de Santos (> 0,02 nm^{-1}), indicando que a fonte de CDOM na Bacia de Sergipe-Alagoas passou por menor influência da fotodegradação, com maior contribuição de fontes continentais (fluviais). As principais fonte de CDOM para a Bacia de Santos seriam

autóctones (marinhas). Essas diferenças regionais podem também, estar relacionadas à uma plataforma mais estreita na Bacia de Sergipe-Alagoas, com uma menor distância entre as desembocaduras dos rios e estuários e a região costeira, talude e região oceânica adjacente. Este fator pode contribuir com uma redução do efeito de fotodegradação do CDOM. O a_d também foi mais expressivo na plataforma continental da Bacia de Sergipe-Alagoas, com média de 0,149 m^{-1}. Isto reforça a relevância da contribuição do aporte continental, a influência da ação de ventos e ondas na ressuspensão desse material (Kampel et al., 2019). Na Bacia de Santos, o valor máximo obtido para a_d foi de 0,073 m^{-1} (Tabela XI.1.3.1.-1). Os valores médios de a_{ph} também foram mais elevados na Bacia de Sergipe-Alagoas, com média de 0,065 m^{-1} (plataforma no inverno) e 0,038 m^{-1} (plataforma no verão), e média de 0,02 m^{-1} (talude no inverno) e 0,012 m^{-1} (talude no verão) (Kampel et al., 2019). Na Bacia de Santos, os valores médios na plataforma foram de 0,022 m^{-1} (inverno) e 0,020 m^{-1} (verão) e no talude 0,01 m^{-1} (inverno) e 0,006 m^{-1} (verão) (Tabela XI.1.3.1-1). A maior contribuição relativa pelo fitoplâncton observada na Bacia de Sergipe-Alagoas pode também estar relacionada ao aporte de nutrientes provenientes das fontes fluviais.

XI.1.3.1.1 Aminoácidos do tipo microsporina (MAAS)

Em ambas as campanhas amostrais foram observadas nos espectros de absorção da luz pelo CDOM, feições de aumento acentuado de absorção na faixa do ultravioleta (UV), com pico entre 320-330 nm (Figura XI.1.3.1-8a). Este pico de absorção no UV indica a presença de aminoácidos do tipo microsporina (*Mycrosporine-like Aminoacids*, MAAs). As MAAs atuam como pigmentos fotoprotetores em alguns grupos fitoplanctônicos, como a cianobactéria *Trichodesmium*, cocolitoforídeos e algumas espécies de dinoflagelados. Por serem formados por pequenas estruturas moleculares e com pequenos rompimentos celulares, as MAAs ficam “dissolvidas” na água confundindo a assinatura espectral do CDOM (Tilstone et al., 2010).

No transecto F, ao largo do litoral do Rio de Janeiro, foi realizada uma estação amostral adicional na campanha de inverno (F3), onde uma mancha de floração fitoplanctônica foi observada. O espectro de absorção pelo fitoplâncton

PÚBLICA

nesta estação apresentou picos de absorção mais alta em comprimentos de onda específicos de pigmentos indicadores de cianobactérias (e.g. *Trichodesmium spp.*) chamados ficobilinas (Figura XI.1.3.1-8b). Essas observações indicam que as feições de MAAs observadas em alguns espectros de absorção pelo CDOM e pelo fitoplâncton podem estar relacionadas à presença de Trichodesmium e/ou outros gêneros de cianobactérias marinhas (e.g. *Crocosphaera watsonii*, *Richelia intracellularis*).

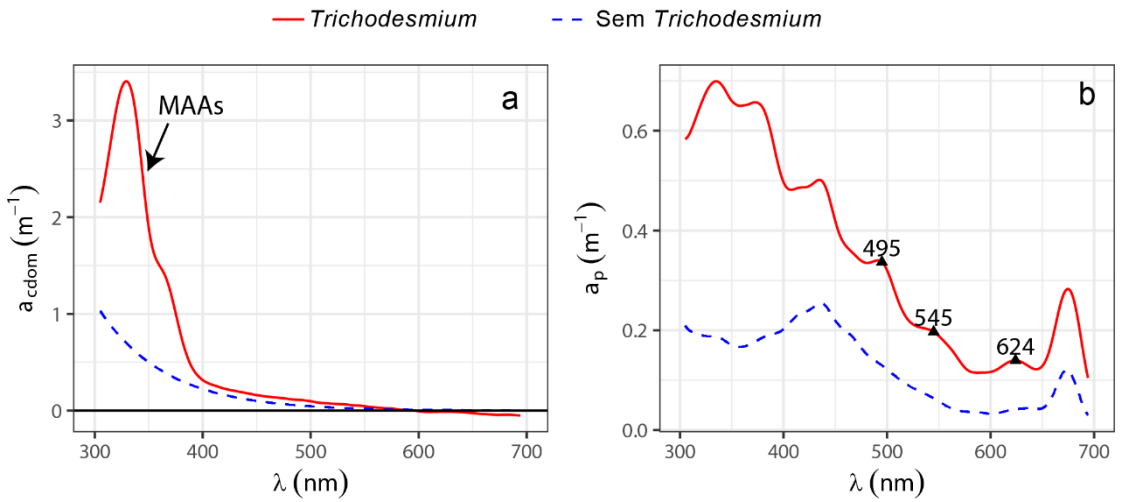


***Figura XI.1.3.1-8**: (a) Espectros do coeficiente de absorção pelo CDOM na estação amostral F3 (amostragem adicional) em que foi observada a presença de Trichodesmium (campanha de inverno) (em vermelho) e na estação G1 sem Trichodesmium (em azul); a seta indica a assinatura espectral da absorção por aminoácidos tipo microsporina (MAAs); (b) Espectros do coeficiente de absorção pelo fitoplâncton + detritos (em vermelho), na estação adicional coletada na mancha de Trichodesmium e na estação G1 sem a assinatura espectral associada à presença de cianobactérias. Os triângulos indicam os comprimentos de onda com picos de absorção pelas ficobilinas (nm).*

Na campanha de inverno, essas estruturas foram observadas nas estações C6, C8, D1, D2, D3, D4, E2, F3 e F4 (Figura XI.1.3.1-9a) e na campanha de verão, nas estações B4, C2, D1, D2, D3, D4 e D5 e F5 (Figura XI.1.3.1-9b). O transecto D chama a atenção por ter apresentado MAAs em ambas as campanhas e na maioria das estações na plataforma continental. Na campanha de inverno, foram observadas manchas de Trichodesmium (relatada pela equipe de bordo e confirmada pelas amostragens e análises de microscopia óptica), que

PÚBLICA

podem estar relacionadas às MAAs em alguns casos. Entretanto, essas manchas não foram observadas na campanha de verão, indicando que as MAAs podem ter como origem também, outros grupos taxonômicos, como e.g., dinoflagelados presentes em abundância no microfitoplâncton da estação D1 na campanha de verão (Luciano Fernandes, comunicação pessoal).

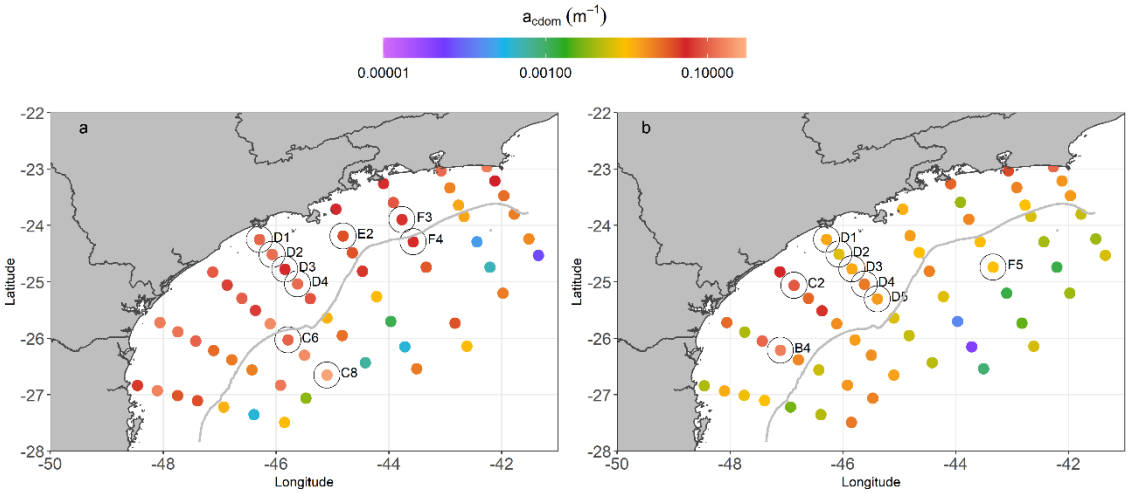


Figura XI.1.3.1-9: *Distribuição do a_{cdom} em 443nm com a identificação das estações em que foi observado o sinal de MAAs nas amostras de superfície. (a) campanha de inverno; (b) campanha de verão. Isóbata de 200m indicada pela linha cinza sólida.*

XI.1.3.2 Avaliação dos produtos de sensoriamento remoto da cor do oceano

XI.1.3.2.1 Reflectância do sensoriamento remoto

A comparação entre as reflectâncias estimadas por satélite e medidas in situ ajuda a verificar eventuais problemas de correção atmosférica na estimativa de produtos de sensoriamento remoto da cor do oceano, indicando possíveis discrepâncias em determinadas bandas espectrais. A comparação das reflectâncias nas bandas do azul (443 nm para OLCI, MODIS e VIIRS/SNPP e 445 nm para VIIRS/JPSS), apresentou um desempenho variável, com coeficiente de correlação entre 0,4 (VIIRS/JPSS) e 0,8 (MODIS). Um viés negativo foi calculado para todos os sensores, ou seja, as estimativas por satélite subestimaram, de modo geral, as medidas in situ (Tabela XI.1.3.2-1 e Figura XI.1.3.2-1a, d, g, j). Na banda do verde (centrada no 560 nm OLCI, 547 nm

PÚBLICA

MODIS, 556 nm VIIRS/JPSS e 551 nm VIIRS/SNPP), o desempenho foi similar, ou um pouco pior no caso do VIIRS/JPSS, com coeficientes de correlação variando entre 0,31 (VIIRS/JPSS) e 0,83 (VIIRS/SNPP), com uma subestimativa das medidas in situ. As subestimativas podem estar relacionadas a perdas por espalhamento e absorção atmosférica, de parte do sinal detectado pelos sensores orbitais que não foram totalmente recuperadas pelas técnicas de correção aplicadas. Quando utilizamos razões de banda azul/verde, as comparações estatísticas melhoram para todos os sensores, com coeficientes de correlação > 0,8 (Figura XI.1.3.2-1c, f, i, l) e viés positivo. Nesses casos, é possível observar algumas diferenças entre os resultados das estações na plataforma e no talude, principalmente para os sensores MODIS (Figura XI.1.3.2-1f) e VIIRS/SNPP (Figura XI.1.3.2-1l).

***Tabela XI.1.3.2-1**: Comparações estatísticas entre as reflectâncias de sensoriamento remoto estimadas por satélite e medidas in situ, nas bandas do azul, verde e razões azul/verde, dos sensores orbitais de cor do oceano OLCI/Sentinel-3, MODIS/Aqua, VIIRS/JPSS-1 e VIIRS/S-NPP. R é o coeficiente de correlação de Pearson, EMQ é o erro médio quadrático, e EMA é o erro médio absoluto. As estatísticas foram calculadas sem aplicar escala logarítmica.*

		OLCI (N=32)	MODIS (N=41)	VIIRS/JPSS (N=46)	VIIRS/SNPP (N=46)
Banda no azul (443, 445)	**R**	0,59	0,8	0,4	0,7
	Vies (sr^{-1})	-0,004	-0,004	-0,005	-0,003
	EMQ (sr^{-1})	0,008	0,005	0,011	0,004
	EMA (sr^{-1})	0,005	0,004	0,005	0,003
Banda no verde (560,556,551 547)	**R**	0,56	0,5	0,31	0,83
	Viés (sr^{-1})	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001
	EMQ (sr^{-1})	0,004	0,002	0,0004	0,002
	EMA (sr^{-1})	0,002	0,002	0,002	0,001
Razão de bandas (azul/verde)	**R**	0,86	0,95	0,86	0,91
	Viés (sr^{-1})	0,84	0,433	0,491	0,684
	EMQ (sr^{-1})	1,392	0,882	1,191	1,221
	EMA (sr^{-1})	1,013	0,614	0,873	0,856

PÚBLICA

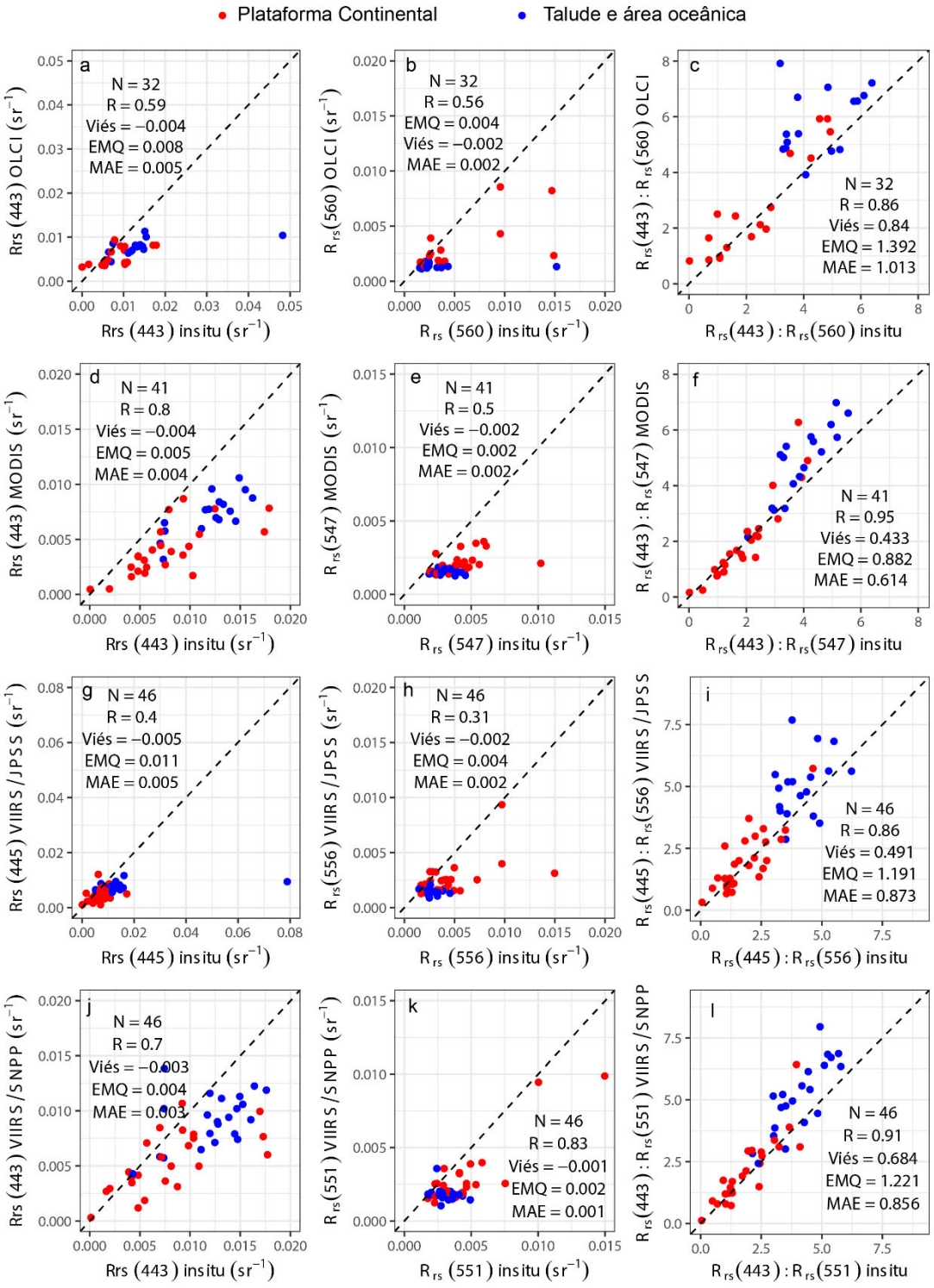


***Figura XI.1.3.2-1**: Diagramas de dispersão (match-ups) entre as reflectâncias de sensoriamento remoto estimadas por satélite e medidas in situ, nas bandas do azul, verde e razões azul/verde. (a-c) OLCI, (d-f) MODIS, (g-i) VIIRS/JPSS e (j-l) VIIRS/SNPP.*

PÚBLICA

XI.1.3.2.2 Clorofila na superfície do mar (CSM)

A estimativa da concentração de clorofila-*a* na superfície do mar por satélite (CSM) com emprego do algoritmo empírico OC3 na Bacia de Santos apresentou um desempenho estatístico em relação a medidas fluorimétricas in situ similar ao obtido globalmente (O'Reilly e Werdell, 2019) e em regiões mais próximas (Garcia et al., 2005; Kampel et al., 2009; Giannini et al., 2013). Foram obtidos coeficientes de correlação próximos a 0,9 e coeficientes de determinação > 0,75 para todos os sensores considerados (OLCI-3A, MODIS, VIIRS/JPSS e VIIRS/SNPP). O viés variou entre uma subestimativa de -1,5% (VIIRS/SNPP) a uma superestimativa de 8,3% (MODIS) e o EMA variou de 41,7% (VIIRS/SNPP) a 60,4% (MODIS) (Tabela XI.1.3.2-2). O MODIS apresentou os maiores erros relativos, o que pode estar relacionado ao seu longo tempo de vida útil e consequente deterioração óptica, uma vez que foi lançado em 2002 (https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/data/aqua/). Cabe destacar que os *match-ups* foram obtidos em estações diferentes para cada sensor, em função dos respectivos horários de passagens dos satélites e disponibilidade de imagens sem cobertura de nuvens.

***Tabela XI.1.3.2-2**: Comparações estatísticas entre as estimativas da concentração de clorofila-a por satélite (OLCI, MODIS, VIIRS/JPSS e VIIRS/SNPP) e medidas fluorimétricas in situ. * EMQ foi calculado sem aplicar a escala logarítmica.*

Sensor	N	R	Viés	EMQ* (mg m^{-3})	EMA
OLCI	19	0,89	1,063	0,472	1,544
MODIS	24	0,89	1,083	2,716	1,604
VIIRS/JPSS	23	0,91	1,079	1,044	1,543
VIIRS/SNPP	27	0,87	0,985	0,2	1,417

Comparando o desempenho das estimativas por satélite pelo algoritmo OC3 entre os domínios geográficos (Tabela XI.1.3.2-3), foi observado um viés positivo (sobrestimativa) nas estações localizadas na plataforma continental, variando de 7% (VIIRS/SNPP) a 38% (MODIS). Foi observado um viés negativo no talude, variando entre -23% (MODIS) e -11% (VIIRS/SNPP). Esse padrão também pode

ser observado nos gráficos de dispersão, onde os pontos referentes ao talude ficam em geral abaixo da linha de referência 1:1 (Figura XI.1.3.2-2). Essa superestimativa pelos algoritmos empíricos de CSM já foi reportada em outros estudos realizados em águas de plataforma no Atlântico Sul (Garcia et.al., 2005; Kampel et al., 2009; Giannini et al., 2013). Giannini et al. (2013) associou essa superestimativa à presença de águas do Rio da Plata, usando uma classificação óptica de tipos de água para ajuste do algoritmo.

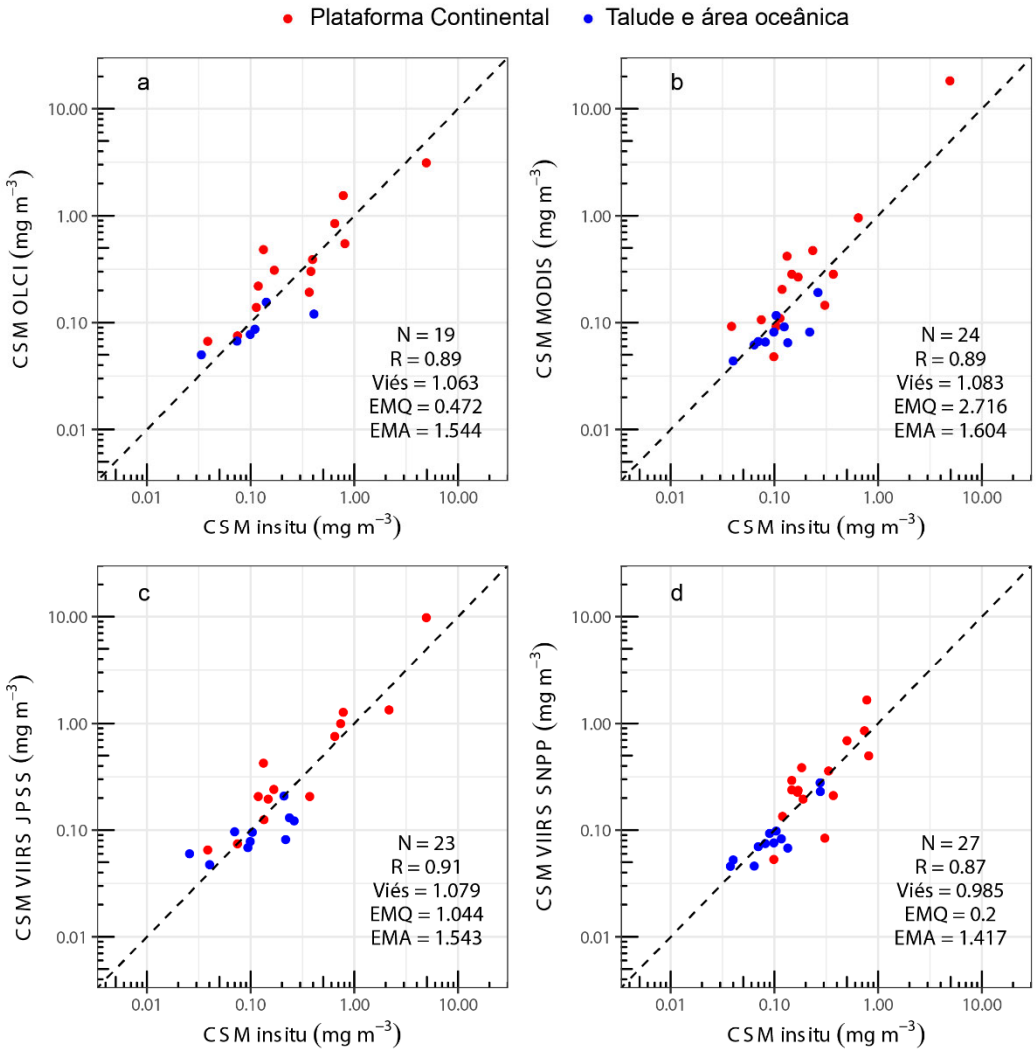


***Figura XI.1.3.2-2**: Diagramas de dispersão (match-ups) entre as concentrações de clorofila-a estimadas por satélite e medidas fluorimétricas in situ. (a) OLCI, (b) MODIS, (c) VIIRS/JPSS e (d) VIIRS/SNPP. Linha preta tracejada indica a relação 1:1.*

PÚBLICA

As águas de plataforma são relativamente mais complexas opticamente que as oceânicas, com aporte de material de origem continental e ressuspensão de sedimentos de fundo, impactando no desempenho de algoritmos empíricos (como o OC3) e mesmo de algoritmos semi-analíticos (Mouw et al., 2015). Uma concentração maior de aerossóis na região mais próxima da costa também influencia o desempenho dos esquemas de correção atmosférica, e consequentemente, dos algoritmos de estimativa dos produtos de sensoriamento remoto da cor do oceano. O viés negativo observado aqui na região oceânica, com baixa concentração de clorofila-a, sugere a utilização de outros algoritmos mais adequados a águas oligotróficas, como sugerido por Hu et al. (2012). O algoritmo Color Index (CI) se baseia em uma diferença relativa ponderada de bandas, ao invés da razão de bandas como no algoritmo OC3, apresentando melhor desempenho entre 0,15 < CSM < 0,2 mg m^{-3} (https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/chlor_a/).

***Tabela XI.1.3.2-3**: Métricas estatísticas de comparação entre a concentração de clorofila-a estimada por satélite (OLCI, MODIS, VIIRS/JPSS e VIIRS/SNPP) e medidas fluorimétricas in situ, nas estações de plataforma continental e talude/região oceânica adjacente.*

Sensor	Plataforma Continental					Talude/Área Oceânica				
	N	R	Viés	EMQ (mg m^{-3})	EMA	N	R	Viés	EMQ (mg m^{-3})	EMA
OLCI	13	0,9	1,209	0,565	1,583	6	0,81	0,805	0,118	1,463
MODIS	14	0,91	1,383	3,555	1,81	10	0,78	0,769	0,055	1,355
VIIRS/JPSS	13	0,94	1,298	1,387	1,545	10	0,76	0,848	0,072	1,54
VIIRS/SNPP	15	0,75	1,072	0,267	1,59	12	0,91	0,887	0,027	1,228

XI.1.3.2.3 Constituintes opticamente ativos (COAs)

Os COAs foram estimados com uso do algoritmo semi-analítico GIOP. Por serem propriedades óptica inerentes, os coeficientes de absorção do fitoplâncton e do CDOM e detritos foram estimados espectralmente, ou seja, nas bandas espectrais dos sensores de interesse. Devido à limitação de espaço, aqui apresentaremos as comparações estatísticas em 443 nm. De modo geral, o a_{ph}

apresentou um desempenho relativamente melhor do que o a_{dg}, considerando todos os sensores orbitais analisados (Tabela XI.1.3.2-4 e Figura XI.1.3.2-2). Os coeficientes de correlação variaram de 0,76 (VIIRS/SNPP) a 0,95 (VIIRS/JPSS) para o a_{ph} e < 0,70 para o a_{dg}. Os maiores erros (EMA) foram obtidos para o a_{dg}. O viés foi positivo para o a_{ph} do OLCI e do MODIS e negativo para o a_{dg} desses sensores. Esse padrão foi inverso no caso do VIIRS/SNPP, que teve viés negativo para o a_{ph} e positivo para o a_{dg}.

***Tabela XI.1.3.2-4**: Métricas estatísticas de comparação entre os coeficientes de absorção pelo fitoplâncton (a_{ph}) e por CDOM + detritos (a_{dg}) estimados por satélite (OLCI, MODIS, VIIRS/JPSS e VIIRS/SNPP) e medidos in situ.*

	a_{ph}(443)					a_{dg} (443)				
Sensor	**N**	**R**	**Viés**	**EMQ (m^{-1})**	**EMA**	**N**	**R**	**Viés**	**EMQ (m^{-1})**	**EMA**
OLCI	22	0,92	1,549	0,034	1,601	20	0,53	0,547	0,025	3,432
MODIS	22	0,81	1,548	0,006	1,598	24	0,54	0,622	0,164	2,892
VIIRS/JPSS	14	0,95	1,29	0,007	1,29	20	0,68	1,068	0,144	2,204
VIIRS/SNPP	18	0,76	0,763	0,014	1,519	30	0,67	1,181	0,025	1,921

O modelo GIOP considera alguns parâmetros de entrada, como o a_{ph}^*, o S_{cdom+d} que seria o slope do CDOM e dos detritos de forma combinada, e o S_{bp} que seria o slope do retroespalhamento do material particulado (Werdell et al., 2013). Teoricamente, esses valores não são constantes, e podem não corresponder às características ópticas da região de estudo. Essas diferenças podem gerar incertezas nas estimativas por satélite. No caso da Bacia de Santos, o a_{dg} parece ser mais afetado por essas diferenças, tendo em vista o baixo desempenho relativo em relação ao a_{ph}. Uma recomendação para melhorar o desempenho do modelo semi-analítico GIOP, seria aplicar uma classificação óptica dos tipos de água na Bacia de Santos e redefinir os parâmetros de entrada no modelo de acordo com cada classe.

PÚBLICA

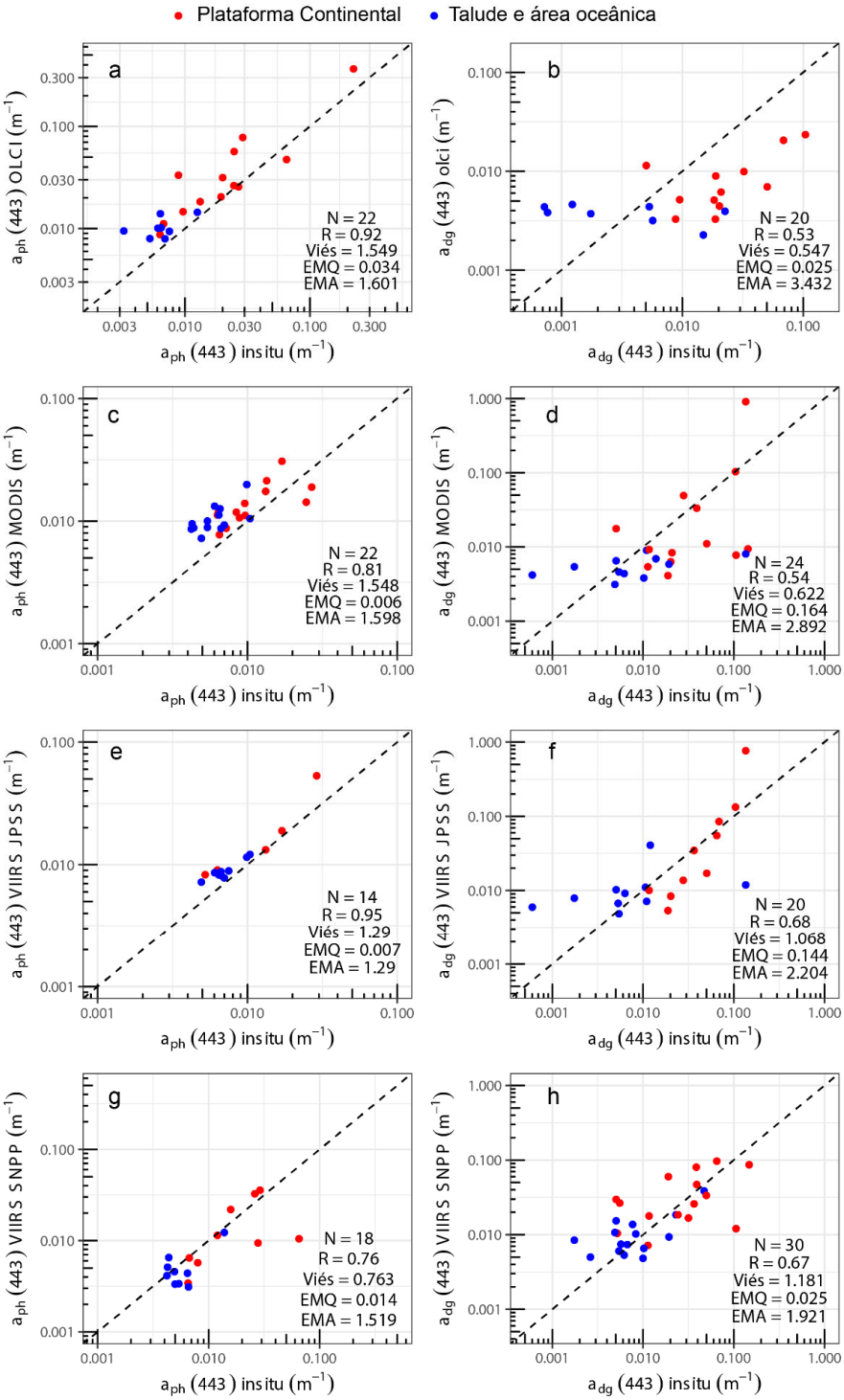


Figura XI.1.3.2-2: *Diagramas de dispersão (match-ups) entre as estimativas dos coeficientes de absorção de luz pelo fitoplâncton e pelo CDOM + detritos por satélite e medidos in situ. (a, b) OLCI, (c, d) MODIS, (e, f) VIIRS/JPSS e (g, h) VIIRS/SNPP.*

PÚBLICA

Outro fator importante a ser considerado é que os *modelos* semi-analíticos como o GIOP são mais dependentes de incertezas e contaminações das reflectâncias. Assim, o efeito da reflexão especular do sol (*sunglint*) e de bolhas e espuma (*whitecaps*), aliados a problemas na correção atmosférica, podem impactar negativamente no desempenho das estimativas por satélite com uso de modelos semi-analíticos. No caso dos modelos empíricos, algumas dessas incertezas são canceladas nas razões de bandas. Este efeito foi demonstrado na análise de *match-ups* da CSM e a_{ph} (Figura XI.1.3.2-3), com maior concordância entre os diferentes sensores para o algoritmo de CSM (Figura XI.1.3.2-3a) do que para o a_{ph} (Figura XI.1.3.2-3b).

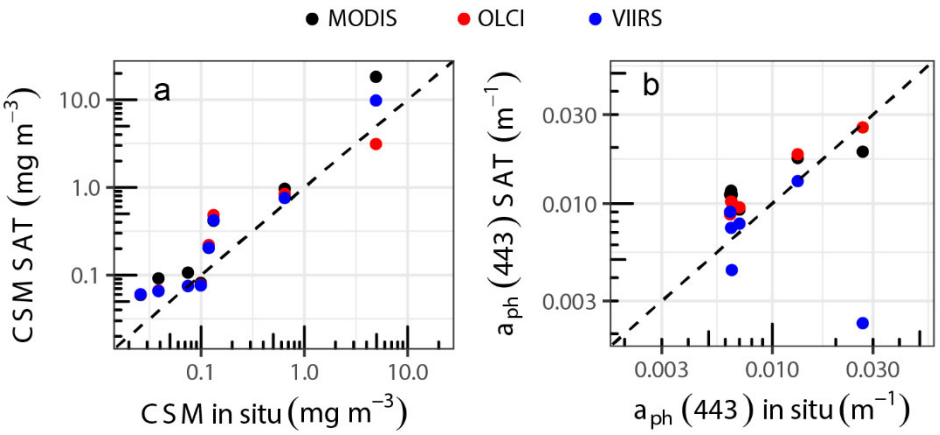


***Figura XI.1.3.2-3**: Diagramas de dispersão (match-ups) entre a concentração de clorofila-a e coeficiente de absorção de luz pelo fitoplâncton em 443 nm estimados por satélite e medidos in situ, considerando todos os sensores orbitais de cor do oceano aqui considerados.*

XI.1.4 Conclusões

A Bacia de Santos apresentou uma dominância de absorção de luz pelo CDOM em superfície, tanto no inverno como no verão. A fonte de CDOM parece ser diferente entre os períodos, como indicado aqui pelo S_{cdom}, com origem alóctone no inverno, possivelmente relacionada à presença de águas frias vindas de sul (Rio da Prata) e contribuições de estuários locais. No verão, a fonte de CDOM deve ser predominantemente autóctone (marinha). A correlação significativa entre a salinidade da superfície do mar com o S_{cdom}, corrobora estas

observações (Figura XI.1.3.1-4). Embora o CDOM tenha sido o constituinte opticamente ativo dominante na maioria das estações em ambos os períodos amostrais contrastantes, principalmente na plataforma continental, a absorção de luz pelo fitoplâncton (a_{ph}) também foi significativa, apresentando uma dominância relativamente maior no verão, principalmente no talude e região oceânica adjacente.

As comparações das estimativas por satélite em relação às medidas in situ apresentaram resultados considerados satisfatórios. A estimativa da CSM por satélite pode ser ainda melhorada com o uso de classificações ópticas dos tipos de água e seleção de algoritmos específicos caso-a-caso. Assim, seria possível ajustar os algoritmos por tipo óptico da água, considerando contribuições significativas pelo CDOM e/ou a presença de águas oligotróficas no talude e região oceânica. A estimativa do a_{ph} pelo algoritmo semi-analítico GIOP foi satisfatória, mas no caso do a_{dg} ficou um pouco abaixo do esperado. Isto indica que alguns parâmetros de entrada do GIOP, como o S_{dg}, devem ser ajustados regionalmente. Considerando a variabilidade do S_{cdom} medido in situ, a classificação óptica em tipos de água também pode ser uma abordagem válida para definir esses parâmetros de entrada no modelo.

XI.2 Séries Históricas

XI.2.1 Introdução

As séries temporais de variáveis meteoceanográficas fornecem informações relevantes que nos permitem avaliar possíveis mudanças nos ecossistemas marinhos. A Bacia de Santos desempenha um papel importante para os ecossistemas marinhos e ciclo do carbono no Oceano Atlântico Sudoeste (Carvalho et al., 2022), sendo a maior bacia sedimentar *offshore* do Brasil (Souza e Sgarbi, 2019), onde encontram-se diversas unidades de conservação marinhas e costeiras e portos importantes. Em 2020, assumiu a liderança na produção nacional de petróleo (ANP, 2022). Os ecossistemas marinhos são altamente sensíveis à variabilidade dos fatores ambientais que os condicionam, especialmente às mudanças de longo-prazo forçadas pelas mudanças climáticas e atividade antrópica, que podem alterar significativamente a saúde dos

ecossistemas (Bai et al. 2018). Observações por satélite (Behrenfeld et al., 2006), modelos climáticos (Steinacher et al., 2010) e dados in situ (Boyce et al., 2010) apontam que a biomassa e a produção primária fitoplanctônica podem ser reduzidas com o aquecimento global. No entanto, foi observada uma alta variabilidade espacial de tais mudanças, bem como, inconsistências e resultados contrastantes para diferentes regiões e escalas de tempo (Siegel et al., 2013). Diversos são os fatores associados a esta variabilidade. A ocorrência de frentes termais oceânicas e ondas de calor marinhas destacam-se como importantes processos responsáveis por alterações na dinâmica oceanográfica regional (Oliver et al., 2019; Chapman et al., 2020), especialmente onde a atividade humana e mudanças naturais podem afetar o ambiente marinho de forma significativa (Kahru e Mitchell, 2008).

Séries temporais de variáveis meteoceanográficas estimadas por satélite foram geradas para a região da Bacia de Santos. Foram feitas comparações estatísticas entre os dados de satélite e saída de modelo numérico com medidas in situ, quando disponíveis, para conhecer a acurácia regional desses produtos de sensoriamento remoto. As climatologias mensais das variáveis de interesse foram calculadas e os padrões de variabilidade temporal foram analisados para as águas superficiais da Bacia de Santos. As variabilidades de ocorrência de frentes termais oceânicas e eventos de ondas de calor marinhas também foram caracterizadas.

XI.2.2 Material e Métodos

Foram adquiridas séries temporais de produtos de sensoriamento remoto e produtos mistos, i.e., que integram dados in situ, de satélite e modelos numéricos (> 10 anos) das seguintes variáveis meteoceanográficas (Tabela XI.2.2-1): magnitude e direção do vento na superfície do mar (VSM), temperatura da superfície do mar (TSM), concentração de clorofila na superfície do mar (CSM), anomalia do nível do mar (ANM), precipitação (PPT), radiação fotossintética disponível, também conhecida como radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e profundidade da camada de mistura (PCM).

PÚBLICA

Tabela XI.2.2-1: *Relação das séries temporais das variáveis meteoceanográficas e informações sobre as respectivas fontes de dados, períodos, resoluções espacial (km) e temporal (h).*

Variável	Fonte dos dados	Período	Resolução espacial	Resolução temporal
Vento	CCMP	1987-2022	0,25º x 0,25º (27,75km)	6h
Temperatura	NOAA OISST v2.1 GHRSST MUR L4	OISST: 1981-2022 MUR: 2002-2022	OISST: 0,25º x 0,25º (27,75km) MUR: 0,01º x 0,01º (1,1km)	OISST 24h MUR 24h
Clorofila	GLOBCOLOUR	1997-2022	0,036º x 0,036º (4km)	24h
Anomalia do Nível do Mar	SSALTO/DUACS	1993-2022	0,25º x 0,25º (27,75km)	24h
Precipitação	GPM	2000-2022	0,1º x 0,1º (11,1km)	3h
Radiação Fotossintética Disponível	NASA OC	2002-2022	0,009º x 0,009º (1km)	24h
Camada de Mistura	ECCO2	1992-2022	0,25º x 0,25º (27,75km)	24h

** CCMP - Cross-Calibrated Multi-Platform Wind Vector Analysis, do National Center for Atmospheric Research*; *NOAA OISST - Optimum Interpolation Sea Surface Temperature, da National Oceanic and Atmospheric Administration; GLOBCOLOUR – Criado pela Agência Espacial Europeia (ESA) e mantido pelo grupo internacional de pesquisa ACRI-ST; DUACS - Data Unification and Altimeter Combination System da Agência Espacial Francesa (CNES); GPM - Global Precipitation Measurement da Agência Espacial Norte Americana (NASA); NASA OC – OceanColor web da NASA; ECCO2 - Estimating the Circulation and Climate of the Ocean do Jet Propulsion Laboratory (JPL/NASA); ERA5 - ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).*

XI.2.2.1 Comparações estatísticas

Foram realizadas comparações estatísticas das variáveis meteoceanográficas para as quais se dispunha de dados in situ: VSM, TSM, CSM, PPT e PCM. Os dados in situ de VSM e TSM são provenientes de sensores instalados em boias fundeadas do Programa Nacional de Boias – PNBOIA (https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-goos-brasil/pnboia-mapa). Os dados in situ fluorimétricos de CSM foram obtidos das campanhas amostrais de 2019 e 2021/22, cedidas pelo grupo do Prof. Dr. Frederico Brandini, do IOUSP. Os dados in situ de precipitação são provenientes de sensores instalados em boias fundeadas do projeto *Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic* – PIRATA (https://www.pmel.noaa.gov/tao/drupal/disdel/). Os dados in

situ de PCM foram calculados a partir de perfis de temperatura e salinidade de projetos anteriores desenvolvidos na região da Bacia de santos e adjacências (DEPROAS e FITOSAT). O desempenho estatístico dos produtos de sensoriamento remoto foi avaliado base no coeficiente de determinação (R^2) e raiz do erro quadrático médio (RMSE, do inglês *root mean squared error*), com nível de significância de p-valores < 0,05.

XI.2.2.2 Climatologias e análise de tendências

Foram calculadas as médias mensais pixel-a-pixel das variáveis meteoceanográficas e, posteriormente, as médias espaciais considerando a região da Bacia de Santos. Médias climatológicas anuais e sazonais (DJF, MAM, JJA e SON) foram calculadas para cada variável a partir das médias mensais. As séries temporais de médias espaciais da Bacia de Santos foram utilizadas em uma análise de verificação de tendência, a partir do teste estatístico de Mann-Kendall adaptado para remoção das variações sazonais das séries (Hirsch et al., 1982). A magnitude das tendências de cada variável foi estimada a partir do Sen's *Slope* (Hirsch et al., 1982).

XI.2.2.3 Análise de correlações

O coeficiente de correlação de Pearson é a medida da associação linear entre duas séries (Boslaugh, 2012). Na presente análise, utilizamos esta medida para identificar possíveis relações lineares entre as médias espaciais das variáveis meteoceanográficas calculadas para a região da Bacia de Santos profundidade da camada de mistura (PCM), magnitude do vento a 10 m (VSM), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), altura da superfície do mar (ASM), precipitação (PPT), concentração da clorofila-a na superfície do mar (CSM) e temperatura na superfície do mar (TSM). O coeficiente de correlação de Pearson varia de -1 a 1, sendo a correlação entre os dados inversamente proporcional para valores negativos e diretamente proporcional para valores positivos. Quando o coeficiente é nulo, não há correlação entre as variáveis.

XI.2.2.4 Análise de frentes termais oceânicas

As frentes oceânicas são definidas como zonas de transição entre massas d'água com diferentes características, como por exemplo, suas respectivas

temperaturas, salinidades e densidades. A detecção das frentes oceânicas na Bacia de Santos foi realizada utilizando dados diários da temperatura da superfície do mar obtidos do produto GHRSST MUR (https://podaac.jpl.nasa.gov/MEaSUREs-MUR), entre junho/2002 e junho/2022. As imagens diárias de TSM foram processadas com um algoritmo de detecção de bordas para a detecção das frentes termais oceânicas (Canny, 1986). Este algoritmo calcula o gradiente de TSM pixel-a-pixel e identifica os máximos locais superiores a um limiar T1 pré-determinado. Os pixels com valores superiores a este limiar são sinalizados como pixels frontais. Para evitar a quebra da frente em vários fragmentos, o algoritmo também verifica o valor do próximo pixel na direção perpendicular ao gradiente de TSM. Caso este pixel apresente uma magnitude superior a um segundo limiar T2, este também é classificado como um pixel frontal e assim por diante. Foram adotados valores de limiar T1 = 0,028ºC/km e T2 = 0,014ºC/km com base em estudos anteriores para detecção de frentes em outras regiões do oceano (Castelao e Wang, 2014), devido à similaridade da magnitude dos campos de gradientes de temperatura encontrados.

A partir do algoritmo de detecção de bordas foram geradas imagens diárias da ocorrência de frentes oceânicas de TSM. Estas imagens foram reamostradas mês a mês, com base na média mensal da ocorrência de frentes oceânicas entre 2002–2022. Foram calculadas as climatologias sazonais da probabilidade percentual da ocorrência de frentes na região (PF), sendo a probabilidade de ocorrência de frentes obtida pela soma do número de vezes em que uma frente foi identificada em cada pixel (F) e dividida pelo número de dias que este pixel esteve visível no período temporal (C). As probabilidades de ocorrência de frentes oceânicas foram reamostrados em uma grade de 3 x 3 pixels para remoção de sinais ruidosos (Chen et al., 2019). A série temporal da PF na Bacia de Santos foi decomposta com base em funções ortogonais empíricas (EOFs) ao longo do domínio temporal, a partir do pacote em linguagem Python xeofs. A série temporal foi normalizada removendo-se previamente o valor médio de PF em cada pixel e dividindo por seu valor de desvio padrão. Foram avaliados os

dois primeiros modos das EOFs obtidas, correspondentes às duas maiores variâncias explicadas pela decomposição.

A fim de avaliar a possível relação da ocorrência de frentes oceânicas de TSM com a variação na concentração de clorofila-a, foram obtidas as climatologias de verão e inverno da CSM a partir do produto GLOBCOLOUR. Para a série temporal das frentes oceânicas, foram selecionados os pixels frontais de maior probabilidade de ocorrência para a climatologia de inverno, i.e., aqueles acima do percentil 95. Estes valores foram então sobrepostos e comparados em relação à razão das climatologias de inverno e verão da CSM.

XI.2.2.5 Ondas de calor marinhas

As ondas de calor marinhas (MHWs, do inglês Marine Heat Waves) são considerados eventos de alto impacto no ambiente marinho, nos quais a temperatura da superfície do mar permanece acima de um limiar climatológico (> percentil 90) por pelo menos cinco dias consecutivos (Hobday et al., 2018). As MHWs podem ser causados por uma variedade de processos atmosféricos e oceanográficos, como fluxos de calor ar-mar, frentes termais e modos climáticos. Devido às mudanças climáticas e consequente aquecimento do oceano, as MHWs intensificaram sua frequência e intensidade nos últimos anos (Oliver et al., 2021). A fim de identificar a ocorrência de ondas de calor marinhas na Bacia de Santos, foram extraídos os dados de TSM do produto NOAA OISST v2.1 entre 1981-2022. A partir da série temporal de TSM média espacial da Bacia de Santos, foram calculadas as climatologias sazonais e os limiares climatológicos (percentil 90) para cada dia do ano, com base em uma média móvel de 11 dias. Posteriormente, foi feita uma reamostragem considerando uma janela temporal de 30 dias para suavização da série (Hobday et al., 2016). As ondas de calor foram identificadas com base nos períodos em que a TSM permaneceu acima do percentil 90 durante pelo menos 5 dias. Intervalos entre eventos contínuos de dois ou menos dias foram considerados como parte da mesma MHW. Os eventos de onda de calor foram avaliados em relação a sua duração, intensidade máxima, média e acumulada, i.e., anomalias positivas em relação à climatologia sazonal.

XI.2.3 Resultados e Discussão

XI.2.3.1 Comparações estatísticas

As comparações estatísticas do VSM na Bacia de Santos (Tabela XI.2.3.1-1, Figura XI.2.3.1-1) apresentaram boa concordância (R2 = 0,73 m/s e RMSE = 1,62 m/s), como já reportado anteriormente para a margem continental brasileira por Paiva et al. (2021) (R2 = 0,76 m/s e RMSE = 1,35 m/s). A concordância da TSM foi ainda melhor, tanto para o produto TSM OISST (R2 = 0,94 e RMSE = 0,52 °C) como para o produto MUR (R2 = 0,97 e RMSE = 0,56 °C). Huang et al. (2021) reportaram RMSE de 0,28 °C para a TSM OISST em relação a dados globais de boias fundeadas. Vazquez-Cuervo et al. (2019), reportaram R2 0,97 e RMSE 0,42 °C para a TSM MUR no Pacífico Oriental, ou seja, muito próximos dos valores obtidos aqui. A concordância do produto CSM foi considerada satisfatória com RMSE de 0,49 mg/m3, um pouco melhor do que o RMSE 0,53 mg/m3 reportado por Moradi (2021). Já para a comparação dos dados de precipitação, obtivemos R2 0,52 e RMSE 13,10 mm/dia, enquanto que Wu e Wang (2019) reportaram R2 0,97 (RMSE não informado). A concordância do produto PCM foi considerada satisfatória também (R2 0,68 e RMSE 14,41 m), ainda que outras comparações similares não tenham sido encontradas na literatura até o momento.

Tabela XI.2.3.1-1. *Produtos de sensoriamento remoto das séries históricas validados, fontes de dados in situ utilizados como referência, número amostral, coeficiente de determinação (R^2) e erro médio quadrático (RMSE).*

Produtos	R^2	RMSE	N. amostral
VSM CCMP	0,73	1,62 m/s	27913
TSM OISST	0,94	0,52 °C	3537
TSM MUR	0,97	0,56 °C	6312
CSM GLOBCOLOUR	0,75	0,49 mg/m^3	63
PPT GPM	0,52	13,10 mm/dia	1314
PCM ECCO2	0,68	14,41 m	184

PÚBLICA

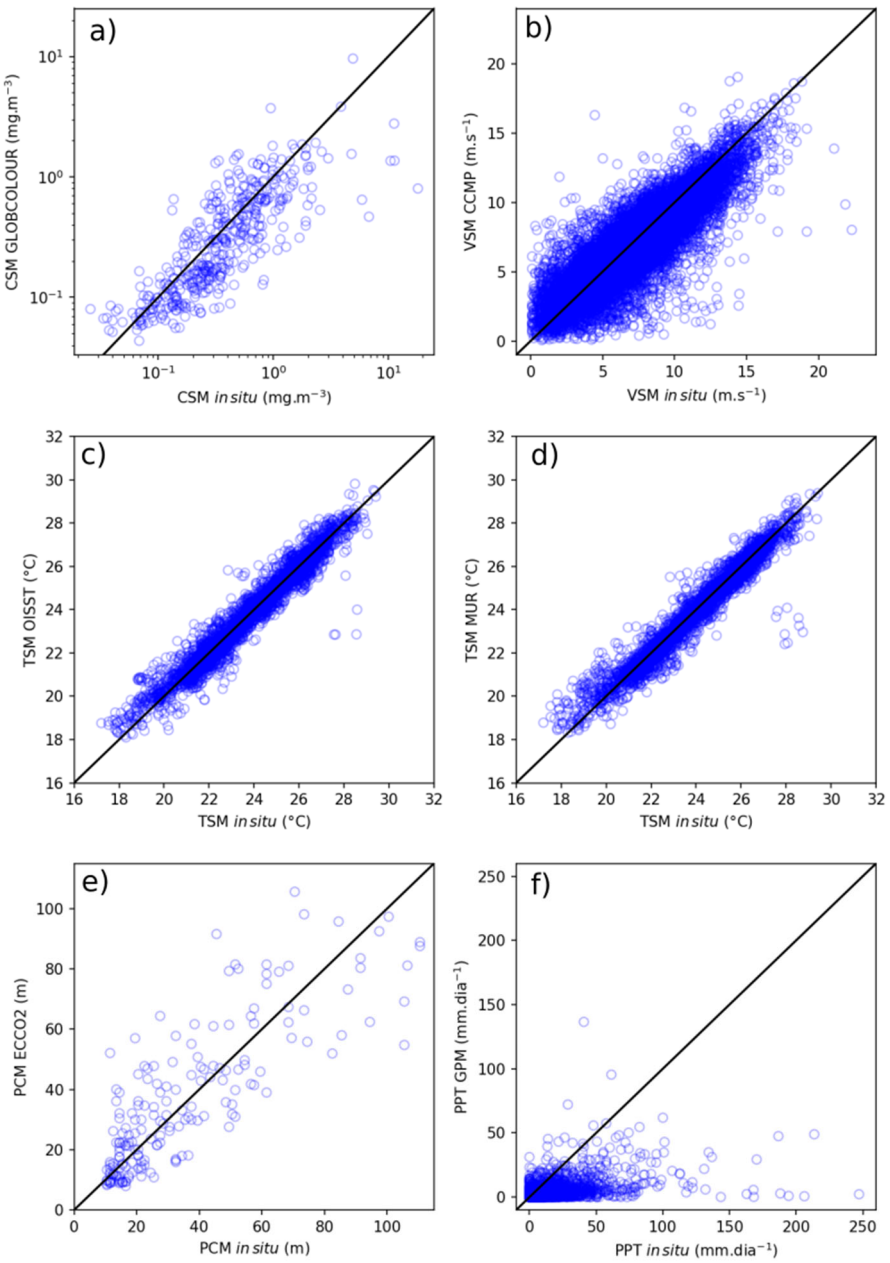


Figura XI.2.3.1-1: *Diagramas de dispersão das comparações de produtos de sensoriamento remoto em relação a dados in situ disponíveis. (A) Intensidade do vento na superfície do mar (VSM), (B) Temperatura na superfície do mar (TSM), (C) Concentração de clorofila-a na superfície do mar (CSM), (D) Precipitação (PPT), (E) Profundidade da camada de mistura (PCM). Ver Tabela XI.2.3.1-1 para detalhes.*

PÚBLICA

XI.2.3.2 Climatologias

As climatologias anual e sazonais do vento na superfície do mar foram calculadas para o período 1987–2022 (Figura XI.2.3.2-1). As velocidades médias de maior magnitude são observadas no inverno e primavera, alcançando valores em torno de 9 m.s-1 (Figuras XI.2.3.2-1d-e). Na climatologia anual, a maior magnitude do vento fica em torno de 8 m.s-1, com direção média E-NE (Figura II.3.2-1a). No inverno e verão, a direção predominante é NE (Figuras XI.2.3.2-1b-e) e no outono e primavera é E. São diversos os sistemas atmosféricos atuantes na região da Bacia de Santos, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (Carvalho e Jones, 2009), ciclogêneses (Reboita, 2008) e passagem de sistemas frontais (Cavalcanti e Kousky, 2003). Entretanto, a influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul e seu trânsito sazonal exerce papel mais relevante na climatologia do VSM, com a dominância de ventos do quadrante NE, intensificados no inverno e primavera (Sun, 2017).

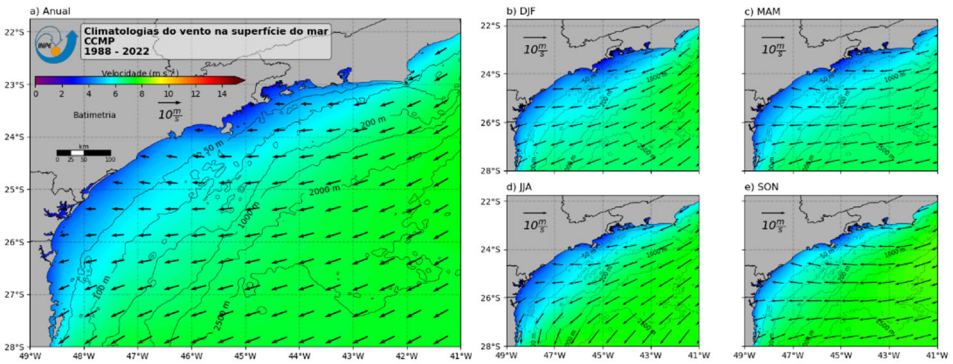


Figura XI.2.3.2-1*: Climatologias anual (a) e sazonais (b - e) do vento na superfície do mar (VSM CCMP), do período 1987–2022 (DJF Verão, MAM Outono, JJA Inverno, SON Primavera).*

Nas climatologias da temperatura da superfície do mar (Figura XI.2.3.2-2) é possível observar que, independentemente do período em questão, as temperaturas relativamente mais altas estão associadas às águas quentes (> 25°C na climatologia anual) da Corrente do Brasil (CB) (Silveira et al. 2000) (Figura XI.2.3.2-2a). Valores de TSM mais quentes (> 26°C) são observados no verão e outono (Figuras XI.2.3.2-2b-c). Durante o inverno e primavera, águas frias vindas de sul transportadas pela Corrente Costeira do Brasil (Souza e

PÚBLICA

Robinson, 2004) arrefecem a TSM na porção sudoeste da Bacia de Santos, com valores < 18°C no inverno (Figuras XI.2.3.2-2d-e). No verão, valores relativamente mais frios da TSM também são observados na região sob a influência de ressurgência costeira, como em Cabo Frio, RJ (Figura XI.2.3.2-2b).

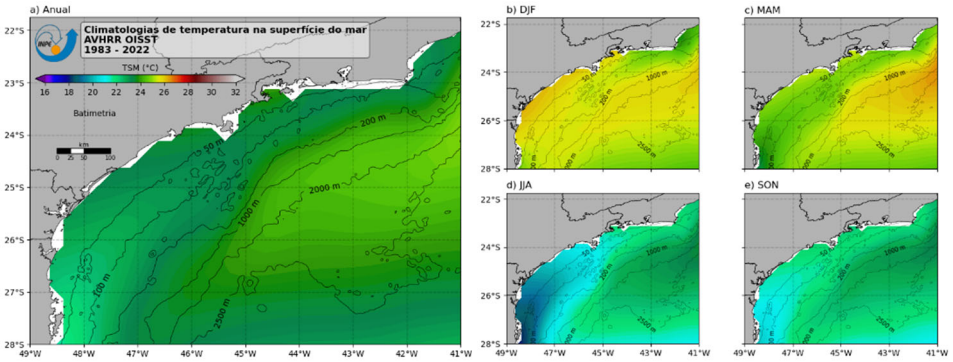


***Figura XI.2.3.2-2**: Climatologias anual (a) e sazonais (b - e) da temperatura da superfície do mar (TSM OISST), do período 1981-2022 (DJF Verão, MAM Outono, JJA Inverno, SON Primavera).*

A distribuição da concentração de clorofila-a na superfície do mar pode ser influenciada pela disponibilidade de nutrientes, luz e temperatura (Acker et al, 2009). Os maiores valores de CSM média são observados em regiões mais próximas da costa (Figuras XI.2.3.2-3a-e). No inverno, processos de mistura da coluna d'água promovidos pelo vento e o aporte de águas frias enriquecidas pela drenagem continental do Rio da Prata e estuários locais, causam maiores concentrações médias de clorofila (> 0,3 mg.m-3) em uma faixa relativamente mais larga sobre a plataforma, em comparação com as demais estações do ano. Kampel et al. (2015) observaram padrões similares de variação temporal da concentração de clorofila-a na Baía de Santos.

A precipitação média no período 2000-2022 na Bacia de Santos fica em torno de 40 mm.mês-1 (Figura XI.2.3.2-4a). Durante o verão (Figura XI.2.3.2-4b), há uma intensificação da precipitação média (80 mm.mês-1) no litoral do PR e em toda a região costeira, associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul que se desenvolve nesse período (Carvalho e Jones, 2009). No inverno (Figura XI.2.3.2-4d), a precipitação é relativamente menor em toda a Bacia de Santos, mas ainda com uma variação latitudinal que pode estar associada à passagem de sistemas frontais pela região.

PÚBLICA

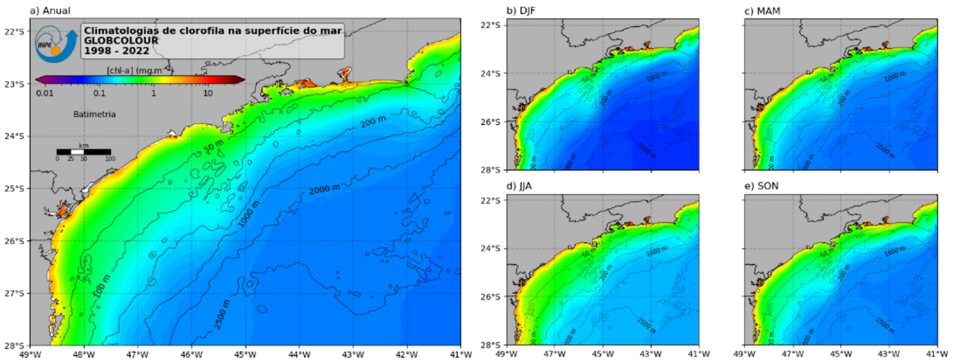


Figura XI.2.3.2-3: *Climatologias anual (a) e sazonais (b - e) da concentração de clorofila-a na superfície do mar (CSM GLOBCOLOUR), no período 1997-2022 (DJF Verão, MAM Outono, JJA Inverno, SON Primavera).*

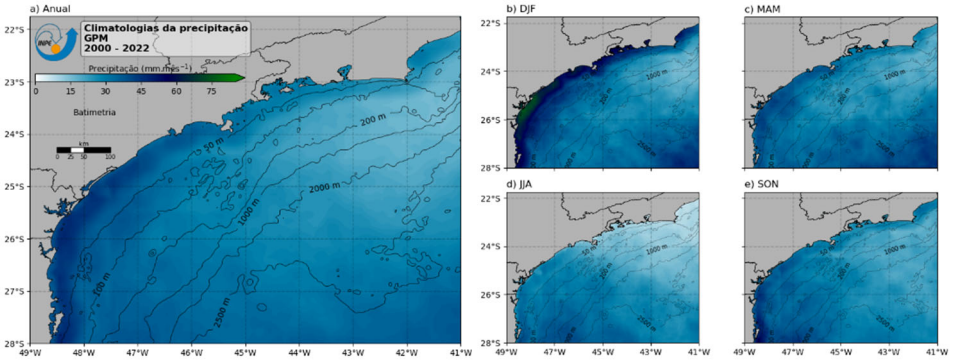


Figura XI.2.3.2-4: *Climatologias anual (a) e sazonais (b - e) da precipitação (PPT GPM), no período 2000-2022 (DJF Verão, MAM Outono, JJA Inverno, SON Primavera).*

A média da profundidade da camada de mistura no período 1992-2022 variou de < 30m na plataforma a > 80m na região oceânica (Figura XI.2.3.2-5a). No inverno e primavera, a PCM se torna mais profunda (> 100 m na região oceânica), em associação com o aumento na velocidade do vento (Figuras XI.2.3.2-5d-e). No verão e outono, a PCM é mais rasa devido à maior estratificação da coluna d'água associada à maior irradiância solar (Figuras XI.2.3.2-5b-c).

PÚBLICA

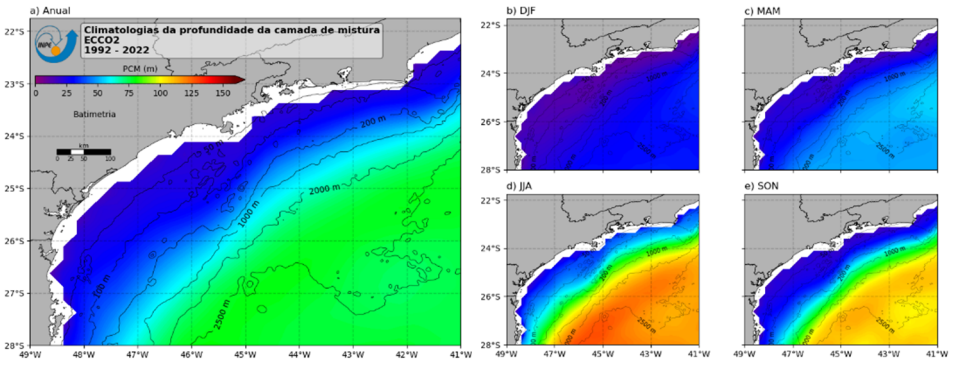


***Figura XI.2.3.2-5**: Climatologias anual (a) e sazonais (b - e) da profundidade da camada de mistura (PCM ECCO 2), no período 1992-2022 (DJF Verão, MAM Outono, JJA Inverno, SON Primavera).*

A variação média climatológica da radiação fotossinteticamente ativa na Bacia de Santos é mais temporal do que espacial (Figura XI.2.3.2-6). Na climatologia anual, a RFA varia em torno de 50 Einstein.m^{-2}.dia^{-1} (Figura XI.2.3.2-6a). No verão, são observados os valores máximos da RFA chegando a 65 Einstein.m^{-2}.dia^{-1} (Figura XI.2.3.2-6b), com mínimos no inverno, em torno de 30 Einstein.m^{-2}.dia^{-1} (Figura XI.2.3.2-6d). Outono e primavera apresentam valores intermediários.

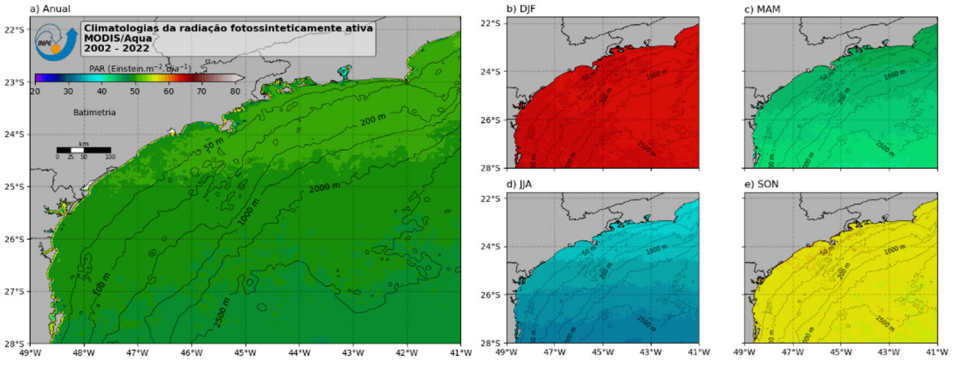


***Figura XI.2.3.2-6**: Climatologias anual (a) e sazonais (b - e) da radiação fotossinteticamente ativa (RFA NASA OC), 2002 - 2022.*

XI.2.3.3 Análise de tendência

Os resultados do teste sazonal de Mann-Kendall e Sen's *Slope* (Tabela XI.2.3.3-1, Figura XI.2.3.3-1) indicaram tendências positivas (de aumento) significativas (p-valores < 0,05 ou 95%) para todas as séries históricas das variáveis meteoceanográficas aqui analisadas. Quantificar a variabilidade da TSM é de fundamental importância para entender as mudanças no clima da

PÚBLICA

Terra (Bulgin et al., 2020), bem como, as tendências dessa variação. A dominância da variabilidade da TSM na área de estudo é referente ao ciclo sazonal (Pacheco et al., 2022), mas também há uma tendência multidecadal de aumento da TSM que se deve à influência dos gases de efeito estufa no sistema climático (Cheng et al., 2022). A variabilidade da TSM advém de vários mecanismos com diferentes escalas de tempo. A variabilidade interanual da TSM em um determinado local tende a ser maior em alguns meses do ano do que em outros, podendo também, diferir regionalmente (Chaidez et al. 2017).

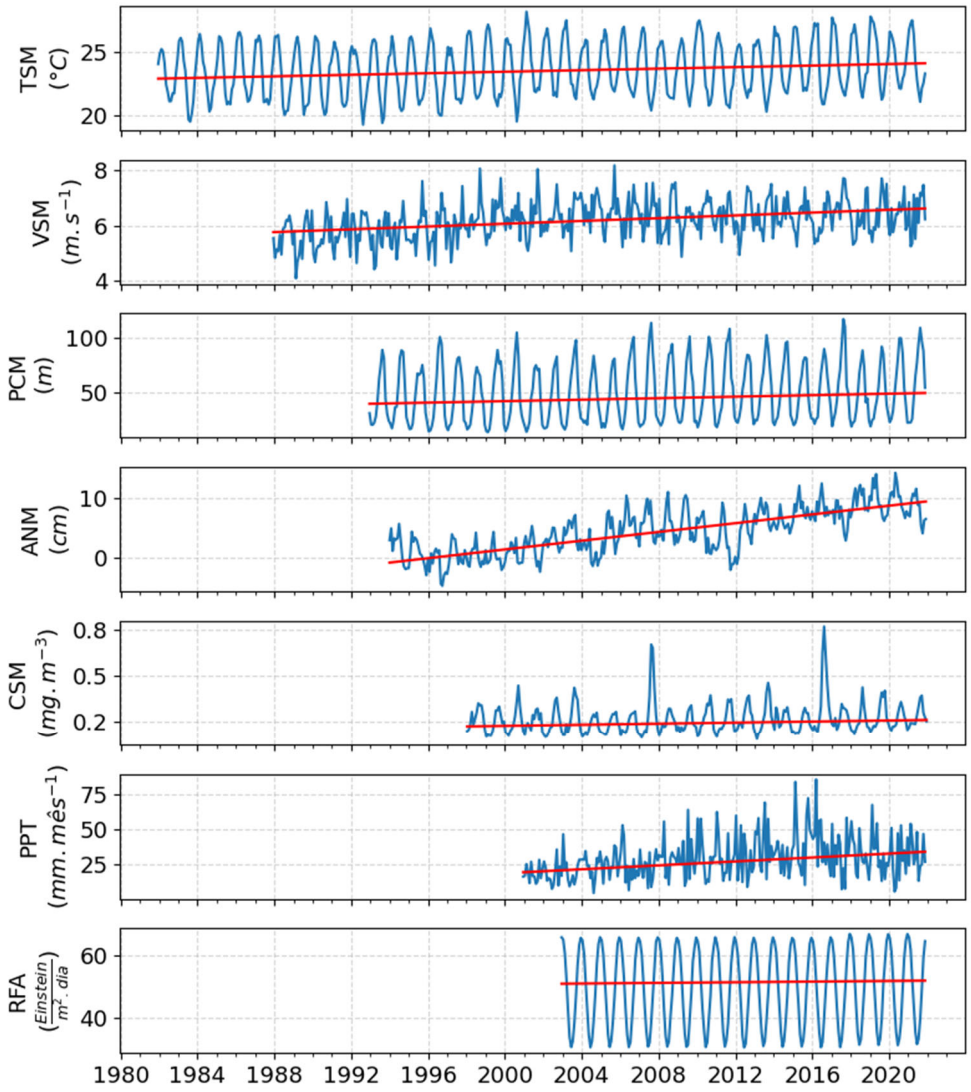


Figura XI.2.3.3-1. Análise de tendência das séries temporais de TSM, VSM, PCM, ANM, CSM, PPT e RFA pelo método do teste sazonal de Mann-Kendall e Sen's Slope. Reta de tendência do Sen's Slope em vermelho.

PÚBLICA

Uma porção da variabilidade da TSM é fortemente modulada por ciclos sazonais da profundidade da camada de mistura, que são forçados por mudanças na irradiância solar (incluindo RFA) e processos de mistura forçados pelo VSM ao longo do ano (Bulgin et al., 2020). Nos períodos de verão, a PCM mais rasa representa uma capacidade térmica efetiva do oceano relativamente menor e uma maior sensibilidade da TSM à variabilidade da forçante atmosférica.

***Tabela XI.2.3.3-1**. Taxa de variação decenal e p-valores das análises de tendência sazonal das variáveis vento na superfície do mar (VSM CCMP), temperatura na superfície do mar (TSM OISST), concentração de clorofila-a na superfície do mar (CSM GLOBECOLOUR), anomalia do nível do mar (ANM DUACS), precipitação (PPT GPM), profundidade da camada de mistura (PCM ECCO2) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA NASA-OC), pelo método Mann-Kendall.*

Variáveis	P-valor	Tendência decenal
VSM CCMP	< 0,0001	+ 0,25 $m.s^{-1}$
TSM OISST	< 0,0001	+ 0,30°C
CSM GLOBCOLOUR	< 0,0001	+ 0,02 $mg.m^{-3}$
ANM DUACS	< 0,0001	+ 3,6 cm
PPT GPM	< 0,0001	+ 7,03 $mm.mês^{-1}$
PCM ECCO2	< 0,0001	+ 3,40 m
RFA NASA-OC	< 0,0001	+ 0,52 $Einstein.m^{-2}.dia^{-1}$

Uma porção da variabilidade da TSM é fortemente modulada por ciclos sazonais da profundidade da camada de mistura, que são forçados por mudanças na irradiância solar (incluindo RFA) e processos de mistura forçados pelo VSM ao longo do ano (Bulgin et al., 2020). Nos períodos de verão a PCM mais rasa representa uma capacidade térmica efetiva do oceano relativamente menor e uma maior sensibilidade da TSM à variabilidade da forçante atmosférica.

Mudanças na TSM e na RFA estão muitas vezes conectadas (Bai et al., 2018). Um aumento na RFA pode levar a um aumento na TSM pelo aquecimento

solar. No entanto, o aumento da TSM pode causar aumento na cobertura de nuvens e consequente diminuição da RFA. O aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera provenientes de atividades humanas retém calor, causando desequilíbrio no balanço de energia da Terra e mudanças no sistema climático (Cheng et al., 2022). O oceano armazena 90%+ deste desequilíbrio e seu aquecimento leva ao aumento da estratificação vertical, expansão térmica e aumento do nível do mar.

Variações na topografia da superfície do oceano fornecem uma medida do conteúdo de calor, variabilidade de vórtices de mesoescala e processos relacionados à circulação geostrófica (Muller-Karger et al., 2015). A série temporal da ANM na Bacia de Santos, mostra uma tendência de aumento gradual que pode estar relacionada ao aquecimento oceânico e um possível aumento da atividade anticiclônica em mesoescala associada à Corrente do Brasil (Calado, 2008).

A profundidade da camada de mistura tem uma influência importante na atividade biológica da área de estudo (Kampel et al., 2015). A PCM aumenta no inverno devido à ação do vento na superfície do mar e processos de mistura convectiva, diminuindo no verão devido à maior irradiância e VSM mais fraco. Esses processos afetam o *timing* e intensidade da floração fitoplanctônica, com importantes implicações ecológicas.

Mudanças no clima oceânico estão associadas a mudanças em variáveis biológicas como a CSM (Behrenfeld et al., 2006). O aumento da estratificação no oceano pode ser associado à diminuição na PCM (Dunstan et al., 2018). Temperaturas mais quentes tendem a aumentar a clorofila celular do fitoplâncton, enquanto o aumento da irradiância ou diminuição da disponibilidade de nutrientes tendem a reduzir. Dependendo da magnitude de cada fator, a CSM muda (Behrenfeld et al., 2006). Em certos casos, um aprofundamento da PCM pode aumentar o transporte vertical de nutrientes, levando a um aumento potencial da CSM. Mas há evidências em alguns locais, que o aumento da velocidade do vento é dominante em relação ao aumento da estratificação associada ao aquecimento, levando ao aumento da CSM. O aumento do VSM na área de estudo é consistente com o aumento observado em grande parte do oceano (Muller-Karger et al., 2015).

PÚBLICA

Compreender a vulnerabilidade da precipitação às mudanças climáticas é de importância crítica para a sociedade em geral (Findell et al., 2019). Boa parte da precipitação é alimentada pela umidade proveniente da evaporação no oceano. A evaporação oceânica é determinada por padrões de circulação oceânica, fatores externos e *feedbacks* climáticos que forçam a TSM (p.ex., irradiância, aerossóis e gases do efeito estufa). A crescente contribuição oceânica ao ciclo hidrológico global está relacionada ao aumento da umidade de origem oceânica à medida que a TSM aumenta. Diversos estudos reportam que a precipitação e evaporação devem aumentar tanto nos continentes quanto no oceano em um cenário de aquecimento global. Desta forma, o papel relativo do oceano no ciclo hidrológico global aumenta à medida que as temperaturas globais aumentam.

XI.2.3.4 Análise de correlação

Foi utilizada a matriz de correlação para analisar simultaneamente a associação entre as variáveis meteoceanográficas de interesse. A matriz de correlação (Figura XI.2.3.4-1), mostra os valores de correlação de Pearson, que medem o grau de relação linear entre cada par de variáveis (valores abaixo/acima de 0,1/-0,1 não são mostrados). Os testes de correlação de Pearson se mostraram estatisticamente significativos para quase todos os pares de variáveis, não sendo significativos para as correlações entre RFA (ou PAR) e MAG_V; CSM e ASM, como mostrado na Figura XI.2.3.4-1. As maiores correlações foram observadas entre PCM e TSM (-0,9) e entre RFA e PCM (-0,6), ambas negativas, indicando que as variáveis são inversamente proporcionais. A análise também demonstrou haver correlação positiva entre RFA e TSM (0,5) e entre CSM e PCM (0,4). Esses resultados apontam para relações interessantes entre forçantes físicos e respostas do ecossistema marinho, com a radiação fotossinteticamente ativa modulando a profundidade da camada de mistura, o que pode estar associado a fluxos de calor na interface oceano-atmosfera. Por sua vez, estreitamentos da PCM parecem associados a aumentos da TSM, com resposta biológica indexada pela CSM. Cabe mencionar que a CSM estimada por satélite integra a primeira profundidade óptica da zona eufótica. Portanto, modulações da zona eufótica e da camada de mistura, assim

como dos processos de interação oceano-atmosfera tem impacto na dinâmica do ecossistema.

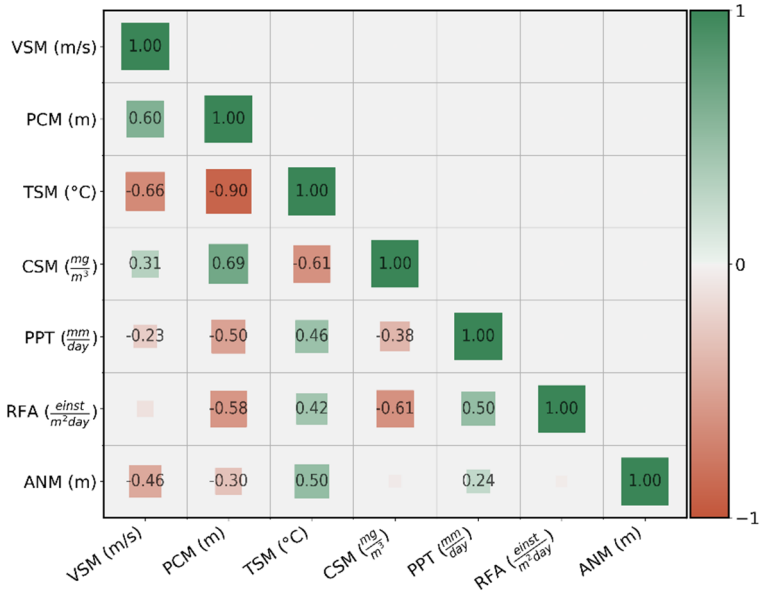


Figura XI.2.3.4-1: *Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis vento na superfície do mar (VSM), profundidade da camada de mistura (PCM), temperatura da superfície do mar (TSM), concentração clorofila-a na superfície do mar (CSM), precipitação (PREC), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e anomalia do nível do mar (ANM). Os coeficientes variam entre -1 e 1 e estão classificados por cores e tamanho.*

A matriz de correlação foi empregada aqui como uma análise exploratória para avaliar a força e a direção (direta ou indireta) da relação entre as variáveis meteoceanográficas consideradas. Este tipo de abordagem pode resumir uma quantidade de dados relativamente grande com o objetivo de encontrar padrões, gerar modelos de regressão ou servir de diagnóstico ao integrar outras análises. Apesar de ser uma técnica amplamente utilizada, por vezes os sinais obtidos na natureza são afetados por processos e forçantes externos não-lineares. Portanto, pode ser que devido a não-linearidade e não-estacionaridade do sistema terrestre esta medida não evidencie todas as relações importantes entres as variáveis (Yuan, et al., 2016).

PÚBLICA

XI.2.3.5 Frentes oceânicas

As climatologias sazonais da probabilidade de ocorrência de frentes oceânicas na Bacia de Santos apresentaram valores médios variando entre 1,20% e 0,88%, atingindo máximos de 12,20% durante o inverno, e de 4,40% durante o verão (Figura XI.2.3.5-1). Durante o verão, destaca-se o maior número de pixels frontais na porção interna da plataforma continental a norte de 24°S. Já durante o outono e inverno, os pixels frontais concentram-se principalmente ao longo da isóbata de 200 metros. De modo geral, durante a primavera foi observado o menor número de pixels frontais entre as climatologias. Estes resultados concordam com outras estimativas da ocorrência de frentes oceânicas ao longo da costa brasileira (Chen et al. 2019).

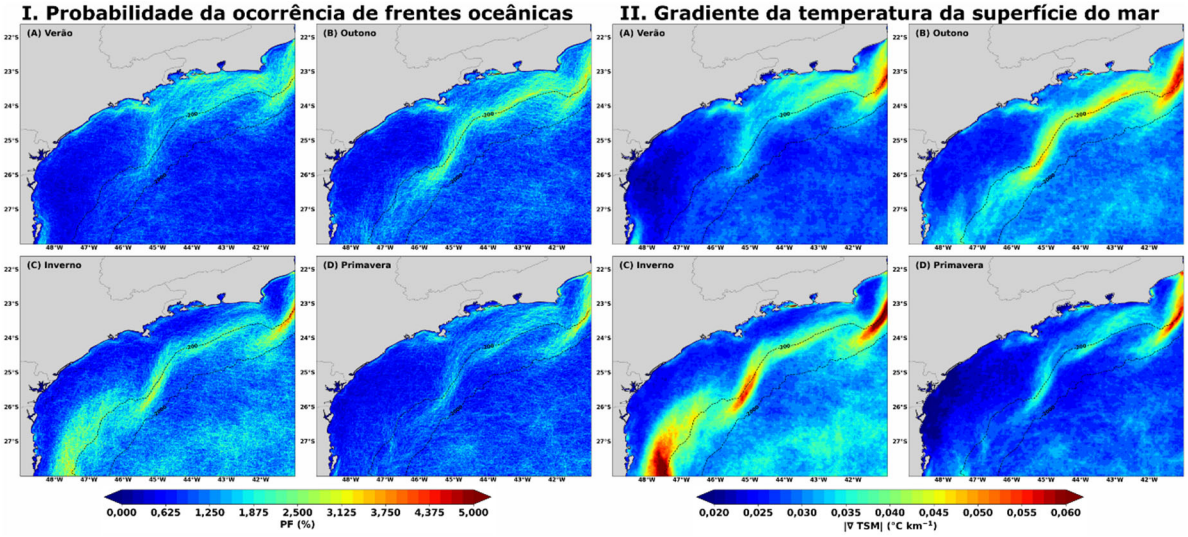


Figura XI.2.3.5-1: Climatologias sazonais da probabilidade percentual de ocorrência de frentes oceânicas (I) e da magnitude do gradiente da temperatura da superfície do mar (II) entre 2002 e 2022, sendo: (A) Verão, (B) Outono, (C) Inverno e (D) Primavera.

As climatologias sazonais do gradiente da TSM apresentaram distribuições espaciais semelhantes às da probabilidade de ocorrência de frentes, como esperado (Figura XI.2.3.5-1). O gradiente de TSM apresentou valores médios variando entre 0,030 °C km^{-1} e 0,026 °C km^{-1}, atingindo máximos de 0,060 °C km^{-1} durante o inverno e de 0,048 °C km^{-1} durante o verão. A decomposição das séries a partir das funções ortogonais empíricas destacam dois modos principais

PÚBLICA

de maior variância explicada durante o inverno e verão, respectivamente (Figura II.3.5-2). O primeiro modo ressalta a ocorrência de frentes oceânicas na porção sudoeste da Bacia de Santos (EOF1), enquanto que o segundo indica as ocorrências na poção interna da plataforma continental (EOF2). A razão inverno/verão das concentrações de clorofila-*a* apresentou um valor médio de 2,10, atingindo máximos equivalentes a 4,65 na porção sudoeste da Bacia de Santos. Estes máximos possuem uma certa congruência com a posição dos maiores valores de probabilidade de ocorrência de frentes oceânicas (acima do percentil 95) durante o inverno (Figura XI.2.3.5-2).

A variabilidade sazonal da probabilidade de ocorrência de frentes na Bacia de Santos apresentou uma distribuição espaço-temporal semelhante à posição da frente interna da Corrente do Brasil (Lorenzzetti et al., 2009). Esta frente é principalmente demarcada entre a linha de costa e a isóbata de 200 metros, apresentando seus maiores valores de PF ao longo da plataforma interna e quebra da plataforma. Dadas as características da CB que transporta águas quentes e salinas (Silveira et al., 2000), a probabilidade de ocorrência de frentes se intensifica durante o outono e inverno, uma vez que o gradiente de temperatura tende a se elevar nesta época do ano. Durante o verão, é possível observar uma tendência no maior número de pixels frontais serem encontrados na plataforma interna, enquanto que durante o inverno, o maior número de pixels frontais é observado na plataforma externa logo após a isóbata de 200 m. Estes resultados corroboram com análises anteriores indicando que a frente da CB permanece relativamente mais próxima da costa durante o verão, e mais afastada durante o inverno (Lorenzzetti et al, 2009).

Outros fatores que podem estar associados à variabilidade da probabilidade de ocorrências frontais aqui encontradas, podem ser associados à ocorrência de ressurgências na região de Cabo Frio e á intrusão de águas frias vindas de sul sobre a plataforma durante o inverno. Durante o verão, a ressurgência de Cabo Frio se intensifica, favorecendo o afloramento de águas mais profundas e frias, formando assim uma frente oceânica costeira que se desloca para S-SW junto ao fluxo da CB (Calil et al., 2021). Já durante o inverno, o aporte fluvial do Rio da Prata e Lagoa dos Patos atinge sua máxima distribuição setentrional, estendendo-se até as proximidades do Cabo de Santa Marta em torno de 28°S

PÚBLICA

(Piola et al., 2005), mas podendo chegar até o litoral de SP. Este aporte fluvial é responsável por introduzir águas frias na Bacia de Santos, originando assim uma frente oceânica que vai de encontro à frente da CB. A alta concentração de pixels frontais entre 27°S e 28°S foi observada somente durante o inverno, indicando este fenômeno característico desta estação do ano.

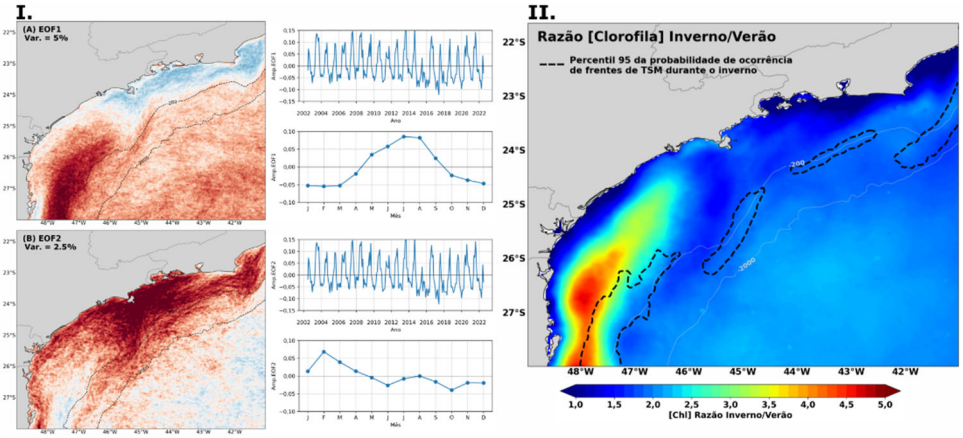


***Figura XI.2.3.5-2**: I. Dois primeiros modos da decomposição a partir de funções ortogonais empíricas (A, B), bem como suas respectivas séries temporais de amplitude e climatologias mensais obtidos com base na probabilidade de ocorrência de frentes oceânicas na região; II. Razão inverno/verão da concentração de clorofila-a durante os períodos de inverno e verão. O contorno das probabilidades de ocorrência de frentes oceânicas acima do percentil 95 para climatologia de inverno está destacado em preto.*

A razão entre as concentrações de clorofila-a durante o inverno/verão também evidencia a particularidade desta estação do ano. É possível observar que as concentrações de clorofila-a durante o inverno são maiores na porção sudoeste da Bacia de Santos, indicando valores cerca de 4x maiores de clorofila entre 26°S e 28°S. Já na porção norte, ao largo da costa norte de São Paulo e sul do Rio de Janeiro, essas razões se reduzem a menores do que 1, assim como em regiões mais profundas. Desta forma, as maiores concentrações de clorofila-a apresentam uma aparente congruência com a maior probabilidade de ocorrência de frentes oceânicas acima do percentil 95, entre 27°S e 28°S. Estes resultados corroboram com a possível relação das frentes oceânicas detectadas, com a intrusão de águas oriundas do Rio da Prata e estuários locais durante o inverno, nesta porção da Bacia de Santos.

PÚBLICA

XI.2.3.6 Ondas de calor marinhas

Os resultados indicam a ocorrência de 76 ondas de calor na Bacia de Santos entre 1981-2022. A Figura XI.2.3.6-1 evidencia os eventos de ondas de calor que antecederam as campanhas SANAGU, onde é possível destacar uma extensa onda de calor que teve fim semanas antes ao início da campanha de 2019, durante a estação fria e seca. De acordo com a Figura XI.2.3.6-2, esta MHW foi a mais duradoura (≈ 3 meses) e com a maior intensidade acumulada (≈ 133 °C-dias) de toda a série histórica na Bacia de Santos, destacando-se também entre uma das MHWs com maior intensidade máxima (≈ 2,14 °C) e média (≈ 1,62 °C) acima da climatologia sazonal. O período subsequente à campanha de 2019 também foi marcado por uma onda de calor, porém de menor magnitude, registrando duração de 22 dias, intensidade máxima de 1,84 °C e média de 1,31 °C. Ao contrário de 2019, o período da campanha 2021/22 foi marcado pela baixa ocorrência de ondas de calor, indicando níveis de TSM menos anômalos em relação á série histórica. Anteriormente à campanha 2021/22, a MHW mais recente teve seu fim cerca de 2 meses antes do seu início, com uma duração de apenas 7 dias, intensidade máxima de 1,17 °C e média de 1,0°C.

De modo geral, estes resultados evidenciam que ambas as campanhas não foram realizadas durante períodos anômalos da TSM. No entanto, uma vez que as ondas de calor possuem um impacto prolongado no ecossistema marinho (Oliver et al., 2019), alguns efeitos residuais podem permanecer mesmo após o término desses eventos. Estudos realizados no Golfo do Alasca indicam que a ocorrência de MHWs possuem um grande impacto na biogeoquímica regional, com respostas que persistem até pelo menos 5 anos após o início da onda de calor (Suryan et al., 2021). Estes impactos residuais englobam alterações na produção primária, estrutura das comunidades e níveis tróficos e até mesmo, mudanças nas assembleis de peixes em determinadas regiões (Olsen et al., 2022). Desta forma, a ocorrência de uma MHW com recordes históricos de duração e intensidade acumulada na Bacia de Santos, anterior à campanha de 2019, pode ter ocasionado mudanças na dinâmica oceanográfica regional em relação a períodos normais.

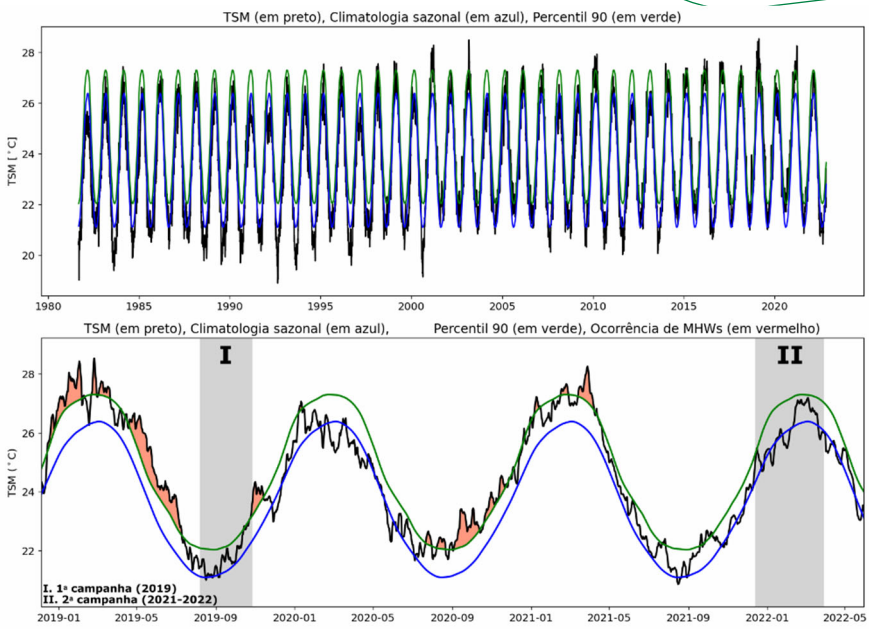


***Figura XI.2.3.6-1**: Série temporal da temperatura da superfície do mar média na Bacia de Santos (em preto), evidenciando a climatologia sazonal (em azul), o percentil 90 (em verde) e a ocorrência de eventos de onda de calor (em vermelho). Os períodos das campanhas SANAGU durante as estações fria e seca de 2019 (I) e quente e chuvosa de 2021/22(II) estão destacados em cinza.*

De modo geral, estes resultados evidenciam que ambas as campanhas não foram realizadas durante períodos anômalos da TSM. No entanto, uma vez que as ondas de calor possuem um impacto prolongado no ecossistema marinho (Oliver et al., 2019), alguns efeitos residuais podem permanecer mesmo após o término desses eventos. Estudos realizados no Golfo do Alasca indicam que a ocorrência de MHWs possuem um grande impacto na biogeoquímica regional, com respostas que persistem até pelo menos 5 anos após o início da onda de calor (Suryan et al., 2021). Estes impactos residuais englobam alterações na produção primária, estrutura das comunidades e níveis tróficos e até mesmo, mudanças nas assembleias de peixes em determinadas regiões (Olsen et al., 2022). Desta forma, a ocorrência de uma MHW com recordes históricos de duração e intensidade acumulada na Bacia de Santos, anterior à campanha de 2019, pode ter ocasionado mudanças na dinâmica oceanográfica regional em relação a períodos normais.

PÚBLICA

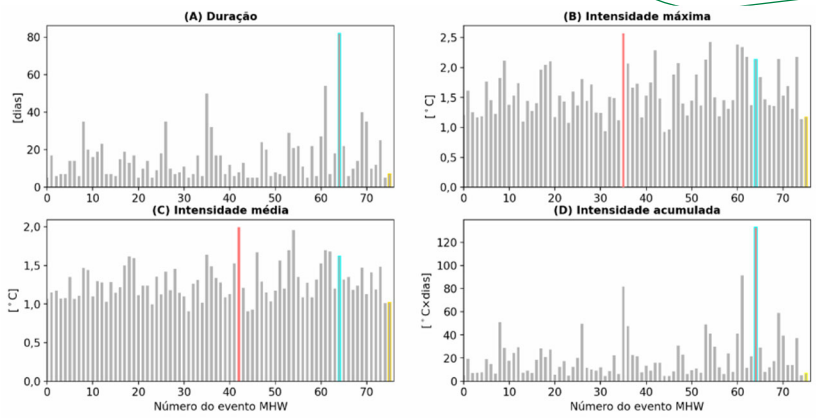


***Figura XI.2.3.6-2**: Características dos eventos de ondas de calor na Bacia de Santos, evidenciando: (A) Duração, (B) Intensidade máxima, (C) Intensidade média e (D) Intensidade acumulada. Barras destacadas com a cor vermelha indicam os eventos de MHW mais extremos para cada parâmetro. Barras contornadas pelas cores azul e amarelo indicam os eventos de MHW mais recentes anteriores às campanhas SANAGU durante 2019 e 2020-2021, respectivamente.*

Ao longo da série histórica (Figura XI.2.3.6-3), destacam-se os anos de 2005 com o maior número de ocorrências de MHW (= 8), e os anos 2009 e 2013 com as maiores médias da intensidade máxima por MHW (> 2,0 °C). Também é possível observar um aumento substancial na ocorrência de ondas de calor a partir de 1998, demarcado por um forte evento de El Niño. Enquanto apenas duas ondas de calor foram identificadas entre 1981-1997, a frequência na ocorrência de MHWs na Bacia de Santos, em média, triplicou a partir de 1998. O aumento na frequência destes eventos extremos de temperatura está intimamente relacionado às mudanças climáticas e aquecimento do oceano devido à influência antropogênica (Pörtner et al., 2022). A frequência dos eventos de ondas de calor está projetada para acelerar cada vez mais, de modo que partes do oceano atinjam níveis anômalos de TSM de forma quase permanente até o final do século 21 (Oliver et al., 2019). A presença de eventos ENSO demarcados por períodos de El Niño-La Niña aparentam possuir uma correlação com a ocorrência de ondas de calor na Bacia de Santos. À exemplo do ano de 2019, no qual foi observada a onda de calor mais duradoura e de maior intensidade acumulada da série histórica, foi caracterizado como um período sob influência do fenômeno El Niño, ainda que de forma pouco significativa (Ver

PÚBLICA

Seção XI.3.1). Já anos tipicamente marcados pela presença do fenômeno La Niña, como 2008 e 2011, também foram os únicos anos a partir de 1998 nos quais não foram observadas nenhuma ocorrência de ondas de calor na Bacia de Santos.

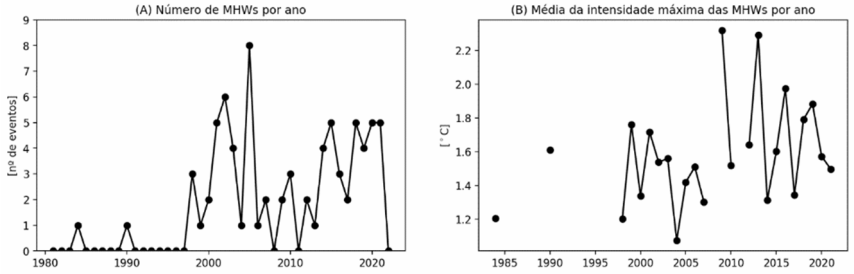


***Figura XI.2.3.6-3**: Número de eventos de ondas de calor marinhas (A) e média das intensidades máximas (B) por ano, entre 1981-2022.*

XI.3 Contexto Meteoceanográfico Por Satélite

XI.3.1 Introdução

Durante as campanhas amostrais SANAGU 2019 e 2021/22, foi realizado um acompanhamento por sensoriamento remoto para a caracterização sinóptica dos processos meteoceanográficos atuantes na região da Bacia de Santos naqueles períodos. Estes acompanhamentos subsidiaram a elaboração de relatórios do contexto meteoceanográfico submetidos à coordenação do projeto. As caracterizações foram baseadas em análises de médias semanais das variáveis vento na superfície do mar (VSM), anomalia do nível do mar (ANM), temperatura na superfície do mar (TSM) e concentração de clorofila-*a* na superfície do mar (CSM). Estimativas das correntes geostróficas estimadas por satélite foram sobrepostas aos dados de ANM. Foram também utilizadas cartas sinópticas meteorológicas de superfície elaboradas pelo INPE/CPTEC. Foram calculados os momentos estatísticos das variáveis meteoceanográficas nos dois períodos amostrais. Foram também gerados diagramas de Hovmöller tempo-latitude referentes aos transectos amostrais e uma breve análise de dois índices climáticos, para a identificação das fases neutra, positiva ou negativa do El-Niño Southern Oscillation (ENSO), nos períodos das campanhas amostrais.

PÚBLICA

XI.3.2 Material e Métodos

Os produtos de sensoriamento remoto utilizados na contextualização meteoceanográfica são apresentados na Tabela XI.3.2-1, juntamente com informações sobre as respectivas fontes de dados, resoluções espacial e temporal. Os produtos foram consolidados em médias ou composições diárias e semanais. As composições semanais foram utilizadas para a confecção de mapas semanais nos períodos amostrais, como também para calcular os momentos estatísticos. As composições diárias foram utilizadas para a confecção dos diagramas de Hovmöller para os transectos A, B, C, D, E, F, G e H. Para as composições semanais foi utilizada a base de dados de TSM do sensor ABI/GOES16, enquanto que para as composições diárias foi utilizada a base de dados GHRSST MUR L4.

***Tabela XI.3.2-1**: Relação das variáveis utilizadas para a contextualização meteoceanográfica dos cruzeiros 2019 e 2021/22 e informações sobre as respectivas fontes de dados, resoluções espacial (km) e temporal (h). Sendo, CCMP - Cross-Calibrated Multi-Platform Wind Vector Analysis, do National Center for Atmospheric Research; ABI/GOES - Advanced Baseline Imager a bordo do satélite Geostationary Operational Environmental Satellites 16; MUR - Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature; GLOBCOLOUR – Criado pela Agência Espacial Europeia (ESA) e DUACS - Data Unification and Altimeter Combination System da Agência Espacial Francesa (CNES).*

Variável	Fonte dos dados	Resolução espacial	Resolução temporal
Vento na superfície do mar	CCMP[1]	0,25º x 0,25º (27,75km)	6 h
Temperatura da superfície do mar	ABI/GOES16[2] GHRSST MUR L4[3]	0,02º x 0,02º (2,1km) 0,01º x 0,01º (1,1km)	1 h 24 h
Clorofila-a na superfície do mar	GLOBCOLOUR[4]	0,036º x 0,036º (4km)	24 h
Altura do nível do mar	SSALTO/DUACS[5]	0,25º x 0,25º (27,75km)	24 h

1 - https://www.remss.com/measurements/ccmp/;
2 - https: // doi. org/ 10. 5067/ GHG16-2PO27;
3 - https: // doi. org/ 10. 5067/ GHGMR-4FJ04;
4 - http://globcolour.info;
5 - https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-sea-level-global.

PÚBLICA

Os produtos de sensoriamento remoto foram gerados com a aplicação dos algoritmos-padrões das respectivas agências espaciais ou organizações responsáveis pelo processamento dos dados dos sensores orbitais. Foram também analisados os índices climáticos *Multivariate ENSO Index* v.2 (MEI.v2) e *Oceanic Niño Index* (ONI) (https://psl.noaa.gov/enso/). O índice climático MEI.v2 é calculado a partir de funções ortogonais empíricas aplicadas em 5 variáveis diferentes (pressão ao nível do mar, temperatura na superfície do mar, componentes zonal e meridional do vento na superfície do mar e radiação de onda longa) sobre a Bacia do Pacífico Tropical (30°S-30°N; 100°E-70°W). O índice climático ONI é calculado a partir da média de 3 meses da anomalia da temperatura da superfície do mar na região central-leste do Pacífico Tropical.

XI.3.3 Resultados

XI.3.3.1 ENSO

Afim de situar os períodos das campanhas amostrais em relação a fenômenos e processos em escalas de tempo mais longas, como o El Ninõ-Oscilação Sul (ENOS ou ENSO em inglês), foram analisados os índices climáticos MEI.v2 e ONI (Figura XI.3.3.1-1). Os valores positivos em vermelho mostrados tanto para o MEI.v2 quanto para o ONI representam a fase quente do ENSO (El Niño), enquanto que os valores negativos em azul representam a fase fria do ENSO (La Ninã). A partir do índice climático ONI é possível quantificar a intensidade do ENSO, como definido na Tabela XI.3.3.1-1. Para categorizar os eventos de ENSO a partir do ONI como eventos fracos, moderados, fortes ou muitos fortes é preciso que as anomalias de TSM (ONI) se mantenham acima (abaixo) de 0,5ºC (-0,5ºC) por pelo menos 5 meses consecutivos (NOAA-NCEP).

Podemos observar que no período da campanha de 2019, representativo de estação seca e fria (inverno), o sistema oceano-atmosfera estava sob a influência do El Niño, evidenciado pelo MEI.v2 e ONI (Figura XI.3.3.1-1A e 1B). Entretanto, as anomalias de TSM (Figura XI.3.3.1-1B) para os 3 meses de amostragem se mantiveram abaixo do limiar de 0,5ºC, caracterizando assim, um período com influência fraca no sistema oceano-atmosfera pelo ENSO.

No período da campanha 2021/22, representativo da estação quente e

chuvosa (verão), o sistema oceano-atmosfera estava sob a influência da La Niña, como evidenciado pelos índice MEI.v2 e ONI (Figura XI.3.3.1-1A e 1B). O ONI (Figura XI.3.3.1-1B) mostra que para os 4 meses de amostragem, a anomalia de TSM se manteve em –1 ºC, evidenciando que o sistema oceano-atmosfera neste período estava sob influência moderada da La Niña.

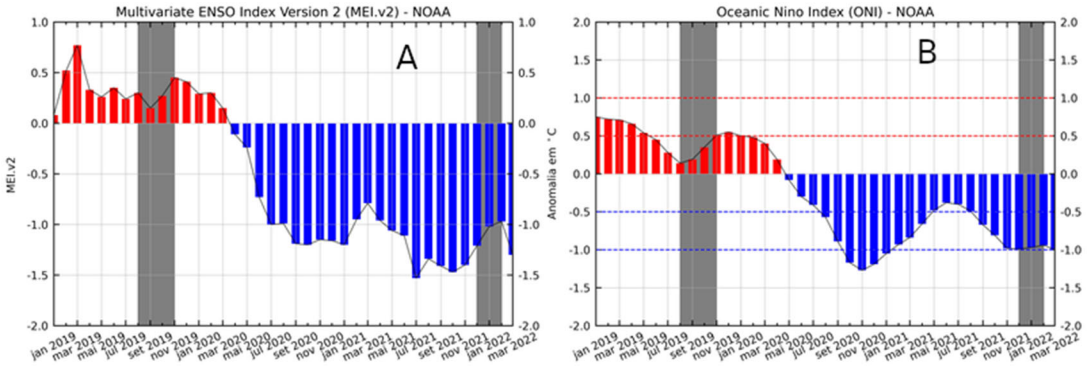


***Figura XI.3.3.1-1**: Séries temporais dos índices climáticos Multivariate ENSO Index v.2 (A) e Oceanic Niño Index (B). Os períodos das campanhas SANAGU são mostrados em cinza escuro. Valores positivos (em vermelho) indicam a fase quente do ENSO (El Niño); valores negativos (em azul) indicam a fase fria (La Ninã).*

***Tabela XI.3.3.1-1**: Limites de definição da intensidade do ENSO a partir do índice climático ONI. Baseado no Climate Prediction Center (CPC) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).*

ONI	Anomalia da TSM (ºC) (El Niño)	Anomalia da TSM (ºC) (La Niña)
Muito forte	≥ 2,0	≤ -2,0
Forte	1,5 a 1,9	-1,5 a –1,9
Moderado	1,0 a 1,4	-1,0 a –1,4
Fraco	0,5 a 0,9	-0,5 a –0,9

Campos et al. (1999) e Lentini et al. (2001) reportaram fortes interações entre o índice climático *Southern Oscillation Index* (SOI) e a TSM no Atlântico Sudoeste, onde anomalias negativas da TSM foram correlacionadas com a fase quente do ENSO. Os resultados descritos na revisão sobre as mudanças climáticas no Atlântico Sul de Franco et al. (2020) corroboram os resultados

PÚBLICA

encontrados nos estudos citados anteriormente, adicionando que essas anomalias negativas da TSM podem estar associadas ao aumento da precipitação na região do Rio da Prata causados por eventos de El Niño, que aumentando a descarga fluvial para o oceano e resfriando as temperaturas de superfície.

A campanha de 2019 não deve ter sido muito influenciada pelo El Niño, por ter se desenvolvido na estação seca e mais fria e não no verão quente e chuvoso. A campanha de 2021/22 de verão se desenvolveu em período de La Ninã, o que pode ter diminuído em parte a quantidade de precipitação.

XI.3.3.2 Composições semanais

As Tabela XI.3.3.2-1 e XI.3.3.2-2 apresentam os momentos estatísticos das composições semanais do VSM (intensidade e direção), ANM, TSM, CSM e circulação geostrófica (intensidade e direção), de inverno (I) e verão (V). O período de 08/2019 a 10/2019 apresentou valores mínimo (1,44 m/s), máximo (10,54 m/s) e mediana (7,79 m/s) da intensidade do VSM relativamente maiores que no período de 12/2021 a 03/2022 (V:1,32 m/s, 9,83 m/s e 6,59 m/s, respectivamente). O desvio padrão (I:1,55 m/s, V:1,52 m/s) e o *skewness* (I:-0,9, V:-0,28) apresentaram valores similares nos dois períodos, enquanto a medida de kurtosis foi positiva para a campanha de inverno (0,76) e negativa para a campanha de verão (-0,1). Isso mostra que no período de inverno houveram mais valores extremos do que no verão. Em relação à direção do VSM não houve diferenças significativas entre os momentos estatísticos de inverno e verão, sendo o vento de NE mais persistente nos dois períodos (I: 252,06º, V: 253,05º).

A ANM apresentou a maior mediana no verão (I:5,76 cm; V:10,91 cm), com os máximos e mínimos sendo mais extremos no inverno (máx. I:29,14 cm, V: 28,93 cm; mín. I: -14,18 cm, V:-10,73 cm). A medida de kurtosis foi positiva para o período de inverno (0,92) e negativa para o período de verão (-0,1) mostrando que no período de inverno houve mais valores extremos da ANM. A TSM apresentou os maiores mínimos (I: 15,03ºC, V: 21,03 ºC), máximos (I: 28,31ºC, V: 32,40 ºC) e medianas (I: 22,16ºC, V: 26,20 ºC) no verão, com a medida de kurtosis sendo maior no inverno (I:1,95, V: 0,14) evidenciando um período com mais valores extremos. A CSM apresentou os maiores máximos no verão

(I:19,92 mg.m^{-3}, V: 42,08 mg.m^{-3}) e a maior mediana no inverno (I:0,16 mg.m^{-3}, V: 0,08 mg.m^{-3}). O skewness (I: 9,82, V: 17,92) e a medida de kurtosis (I: 179,44, V: 540, 93) foram maiores no verão mostrando que neste período há mais valores acima da média e também, mais valores extremos. A corrente geostrófica apresentou intensidades similares nos dois períodos amostrais (I:14,4 cm/s, V: 14,89 cm/s) e direção da corrente para S-SE (I: 208,88º, V:212,37º).

***Tabela XI.3.3.2-1**: Momentos estatísticos para as variáveis intensidade (int) e direção (dir) do VSM, ANM, TSM, CSM, intensidade (int) e direção (dir) da corrente geostrófica (CGEO) nos períodos das campanhas SANAGU de inverno 2019. (min = mínimo, max = máximo, med = mediana, dp = desvio padrão, sk = skewness, kt = kurtosis e n = tamanho da série).*

	Inverno – 08/2019 a 10/2019						
	min	**max**	**med**	**dp**	**sk**	**kt**	**n**
VSM – int (m/s)	1,44	10,54	7,79	1,55	-0,9	0,76	8436
VSM – dir (º)	-	-	252,06	41	-0,78	5,3	8436
ANM (cm)	-14,18	29,14	5,76	4,8	0,05	0,92	13416
TSM (ºC)	15,03	28,31	22,16	1,24	-0,93	1,95	1238344
CSM (mg.m^{-3})	0,06	19,92	0,16	0,59	9,82	179,44	288595
CGEOS – int (cm/s)	0,83	70,81	14,89	11,09	1,11	1,09	13416
CGEOS – dir (º)	-	-	208,88	98,87	-0,33	-0,93	13146

***Tabela XI.3.3.2-2:** Momentos estatísticos para as variáveis intensidade (int) e direção (dir) do VSM, ANM, TSM, CSM, intensidade (int) e direção (dir) da corrente geostrófica (CGEO) para as campanhas SANAGU de verão. (min = mínimo, max = máximo, med = mediana, dp = desvio padrão, sk = skewness, kt = kurtosis e n = tamanho da série).*

	Verão - 12/2021 a 03/2022						
	min	**max**	**med**	**dp**	**sk**	**kt**	**n**
VSM-int (m/s)	1,32	9,83	6,59	1,52	-0,28	-0,1	9842
VSM-dir (º)	-	-	253,05	39,78	-1,14	6,11	9842
ANM (cm)	-10,73	28,93	10,91	5,37	0,06	-0,1	15652
TSM (ºC)	21,03	32,4	26,2	1,16	-0,58	0,14	1374117
CSM (mg.m^{-3})	0,04	42,08	0,08	0,77	17,92	540,93	336691
CGEOS – int (cm/s)	1,21	79,62	14,4	11,13	1,43	2,25	15652
CGEOS – dir (º)	-	-	212,37	95,6	-0,44	-0,69	15652

Para ilustrar algumas feições analisadas nos relatórios de contextualização meteoceanográficas, são mostrados os mapas semanais referentes às semanas

12/08/2019 - 18/08/2019 (Estações A1, A2, A7 e B1 da campanha de inverno) (Figura I XI.3.3.1-1) e 16/03/2022 - 22/03/2022 (Estações H2. H3, H4, H5 e H6 de verão) (Figura I XI.3.3.2-2). No inverno, o VSM se mostrou mais intenso que no verão, mas com a direção persistindo de NE nos dois períodos (Figura III.3-2A e 3A). A ANM indicou maior ocorrência de vórtices anticiclônicos e ciclônicos no inverno do que no verão (Figura XI.3.3.2-1B e 2B). A TSM no inverno apresentou águas mais frias vindas de sul chegando até o litoral de SP e um menor número de eventos de ressurgência (Figura III.3-2C). No verão, a TSM apresentou valores mais altos e eventos de ressurgência, principalmente na região de Cabo Frio, RJ (Figura XI.3.3.2-2C). A CSM no inverno apresentou maiores concentrações na plataforma continental (Figura XI.3.3.2-1D). No verão, as maiores concentrações se limitaram às regiões mais costeiras (Figura XI.3.3.2-2D). Todos os mapas semanais gerados estão disponibilizados no Anexo XI.7.2.

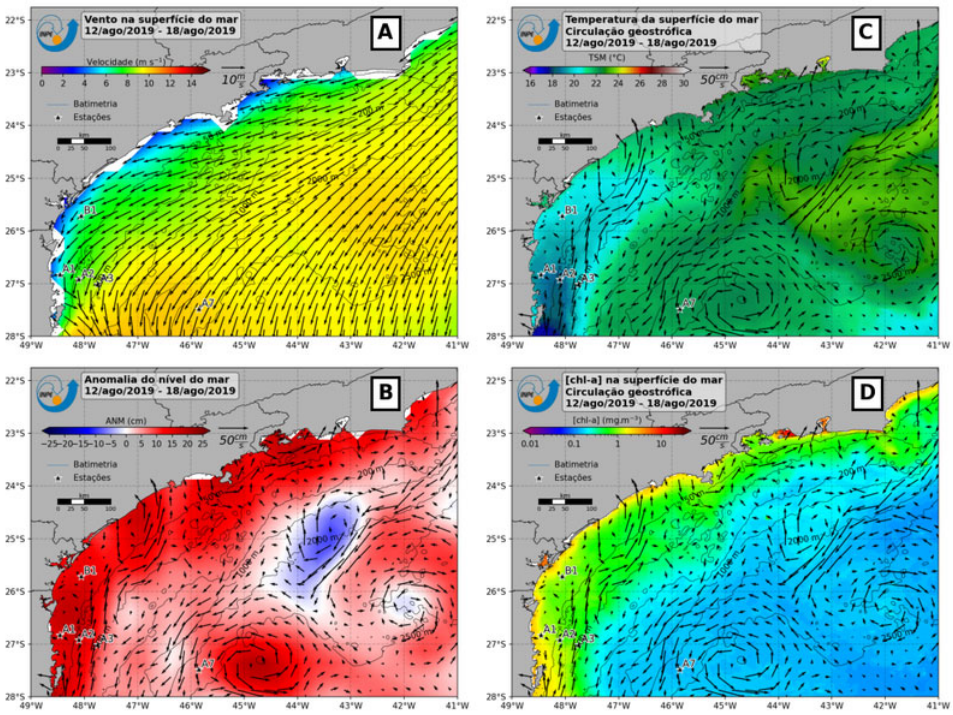


***Figura XI.3.3.2-1**: Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com a corrente geostrófica referentes à semana do dia 12/08/2019 a 18/08/2019 na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

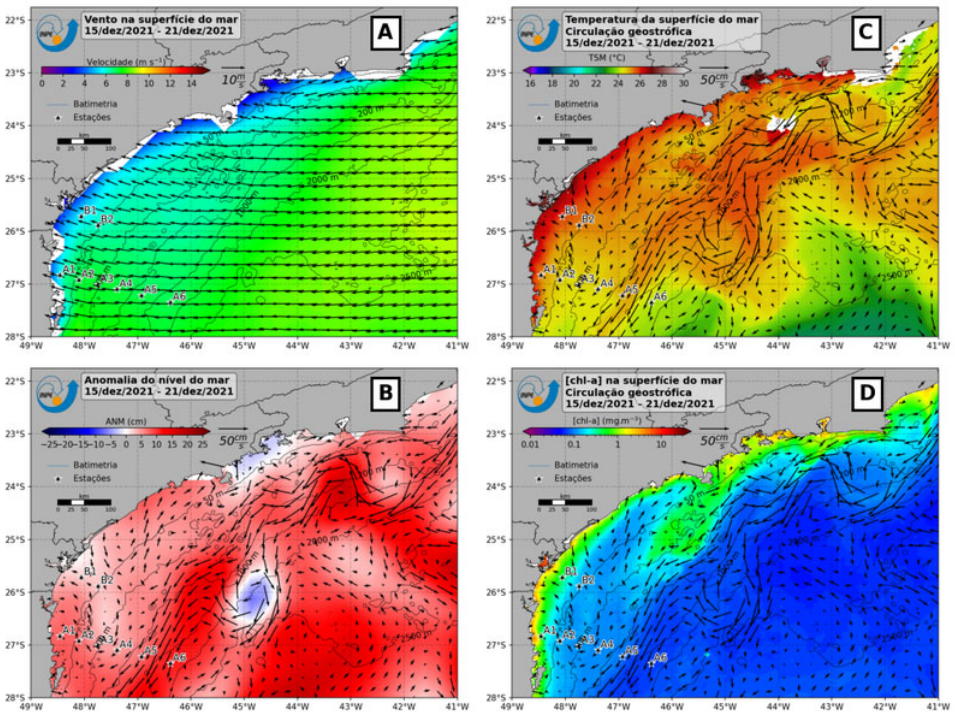


Figura XI.3.3.2-2: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica referentes à semana do dia 15/12/2021 a 21/12/2022 na Bacia de Santos.*

XI.3.3.3 Composições diárias

Nas Figuras XI.3.3.3-1 e 2 são mostrados os diagramas de Hovmöller da CSM, TSM, ANM e VSM perpendicular e ao longo do transecto A amostrado nas campanhas de inverno (8-16/08/2019) e verão (14-20/12/2021), respectivamente. Podemos observar que nos dois períodos houveram inversões no sentido do VSM perpendicular nos dias 11-12/08/2019 e 13-15//08/2019 no inverno (Figura XI.3.3.2-1) e 16-19/12/2021 no verão (Figura XI.3.3.3-2). Essas inversões do vento podem ser associadas à passagem de sistemas frontais pela Bacia de Santos. Essas mudanças no padrão do VSM causa alteração na dinâmica da coluna d'água, podendo-se observar um recuo das concentrações relativamente mais altas de CSM em direção à costa (subsidência), como nos dias 12-14/08/2019 (Figura XI.3.3.3-1) e 18-19/12/2021 (Figura XI.3.3.3-2).

PÚBLICA

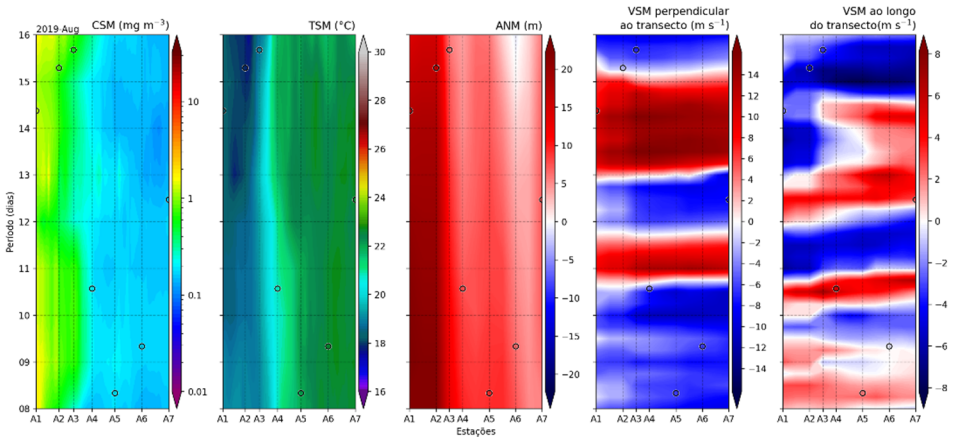


***Figura XI.3.3.3-1**: Diagramas de Hovmöller da CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto A, realizado entre os dias 8-16/08/2019 (inverno).*

Também é possível observar maiores concentrações de CSM no inverno (Figura XI.3.3.3-1) do que no verão (Figura XI.3.3.3-2), em praticamente todas as estações, assim como, menores valores de TSM no inverno (Figura XI.3.3.3-1) do que no verão (Figura XI.3.3.3-2). No inverno é possível observar uma frente termal na estação A4, com menores valores de TSM (18-19 ºC) entre as estações A1 e A4 e maiores valores de TSM (22-23 ºC) ao largo da estação A4 (Figura XI.3.3.3-1). No verão, não observamos a frente termal de forma tão destacada. Entretanto, ainda foram observados maiores valores de TSM (24-26 ºC), entre as estações A1 e A4 e menores valores de TSM (22-24 ºC) ao largo da estação A4 (Figura XI.3.3.3-2). As composições diárias para os outros transectos das campanhas amostrais de inverno e verão são apresentadas no Anexo XI.7.3.

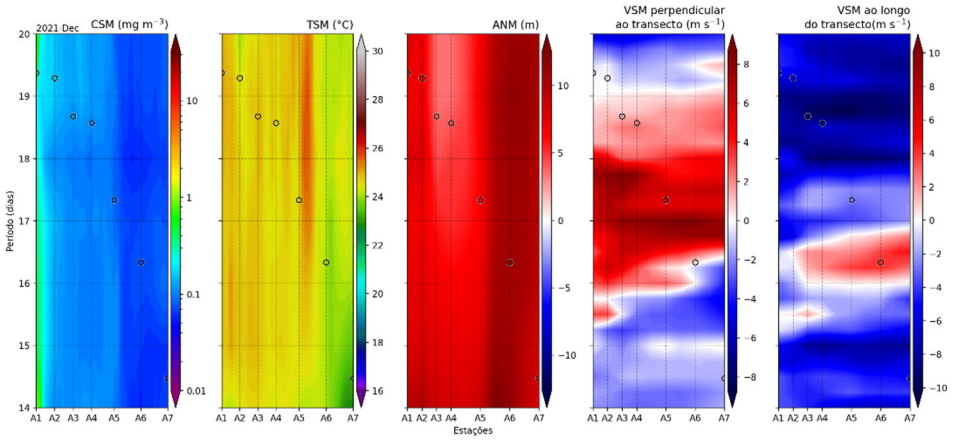


***Figura XI.3.3.3-2:** Diagramas de Hovmöller da CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto A, realizado entre os dias 14-20/12/2021 (verão).*

PÚBLICA

XI.4 Estuários

XI.4.1 Introdução

Os estuários são definidos como zonas de transição altamente dinâmicas entre o ambiente terrestre e oceânico. O dinamismo das zonas estuarinas é explicado pela presença de uma gama de processos costeiros e variáveis ambientais, responsáveis por influenciar as características físico-químicas e qualidade da água dos estuários ao longo dos anos. Entre estes processos, destacam-se desde a ocorrência de fenômenos meteoceanográficos (e.g., ressacas, marés e descarga fluvial) até mudanças no uso-cobertura do solo. Desta forma, compreender os sistemas estuarinos adjacentes às bacias oceânicas e sua influência sobre à dispersão de plumas de sedimentos, comportamento ótico e dinâmica costeira, é de interesse vital para a Indústria do Petróleo e Gás. Esta análise teve como objetivo avaliar a variabilidade de características óticas e de qualidade da água dos sistemas estuarinos adjacentes à Bacia de Santos, a partir de dados de satélite multitemporais Landsat de média-resolução espacial, bem como, sua relação com variáveis ambientais.

XI.4.2 Material e Métodos

A área de estudo foi definida com base em sete regiões estuarinas de interesse, adjacentes à Bacia de Santos: Baia de Guanabara, Baia de Sepetiba, Baia da Ilha Grande, Enseada de Caraguatatuba, Estuário de Santos, Baia de Paranaguá e Baia de Babitonga (Figura XI.4.2-1). Vale ressaltar que as regiões de interesse foram ligeiramente diferentes para determinados estuários. Para a Baia de Guanabara foi considerada toda a área do espelho d'água até a desembocadura da baia, enquanto que para os demais estuários foi considerado os limites obtidos das Cartas SAO fornecidos pela UNESP/RClaro.

Foram extraídas séries temporais de produtos de sensoriamento remoto e reanálises a fim de avaliar variáveis ambientais, antrópicas e índices de qualidade da água. Os produtos utilizados são mostrados na Tabela XI.4.2-1, de onde foram extraídas as variáveis e índices de: Reflectância de sensoriamento remoto (Rrs) no Azul, Verde, Vermelho, infravermelho-próximo (NIR),

infravermelho-médio SWIR1 e SWIR2; Razões de bandas Azul/Vermelho/Verde; Índice de turbidez; Precipitação; Componentes zonais e meridionais do vento; Classes de uso-ocupação do solo; Índice de vegetação GCVI. Para os dados obtidos a partir de produtos de sensoriamento remoto Landsat, foram aplicados procedimentos de correção atmosférica pelo esquema LaSRC (Vermote et al. 2016), mascaramento de nuvens e sombra CFMask e ortorretificação com 30 m de resolução espacial. Também foram aplicados filtros nas imagens Landsat para a eliminação de pixels ruidosos de acordo com o critério proposto por Bugnot et al. (2018). Um critério de qualidade foi estabelecido para os dados obtidos via satélite, admitindo apenas imagens com cobertura máxima de nuvens < 10% (Tabela XI.4.2-2).

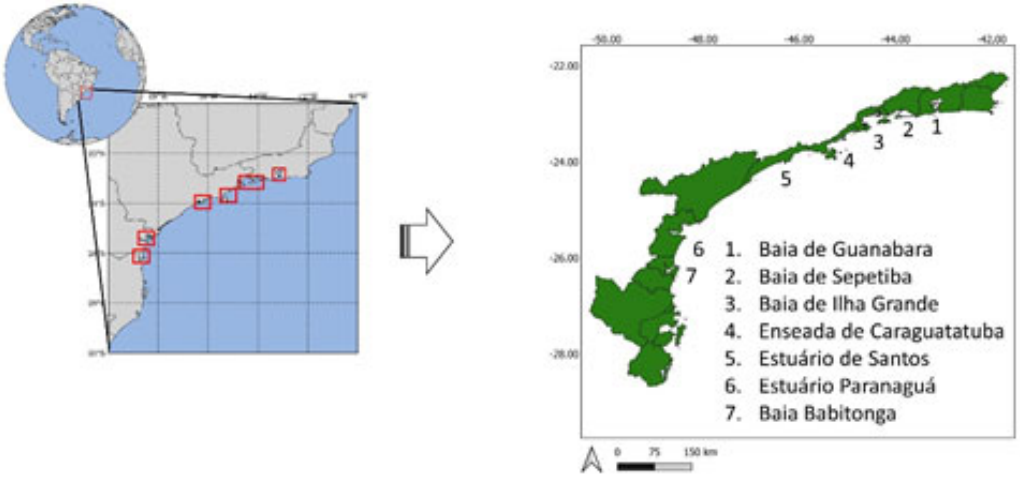


***Figura XI.4.2-1**: Localização dos estuários considerados de interesse para a análise de dados de satélite multitemporais de média resolução espacial na Bacia de Santos (Baia de Guanabara, Baia de Sepetiba, Baia de Ilha Grande, Ensedada de Caraguatatuba, Estuário de Santos, Estuário de Paranaguá e Baia de Babitonga).*

De modo geral, a metodologia foi baseada em 4 etapas principais: (I) obtenção dos valores de refletância das imagens Landsat5 e Landsat8 e cálculo das razões de bandas Azul/Vermelho, Azul/Verde e Verde/Vermelho, e de um índice de turbidez da água; (II) regionalização dos corpos d'água dos estuários; (III) extração ou cálculo dos valores das variáveis ambientais, precipitação e vento e porcentagem das classes de uso e ocupação do solo; (IV) análise da influência dos fatores ambientais e classes de uso e cobertura do solo sobre o índice de turbidez por meio de análise estatística e técnicas de regressão

PÚBLICA

multivariada. Estas etapas podem ser visualizadas no fluxograma metodológico exibido na Figura XI.4.2-2.

Tabela XI.4.2-1: *Índices de qualidade da água, variáveis ambientais e antrópicas utilizados nas análises estatísticas.*

Variável/Índice	Fonte	Período	Local	Unidade	Agregação
R_{rs} no Azul, Verde, Vermelho, NIR, SWIR1, SWIR2	Landsat5/8; GEE/USGS	L5 1984–2012 L8 2013–2020	Água	sr^{-1}	Valor pixel por imagem
Razões Azul/Vermelho, Azul/Verde, Verde/Vermelho	Landsat5/8; GEE/USGS	L5 1984–2012 L8 2013–2020	Água	Adimensional	Valor pixel por imagem
Índice turbidez	Landsat5/8; GEE/USGS Algoritmo Dogliotti et al. (2015)	L5 1984–2012 L8 2013–2020	Água	FNU	Valor pixel por imagem
Precipitação	CHIRPS	1984-2020	Bacia Hidrográfica	mm/dia	Média diária
Componentes U e V do vento	ERA5	1984-2019	Bacia Hidrográfica	m/s	Média diária
Classe uso-ocupação	MapBiomas	1984-2019	Bacia Hidrográfica	% área ocupada	Valor anual
Índice GCVI (NIR/Verde)-1	Landsat5/8; GEE/USGS	L5 1984–2012 L8 2013–2020	Bacia Hidrográfica (manguezal)	Adimensional	Valor pixel por imagem

Tabela XI.4.2-2*. Número de imagens Landsat5/TM e Landsat8/OLI disponíveis para os estuários de interesse com até 10% de cobertura de nuvens*

.

Estuário	Landsat5/TM	Landsat8/OLI
Baía de Guanabara	98	39
Baía de Sepetiba	103	52
Baía de Ilha Grande	85	40
Enseada de Caraguatatuba	86	78
Estuário de Santos	44	61
Baía de Paranaguá	39	20
Baía de Babitonga	39	20

De modo geral, a metodologia foi baseada em 4 etapas principais: (I) obtenção dos valores de refletância das imagens Landsat5 e Landsat8 e cálculo das razões de bandas Azul/Vermelho, Azul/Verde e Verde/Vermelho, e de um índice de turbidez da água; (II) regionalização dos corpos d'água dos estuários; (III) extração ou cálculo dos valores das variáveis ambientais, precipitação e vento e porcentagem das classes de uso e ocupação do solo; (IV) análise da influência dos fatores ambientais e classes de uso e cobertura do solo sobre o índice de turbidez por meio de análise estatística e técnicas de regressão multivariada. Estas etapas podem ser visualizadas no fluxograma metodológico exibido na Figura XI.4.2-2.

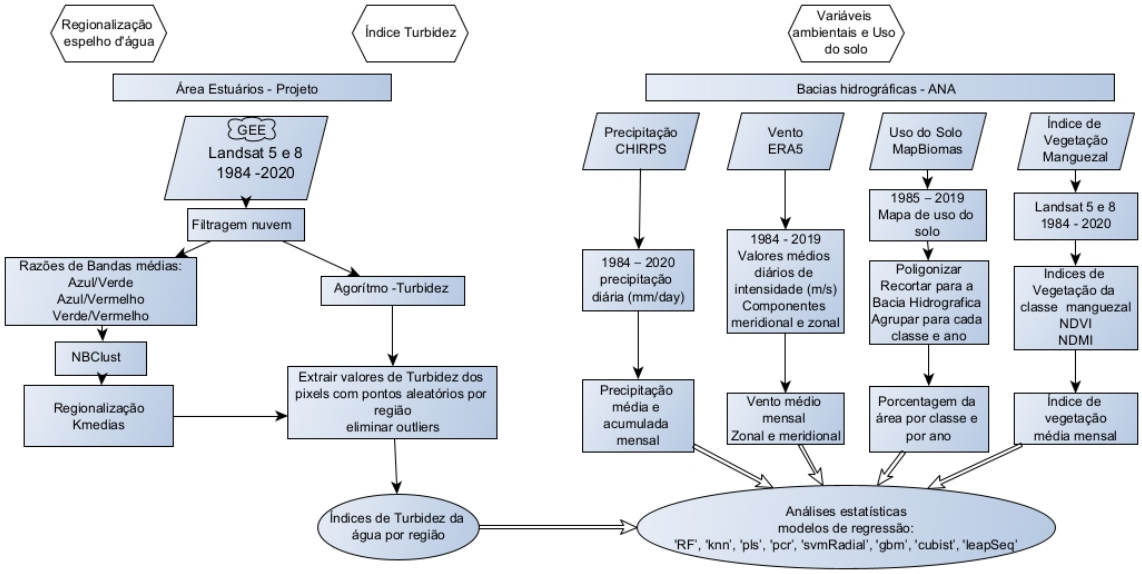


Figura XI.4.2-2: *Fluxograma das etapas metodológicas aplicadas no processamento dos dados e análises dos estuários de interesse.*

Além do índice de turbidez calculado a partir do algoritmo semi-analítico proposto por Dogliotti et al. (2015), outros índices de cor da água baseados em razões de bandas também foram calculados de acordo com Bugnot et al. (2018), sendo: Azul/Vermelho, Azul/Verde e Verde/Vermelho. Os valores dos índices de qualidade da água possivelmente associados a ruído, borda de nuvens, neblina (outliers) foram ainda filtrados de acordo com alguns critérios: (i) eliminação dos pixels com valores do índice de turbidez > percentil 99; (ii) eliminação dos pixels com valores > percentil 99 no infravermelho-próximo e médio. Foram então

PÚBLICA

gerados conjuntos de pontos aleatórios (entre 1250 na Baia de Guanabara e 5500 na Baia de Paranaguá, variando de acordo com o tamanho de cada estuário), para a extração dos índices de qualidade da água, mantendo-se uma distância mínima de 90 metros entre os pontos e de 120 metros da linha de costa, para evitar efeitos de adjacência nos valores de Rrs. Essa abordagem por pontos aleatórios permitiu filtrar mais facilmente possíveis interferências indesejáveis, como ilhotas, embarcações e pequenas nuvens não mascaradas. A região entre-marés também foi mascarada de acordo com dados do Global Intertidal (Murray et al 2019).

A regionalização dos estuários foi baseada na aplicação do algoritmo de agrupamento pelo método K-médias não-supervisionado (MacQueen et al., 1967; Dinler e Tural, 2016) sobre as imagens referentes às médias temporais (isomédias) das razões de bandas Azul/Vermelho, Azul/Verde e Verde/Vermelho, utilizando 100.000 pixels de treinamento. Para definir o número de classes em cada estuário analisado, foi aplicada a função NbClust disponível em linguagem R, com uma amostra de ~9000 pixels para cada estuário, extraídos das três razões de bandas consideradas. Os polígonos resultantes da análise de agrupamento contendo as classes de qualidade da água foram cruzados com os pontos aleatórios definidos anteriormente. Desta forma, cada ponto aleatório teve a sua respectiva classe de qualidade da água indicada.

Os valores dos índices de qualidade da água foram analisados estatisticamente e relacionados com as variáveis ambientais e antrópicas apresentados anteriormente na Tabela XI.4.2-1. As análises foram realizadas em escala mensal (ainda que tenham sido feitas analises exploratórias em escalas anual e diária, i.e., considerando as datas das imagens). Para cada conjunto de dados foi aplicado inicialmente, o teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Os dados com distribuição normal foram analisados pela correlação de Pearson e os dados sem distribuição normal foram analisados pela correlação de Spearman, ambos com nível de significância de 5% (Freedman, 2009). Por fim, foram aplicados 8 métodos de regressão multivariada de acordo com Kuhn (2008): Random Forest (Breiman, 2001), k-Nearest Neighbors, Partial Least Squares (Mevik, Wehrens, 2007; Wold et al., 2001), Principal Component

Analysis, Support Vector Machines with Radial Basis Function Kernel, Stochastic Gradient Boosting, Cubist e Linear Regression with Stepwise Selection.

XI.4.3 Resultados e Discussão

XI.4.3.1 Baía de Guanabara

A turbidez média calculada a partir da série temporal de imagens Landsat indica maiores valores (> 37 FNU) próximos das desembocaduras de rios e valores < 10 FNU nas águas do setor mais central da BG (Figura XI.4.3.1-1a). O espelho d'água foi regionalizado em 3 regiões pela aplicação do método K-médias (Figura XI.4.3.1-1b). A região 1 encontra-se mais a leste bordeando o manguezal da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim. A região 2 recebe a influência do setor mais ao fundo e oeste da BG e a região 3 pode ser caracterizada pelas águas do setor meio-oeste da BG perto do canal principal e desembocadura da BG na região costeira adjacente.

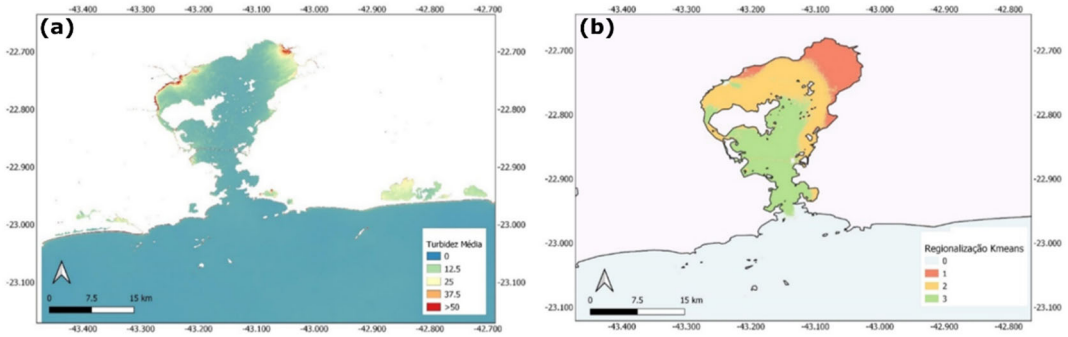


Figura XI.4.3.1-1: *(a) Turbidez média calculada a partir da série temporal de imagens Landsat; (b) Resultado da regionalização do espelho d'água da Baía de Guanabara em três regiões pela aplicação do método K-médias.*

Os valores das razões de bandas Azul/Verde, Azul/Vermelho, Verde/Vermelho para cada região da BG (Figura XI.4.3.1-2a) mostram um aumento relativo dos valores desses três índices de qualidade de água da região 1 para a região 3. Os valores de turbidez (Figura XI.4.3.1-2b) indicam que a região 1 mais próxima da APA de Guapimirim apresenta valores relativamente mais altos que as demais, o que pode estar associado à proximidade de efluentes naquele setor.

PÚBLICA

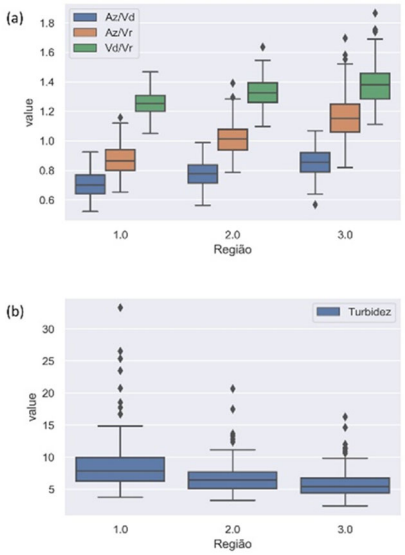


Figura XI.4.3.1-2: *Boxplot dos valores (a) das razões de bandas Azul/Verde, Azul/Vermelho, Verde/Vermelho e (b) Turbidez para as três regiões setorizadas da Baia de Guanabara.*

A diminuição da reflectância ao longo do espectro azul indica maior absorção de constituintes biogênicos (i.e., fitoplâncton, matéria orgânica dissolvida e particulada), enquanto o aumento da reflectância no vermelho indica maior concentração de sedimentos em suspensão. Desta forma, os valores obtidos pela razão Azul/Vermelho expressam uma menor concentração de material em suspensão. A diminuição desta razão ao longo do tempo indica um possível aumento na turbidez, à exemplo da região 1 (Figura XI.4.3.1-4).

A região 1 está localizada próxima ao manguezal da APA de Guapimirim, com 4 grandes efluentes que desembocam na BG com influência significativa na qualidade da água local. A correlação entre os índices de qualidade da água e variáveis ambientais e antrópicas indica uma maior influência ou contribuição das classes de manguezal, infraestrutura urbana, índice de vegetação GCVI e intensidade zonal do vento. Estas variáveis apresentaram correlação inversa com o índice de turbidez (Figura XI.4.3.1-5a), enquanto as variáveis de precipitação e intensidade meridional do vento apresentaram uma correlação direta. O índice de vegetação GCVI (Gitelson et al., 2003) é um indicador da fenologia da vegetação e está relacionado com a concentração da clorofila do

PÚBLICA

dossel florestal. Pode ser correlacionado com o índice de área foliar e a biomassa de folhas verdes.

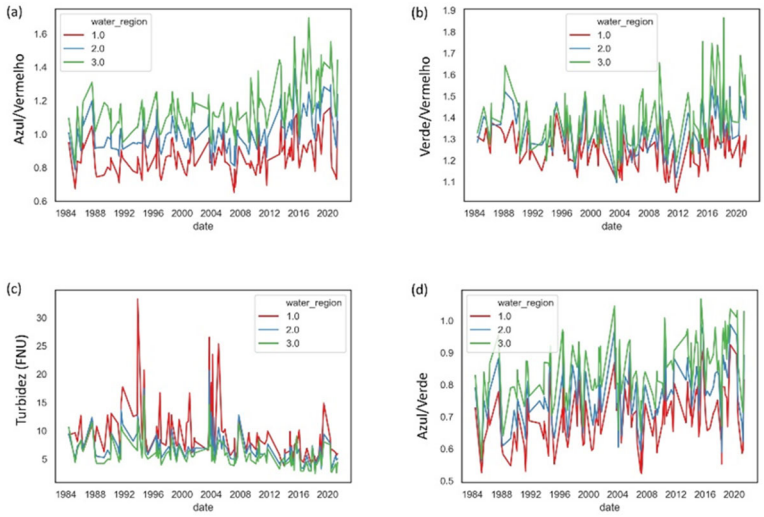


***Figura XI;4.3.1-3**: Série temporal dos índices de qualidade da água extraídos das imagens Landsat para cada região da Baia de Guanabara: (a) Razão Azul/Vermelho, (b) Razão Verde/Vermelho, (c) Turbidez, (d) Razão Azul/Verde.*

A região 2 localiza-se no setor oeste e próximo à Duque de Caxias mais ao fundo da Baia de Guanabara. O índice de turbidez apresentou maior correlação inversa com o índice de vegetação GCVI, a porcentagem de área das classes infraestrutura urbana e manguezal, e correlação direta com a classe apicum (Figura XI.4.3.1-5b). A região 3 pode ser caracterizada pelas águas mais próximas do canal principal bem como da margem oeste mais próxima da desembocadura da BG no oceano adjacente. O índice de turbidez apresentou maior correlação inversa com o índice de vegetação GCVI, a porcentagem de área da classe infraestrutura urbana e manguezal, e correlação direta com apicum (Figura XI.4.3.1-5c).

O resultado da modelagem para o índice de turbidez com os dados da região 1 (Figura XI.4.3.1-6) mostra que o modelo *Random Forest* apresentou o melhor resultado com R^2 = 0,43 e RMSE = 3,63, ressaltando a importância relativa das variáveis no modelo RF para a região 1: índice de vegetação do manguezal GCVI, precipitação, área de apicum, vento meridional e área urbana. O resultado da modelagem para o índice de turbidez da região 2 indica que o modelo

PÚBLICA

Random Forest apresentou um dos melhores resultados com R^2= 0,58 e RMSE = 1,78, sendo que as variáveis de maior importância relativa no modelo RF foram o índice de vegetação GCVI, seguido pelo vento meridional, área de apicum, vento zonal e área urbana. Já para a região 3, o índice de turbidez apresentou valores de R^2= 0,46 e RMSE = 1,67, demarcado principalmente pelo índice de vegetação GCVI, seguido pelo vento meridional e zonal.

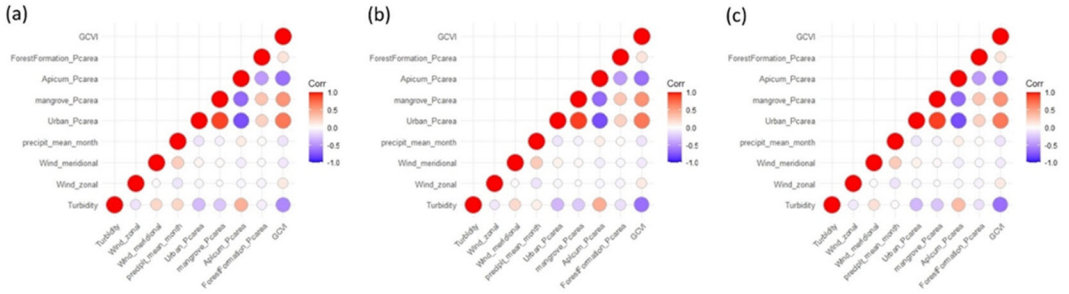


***Figura XI.4.3.1-4**: Correlação entre todas os índices de qualidade da água e variáveis ambientais e antrópicas para (a) região 1, (b) região 2, (c) região 3.*

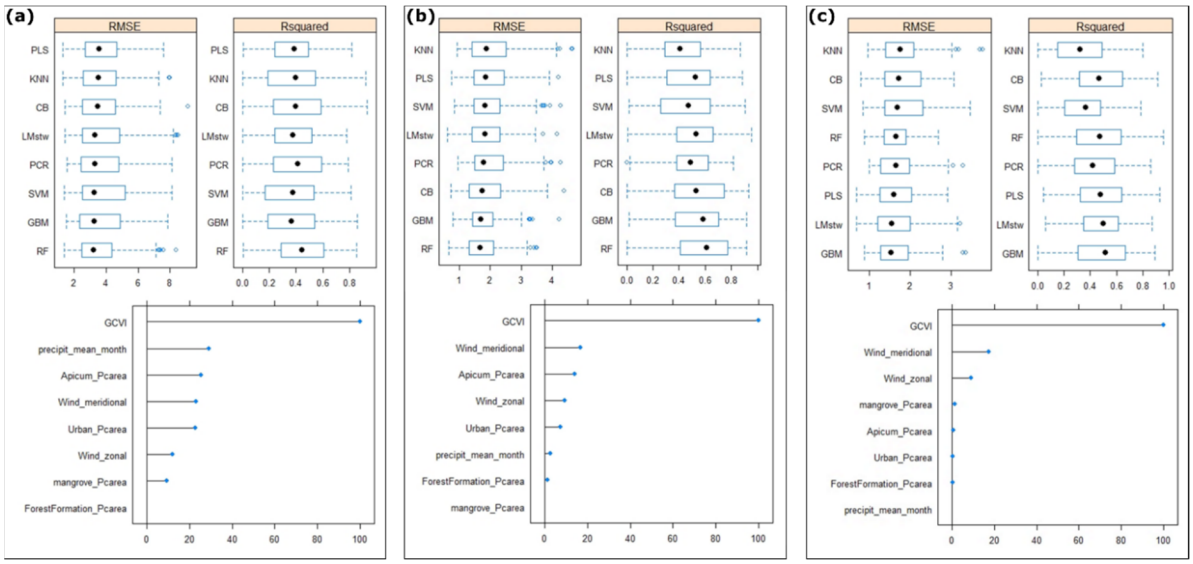


***Figura XI.4.3.1-5**: (a) Resultado dos modelos de regressão multivariada e importância relativas das variáveis do modelo Random Forest para: (a) Região 1; (b) Região 2; (c) Região 3 da BG.*

De modo geral, o modelo de regressão que apresentou os melhores resultados nas análises da BG foi o *Random Forest* e as variáveis mais influentes

PÚBLICA

variaram conforme a região. O índice de vegetação GCVI apresentou alta correlação com a turbidez nas três regiões. As porcentagens de cobertura por apicum e área urbana, bem como, vento e precipitação, apresentaram influencia em algumas das regiões. Mesmo com uma forte influência da urbanização sobre a qualidade da água da Baia de Guanabara, o manguezal ainda provê benefícios para a biodiversidade e o sustento de comunidades pesqueiras. Os resultados também indicaram que o índice de vegetação GCVI apresentou correlação inversa com a turbidez. O índice de vegetação GCVI é um indicador da fenologia da vegetação e pode ser relacionado com a biomassa de folhas. Na presente análise tanto o aumento da área de cobertura do manguezal como o índice GCVI indicaram correlação inversa com a turbidez, mostrando a importância deste ecossistema na manutenção da qualidade da água e vida do estuário.

A série temporal de porcentagem de cobertura de uso do solo por ano mostra um aumento das classes de infraestrutura urbana e manguezal (Figura XI.4.3.1-6). No caso da classe manguezal, este aumento pode estar associado à criação da APA de Guapimirim e consequente proteção ou conservação deste ecossistema. A classe apicum pode ser considerada como uma zona de transição com solo exposto arenoso, que apresentou uma diminuição de sua cobertura ao longo dos anos (Figura XI.4.3.1-*6*c). Esta tendência de diminuição pode estar associada à expansão da cobertura por manguezal nas bordas ou zonas de transição, ou mesmo à ocupação por outras classes de uso do solo. Para a classe Apicum, quanto menor for a porcentagem de área de cobertura menor é a turbidez da água na BG.

Figura XI.4.3.1-6*: Séries temporais das porcentagens de área de cobertura das classes de uso do solo: (a) Infraestrutura Urbana, (b) Manguezal, (c) Apicum na Baia de Guanabara.*

PÚBLICA

A partir das séries temporais de uso-cobertura é possível identificar que a classe de infraestrutura urbana apresentou uma relação inversa com a turbidez. Este comportamento inverso também foi observado por McCarthy et al. (2018) na Baía de Tampa, EUA, sendo possivelmente associado à maior velocidade de escoamento pluvial das águas continentais em regiões urbanizadas, carregando assim menos material particulado e detritos em direção ao oceano. Vale ressaltar que uma diminuição na turbidez da água na Baía de Guanabara não significa uma diminuição de sua poluição. A região da Baia de Guanabara apresenta um histórico de crescimento urbano-industrial desde as últimas décadas promovendo a poluição da água dos rios e da própria Baia. Fries et al. (2019) analisaram indicadores da qualidade da água na Baia de Guanabara obtidos em campo focando em duas importantes ameaças ambientais: o lixo e o esgoto não tratados. Este último foi uma das maiores razões da péssima qualidade da água observada em setores da Baia de Guanabara. A atividade industrial e alta densidade populacional na bacia hidrográfica, principalmente próximo às margens da BG, geram uma carga de esgoto que são descarregados diretamente nas águas da baia, sendo que apenas uma pequena fração é devidamente tratada. De acordo com o autor, apenas ~33% do esgoto é tratado, sendo as mais baixas taxas de qualidade da água no setor noroeste da BG, entre Duque de Caxias e Rio de Janeiro. Apesar dos recorrentes programas de despoluição iniciados nas últimas décadas, estes esforços ainda não alcançaram as metas desejadas (Soares-Gomes et al. 2016).

Outra iniciativa que está contribuindo com a melhora da qualidade da água na Baia de Guanabara é a presença de Áreas de Proteção Ambiental, à exemplo da APA de Guapimirim criada em 1984 (Decreto 90225/84). Esta tem como principal objetivo proteger os remanescentes de manguezais no recôncavo da Baía de Guanabara e assegurar a permanência e sobrevivência das comunidades locais. O Decreto Federal s/nº 15/02/2006 criou a Estação Ecológica (ESEC) da Guanabara, com área de 1.935 ha. Esta região abriga os manguezais mais preservados e que contribuem com os processos ambientais, aporte de nutrientes, controle de sedimentação e erosão, além de filtrar poluentes e servir como berçário e habitat de muitas espécies costeiras (Webber et al. 2016). Embora sejam essenciais para a estocagem de carbono florestal

(Soares et al. 2005; Pereira et al. 2018), os manguezais são impactados com o aporte de poluentes e derramamentos de óleo de forma cada vez mais frequente (Soares-Gomes et al. 2010).

XI.4.3.2 Baía de Sepetiba, Baía de Ilha Grande, Enseada de Caraguatatuba, Estuário de Santos, Estuário de Paranaguá, Baía de Babitonga

Os resultados das classificações pelo método K-médias indicaram um número de classes variando entre 2-3, de acordo com o algoritmo NbClust (Figura XI.4.3.2-1). As regiões A são as mais próximas do fundo dos estuários, ou em alguns casos, englobam praticamente todo o espelho d'água. O histograma da distribuição dos valores de turbidez estimados a partir das reflectâncias das imagens Landsat para as regiões A de cada estuário de interesse (Figura XI.4.3.2-2) mostra valores < 15 FNU. Relativamente, a Baia de Sepetiba e Ilha Grande apresentaram os menores valores de turbidez em relação aos demais estuários. A evolução temporal dos valores de turbidez de todos os estuários de interesse pode ser observada na Figura XI.4.3.2-3. A Figura XI.4.3.2-4 apresenta as distribuições superficiais da turbidez referentes aos percentis 90 da série temporal de imagens Landsat para os estuários de interesse.

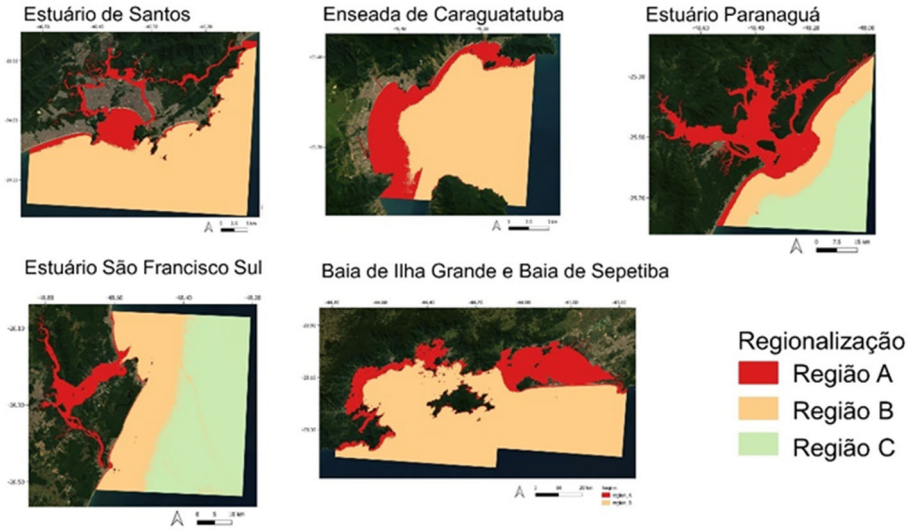


Figura XI.4.3.2-1*: Resultado da regionalização pelo método K-médias utilizando o algoritmo NbClust para definição do número de classes nos estuários de interesse: Estuário de Santos, Enseada de Caraguatatuba, Estuário de Paranaguá, Estuário de São Francisco do Sul (Baia de Babitonga), Baia da Ilha Grande e Baia de Sepetiba.*

PÚBLICA

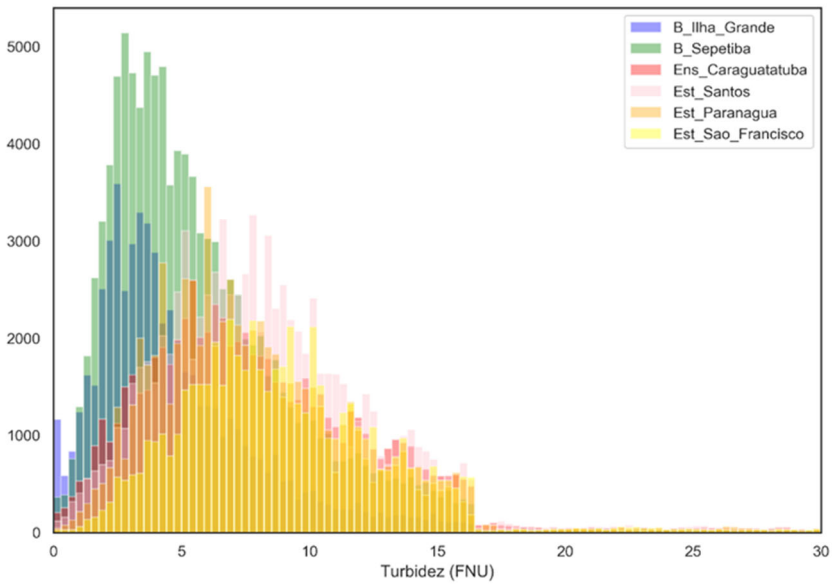


***Figura XI.4.3.2-2**: Histograma dos valores de turbidez derivados das imagens Landsat para as regiões A obtidas pelo método K-médias para os estuários de interesse: Baia de Sepetiba, Enseada de Caraguatatuba, Estuário de Santos, Baia de Paranaguá, Estuário de São Fracisco do Sul (Baia de Babitonga).*

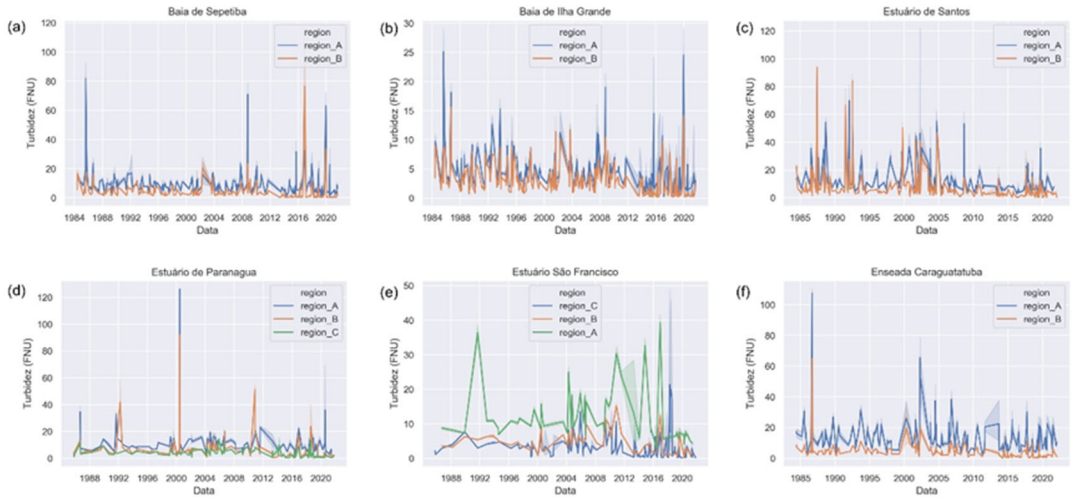


Figura XI.4.3.2-3: Séries temporais dos valores de turbidez derivados das imagens Landsat para: (a) Baia de Sepetiba, (b) Baia de Ilha Grande, (c) Estuário de Santos, (d) Estuário de Paranaguá, (e) Estuário de São Francisco Sul (Baia de Babitonga), (f) Enseada de Caraguatatuba.

PÚBLICA

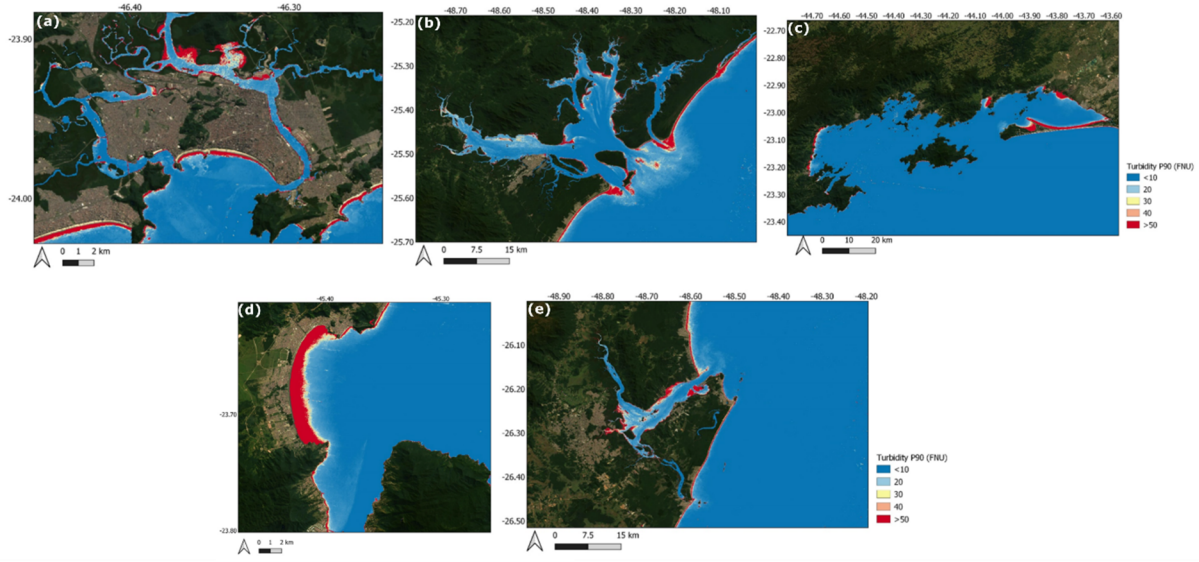


Figura XI.4.3.2-4: Percentil 90 dos valores de turbidez (FNU) derivados da série temporal de imagens Landsat para: (a) Estuário de Santos; (b) Baia de Paranaguá; © Baia de Sepetiba e Ilha Grande; (d) Enseada de Caraguatatuba; (e) Estuário de São Francisco do Sul (Baia de Babitonga).

XI.5 Referencias bibliográficas

Acker, J. G., McMahon, E., Shen, S., Hearty, T., Casey, N. 2009. Time-series analysis of remotely-sensed seawifs chlorophyll in river-influenced coastal regions. **EARSeL (European Association of Remote Sensing Laboratories) eProceedings**, 8(2).

Aidar, E., Gaeta, S. A., Gianesella-Galvão, S. M. F., Kutner, M. B. B., Teixeira,C. 1993. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofIla-a e suas relaçoes com as condiçõ es oceanogr áficas na região de Ubatuba, SP. **Publicaçã o Especial do Instituto Oceanográfico**, 10(10):9–43.

ANP. 2022. Boletim da produçao de petr óleo e g ás natural. *SDP*, 136:46.

Bai, Y., He, X., Yu, S., Chen, C.-T. A. 2018. Changes in the ecological environment of the marginal seas along the eurasian continent from 2003 to 2014. **Sustainability**, 10(3):635.

PÚBLICA

Behrenfeld, M. J., O'Malley, R. T., Siegel, D. A., McClain, C. R., Sarmiento, J. L., Feldman, G. C., Milligan, A. J., Falkowski, P. G., Letelier, R. M., Boss, E. S. 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. **Nature**, 444(7120):752–755.

Blough, N. V. Del Vecchio, R. 2002. *Chromophoric DOM in the* **Coastal Environment**. Elsevier Inc.

Boyce, D. G., Lewis, M. R., Worm, B. 2010. Global phytoplankton decline over the past century. **Nature**, 466(7306):591–596.

Brandini, F. P., Nogueira Jr, M., Simião, M., Codina, J. C. U., Noernberg, M. A. 2014. Deep chlorophyll maximum and plankton community response to oceanic bottom intrusions on the continental shelf in the South Brazilian Bight. **Continental Shelf Research**, 89:61–75.

Brandini, F. P., Tura, P. M., Santos, P. P. 2018. Ecosystem responses to biogeo- chemical fronts in the South Brazil Bight. **Progress in Oceanography**, 164:52–62.

Brewin, R. J., Sathyendranath, S., Müller, D., Brockmann, C., Deschamps, P. Y., Devred, E., Doerffer, R., Fomferra, N., Franz, B., Grant, M., Groom, S., Horse- man, A., Hu, C., Krasemann, H., Lee, Z. P., Maritorena, S., Mélin, F., Peters, M., Platt, T., Regner, P., Smyth, T., Steinmetz, F., Swinton, J., Werdell, J., White, G. N. 2015. The Ocean Colour Climate Change Initiative: III. A round-robin comparison on in-water bio-optical algorithms. **Remote Sensing of Environment**, 162:271–294.

Bricaud, A., Babin, M., Claustre, H., Ras, J., Tièche, F. 2010. Light absorption properties and absorption budget of Southeast Pacific waters. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, 115(8):1–19.

Bricaud, A., Claustre, H., Ras, J., Oubelkheir, K. 2004. Natural variability of phytoplanktonic absorption in oceanic waters: Influence of the size structure of algal populations. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, 109(11):1–12.

Bricaud, A., Morel, A., Babin, M., Allali, K., Claustre, H. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll a

concentration in oceanic (case 1) waters: analysis and implications for bio-optical models. **Journal of Geophysical Research**, 103(C13):31033–31044.

Bulgin, C. E., Merchant, C. J., Ferreira, D. 2020. Tendencies, variability and persistence of sea surface temperature anomalies. **Scientific reports**, 10(1):1–13.

Calado, L., Gangopadhyay, A., Da Silveira, I. 2008. Feature-oriented regional modeling and simulations (forms) for the western south atlantic: Southeastern brazil region. **Ocean Modelling**, 25(1-2):48–64.

Calil, P. H., Suzuki, N., Baschek, B., da Silveira, I. C. 2021. Filaments, fronts and eddies in the cabo frio coastal upwelling system, brazil. **Fluids**, 6(2):54.

Campos, E. J., Lentini, C. A., Miller, J. L., Piola, A. R. 1999. Interannual variability of the sea surface temperature in the south brazil bight. **Geophysical Research Letters**, 26(14):2061–2064.

Canny, J. 1986. A computational approach to edge detection. **IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence**, (6):679–698.

Carvalho, L. d. Jones, C. 2009. Zona de Convergência do Atlântico Sul In: **Tempo e clima no Brasil** (Cavalcanti, I., Ferreira, N., da Silva, M., Dias, M., eds.), capítulo 6, Pp. 95–109. Oficina de Textos.

Carvalho, M., Ciotti, A. M., Gianesella, S. M. F., Corrêa, F. M. P. S., Perinotto, R. R. C. 2014. Bio-optical properties of the inner continental shelf off santos estuarine system, southeastern Brazil, and their implications for ocean color algorithm performance. **Brazilian Journal of Oceanography**, 62(2):71–87.

Castelao, R. M., Wang, Y. 2014. Wind-driven variability in sea surface temperature front distribution in the california current system. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(3):1861–1875.

Carvalho, A. d. C. O., Kerr, R., Tavano, V. M., Mendes, C. R. B. 2022. The southwestern south atlantic continental shelf biogeochemical divide. **Biogeochemistry**, 159(2):139–158.

Cavalcanti, I., Kousky, V. 2009. Frentes frias sobre o Brasil. In: **Tempo e clima no Brasil** (Cavalcanti, I., Ferreira, N., da Silva, M., and Dias, M., eds.), capítulo 9, Pp. 135–147. Oficina de Textos.

Chaidez, V., Dreano, D., Agusti, S., Duarte, C. M., Hoteit, I. 2017. Decadal trends in red sea maximum surface temperature. **Scientific reports**, 7(1):1–8.

Chapman, C. C., Lea, M.-A., Meyer, A., Sallée, J.-B., Hindell, M. 2020. Defining southern ocean fronts and their influence on biological and physical processes in a changing climate. **Nature Climate Change**, 10(3):209–219.

Chen, H.-H., Qi, Y., Wang, Y., Chai, F. 2019. Seasonal variability of sst fronts and winds on the southeastern continental shelf of brazil. **Ocean Dynamics**, 69(11):1387–1399.

Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Mann, M. E., Zhu, J., Wang, F., Locarnini, R., Li, Y., et al. 2022. Another record: Ocean warming continues through 2021 despite la niña conditions. **Advances in Atmospheric Sciences**, 39(3):373–385.

Ciotti, A. M., Lewis, M. R., Cullen, J. J. 2002. Assessment of the relationships between dominant cell size in natural phytoplankton communities and the spec- tral shape of the absorption coefficient. **Limnology and Oceanography**, 47(2):404– 417.

Dunstan, P. K., Foster, S. D., King, E., Risbey, J., O'Kane, T. J., Monselesan, D., Hobday, A. J., Hartog, J. R., Thompson, P. A. 2018. Global patterns of change and variation in sea surface temperature and chlorophyll a. **Scientific reports**, 8(1):1–9.

Ferreira, A., Ciotti, Á. M., Coló Giannini, M. F. 2014. Variability in the light ab- sorption coefficients of phytoplankton, non-algal particles, and colored dissolved organic matter in a subtropical bay (Brazil). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 139:127–136.

Ferreira, A., Ciotti, Á. M., Mendes, C. R. B., Uitz, J., Bricaud, A. 2017. Phytoplankton light absorption and the package effect in relation to photosynthetic and photoprotective pigments in the northern tip of

Antarctic Peninsula. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, 122(9):7344–7363.

Findell, K. L., Keys, P. W., Van Der Ent, R. J., Lintner, B. R., Berg, A., Krasting, J. P. 2019. Rising temperatures increase importance of oceanic evaporation as a source for continental precipitation. **Journal of Climate**, 32(22):7713–7726.

Franco, B. C., Defeo, O., Piola, A. R., Barreiro, M., Yang, H., Ortega, L., Gianelli, I., Castello, J. P., Vera, C., Buratti, C., et al. 2020. Climate change impacts on the atmospheric circulation, ocean, and fisheries in the southwest south atlantic ocean: a review. **Climatic Change**, 162(4):2359–2377.

Garcia, C. A. E., Garcia, V. M. T., McClain, C. R. 2005. Evaluation of Sea- WiFS chlorophyll algorithms in the Southwestern Atlantic and Southern Oceans. **Remote Sensing of Environment**, 95(1):125–137.

Giannini, M. F. C., Garcia, C. A. E., Tavano, V. M., Ciotti, Á. M. 2013. Effects of low-salinity and high-turbidity waters on empirical ocean colour algorithms: An example for Southwestern Atlantic waters. **Continental Shelf Research**, 59:84–96.

Groom, S. B., Sathyendranath, S., Ban, Y., Bernard, S., Brewin, B., Brotas, V., Brockmann, C., Chauhan, P., Choi, J. K., Chuprin, A., Ciavatta, S., Cipollini, P., Donlon, C., Franz, B. A., He, X., Hirata, T., Jackson, T., Kampel, M., Krase- mann, H., Lavender, S. J., Pardo-Martinez, S., Melin, F., Platt, T., Santoleri, R., Skakala, J., Schaeffer, B., Smith, M., Steinmetz, F., Valente, A., Wang, M. 2019. Satellite ocean colour: current status and future perspective. **Frontiers in Marine Science**, 6.

Helms, J. R., Stubbins, A., Ritchie, J. D., Minor, E. C., Kieber, D. J., Mopper, K. 2008. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter. **Limnology and Oceanography**, 53(3):955–969.

PÚBLICA

Hirsch, R. M., Slack, J. R., Smith, R. A. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. **Water resources research**, 18(1):107–121.

Hobday, A. J., Alexander, L. V., Perkins, S. E., Smale, D. A., Straub, S. C., Oliver, E. C., Benthuysen, J. A., Burrows, M. T., Donat, M. G., Feng, M., et al. 2016. A hierarchical approach to defining marine heatwaves. **Progress in Oceanography**, 141:227–238.

Hobday, A. J., Oliver, E. C., Gupta, A. S., Benthuysen, J. A., Burrows, M. T., Donat, M. G., Holbrook, N. J., Moore, P. J., Thomsen, M. S., Wernberg, T., et al. 2018. Categorizing and naming marine heatwaves. **Oceanography**, 31(2):162–173.

Hovmöller, E. 1949. The trough-and-ridge diagram. **Tellus**, 1(2):62–66.

Hu, C., Lee, Z., Franz, B. 2012. Chlorophyll a algorithms for oligotrophic oceans: a novel approach based on three-band reflectance difference. **Journal of Geophysical Research**, 117:1–25.

Huang, B., Liu, C., Freeman, E., Graham, G., Smith, T., Zhang, H.-M. 2021. Assessment and intercomparison of noaa daily optimum interpolation sea surface temperature (doisst) version 2.1. *Journal of Climate*, 34(18):7421–7441.

Jackson, T., Sathyendranath, S., Mélin, F. 2017. An improved optical classification scheme for the Ocean Colour Essential Climate Variable and its applications. **Remote Sensing of Environment**, 203(June):152–161.

Kahru, M., Mitchell, B. G. 2008. Ocean color reveals increased blooms in various parts of the world. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, 89(18):170–170.

Kampel, M., de Freitas, L. B., Delcourt, F. T., Cortivo, F. D., Valerio, L., Zoffoli, M. L., de Moraes Rudorff, N. Caracterização e análise ambiental da bacia de santos com base no processamento de campos oceânicos superficiais estimados por satélites. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto–SBSR**, Pp. 3596–3603.

Kampel, M., Lorenzzetti, J. A., Bentz, C. M., Nunes, R. A., Paranhos, R., Rudorff, F. M., Politano, A. T. 2009. Simultaneous measurements of chlorophyll con- centration by lidar, fluorometry, above-water radiometry, and ocean color MODIS images in the Southwestern Atlantic. **Sensors**, 9(1):528–541.

Kampel, M., Oliveira, N. R., Cortivo, F. D., dos Santos, J. F. C., de Freitas, L. B., Cesar, G. M., Valerio, A. M. 2019. Caracterização sazonal de campos superficiais estimados por sensoriamento remoto na bacia sedimentar de Sergipe- Alagoas. In: **Ambiente Pelágico da Bacia de Sergipe-Alagoas** (Moreira, D. L. and Schwamborn, R., eds.), capítulo 6, page 575. Editora UFS, São Cristovão, SE.

Lentini, C., Podestá, G., Campos, E., Olson, D. 2001. Sea surface temperature anomalies on the western south atlantic from 1982 to 1994. **Continental Shelf Research**, 21(1):89–112.

Loisel, H., Lubac, B., Dessailly, D., Duforet-Gaurier, L., Vantrepotte, V. 2010. Effect of inherent optical properties variability on the chlorophyll retrieval from ocean color remote sensing: an in situ approach. **Optics Express**, 18(20):20949.

Lorenzzetti, J. A., Stech, J. L., Mello Filho, W. L., Assireu, A. T. 2009. Satel- lite observation of brazil current inshore thermal front in the sw south atlantic: Space/time variability and sea surface temperatures. **Continental Shelf Research**, 29(17):2061–2068.

Massicotte, P., Markager, S. 2016. Using a Gaussian decomposition approach to model absorption spectra of chromophoric dissolved organic matter. **Marine Chemistry**, 180:24–32.

Mitchell, B. G., Kahru, M., Wieland, J., Stramska, M. 2002. Determination of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for ocean discrete water samples. **Technical Report 03**.

Mobley, C. D. 1999. Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements. **Applied Optics**, 38(36):7442.

Moradi, M. 2021. Evaluation of merged multi-sensor ocean-color chlorophyll products in the northern persian gulf. **Continental Shelf Research**, 221:104415.

Moreira, D. L., Schwamborn, R. 2019. **Ambiente pelágico da Bacia de Sergipe-Alagoas**. Editora UFS, São Cristovão, SE.

Morel, A. 1988. Optical modeling of the upper ocean in relation to its biogenous matter content (case I waters). **Journal of Geophysical Research**, 93(C9):10749.

Mouw, C. B., Greb, S., Aurin, D., DiGiacomo, P. M., Lee, Z., Twardowski, M., Binding, C., Hu, C., Ma, R., Moore, T., Moses, W., Craig, S. E. 2015. Aquatic color radiometry remote sensing of coastal and inland waters: Challenges and recommendations for future satellite missions. **Remote Sensing of Environment**, 160:15–30.

Mueller, J. L., Austin, R., Morel, A., Fargion, G. S., and McClain, C. R. 2003. Ocean Optics Protocols For Satellite Ocean Color Senso. **Technical Report January**.

Müller, D., Krasemann, H., Brewin, R. J. W., Brockmann, C., Deschamps, P.-Y., Doerffer, R., Fomferra, N., Franz, B. A., Grant, M. G., Groom, S. B., Mélin, F., Platt, T., Regner, P., Sathyendranath, S., Steinmetz, F., Swinton, J. 2015. The Ocean Colour Climate Change Initiative: I. A methodology for assessing at- mospheric correction processors based on in-situ measurements. **Remote Sensing of Environment**, 162:242–256.

Muller-Karger, F. E., Smith, J. P., Werner, S., Chen, R., Roffer, M., Liu, Y., Muhling, B., Lindo-Atichati, D., Lamkin, J., Cerdeira-Estrada, S., et al. 2015. Natural variability of surface oceanographic conditions in the offshore gulf of mexico. **Progress in Oceanography**, 134:54–76.

NOAA-NCEP. 2016. Cold and warm episodes by season. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acessado em: 9-11-2022.

Oliveira, A., Rudorff, N., Kampel, M., Sathyendranath, S., Pompeu, M., Detoni, A. M. S., Cesar, G. M. 2021. Phytoplankton assemblages and

optical prop- erties in a coastal region of the South Brazil Bight. **Continental Shelf Research**, 227(June).

Oliver, E. C., Benthuysen, J. A., Darmaraki, S., Donat, M. G., Hobday, A. J., Hol- brook, N. J., Schlegel, R. W., Sen Gupta, A. 2021. Marine heatwaves. **Annual Review of Marine Science**, 13:313–342.

Oliver, E. C., Burrows, M. T., Donat, M. G., Sen Gupta, A., Alexander, L. V., Perkins-Kirkpatrick, S. E., Benthuysen, J. A., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., Moore, P. J., et al. 2019. Projected marine heatwaves in the 21st century and the potential for ecological impact. **Frontiers in Marine Science**, 6:734.

Olsen, A. Y., Larson, S., Padilla-Gamiño, J. L., Klinger, T. 2022. Changes in fish assemblages after marine heatwave events in west hawai ‘i island. **Marine Ecology Progress Series**, 698:95–109.

O’Reilly, J. E., Werdell, P. J. 2019. Chlorophyll algorithms for ocean color sensors- OC4, OC5 OC6. **Remote Sensing of Environment**, 229(October 2018):32–47.

Pacheco, M. M., Polito, P. S., Sato, O. T., Rocha, M. R. 2022. Evolution of physical and biological patterns along the tropical and south atlantic western boundary: A satellite perspective. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, 127(3):e2021JC017714.

Paiva, V., Kampel, M., Camayo, R. 2021. Comparison of multiple surface ocean wind products with buoy data over blue amazon (brazilian continental margin). **Advances in Meteorology**, 2021.

Piola, A. R., Matano, R. P., Palma, E. D., Möller Jr, O. O., Campos, E. J. 2005. The influence of the plata river discharge on the western south atlantic shelf. **Geophysical Research Letters**, 32(1).

Poole, H. H., Atkins, W. R. 1929. Photo–electric Measurements of Submarine Illumination throughout the Year. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, 16(1):297–324.

Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Adams, H., Adler, C., Aldunce, P., Ali, E., Begum, R. A., Betts, R., Kerr, R. B., Biesbroek, R., et al. 2022. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. **IPCC Sixth Assessment Report**.

Reboita, M. 2008. *Ciclones extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação climática e experimentos de sensibilidade*. Doutorado em meteorologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Rudorff, N. M., Frouin, R., Kampel, M., Goyens, C., Meriaux, X., Schieber, B., Mitchell, B. G. 2014. Ocean-color radiometry across the Southern Atlantic and Southeastern Pacific: Accuracy and remote sensing implications. **Remote Sensing of Environment**, 149:13–32.

Seegers, B. N., Stumpf, R. P., Schaeffer, B. A., Loftin, K. A., Werdell, P. J. 2018. Performance metrics for the assessment of satellite data products: an ocean color case study. **Optics Express**, 26(6):7404.

Siegel, D. A., Behrenfeld, M. J., Maritorena, S., McClain, C. R., Antoine, D., Bailey, S. W., Bontempi, P. S., Boss, E. S., Dierssen, H. M., Doney, S. C., et al. 2013. Regional to global assessments of phytoplankton dynamics from the seawifs mis- sion. **Remote Sensing of Environment**, 135:77–91.

Silva, G. S. d. M., Garcia, C. A. E. 2021. Evaluation of ocean chlorophyll-a remote sensing algorithms using in situ fluorescence data in Southern Brazilian coastal waters. **Ocean and Coastal Research**, 69:1–19.

Silveira, I. C. A. d., Schmidt, A. C. K., Campos, E. J. D., Godoi, S. S. d., Ikeda, Y. 2000. A corrente do brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, 48:171–183.

Souza, L. S., Chaves Sgarbi, G. N. 2019. Bacia de santos no brasil: geologia, exploração e produção de petroleo e gás natural. **Boletín de Geología**, 41(1):175–195.

Souza, R. B., Robinson, I. S. 2004. Lagrangian and satellite observations of the brazilian coastal current. **Continental Shelf Research**, 24(2):241–262.

Steinacher, M., Joos, F., Frölicher, T., Bopp, L., Cadule, P., Cocco, V., Doney, S., Gehlen, M., Lindsay, K., Moore, J., et al. 2010. Projected 21st century decrease in marine productivity: a multi-model analysis. **Biogeosciences**, 7(3):979–1005.

Sun, X., Cook, K. H., Vizy, E. K. 2017. The South Atlantic Subtropical High: climatology and interannual variability. **Journal of Climate**, 30(9):3279–3296.

Suryan, R. M., Arimitsu, M. L., Coletti, H. A., Hopcroft, R. R., Lindeberg, M. R., Barbeaux, S. J., Batten, S. D., Burt, W. J., Bishop, M. A., Bodkin, J. L., et al. 2021. Ecosystem response persists after a prolonged marine heatwave. **Scientific reports**, 11(1):1–17.

Tassan, S., Ferrari, G. 1995. An alternative approach to absorption measurements of aquatic particles retained on filters. **Liminology and Oceanography**, 40(8):1358– 1368.

Tassan, S., Ferrari, M. 2002. A sensitivity analysis of the 'Transmittance-Reflectance' method for measuring light absorption by aquatic particles. **Journal of Plankton Research**, 24(8):757–774.

Pandas Development team. 2020. pandas-dev/pandas: Pandas

Tilstone, G. H., Airs, R. L., Martinez-Vicente, V., Widdicombe, C., Llewellyn, C., Stramski, D. 2010. High concentrations of mycosporine-like amino acids and colored dissolved organic matter in the sea surface microlayer off the Iberian Peninsula. **Limnology and Oceanography**, 55(5):1835–1850.

Werdell, P. J., Franz, B. A., Bailey, S. W., Feldman, G. C., Boss, E., Brando, V. E., Dowell, M., Hirata, T., Lavender, S. J., Lee, Z., Loisel, H., Maritorena, S., Mélin, F., Moore, T. S., Smyth, T. J., Antoine, D., Devred, E., D'Andon, O. H. F., Mangin, A. 2013. Generalized ocean color inversion model for retrieving marine inherent optical properties. **Applied Optics**, 52(10):2019.

Wu, Q., Wang, Y. 2019. Comparison of oceanic multisatellite precipitation data from tropical rainfall measurement mission and global precipitation measurement mission datasets with rain gauge data from ocean buoys. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, 36(5):903–920.

Yuan, N., Xoplaki, E., Zhu, C., Luterbacher, J. 2016. A novel way to detect correlations on multi-time scales, with temporal evolution and for multi-variables. **Scientific Reports**, 6(1):1–11.

XI.6 Equipe Técnica

Nome	Formação	Atuação no Subprojeto XI
Milton Kampel	Oceanógrafo, Doutor em Oceanografia Biológica	Coordenador do Subprojeto 11; Servidor federal.
Natália M. Rudorff	Engenheira de Aquicultura, Doutora em Sensoriamento Remoto	Análise de dados, elaboração do relatório; Servidor federal.
Andréa de Lima Oliveira	Oceanógrafa, Doutora em Sens. Remoto	Análises laboratoriais, processamento e análise de dados, elaboração do relatório; Bolsista pós-doutorado FUSP.
Fabio Dall Cortivo	Matemático, Doutor em Computação Aplicada	Processamento e análise de dados; Bolsista pós-doutorado FUSP.
Francisca R. Pereira	Geógrafa, Doutora em Sens. Remoto	Processamento e análise de dados; Bolsista pós-doutorado FUSP.
Amália Detoni	Oceanógrafa, Doutora em Oceanografia Biológica	Coleta de dados de campo, análises laboratoriais, processamento *(e análise)* de dados; Bolsista pós-doutorado FUSP.
Aline M. Valerio	Bióloga, Doutora em Sens. Remoto	Análises laboratoriais; Bolsista pós-doutorado FAPESP.
Vitor Galazzo de Paiva	Oceanógrafo, Mestre em Sens. Remoto	Coleta de dados de campo, análises laboratoriais, processamento e análise de dados, elaboração do relatório; Assistente de Pesquisa FUSP.
Paulo Victor Marchetto Silva	Oceanógrafo, Mestre em Oceanografia Física	Coleta de dados de campo, análises laboratoriais, processamento e análise de dados, elaboração do relatório; Assistente de Pesquisa FUSP.
Gabriel Lucas Xavier da Silva	Oceanógrafo, Mestre em Sens. Remoto	Processamento e análise de dados, elaboração do relatório; Assistente de Pesquisa FUSP.
João Felipe Cardoso dos Santos	Oceanógrafo, Mestre em Sens. Remoto	Coleta de dados de campo e análises laboratoriais; Doutorando INPE-CAPES.

PÚBLICA

Nome	Formação	Atuação no Subprojeto XI
Gabriel Moiano Cesar	Biólogo, Mestre em Sens. Remoto	Coleta de dados de campo; Doutorando INPE-*CAPES*.
Rogerio Batista	Ciência da Computação, Mestre em Computação Aplicada	Processamento de dados; Servidor federal.

PÚBLICA

XII. Hidrocarbonetos no sistema pelágico da Bacia de Santos

XII.1 Introdução

Ao longo das últimas décadas, devido ao rápido desenvolvimento econômico e intensos processos de urbanização e industrialização associados aos riscos à saúde humana e do meio ambiente, os poluentes orgânicos têm sido amplamente estudados em ambientes costeiros e oceânicos (Kapsimalis et al., 2014).

Em particular, 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 (Kow) e carbono orgânico-água (Koc), a concentração dos hidrocarbonetos dissolvidos na água é muito baixa.

Dentre os hidrocarbonetos presentes na água do mar, destacam-se os hidrocarbonetos alifáticos (HA) e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) (Lipiatou e Saliot, 1991; Roose e Brinkman, 2005; Bianchi e Canuel, 2011; Dachs e Méjanelle, 2010).

Os HA podem ser definidos como moléculas não aromáticas de cadeia linear, ramificada ou cíclica, aqui considerados como compreendendo uma série de compostos resolvidos, incluindo n-alcanos lineares (n-Cx) e dois alcanos ramificados (isoprenóides), pristano e fitano, bem como uma mistura complexa não resolvida (MCNR). A MCNR compreende um conjunto de hidrocarbonetos diversos que não são rotineiramente separados por técnicas cromatográficas utilizadas atualmente, impossibilitando a identificação e quantificação individualizada destes compostos, que são isômeros e homólogos de hidrocarbonetos ramificados e cíclicos (Bouloubassi e Saliot, 1993a; Volkman et al., 1992). Enquanto os HA têm várias fontes biogênicas, incluindo ceras de

plantas superiores, fito e zooplâncton marinho, bactérias e transformações diagenéticas (Cripps, 1989; Rieley et al., 1991; Volkman et al., 1992; Wang et al., 1999), suas fontes antropogênicas compreendem principalmente petróleo ou derivados (Mazurek e Simoneit, 1984; Bouloubassi e Saliot, 1993; Wang et al., 1997; Readman et al., 2002; Guigue et al., 2014a; Manuel Nicolaus et al., 2015; Schintu et al., 2015; Zhou et al., 2014).

Os HPA são compostos que consistem em dois ou mais anéis benzênicos fundidos que são observados tanto em sua forma parental como em seus homólogos alquilados. São sintetizados durante a formação do petróleo (HPA petrogênicos), durante a combustão incompleta de combustíveis fósseis e biomassa (HPA pirolíticos) (Wang et al., 1999; Wurl e Obbard, 2004; Pampanin e Sydnes, 2013; Kucuksezgin et al., 2012; Lourenço et al., 2013; Nguyen et al., 2014; Schintu et al., 2015), e biologicamente produzidos em solos por plantas lenhosas e cupins ou em ambientes oceânicos por degradação microbiana de matéria orgânica (Chen et al., 1998; Wilcke et al., 2002; Neves et al., 2022). Os HPA petrogênicos abrangem compostos de baixa massa molecular com 2-3 anéis aromáticos e seus homólogos alquilados, enquanto os HPA pirogênicos abrangem compostos de alta massa molecular com 4-6 anéis com uma baixa proporção de derivados alquilados (Neff, 1979; Wang et al., 1999; Stogianidis e Lane, 2015). Os HPA há muito são reconhecidos como contaminantes de alta prioridade pela União Europeia (Jornal Oficial da UE 24/08/2013, Diretiva 2013/ 39/EU) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 40 CFR Parte 423, Apêndice A à Parte 423), pois alguns apresentam características mutagênicas e carcinogênicas para os organismos vivos (Kennish, 1992; Samanta et al., 2002),

Dentre as fontes antropogênicas de hidrocarbonetos de petróleo para o meio marinho, as principais contribuições vêm do despejo de efluentes municipais e industriais (65%), de vazamentos associados ao transporte de hidrocarbonetos (30%) e atividades de exploração e produção (E&P) (2%) (Fingas, 2001). Somam-se a esses ainda os derramamentos acidentais, a queima incompleta de combustíveis fosseis automotivos e/ou industriais, e as atividades que envolvam o tráfego de embarcações. Todas estas fontes são comuns nas regiões costeiras do Brasil, seja pela própria atividade de extração do petróleo brasileiro,

essencialmente marítima; pelas atividades portuárias (lavagem de tanques, águas de lastro e etc.); pelo elevado volume de despejos industriais das metrópoles costeiras; pela presença de grandes centros urbanos com tratamento inadequado de esgoto doméstico ou ainda pela presença massiva das frotas de transportes automotivos nessas regiões (Lotufo, 1997; Arzayus et al., 2002; Oros et al., 2007).

Devido à sua baixa solubilidade em água, os HA e os HPA associam-se preferencialmente às partículas em águas marinhas costeiras (Adhikari et al., 2015). Portanto, a maioria dos estudos sobre hidrocarbonetos se concentra em sedimentos e partículas, enquanto relativamente poucos trabalhos estudam a fase dissolvida da coluna de água (Dachs e Méjanelle, 2010; Stout e Wang, 2016). No entanto, a fase dissolvida é considerada um compartimento significativo para compreender os processos e a dinâmica dos hidrocarbonetos no oceano. Em primeiro lugar, alguns estudos mostraram que foi possível mensurar as concentrações de hidrocarbonetos, principalmente HPA, na fase dissolvida de águas costeiras e de mar aberto (Bouloubassi e Saliot, 1991; Tedetti et al., 2010; Berrojalbiz et al., 2011; Guigue et al., 2011; 2014). Um ponto importante é que esses trabalhos foram realizados com a coleta de grandes volumes de água por estação (5-50 L), o que, após uma etapa de concentração da amostra, permite a detecção dos compostos alvo, mas limita a extensão da malha amostral e aumenta o risco de contaminação por interferentes. Em segundo lugar, os HPA dissolvidos em águas superficiais representam um compartimento relevante para investigar a dinâmica dos fluxos ar-água (González-Gaya et al., 2016). Em terceiro lugar, os hidrocarbonetos dissolvidos são mais biodisponíveis para a biota marinha do que os hidrocarbonetos em fase particulada, para os quais a bioacumulação por ingestão ocorre dentro de uma variedade menor de organismos (p. ex. filtradores) (Tilseth et al., 1984; Akkanen e outros, 2012). Finalmente, na fase dissolvida, os hidrocarbonetos são submetidos a uma variedade de processos, como volatilização (via trocas gasosas ar-água) (Guitart et al., 2010; González-Gaya et al., 2016), biodegradação (Jiménez et al., 2011; Sauret et al., 2016), fototransformação (Al-Lihaibi, 2003; King et al., 2014) e complexação com matéria orgânica dissolvida (MOD) (Sabbah et al., 2004; Kim e Kwon, 2010), que por sua vez pode modificar

sua biodisponibilidade e, assim, modificar seu destino em águas marinhas (Berrojalbiz et al., 2011; Adhikari et al., 2015; Fourati et al., 2018).

Apesar do crescente interesse para entendar a dinâmica dos hidrocabronetos em ambiente oceânico, ainda são relativamente poucos os trabalhos realizados no Brasil que fazem o levantamento qualitativo e quantitativo de HA e HPA presentes em água na região da plataforma continental e talude do Brasil, especialmente em áreas de exploração de petróleo. Sendo assim, com o intuito de reduzir a lacuna existente de estudos de caracterização ambiental da margem continental brasileira, o objetivo principal desse trabalho foi realizar um levantamento regional sobre a distribuição de hidrocarbonetos em águas superficiais da Bacia de Santos.

XII.2 Métodos

A área estudada, o desenho amostral, os procedimentos de campo, a subamostragem e a preservação/estocagem das amostras são detalhados no Capítulo I deste volume. Brevemente, as amostras de água (4 L) foram coletadas através de garrafas GO-FLO (General Oceanics®) na camada subsuperficial (1 m), acondicionadas em frascos de vidro ambar e mantidas refrigeradas entre 0 e 6ºC, por no máximo 7 dias (USEPA, 2018). Nas estações mais próximas da costa, onde havia expectativa de se observar resultados acima dos limites de quantificação, coletou-se em duplicata, de forma avaliar a repetibilidade das análises.

XII.2.1 Atividades de campo

Para possibilitar a a extração das amostras de 4 L a bordo foi necessário desenvolver suportes customizados e robustos para os funis de separação (Figura XII.2.1-1). A cada turno, foram extraídas de 3 a 5 amostras. Antes da extração, adicionou-se os padrões subrrogados. Os extratos de cerca de 100 mL foram encaminhados ao laboratório em terra para a continuação das análises de hidrocarbonetos. Na segunda campanha, a partir do transecto D, foi necessário

modificar a logística de execução das análises, e as extrações foram realizadas em terra.

Figura XII.2.1-1: *Suportes customizados para extração das amostras de água a bordo.*

XII.2.2 Extração das amostras de água

As amostras de água contidas nas garrafas de vidro de 4 L foram submetidas ao procedimento de extração dos hidrocarbonetos. O protocolo analítico usado nesta etapa baseia-se no método USEPA 3510C. Às amostras de água transferidas para funis de separação (de 5 L de capacidade), previamente descontaminados, foram adicionados 30 mL de hexano (grau pesticida ou equivalente). A extração foi realizada por agitação vigorosa e constante da mistura por 2 min, seguida de repouso por 5 min. A fase orgânica foi recolhida em frasco de vidro e todo o procedimento repetido por mais duas vezes, totalizando um volume de 90 mL de solvente. Antes de iniciar a extração, foram adicionados padrões subrogados: p-terfenil-D14 e parafinas per-deuteradas (n-C12d, n-C16d, n-C24d, e n-C30d). A adição destes padrões tem como objetivo o acompanhamento do desempenho da metodologia empregada, que é considerada adequada caso a recuperação situe-se na faixa entre 60 e 120%.

PÚBLICA

Ao final da extração, o extrato foi concentrado a 0,5 mL em evaporador Turbovap 500.

Diante das baixas concentrações de hidrocarbonetos em água do mar, o laboratório tem como procedimento padrão não realizar fracionamento das amostras, em frações saturadas e aromáticas, antes de proceder com as análises dos compostos alvo. Isso porque esse procedimento acrescenta mais uma etapa de transferência e manipulação das amostras, onde podem ocorrer perdas, e porque os benefícios do fracionamento e limpeza das amostras não são significativos para águas oceânicas.

XII.2.3 Análises de laboratório

Dentre os hidrocarbonetos, foram quantificados compostos resolvidos e não-resolvidos, cujo somatório representa os hidrocarbonetos totais (HTP). Os alifáticos resolvidos incluem os n-alcanos individuais (do n-C10 ao n-C40), os isoprenóides pristano e fitano e outros picos identificados nos cromatogramas, mas que não podem ser relacionados a um composto específico. A mistura complexa não resolvida (MCNR) abrange os demais compostos, e é identificada nos cromatogramas como uma elevação da linha base.

A determinação dos HA foi realizada utilizando-se a técnica de cromatografia gasosa com detector de ionização em chama, baseada no método USEPA 8015C, utilizando-se as condições descritas na Tabela XII.2.3-1. O equipamento foi calibrado utilizando-se sete soluções (1, 5, 10, 25, 50, 75, 100 µg mL-1) contendo alcanos lineares de n-C10 a n-C40, além dos isoprenóides pristano e fitano e dos padrões de recuperação deuterados (surrogates) n-C12d, n-C20d, n-C24d, n-C30d. Como padrão interno, utilizou-se deuterado n-C16d na concentração de 5 µg mL-1. A identificação dos n-alcanos individuais baseou-se no tempo de retenção de cada composto, que por sua vez foi verificado pela injeção de mistura-padrão contendo todos os n-alcanos e isoprenóides contemplados. As concentrações de MCNR e do HTP foram determinadas com base no fator de resposta médio dos n-alcanos. Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ), para cada composto contemplado pelo método, considerando-se o volume extraído (cerca de 4L) e a concentração final do extrato (0,5 mL) foram 0,025 µg L-1 e 0,125 µg L-1, respectivamente.

PÚBLICA

Tabela XII.2.3-1: *Condições cromatográficas das análises de hidrocarbonetos alifáticos.*

Equipamento	Cromatógrafo Agilent 7890, com detector DIC Estação de dados: Chemstation
Coluna	HP-5 (30 m x 0,32 mm x 0,25 µm) – Hewlett Packard
Gases Carreador *Make-up* Detector	 Hélio: 2,5 mL min^{-1} (pressão: 11 psi a 40 ºC) Hélio: 20 mL min^{-1} Ar: 360 mL min^{-1} Hidrogênio: 33 mL min^{-1}
Temperatura Injetor Detector Programação de temperatura do forno	 300 °C 315 °C 40 °C (1,5 min), taxa: 6 °C min^{-1} até 315 °C (57 min)

A determinação dos HPA foi realizada utilizando-se a técnica de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas. O procedimento baseou-se no método USEPA 8270E, com algumas modificações, utilizando-se as condições descritas na Tabela XII.2.3-2. O equipamento foi calibrado utilizando-se sete soluções (5, 10, 25, 50, 100, 250 e 500 ng mL-1) contendo os seguintes HPA: naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, indeno(1,2,3-c,d)pireno, dibenzo(a,h)antraceno e benzo(ghi)perileno, além do dibenzotiofeno, perileno e benzo(e)pireno e do padrão de recuperação deuterado (surrogate) p-terfenil d14. Foram utilizados os padrões internos deuterados: naftaleno-d8, acenafteno-d10, fenantreno-d10, criseno-d12 e perileno-d12 em concentração constante igual a 100 ng mL-1.

Os HPA alquilados contemplados pelo método são: C1 a C4-naftalenos, C1 a C3-fluorenos, C1 a C4-fenantrenos, C1 a C3-dibenzotiofenos, C1 e C2-pirenos, C1 e C2-crisenos. Devido à dificuldade de obtenção de padrões de HPA alquilados, estes foram determinados utilizando-se a curva de calibração do homólogo não alquilado. Os limites de detecção e de quantificação, para o total dos 16 HPA prioritários, considerando-se o volume extraído (cerca de 4L) foram 0,28 ng L-1 e 0,63 ng L-1, respectivamente. Para o total dos 37 HPA analisados,

PÚBLICA

os limites de detecção e quantificação foram 0,41 ng L-1 e 0,63 ng L-1, respectivamente.

Para todos os hidrocarbonetos, os valores médios, em massa, obtidos através da determinação dos brancos foram descontados dos valores determinados para cada amostra. Essa correção foi necessária em função de uma contaminação extrínseca às amostras, causada por parafinas, utilizadas como antiaderentes em luvas nitrílicas utilizadas durante o procedimento.

Tabela XII.2.3-2: *Condições cromatográficas das análises de hidrocarbonetos policlícos aromáticos.*

Equipamento	EM - Agilent modelo 5975C CG – Agilent modelo 7890
Coluna	J&W DB-5MS (30 m, 0,25 mm de di e 0,25 µm de filme)
Programação de temperatura do forno	40 °C durante 2 min 25 °C min-1 até 100 °C 5 °C min-1 até 230 °C 2 °C min-1 até 270 °C durante 5 min 5 °C min-1 até 320 °C
Gás de arraste	Hélio 1,0 mL min-1
Volume de injeção	1 µL

XII.3 Resultados

XII.3.1 Hidrocarbonetos Alifáticos

As medianas e faixas de concentração do total de n-alcanos (∑n-alcanos), hidrocarbonetos resolvidos de petróleo (HRP), mistura complexa não resolvida (MCNR) e hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) nas duas campanhas realizadas são apresentadas nas Tabelas XII.3-1 e XII.3-2, agrupadas por distância da costa. Nas Figuras XII.3.1-1 a XII.3.1-4 estão apresentados os mapas de distribuição espacial do ∑n-alcanos, HRP, MCNR e HTP para as duas campanhas. Em todos os mapas, o primeiro nível de concentrações (marcador circular de menor tamanho), representa as amostras onde se observou resultado inferior aos limites de detecção e quantificação, o que demonstra a grande quantidade de estações onde não foi possível quantificar os hidrocarbonetos.

PÚBLICA

Para o ∑n-alcanos, as concentrações encontradas foram relativamente baixas, apresentando valores maiores que o limite de quantificação (>LQ) para apenas aproximadamente 20% das estações nas duas campanhas. Esses resultados eram esperados, considerando que os n-alcanos são compostos semivoláteis com baixa solubilidade em água e preferencialmente assimilados à fase orgânica disponível, como por exemplo na cobertura orgânica das partículas de sedimentos (Bianchi e Canuel, 2011). Os valores de ∑n-alcanos variaram entre <0,025 e 3,16 µg L-1 e <0,025 e 112,28 µg L-1 na 1ª e na 2ª campanhas, respectivamente, com ambas as campanhas apresentando valores de mediana <0,125 µg L-1. As estações que apresentaram os maiores valores de ∑n-alcanos foram H1 e B8 na 1ª e na 2ª campanha, respectivamente. As estações que apresentaram valores superiores aos limites de quantificação não indicaram padrão de distribuição espacial ao longo da Bacia de Santos em nenhuma das campanhas (Figura XII.3.1-1).

A MCNR está presente em 26,7% das estações da 1ª campanha e 42,4% das estações da 2ª campanha. Os valores de MCNR variaram entre <0,025 e 19,87 ug L-1 e <0,025 e 38,14 ug L-1 na 1ª e na 2ª campanhas, respectivamente, apresentando em ambas as campanhas uma mediana <0,125 ug L-1 (Figura XII.3.1-3). A MCNR compreende uma mistura de compostos alicíclicos e tem uma ligação bem conhecida com resíduos de petróleo degradados ou intemperizados. A identificação da MCNR em água da Bacia de Santos pode ser atribuída à presença de frações leves e pesadas de petróleo intemperizado e/ou degradado por micro-organismos (UNEP, 1991; Bouloubassi e Saliot, 1993).

A determinação de HTP não inclui a quantificação de compostos individuais, e sim de todos os hidrocarbonetos alifáticos e policíclicos aromáticos presentes na amostra. Com isso, não é possível diferenciar ou inferir a interferência de compostos biogênicos na concentração obtida, fazendo com que o HTP represente o conjunto de substâncias derivadas da atividade biológica e do petróleo (Yunker et al., 1995; Wagener et al., 2017). Os resultados de HTP apresentaram-se superiores ao limite de quantificação para 43,3% e 55,9% das estações da 1ª e da 2ª campanha, respectivamente. Os valores de HTP variaram entre <0,025 e 28,73 µg L-1 e entre <0,025 e 155,23 µg L-1 na 1ª e na 2ª campanha, respectivamente, apresentando uma mediana < 0,125 µg L-1 na 1ª

PÚBLICA

campanha e de 0,85 µg L-1 na 2ª campanha. Assim como para o ∑n-alcanos, não é observado nenhum padrão de distribuição de HTP ao longo da Bacia de Santos em nenhuma das campanhas (Figura XII.3.1-4).

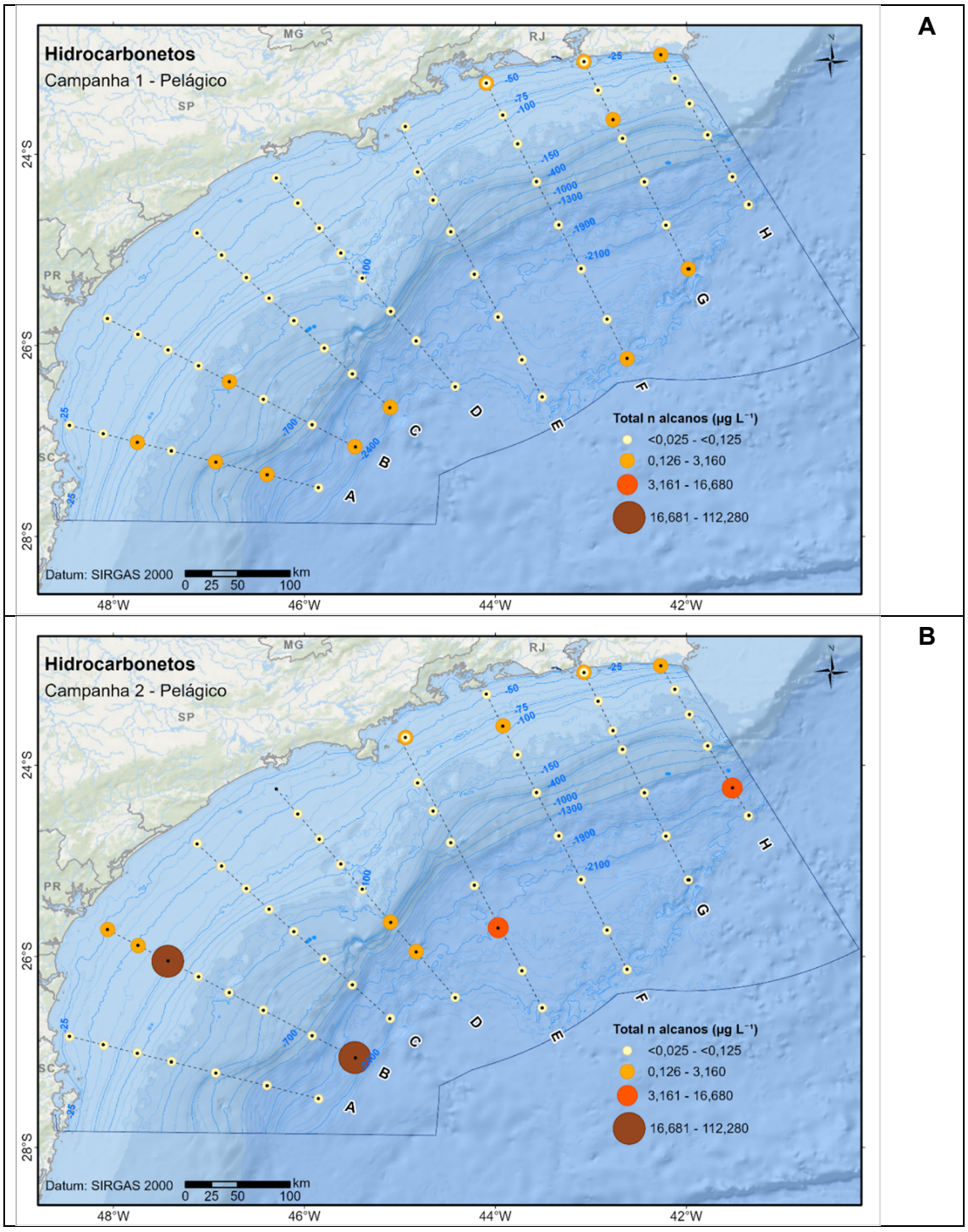


Figura XII.3.1-1: *Distribuição das concentrações de ∑n-alcanos, expressas em µg L^{-1}, nas amostras de água coletadas na 1ª (A) e na 2ª (B) campanha.*

PÚBLICA

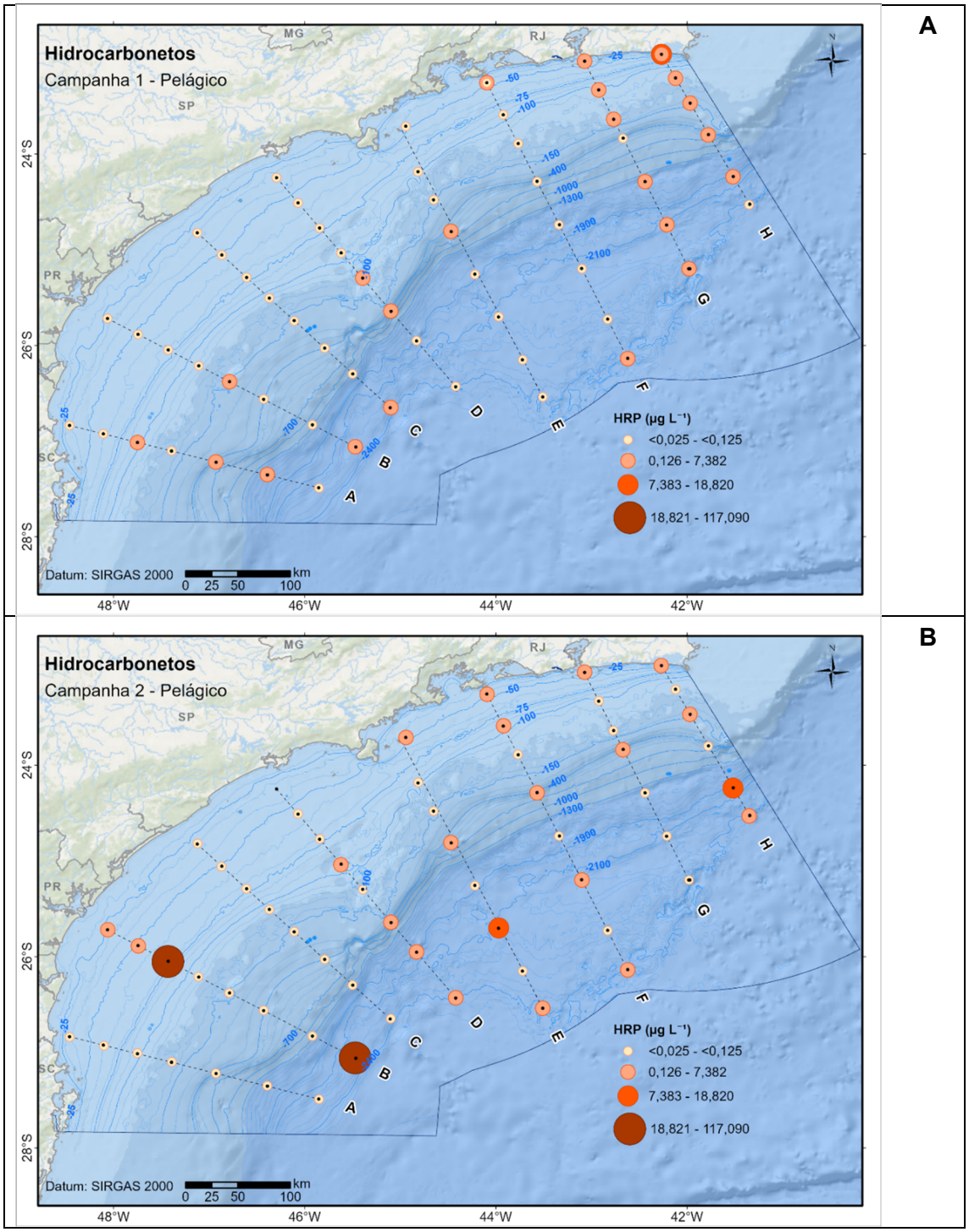


Figura XII.3.1-2: *Distribuição das concentrações de hidrocarbonetos resolvidos de petróleo (HRP), expressas em µg L^{-1}, nas amostras de água coletadas na 1ª (A) e na 2ª (B) campanha.*

PÚBLICA

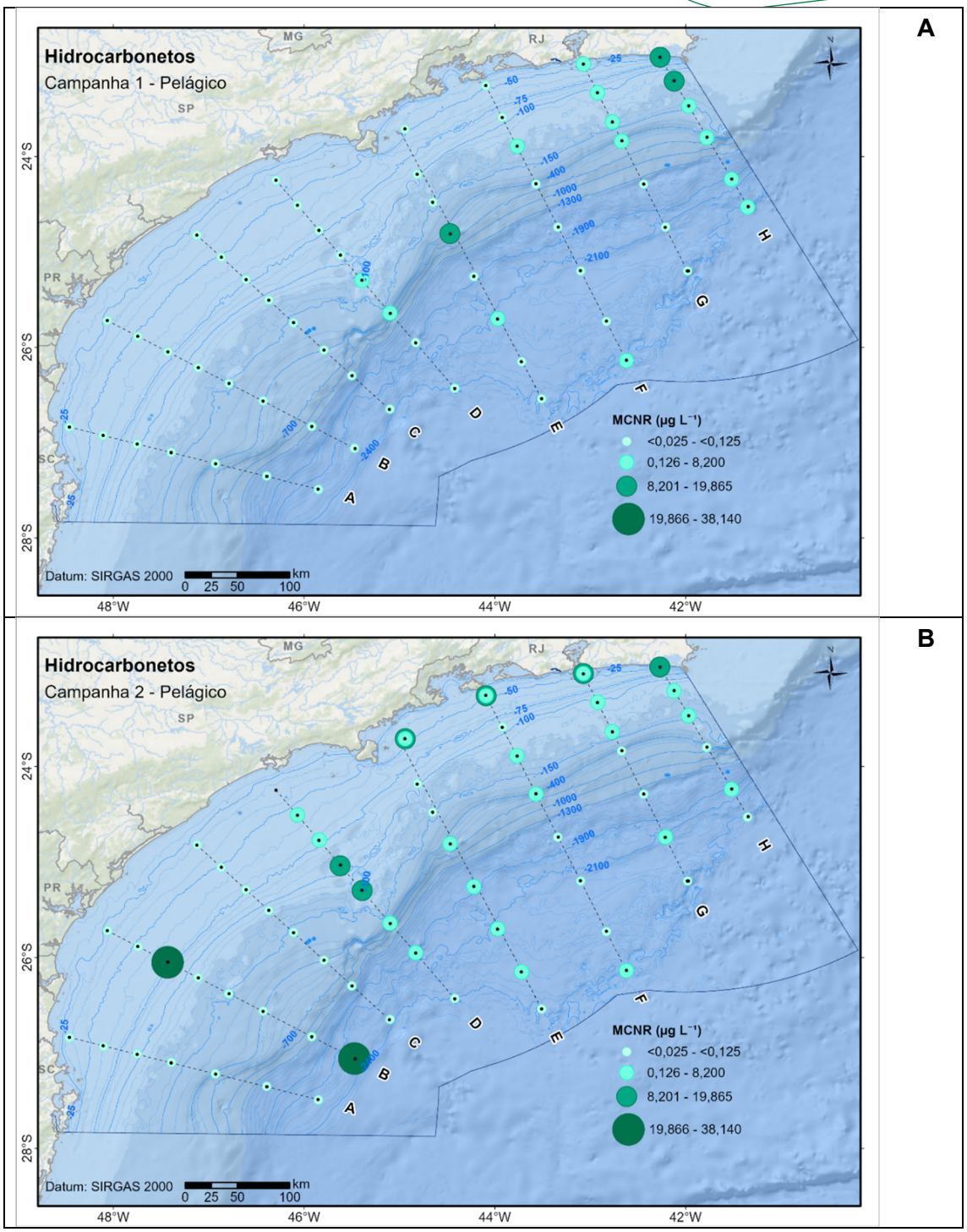


Figura XII.3.1-3: *Distribuição das concentrações de mistura complexa não resolvida (MCNR), expressas em µg L⁻¹, nas amostras de água coletadas na 1ª (A) e na 2ª (B) campanha.*

PÚBLICA

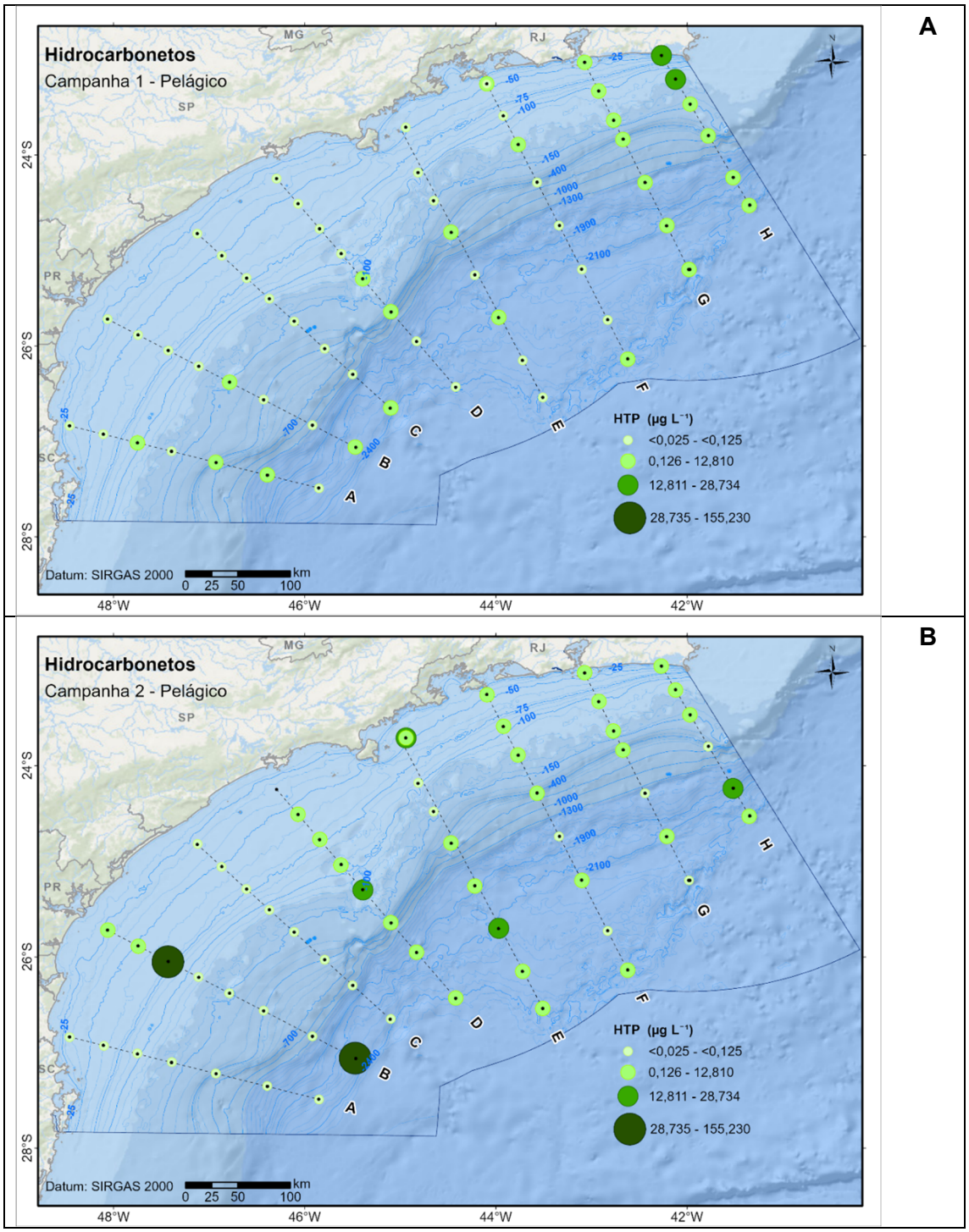


Figura XII.3.1-4: *Distribuição das concentrações de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), expressas em µg L⁻¹, nas amostras de água coletadas na 1ª (A) e na 2ª (B) campanha.*

PÚBLICA

XII.3.2 HPA

As medianas e faixas de concentração do somatório dos 16 compostos prioritários da agência de proteção ambiental americana (16 HPA) e do total de 37 compostos (Σ HPA) nas duas campanhas realizadas são apresentadas nas Tabelas XII.3-1 e XII.3-2 separadas por isóbata. Na 1ª campanha apenas 9 estações (15%) apresentaram valores superiores ao limite de quantificação para os 16 HPA e apenas 15 estações (25%) para o ΣHPA. Na 2ª campanha, 20 estações (33,9%) apresentaram valores > LQ para os 16 HPA enquanto 44 estações analisadas (74,6%) apresentaram valores > LQ para ΣHPA e uma mediana de 1,96 ng L^{-1}.

A distribuição espacial das concentrações dos 16 HPA nas duas campanhas destaca os transectos A, B e C, apresentando concentrações relativamente mais altas, em especial na segunda campanha (Figuras XII.3.2-1 e XII.3.2-2). Considerando a distribuição espacial do ΣHPA observa-se concentrações mais baixas na 1ª campanha, apresentando os transectos F, G e H como os de relativamente menor concentração em ambas as campanhas.

PÚBLICA

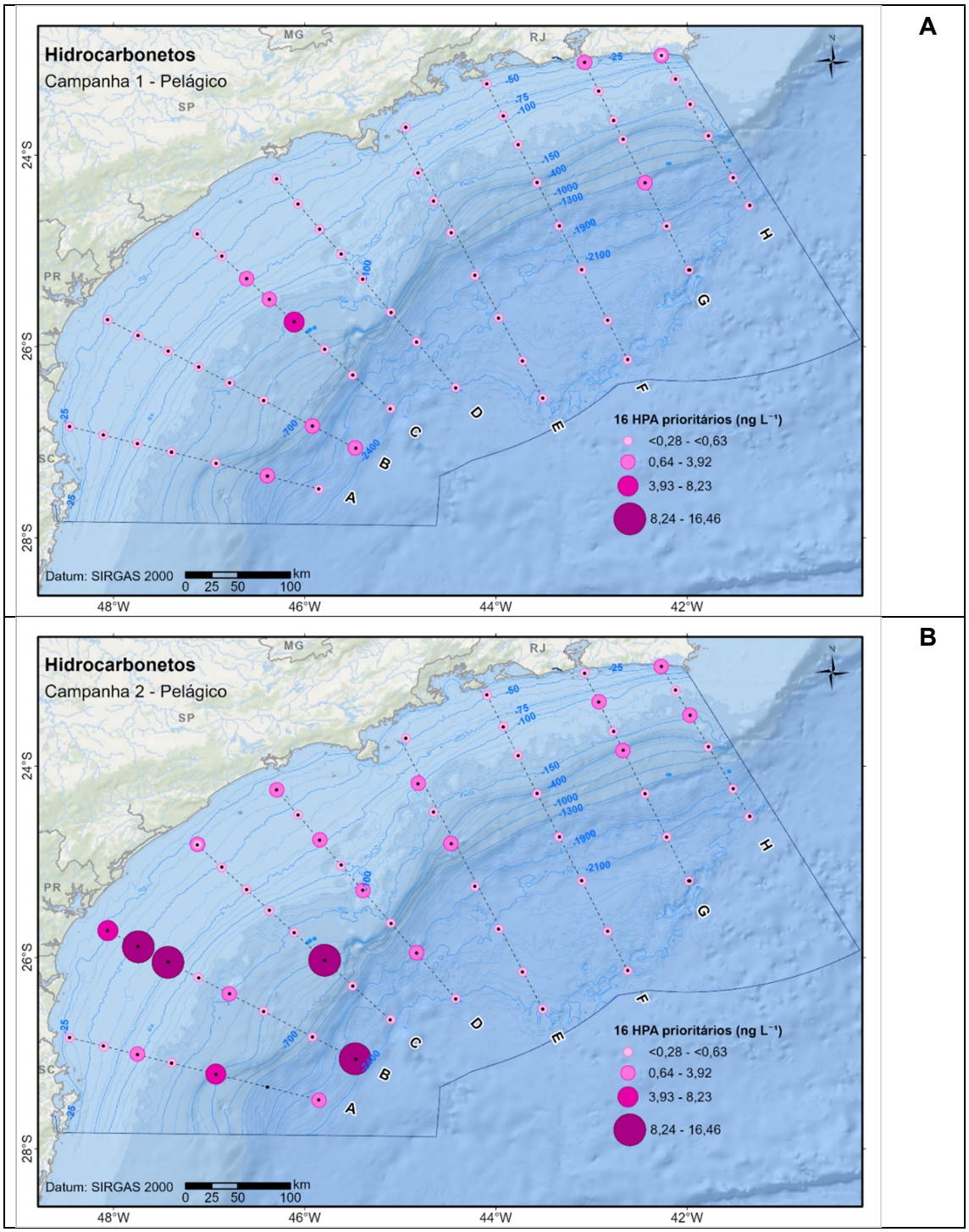


Figura XII.3.2-1: *Distribuição das concentrações do somatório de 16 HPA prioritários, expressas em µg L^{-1}, nas amostras de água coletadas na 1ª (A) e na 2ª (B) campanha.*

PÚBLICA

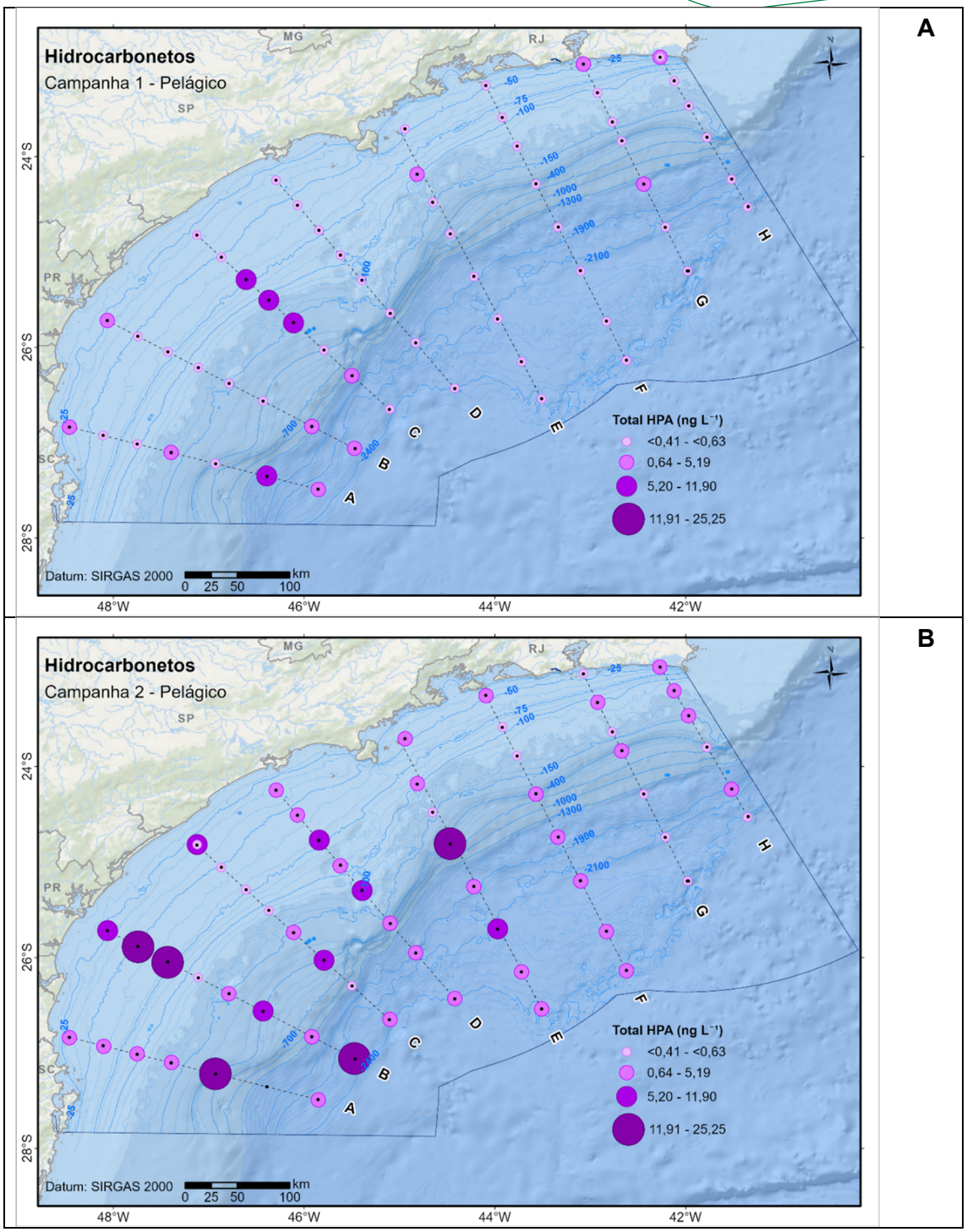


Figura XII.3.2-2: *Distribuição das concentrações do somatório do total de HPA, expressas em µg L⁻¹, nas amostras de água coletadas na 1ª (A) e na 2ª (B) campanha.*

PÚBLICA

Tabela XII.3-1: *Valores de mediana, mínino e máximo para as amostras coletadas na 1ª Campanha agrupadas por distância da costa.*

Parâmetro/ Distância da Costa (km)	até 30 km	30 a 100 km	100 a 150 km	150 a 200 km	> 200 km
Alifáticos (µg L^{-1})					
∑n-alcanos	<0,125 (<0,025-0,34)	<0,125 (<0,025-3,16)	<0,125 (<0,025-1,53)	<0,125 (<0,025-0,15)	<0,125 (<0,025-0,86)
HRP	<0,125 (<0,025-8,87)	<0,125 (<0,025-3,16)	0,14 (<0,025-1,64)	0,12 (<0,025-0,93)	<0,125 (<0,025-0,93)
MCNR	<0,125 (<0,025-19,87)	<0,125 (<0,025-5,51)	<0,125 (<0,025-10,97)	<0,125 (<0,025-1,07)	<0,125 (<0,025-2,47)
HTP	<0,125 (<0,025-28,73)	<0,125 (<0,025-5,51)	0,54 (<0,025-11,15)	0,14 (<0,025-1,89)	<0,125 (<0,025-2,69)
HPA (ng L^{-1})					
16 HPA	<0,28 (<0,28-1,85)	<0,28 (<0,28-1,24)	<0,63 (<0,28-5,86)	<0,28 (<0,28-1,82)	<0,28 (<0,28-2,88)
HPA Totais	<0,63 (<0,41-2,24)	<0,41 (<0,41-6,97)	<0,63 (<0,41-9,16)	<0,41 (<0,41-7,99)	<0,41 (<0,41-3,25)

Estações de amostragem agrupadas:
até 30 km: A1; B1; C1; D1; E1; F1; G1; H1; H2
30 a 100 km: A2; B2; C2; D2; E2; F2; G2; A3; B3; C3; D3; E3 F3 *; G3; H3; A4; G4; H4
100 a 150 km: B4; C4 *; D4; E4; F4; A5; C5; D5; G5; H5
150 a 200 km: B5; E5; F5; A6; C6; D6; G6; H6
> 200 km: B6; E6; F6; A7; B7; C7; D7; E7; F7; G7; B8; C8; D8; E8; F8

PÚBLICA

Tabela XII.3-2: *Valores de mediana, mínimo e máximo para as amostras coletadas na 2ª Campanha agrupadas por distância da costa.*

Parâmetro/ Distância da Costa (km)	até 30 km	30 a 100 km	100 a 150 km	150 a 200 km	> 200 km
Alifáticos (µg L^{-1})					
∑n-alcanos	<0,125 (<0,025-1,82)	<0,125 (<0,025-93,46)	<0,125 0,025-<0,125)	<0,125 (0,1-16,68)	<0,125 (<0,025-112,28)
HRP	0,56 (<0,025-5,29)	<0,125 (<0,025-97,01)	<0,125 (<0,025-2,65)	0,16 (0,1-18,82)	<0,125 (<0,025-117,09)
MCNR	<0,125 (<0,025-11,55)	1,61 (<0,025-30,98)	<0,125 (<0,025-15,35)	0,9 (0,1-6,97)	<0,125 (<0,025-38,14)
HTP	1,82 (<0,025-16,18)	1,61 (<0,025-127,99)	<0,125 (<0,025-15,35)	1,21 (0,1-20,5)	0,28 (<0,025-155,23)
HPA (ng L^{-1})					
16 HPA	<0,63 (<0,28-5,22)	<0,63 (<0,28-16,46)	<0,63 (<0,28-8,23)	<0,63 (<0,28-11,9)	<0,63 (<0,28-14,58)
HPA Totais	1,81 (<0,63-7,84)	1,32 (<0,41-19,14)	0,88 (<0,41-25,25)	2,94 (<0,41-11,9)	2,61 (<0,41-18,32)

Estações de amostragem agrupadas:
até 30 km: A1; B1; C1; D1; E1; F1; G1; H1; H2
30 a 100 km: A2; B2; C2; D2; E2; F2; G2; A3; B3; C3; D3; E3 F3 *; G3; H3; A4; G4; H4
100 a 150 km: B4; C4 *; D4; E4; F4; A5; C5; D5; G5; H5
150 a 200 km: B5; E5; F5; A6; C6; D6; G6; H6
> 200 km: B6; E6; F6; A7; B7; C7; D7; E7; F7; G7; B8; C8; D8; E8; F8

PÚBLICA

XII.4 Discussão

XII.4.1 Hidrocarbonetos Alifáticos e HTP

A relação entre os alifáticos resolvidos e a mistura complexa não resolvida e os picos resolvidos (Res/MCNR) pode servir como um indicador de contaminação recente por petróleo (quando > 0,3) ou contaminação severa por petróleo degradado (quando < 0,05) (Simoneit e Mazurek, 1982; Simoneit, 1984; Commendatore e Esteves, 2004; Asia et al., 2009; Commendatore et al., 2012). Este limite foi utilizado no presente trabalho aplicado à água (Figura XII.4.1-1). Na maioria das amostras de ambas as campanhas não foi possível calcular esse índice, tendo em vista que não se detectou mistura complexa não resolvida. Na 1ª campanha, das 14 amostras que foram possiveis calcular o índice, 11 apresentaram valores > 0,3 e 3 < 0,3. Na 2ª campanha, das 19 amostras que foram possiveis calcular o índice, 8 apresentaram valores > 0,3 e 11 < 0,3. Observa-se, a partir desses resultados, uma mudança na contribuição de hidrocarbonetos na região da Bacia de Santos, onde na 1ª campanha temos a predominância relativa da entrada recente de petróleo, enquanto na 2ª campanha observamos a presença predominante de contaminação por material petrogênico degradado.

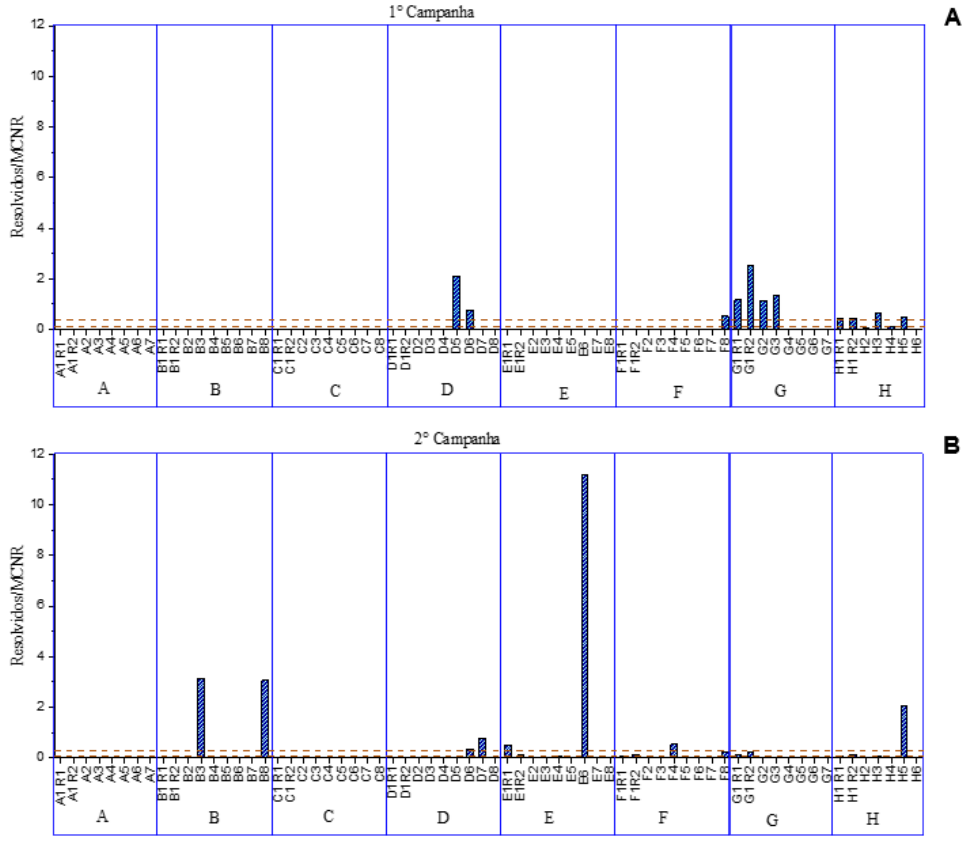


Figura XII.4.1-1: Razão diagnóstica Resolvidos/MCNR para todas as estações, nas amostras de água coletadas na 1ª (A) e na 2ª (B) campanha.

PÚBLICA

XII.4.2 HPA

Se comparamos os valores do ∑HPA encontrados nas duas campanhas ao valor de 18 ng L^{-1} proposto para alguns dos HPA individuais (benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluaranteno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, indeno(1,2,3-cd)pireno) na Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água, onde ocorre pesca e cultivo de organismos para fins de consumo intensivo (mais restritivos), os níveis de concentração do ∑HPA da Bacia de Santos estão abaixo do limite proposto, e não passam de 10 ng L^{-1} na 1ª campanha e 25 ng L^{-1} na 2ª campanha.

As concentrações menores que os limites de quantificação encontradas para a maioria de HPA em água da Bacia de Santos inviabilizam a aplicação das principais razões diagnósticas utilizadas como indicadores de fontes desses hidrocarbonetos (petrogênica, pirolítica, diagenética ou de fontes mistas). No entanto, as concentrações relativamente baixas encontradas em toda a área de estudo são um indicativo de fontes difusas de HPA, possivelmente relacionados a deposição atmosférica ou as atividades que envolvam o tráfego de embarcações (Mzoughi e Chouba, 2011; Akhbarizadeh et al., 2016; Fourati et al., 2018).

A Tabela XII.4-1 apresenta concentrações de HPA em áreas oceânicas no Brasil, na América do Norte e Central e em outras várias regiões do mundo. Os valores de ∑HPA encontrados neste estudo são relativamente menores, mas apresentam concentrações na mesma ordem de grandeza encontrada na Bacia do Ceará (Wagener et al., 2005b) e na Bacia de Campos (Wagener et al., 2017). No entanto, os valores de ∑HPA apresentaram-se menores do que os registrados na plataforma de Sergipe e Sul de Alagoas (UFS/Petrobras, 2004), no golfo de Trieste (Penko et al., 2019) no noroeste do mar Mediterraneo (Guigue et al., 2014) e no derramamento de petróleo de Prestige na Galicia (Gonzaléz et al., 2006); e maiores do que em regiões com pouca/nenhuma atividade antrópica como no Mar de Ross na Antartica (Cincinelli et al., 2008) e no Ártico (Ma et al., 2013).

PÚBLICA

Tabela XII.4-1: *Concentração de hidrocarbonetos em água do mar no Brasil e no mundo.*

Localização	N	N° alcanos	MCNR (µg L^{-1})	n-alcanos (µg L^{-1})	N° HPA	16 HPA USEPA (ng L^{-1})	∑HPA (ng L^{-1})	Referência
Bacia de Santos 1ª Campanha	68	C10-C40	<0,125 (<0,025 - 19,87)	<0,125 (<0,025 -3,16)	37	<0,28 (<0,28 – 5,85)	<0,41(<0,41 – 9,16)	Este estudo
Bacia de Santos 2ª Campanha	68	C10-C40	<0,125 (<0,025 - 38,14)	<0,125 (<0,025 - 112,28)	37	<0,28 (<0,28 – 16,46)	1,57 (<0,41 – 19,14)	Este Estudo
Plataforma Continental de SP			-	-		-	(460-14340)	Bícego (1988)
Ilha Grande, RJ			-	-		--	(<400 - 2200)	Melges-Figueiredo et al. (1992)
Cabiúnas, RJ			-	-		-	(<10 - 240)	BIO-RIO (1993)
Arraial do Cabo, RJ			-	-		-	(1370 - 4390)	IEAPM (1997)
Bacia Ceará			-	-		-	(< 1 - 36)	Wagener et al. (2005b)
Bacia Potiguar			-	-		4	-	Wagener et al. (2006a)
Bacia de Campos (Plataforma Continental e talude) - Chuvoso	72	C12-C40	(<0,006 - 464,8)	(<0,006 - 57,14)	38	(<0,25 - 55,28)	(<0,25 - 55,28)	Wagener et al. (2017)
Bacia de Campos (Plataforma Continental e talude) - Seco	72	C12-C41	(<0,007 - 226,6)	(<0,007 - 61,53)	38	(<0,29 - 21,66)	(<0,29 - 74,39)	Wagener et al. (2017)
Bacia de Sergipe e Sul da Bahia (Plataforma e Talude)	111	C9-C40	(<0,006 - 64,4)	-		(<0,008 - 175,6)	(<0,008 – 177)	Moreira et al
Bacia de Campos (Projeto Oceano Profundo – Campanha Oceanprof II - Norte (Talude)	63		-	-		(<1 - 5,4)	(<1 - 39,6)	Petrobras (2005)
Bacia do Ceará (Plataforma Continental)	75		(0,12 - 30,5)	-		(<1 – 32)	(<1 - 36)	Wagener et al. (2006b)
Sergipe e Sul de Alagoas verão/2001 (Plataforma Continental)	115		-	-		-	(<15 – 117300)	UFS/Petrobras (2004)
Sergipe e Sul de Alagoas inverno/2002 (Plataforma Continental)	131		-	-		-	(<15 – 800)	UFS/Petrobras (2004)
Sergipe e Sul de Alagoas verão/2002 (Plataforma Continental)	130		-	--		-	(<15 – 8590)	UFS/Petrobras (2004)
Sergipe e Sul de Alagoas Inverno/2003 (Plataforma Continental)	133		-	-		-	(<15 – 2210)	UFS/Petrobras (2004)
Bacia do Espírito Santo (Plataforma Continental)	40	C10-C40	-	-		(<0,10 - 30,7)	-	Fillmann et al. (2015)
Bacia do Espírito Santo (Talude)	40	C10-C40	-	-		(<0,10 - 12,1)	-	Fillmann et al. (2015)
Bacia Potiguar	96	C14-C34	(<LD - 98,6)	(0,01 - 44,3)		(1 – 1828)	-	Wagener et al., 2011
Mundo								
Golfo de Trieste (norte do Adriático)	31	C14-C34	(14,8 - 1215,6)	(2,17 - 438,93)	24	-	(89 – 294)	Penko et al. (2019)
Ilha de Khark	8	C10-C35	-	(19.75 - 49.25)	-	(79,48 – 16657,90)	-	Akhbarizadeh et al. (2016)
Mar Ross (Antártica)	4	C14-C34	-	(39.4 - 446)	13	-	(1,21-3,96)	Cincinelli et al. (2008)
Marseilles, Mar Mediterrâneo	25	-	(<LD – 288)	-	-	(4,2 – 217)		Guigue et al. (2011)
Derramamento de petróleo Prestige - Galicia	68	-	-	-	25	(20 – 2090)	(290 – 5800)	González et al. (2006)
Costa da China	13	-	-	-	-	(49,3 – 411,05)	-	Ya et al. (2014)
Noroeste Mar Mediterrâneo	5	C15-C36	-	0.04 – 0.53	32	-	(8,1 – 405)	Guigue et al. (2014)
Atlântico Norte/Ártico	18		-	-	18	-	(0,01 - 0,7)	Ma et al. (2013)
América do Norte e Central								
Golfo do México	4	-	-	-	15	-	(0,07 – 85)	Mitra e Bianchi (2003)
Golfo do México	6	-	-	-	-	-	(24.2 – 58)	Adhikari et al. (2015)
Baía de Cispata, Colômbia	6	-	-	-	-	(0.03–0.34)	-	Burgos-Núñez (2017)

<LD = abaixo do limite de detecção. As faixas de concentração mostram os resultados mínimo e máximo entre parênteses.

PÚBLICA

XII.4.3 Considerações finais

Os níveis de concentração de hidrocarbonetos em água na Bacia de Santos são baixos, o que é esperado em função da pouca afinidade de orgânicos não polares à essa matriz, e típicos de áreas não contaminadas ou pouco contaminadas por petróleo.

Além disso, as concentrações de hidrocarbonetos individuais foram em geral muito próximas aos limites de detecção para as técnicas utilizadas. Dessa forma, as concentrações totais de hidrocarbonetos medidas por esses métodos são a soma das concentrações de HPA individuais ou de grupos de HPA, que provavelmente têm um grau relativamente alto de incerteza associado (Røe Utvik et al., 1999).

Com a necessidade de coletar grandes volumes de água e de concentrar muitas vezes as amostras para possibilitar a detecção dos hidrocarbonetos (compostos alvo), são concentrados também compostos interferentes, que podem mascarar resultados, principalmente nas análises realizadas por cromatografia gasosa e detecção por ionização de chama, onde a identidade dos compostos é “confirmada” por similaridade de tempos de retenção obtidos por padrão de referência.

Outro ponto relevante é o fato de os hidrocarbonetos serem ubíquos na natureza, eventualmente podendo contribuir com uma contaminação extrínseca à amostra. Em função de sua solubilidade limitada na água e de sua natureza hidrofóbica, a concentração dos hidrocarbonetos dissolvidos na água é muito baixa se comparada a nos sedimentos. Por isso, enquanto a contaminação extrínseca pode ser importante na matriz aquosa, na mesma ordem de grandeza do conteúdo intrínseco dela, para os sedimentos, a contaminação extrínseca pode ser irrelevante.

Recentemente, o trabalho de Carreira e colaboradores (2022) destacou a ocorrência de contaminação durante a amostragem e/ou extração de amostras a bordo, particularmente na fração de hidrocarbonetos alifáticos, o que é um alerta para se melhorar os protocolos analíticos e as instalações laboratoriais em navios de pesquisa brasileiros.

Finalmente, a análise de hidrocarbonetos em água pode ser útil para avaliar a contaminação no campo próximo de um empreendimento (Røe Utvik et al., 1999) ou em caso de acidente envolvendo vazamento de óleo no mar. Mesmo em caso de tais acidentes, pode ser difícil detectar a assinatura dos hidrocarbonetos na água do mar (Carreira et al., 2022).

XII.5 Conclusão

Os níveis de concentração de hidrocarbonetos em água na Bacia de Santos são baixos, o que é esperado em função da pouca afinidade de orgânicos não polares à essa matriz, e típicos de áreas não contaminadas ou pouco contaminadas por petróleo.

Os resultados obtidos nas duas campanhas representam fotografias da água do mar na Bacia de santos, obtidas através de coletas únicas, e podem não representar a concentração “típica” de hidrocarbonetos na área. Ao contrário dos sedimentos, onde condições são favoráveis à acumulação e integração dos hidrocarbonetos, na água, a concentração dos hidrocarbonetos em cada estação reflete o momento da amostragem e é norteada pela dinâmica desse compartimento.

Os hidrocarbonetos em água geralmente estão abaixo do limite de detecção, quando se analisa 1 L de amostra. Nesse trabalho na Bacia de Santos, os hidrocarbonetos não puderam ser detectados em várias das estações, mesmo com a análise de 4 L, e extratos concentrados até o volume final de 0,5 mL, o que na prática equivale a coleta de 8 L de amostras. Além disso, foi necessário um enorme esforço logístico para análise dos compostos saturados em até 7 dias (tempo de validade recomendado pela USEPA), seja realizando a etapa de extração na embarcação ou voltando ao porto com maior frequência para o desembarque de amostras.

Para uma futura otimização dos monitoramentos, vale refletir se o esforço de se analisar hidrocarbonetos em água do mar compensa ou se é mais efetivo canalizar os esforços para o estudo dos sedimentos.

XII.6 Referências Bibliográficas

Adhikari, P. L.; Maiti, K.; Overton, E. B. Vertical fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons in the northern Gulf of Mexico. **Marine Chemistry**, v. 168, p. 60-68, 2015.

Al-Lihaibi, S. S. Photo-oxidation products of petroleum hydrocarbons in the Eastern Red Sea coastal waters. **Environment international**, v. 28, n. 7, p. 573-579, 2003.

Asia, L. et al. Occurrence and distribution of hydrocarbons in surface sediments from Marseille Bay (France). **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, n. 3, p. 443-451, 2009.

Bastami, K. D. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal water, surface sediment and mullet Liza klunzingeri from northern part of Hormuz strait (Persian Gulf). **Marine pollution bulletin**, v. 76, n. 1-2, p. 411-416, 2013.

Berrojalbiz, N. et al. Biogeochemical and physical controls on concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and plankton of the Mediterranean and Black Seas. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 25, n. 4, 2011.

Bianchi, T. S.; Canuel, E. A. Chemical biomarkers in aquatic ecosystems. In: **Chemical Biomarkers in Aquatic Ecosystems**. Princeton University Press, 2011.

Bicego, M. C. **Contribuiçao ao estudo de hidrocarbonetos, biogênicos e do petróleo no ambiente marinho** [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 1988.

BIO-RIO. **Projeto Cabiúnas: relatório final**. Rio de Janeiro: Fundação BIO-RIO. 1993.

Bouloubassi, I.; Saliot, A. Dissolved, particulate and sedimentary naturally derived polycyclic aromatic hydrocarbons in a coastal environment: geochemical significance. **Marine Chemistry**, v. 42, n. 2, p. 127-143, 1993.

Bouloubassi, I.; Saliot, A. Investigation of anthropogenic and natural organic inputs in estuarine sediments using hydrocarbon markers (NAH, LAB, PAH). **Oceanologica acta**, v. 16, n. 2, p. 145-161, 1993.

Carreira, R. S. et al. The mysterious oil spill in the northeastern coast of Brazil: tracking offshore seawater and the need for improved vessel facilities. **Ocean Coast. Res.**, v. 70, 2022. https://doi.org/10.1590/2675-2824070.21079rsc

Cincinelli, A. et al. Natural and anthropogenic hydrocarbons in the water column of the Ross Sea (Antarctica). **Journal of Marine Systems**, v. 73, n. 1-2, p. 208-220, 2008.

Commendatore, M. G. et al. Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in coastal sediments from the Ushuaia Bay (Tierra del Fuego, Patagonia, Argentina). **Marine environmental research**, v. 74, p. 20-31, 2012.

Commendatore, M. G.; Esteves, J. L. Natural and anthropogenic hydrocarbons in sediments from the Chubut River (Patagonia, Argentina). **Marine Pollution Bulletin**, v. 48, n. 9-10, p. 910-918, 2004.

Cripps, G. C. Problems in the identification of anthropogenic hydrocarbons against natural background levels in the Antarctic. **Antarctic Science**, v. 1, n. 4, p. 307-312, 1989.

Dachs, J.; Méjanelle, L. Organic pollutants in coastal waters, sediments, and biota: a relevant driver for ecosystems during the Anthropocene? **Estuaries and Coasts**, v. 33, n. 1, p. 1-14, 2010.

Fernandes, G. M. et al. Levels, source appointment, and ecological risk of petroleum hydrocarbons in tropical coastal ecosystems (northeast Brazil): Baseline for future monitoring programmes of an oil spill area. **Environmental Pollution**, v. 296, p. 118709, 2022.

Fingas, M. **The basics of oil spill cleanup**. 2ª Edição. 2001.

Fourati, R. et al. Sources and spatial distribution of dissolved aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface coastal waters of the Gulf of Gabès (Tunisia, Southern Mediterranean Sea). **Progress in oceanography**, v. 163, p. 232-247, 2018.

González, J. J. et al. Spatial and temporal distribution of dissolved/dispersed aromatic hydrocarbons in seawater in the area affected by the Prestige oil spill. **Marine pollution bulletin**, v. 53, n. 5-7, p. 250-259, 2006.

González-Gaya, B. et al. High atmosphere–ocean exchange of semivolatile aromatic hydrocarbons. **Nature Geoscience**, v. 9, n. 6, p. 438-442, 2016.

Guigue, C. et al. Occurrence and distribution of hydrocarbons in the surface microlayer and subsurface water from the urban coastal marine area off Marseilles, Northwestern Mediterranean Sea. **Marine pollution bulletin**, v. 62, n. 12, p. 2741-2752, 2011.

Guigue, C. et al. Spatial and seasonal variabilities of dissolved hydrocarbons in surface waters from the Northwestern Mediterranean Sea: results from one year intensive sampling. **Science of the Total Environment**, v. 466, p. 650-662, 2014.

Gustafsson, Ö.; Gschwend, P. M.; Buesseler, K. O. Using 234Th disequilibria to estimate the vertical removal rates of polycyclic aromatic hydrocarbons from the surface ocean. **Marine Chemistry**, v. 57, n. 1-2, p. 11-23, 1997.

Hu, L. et al. Perylene in surface sediments from the estuarine-inner shelf of the East China Sea: a potential indicator to assess the sediment footprint of large river influence. **Continental Shelf Research**, v. 90, p. 142-150, 2014.

IARC (International Agency for Research on Cancer). **Agents Classified by the IARC Monographs**, Volumes 1–122. IARC, Lyon, FR. Disponível em: https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications. Acesso em: 07 dez. 2022.

IEAPM. **Monitoramento do Meio Ambiente Marinho: Relatório sobre as análises dos poluentes realizadas em 1996/1997**. Arraial do Cabo: Ministério da Marinha, Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira. 1997.

Jiménez, N. et al. Polyphasic approach for assessing changes in an autochthonous marine bacterial community in the presence of Prestige fuel oil and its biodegradation potential. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 91, n. 3, p. 823-834, 2011.

Kapsimalis, V. et al. Organic contamination of surface sediments in the metropolitan coastal zone of Athens, Greece: Sources, degree, and ecological risk. **Marine pollution bulletin**, v. 80, n. 1-2, p. 312-324, 2014.

Kennish, M. J. **Ecology of Estuaries: Anthropogenic effects**. CRC. Press. Inc., Boca Raton F, v. 1, 1992.

Kim, S.; Kwon, J. Determination of partition coefficients for selected PAHs between water and dissolved organic matter. **CLEAN–Soil, Air, Water**, v. 38, n. 9, p. 797-802, 2010.

King, S. M. et al. Photolytic and photocatalytic degradation of surface oil from the Deepwater Horizon spill. **Chemosphere**, v. 95, p. 415-422, 2014.

Kucuksezgin, F.; Pazi, I.; Gonul, L. T. Marine organic pollutants of the Eastern Aegean: Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in Candarli Gulf surficial sediments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 64, n. 11, p. 2569-2575, 2012.

Lawal, A. T. Polycyclic aromatic hydrocarbons. A review. **Cogent Environmental Science**, v. 3, n. 1, p. 1339841, 2017.

Lipiatou, E.; Saliot, A. Fluxes and transport of anthropogenic and natural polycyclic aromatic hydrocarbons in the western Mediterranean Sea. **Marine chemistry**, v. 32, n. 1, p. 51-71, 1991.

Lotufo, G. R. Toxicity of sediment-associated PAHs to an estuarine copepod: effects on survival, feeding, reproduction and behavior. **Marine environmental research**, v. 44, n. 2, p. 149-166, 1997.

Lourenço, R. A. et al. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements as indicators of contamination status near oil and gas platforms in the Sergipe–Alagoas Basin (Southwest Atlantic Ocean). **Continental Shelf Research**, v. 71, p. 37-44, 2013.

Ma, Y. et al. Deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons in the North Pacific and the Arctic. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 11, p. 5822-5829, 2013.

May, W. E.; Wasik, S. P.; Freeman, D. H. Determination of the solubility behavior of some polycyclic aromatic hydrocarbons in water. **Analytical Chemistry**, v. 50, n. 7, p. 997-1000, 1978.

Mazurek, M. A.; Simoneit, B. R. T. Characterization of biogenic and petroleum-derived organic matter in aerosols over remote, rural and urban areas. In: **Identif and Anal of Org Pollut in Air**. p. 353-370. 1984.

Melges-Figueiredo, L. H.; Herms, F.; Pereira, S. D.; Hamacher, C.; Meniconi, M. F. G.; Carreira, R. S.; Costa, L.; Lima, A. L.; Araujo-Guerra, L. A.; Cunha, A. A. S.; Almeida-Filho, A. X. A. Hydrocarbon distribution in the coastal

PÚBLICA

environment of Ilha Grande Bay under influence of a Maritime Petroleum Terminal. In: **Third Latin American Congress on Organic Geochemistry**, Manaus. Extended Abstracts. p. 90-93. 1993.

Migani, F.; Borghesi, F.; Dinelli, Enrico. Geochemical characterization of surface sediments from the northern Adriatic wetlands around the Po river delta. Part I: Bulk composition and relation to local background. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 156, p. 72-88, 2015.

Mzoughi, N.; Chouba, L. Distribution and partitioning of aliphatic hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons between water, suspended particulate matter, and sediment in harbours of the West coastal of the Gulf of Tunis (Tunisia). **Journal of Environmental Monitoring**, v. 13, n. 3, p. 689-698, 2011.

Neff, J. M. **Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment**. Applied Science Publishers LTD. 1979.

Neves, P. A. et al. Unusual natural polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment cores of an Amazon estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 183, p. 114059, 2022.

Nguyen, T. C. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in road-deposited sediments, water sediments, and soils in Sydney, Australia: comparisons of concentration distribution, sources and potential toxicity. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 104, p. 339-348, 2014.

Oros, D. R. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contamination in San Francisco Bay: a 10-year retrospective of monitoring in an urbanized estuary. **Environmental Research**, v. 105, n. 1, p. 101-118, 2007.

Penko, L.; Bajt, O. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface seawater of the GULF of Trieste (northern ADRIATIC). **Marine pollution bulletin**, v. 142, p. 103-111, 2019.

Readman, J. W. et al. Petroleum and PAH contamination of the Black Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, n. 1, p. 48-62, 2002.

Reddy, C. M. et al. Radiocarbon as a tool to apportion the sources of polycyclic aromatic hydrocarbons and black carbon in environmental samples. **Environmental Science & Technology**, v. 36, n. 8, p. 1774-1782, 2002.

Rieley, G. et al. Sources of sedimentary lipids deduced from stable carbon-isotope analyses of individual compounds. **Nature**, v. 352, n. 6334, p. 425-427, 1991.

Røe Utvik, T. I.; Durell, G. S.; Johnsen, S. Determining produced water originating polycyclic aromatic hydrocarbons in North Sea waters: comparison of sampling techniques. **Mar. Pollut. Bull.**, v. 38, pp. 977-989, 1999.

Sabbah, I.; Rebhun, M.; Gerstl, Z. An independent prediction of the effect of dissolved organic matter on the transport of polycyclic aromatic hydrocarbons. **Journal of contaminant hydrology**, v. 75, n. 1-2, p. 55-70, 2004.

Samanta, S. K.; Singh, O. V.; Jain, R. K. Polycyclic aromatic hydrocarbons: environmental pollution and bioremediation. **Trends in Biotechnology**, v. 20, n. 6, p. 243-248, 2002.

Santos, F. R. et al. Influence of anthropogenic activities and risk assessment on protected mangrove forest using traditional and emerging molecular markers (Ceará coast, northeastern Brazil). **Science of the Total Environment**, v. 656, p. 877-888, 2019.

Sauret, C. et al. Influence of PAHs among other coastal environmental variables on total and PAH-degrading bacterial communities. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 5, p. 4242-4256, 2016.

Schintu, M. et al. Interpretation of coastal sediment quality based on trace metal and PAH analysis, benthic foraminifera, and toxicity tests (Sardinia, Western Mediterranean). **Marine pollution bulletin**, v. 94, n. 1-2, p. 72-83, 2015.

Simoneit, B. R. T. Hydrothermal effects on organic matter—High vs low temperature components. **Organic Geochemistry**, v. 6, p. 857-864, 1984.

Simoneit, B. R. T.; Mazurek, M. A. Organic matter of the troposphere—II. Natural background of biogenic lipid matter in aerosols over the rural western United States. **Atmospheric Environment** (1967), v. 16, n. 9, p. 2139-2159, 1982.

Stogiannidis, E.; Laane, R. Source characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons by using their molecular indices: an overview of possibilities. **Reviews of environmental contamination and toxicology**, p. 49-133, 2015.

Stout, S. A.; Wang, Z. **Standard handbook oil spill environmental forensics: fingerprinting and source identification**. Academic press, 2016.

UFS/PETROBRAS. **Monitoramento da plataforma continental dos estados de sergipe e alagoas sob influência das atividades petrolíferas**. Coordenador: Araújo, H.P.M. (UFS). Relatório Técnico Final Vol. I e II. FAPESE/PETROBRAS, São Cristovão. 797 p. 2004.

USEPA. **Chapter 4: Organic Analytes**, 2018. Disponível em: https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-compendium#chapters. Acesso em: 07 dez. 2022.

Venturini, N. et al. A multi-molecular marker assessment of organic pollution in shore sediments from the Río de la Plata Estuary, SW Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 91, n. 2, p. 461-475, 2015.

Volkman, J. K. et al. Identification of natural, anthropogenic and petroleum hydrocarbons in aquatic sediments. **Science of the Total Environment**, v. 112, n. 2-3, p. 203-219, 1992.

Wagener, A. L. R.; Carreira, R.; Hamacher, C.; Scofield, A. L.; Farias, C. O.; Cordeiro, L. G. S. M.; Luz, L. G.; Baeta, A.; Kalas, F. Hydrocarbon composition and distribution in a coastal region under influence of oil production in northeast Brazil. **Marine pollution bulletin**, v. 62, n. 8, p. 1877-1882, 2011.

Wagener, A. L. R.; Carreira, R. S.; Hamacher, C.; Scofield, A. L.; Luz, L. G.; Pires, L. C. M. **Avaliação das condições físico-químicas da água – hidrocarbonetos: Relatório Integrador do Projeto de Monitoramento da Bacia do Ceará.** Rio de Janeiro: Petrobras. 2005b.

Wagener, A. L. R.; Carreira, R. S.; Hamacher, C.; Scofield, A. L.; Kalas, F. A.; Farias, C. O.; Pires, L. C. M.; Luz, L. G.; Cordeiro, L. M. S.; Costa, R. L.; Poletto, T. V.; Lopes, T. V.; Lopes, M. B.; Belligotti, F. M.; Jasmim, L. N. **Hidrocarbonetos na água: Relatório Integrado do Programa de Monitoramento Ambiental da Bacia Potiguar**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2006.

Wagener, A. L. R.; Farias, C. O.; Nudi, A. H.; Carreira, R. S.; Scofield, A. L. Avaliação de contaminantes orgânicos em águas superficiais da Bacia de Campos. In: **Quimica Ambiental** (pp. 157-178). Campus. 2017.

Wang, Z.; Fingas, M.; Page, D. S. Oil spill identification. **Journal of Chromatography A**, v. 843, n. 1-2, p. 369-411, 1999.

Wilcke, W. Global patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil. **Geoderma**, v. 141, n. 3-4, p. 157-166, 2007.

Yunker, M. B. et al. Terrestrial and marine biomarkers in a seasonally ice-covered Arctic estuary—integration of multivariate and biomarker approaches. **Marine chemistry**, v. 49, n. 1, p. 1-50, 1995.

PÚBLICA

XII.7 Equipe Técnica

Nomes	Formação	Atuação
Fabiana Dias Costa Gallotta	Engenheira Química DSc Geoquímica Ambiental	Coordenação, análise de dados e redação de capítulo
Cidelmara Helena Coelho	Química MSc em ciências	Análise de dados e redação de capítulo
Gilson Cruz da Silva	Químico MSc em Química Orgânica DSc em Química Analítica	Análise de dados e preparação de apresentações
Liliane Pequeno de Araújo Heckmann	Química Doutoranda em Bioquímica	Análise de dados e aprovação de resultados
Felipe Rodrigues dos Santos	Oceanógrafo MSc em Oceanografia Química	Análise de dados e redação de capítulo
Leandro Franco Macena de Araújo	Técnico em Química	Atividades de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Viviane de Castro Salles	Técnica em Química Engenheira Química	Atividades de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Dayane Pereira de Lima	Téc. Controle ambiental Bióloga com ênfase em Microbiologia e Imunologia	Atividades de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Jéssica de Oliveira Costa	Téc. Serviços Tecnológicos Química com atribuições Tecnológicas MSc em Química	Atividades de campo, análises laboratoriais e processamento de dados
Bruno Correa Pereira	Técnico em Química	Supervisão das atividades laboratoriais
Elton Murussi Canto	Técnico em Química	Supervisão das atividades laboratoriais
Adonai Ramos Pessoa	Técnico em Química	Atividades de campo
Felipe Mathias Oliveira	Técnico em Química	Atividades de campo
Letícia Oliveira da Silva	Técnica em Química	Atividades de campo

PÚBLICA

ANEXOS

Anexo III-1: *Número de fragmentos (reads) obtidos pelo sequenciamento metagenômico para as amostras distribuídas em um perfil vertical (epipelágico, mesopelágico e batipelágico) no sistema pelágico da BS.*

Amostra	Estação	Profundidade	Número de *reads* brutos (R1+R2)	Número de *reads* após controle qualidade (R1+R2)	Reads após controle de qualidade (%)
SANAGU1_A1_1M	A1	1m	17706975	16328334	92.21
SANAGU1_A3_1M	A3	1m	13411816	11772086	87.77
SANAGU1_A3_PMC	A3	PMC	11835573	10886986	91.99
SANAGU1_A6_1M	A6	1m	21100063	18681647	88.54
SANAGU1_A6_250M	A6	250m	24599893	21706525	88.24
SANAGU1_A7_1M	A7	1m	13221659	12327530	93.24
SANAGU1_A7_PMC	A7	PMC	6854634	6221216	90.76
SANAGU1_A7_250M	A7	250m	35624189	31082910	87.25
SANAGU1_A7_900M	A7	900m	17767114	16436809	92.51
SANAGU1_A7_2300M	A7	2300m	11890701	11129433	93.60
SANAGU1_B1_1M	B1	1m	15796758	14163352	89.66
SANAGU2_B3_1M	B3	1m	18092252	16420724	90.76
SANAGU2_B3_PMC	B3	PMC	13901032	12362328	88.93
SANAGU2_B6_1M	B6	1m	7617479	6927164	90.94
SANAGU2_B6_250M	B6	250m	24882590	23074547	92.73
SANAGU2_B7_1M	B7	1m	25744516	23403148	90.91
SANAGU2_B7_PMC	B7	PMC	20017874	17831706	89.08
SANAGU2_B7_250M	B7	250m	17643969	15637192	88.63
SANAGU2_B7_900M	B7	900m	10852147	9675182	89.15
SANAGU2_C1_1M	C1	1m	17732979	16008450	90.28
SANAGU2_C3_1M	C3	1m	11552626	10357871	89.66
SANAGU2_C3_PMC	C3	PMC	11021317	9837502	89.26
SANAGU3_C8_1M	C8	1m	16853848	14231766	84.44
SANAGU3_C8_PMC	C8	PMC	18539689	16269234	87.75
SANAGU3_C8_900M	C8	900m	16731003	15047128	89.94
SANAGU3_C8_250M	C8	250m	18815615	17117696	90.98

continua

PÚBLICA

Continuação Anexo III-1

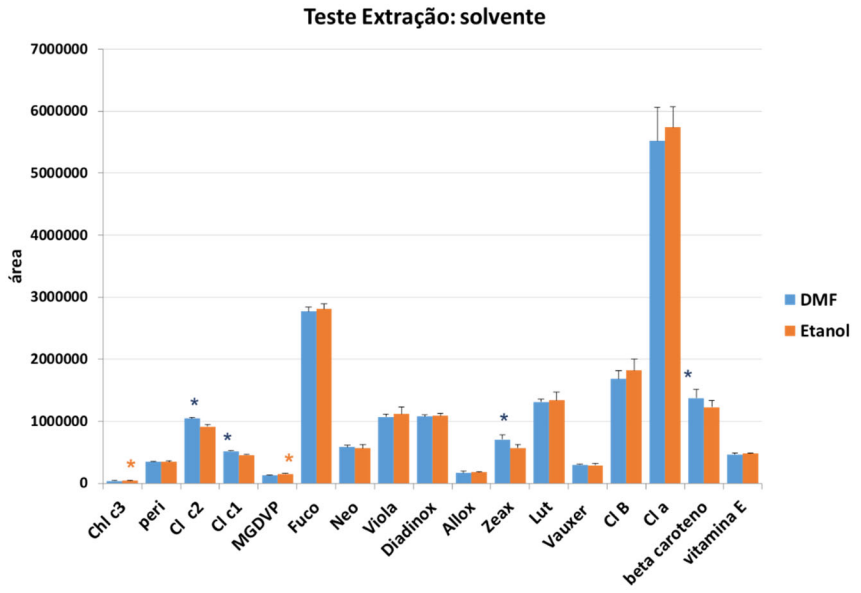
SANAGU3_C8_2300M	C8	2300m	21382908	19407564	90.76
SANAGU3_D1_1M	D1	1m	19049345	17230013	90.45
SANAGU5_E1_1M	E1	1m	18503222	16699455	90.25
SANTOS_E4_1M	E4	1m	13415699	12567063	93.67
SANAGU4_E4_250M	E4	250m	13949843	13005783	93.23
SANTOS_E4_PMC	E4	PMC	18481582	16108380	87.16
SANAGU4_E7_1M	E7	1m	17044074	14121004	82.85
SANAGU4_E7_PMC	E7	PMC	20112758	17866716	88.83
SANAGU4_E7_250M	E7	250m	13701136	11895187	86.82
SANAGU4_E7_900M	E7	900m	15595431	14040037	90.03
SANAGU4_E7_2300M	E7	2300m	24583750	22247776	90.50
SANAGU5_F1_1M	F1	1m	14343858	12695156	88.51
SANAGU5_F3_1M	F3	1m	16396082	14569373	88.86
SANAGU5_F4_1M	F4	1m	15916079	13264927	83.34
SANAGU5_F4_250M	F4	250m	6675658	5988934	89.71
SANAGU5_F6_1M	F6	1m	15757253	13985736	88.76
SANAGU5_F6_PMC	F6	PMC	19523340	17269006	88.45
SANAGU5_F6_250M	F6	250m	17135301	15703976	91.65
SANAGU5_F6_2300M	F6	2300m	14983471	12944822	86.39
SANAGU6_G1_1M	G1	1m	7260190	6478869	89.24
SANAGU6_G3_1M	G3	1m	4501340	3748225	83.27
SANAGU6_G3_PMC	G3	PMC	18922395	15504980	81.94
SANAGU6_G5_1M	G5	1m	14193005	12142984	85.56
SANAGU6_G5_250M	G5	250m	7693883	6589965	85.65
SANAGU6_G5_900M	G5	900m	16634903	14804723	89.00
SANAGU6_G7_1M	G7	1m	12532179	10720332	85.54
SANAGU6_G7_250M	G7	250m	9146178	7956931	87.00
SANAGU6_G7_900M	G7	900m	21289861	19122652	89.82
SANAGU6_G7_2300M	G7	2300m	21097048	18693008	88.60
SANAGU6_H1_1M	H1	1m	12217867	11352860	92.92
SANAGU6_H2_1M	H2	1m	18038727	16784133	93.04
SANAGU6_H3_PMC	H3	PMC	16328209	14439035	88.43
SANAGU6_H4_1M	H4	1m	12634008	11543921	91.37
SANAGU6_H4_250M	H4	250m	23059606	21501327	93.24
SANAGU6_H5_1M	H5	1m	22865609	19306850	84.44

PÚBLICA

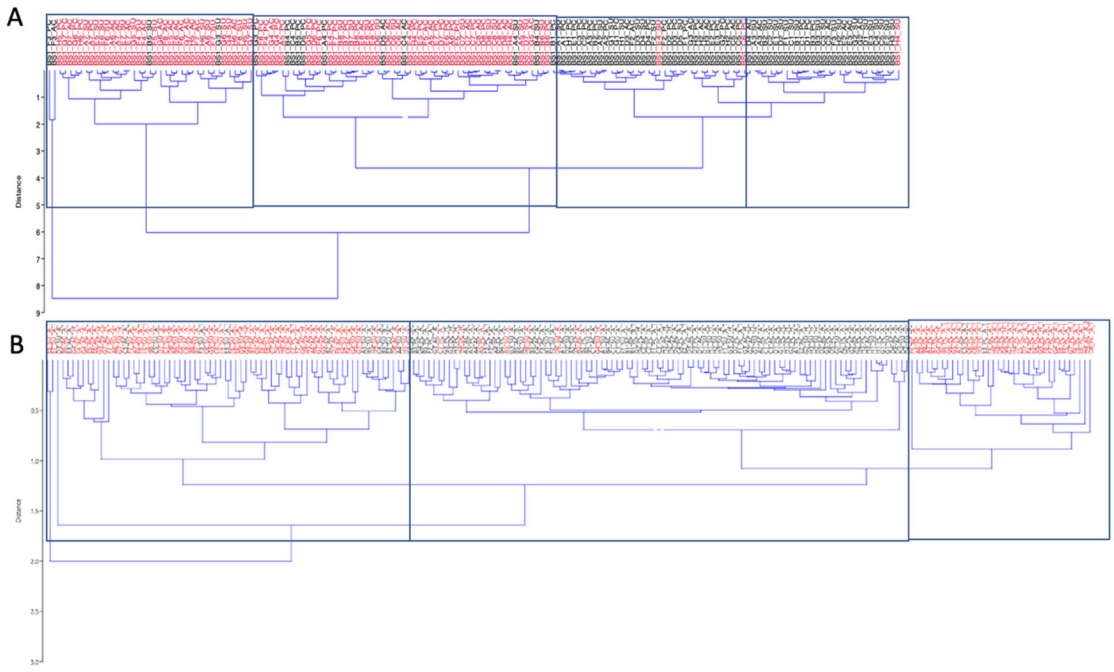
SANAGU6_H5_PMC	H5	PMC	16087851	14207857	88.31
SANAGU6_H5_250M	H5	250m	24119723	21278450	88.22
SANAGU6_H5_900M	H5	900m	18983094	16925150	89.16

PÚBLICA

Anexos IV

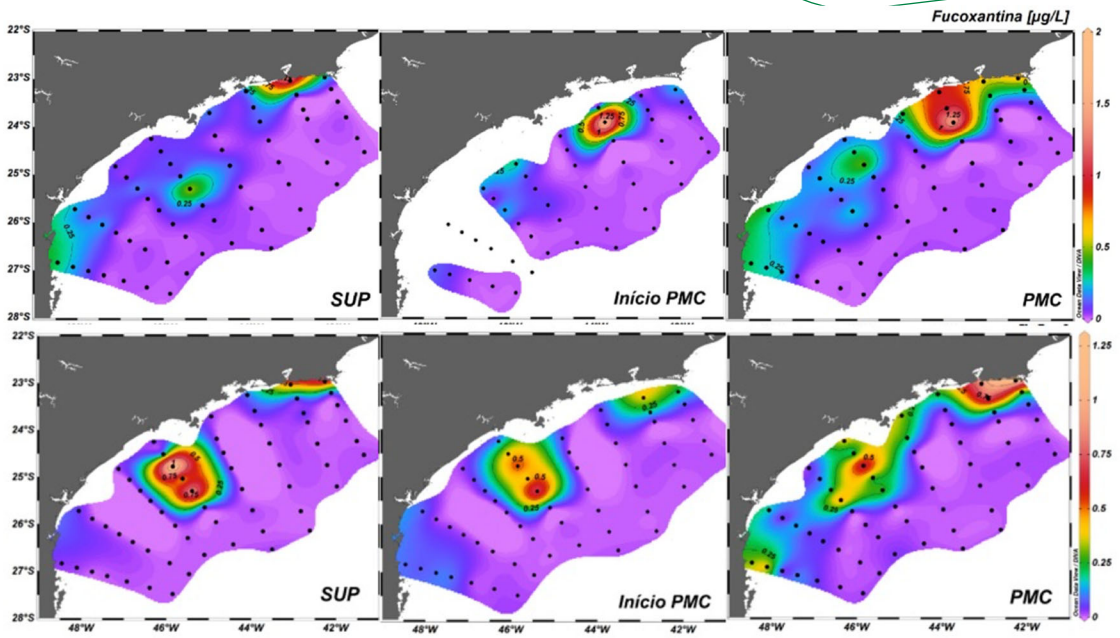


Anexo IV-1: *Comparação da eficiência de extração de pigmentos com DMF e substituindo DMF por EtOH (N= 5, amostra BGBV4). As barras indicam médias e desvios-padrão. * Diferenças significativas (Teste de Wilcoxon, p<0,05, n= 5).*

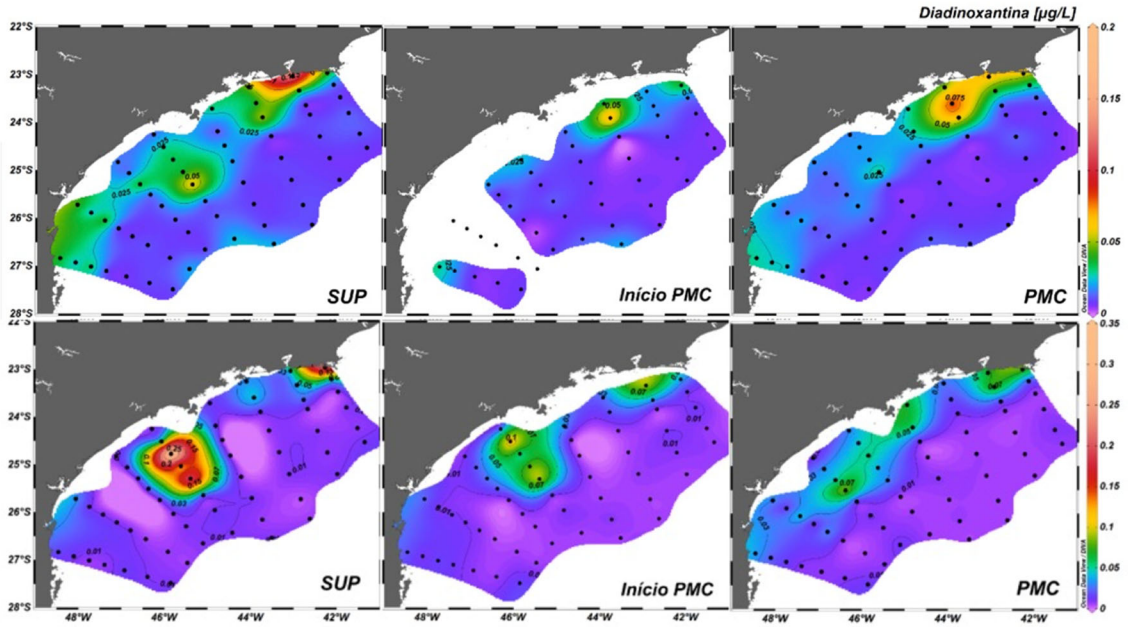


Anexo IV-2: *Análise de agrupamentos das razões [pigmento]/[Cl a] no inverno (A) e no verão (B). Cores preta: plataforma (<150m) e vermelha: talude (>150m). Método de Ward.*

PÚBLICA

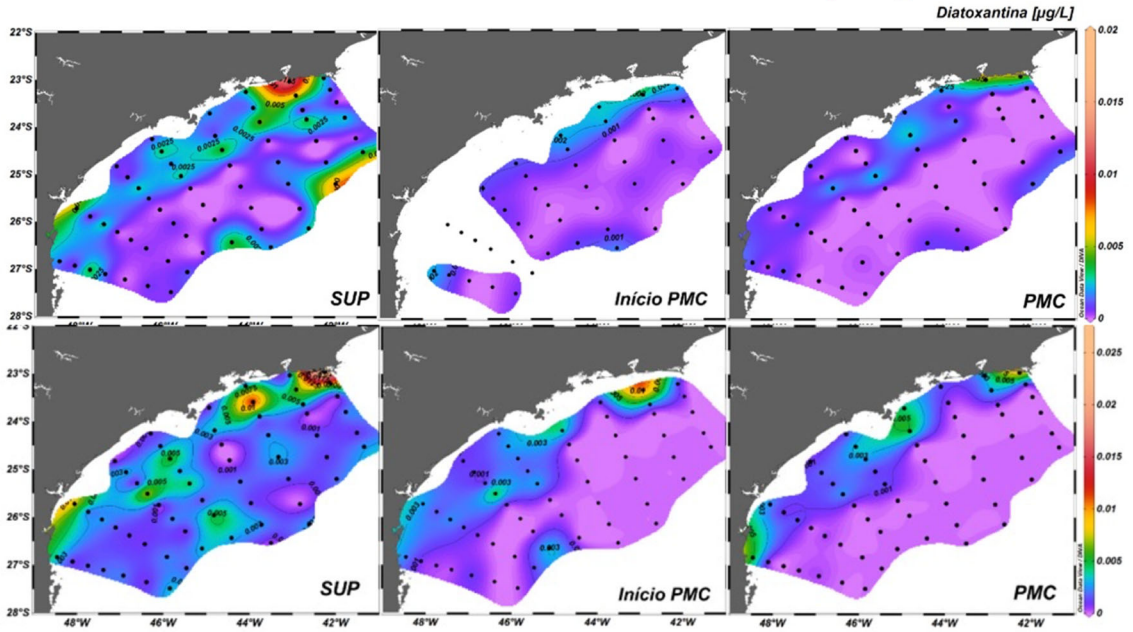


Anexo IV-3: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Fucoxantina, indicador da presença de diatomáceas, durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e profundidade do máximo da clorofila (PMC).*

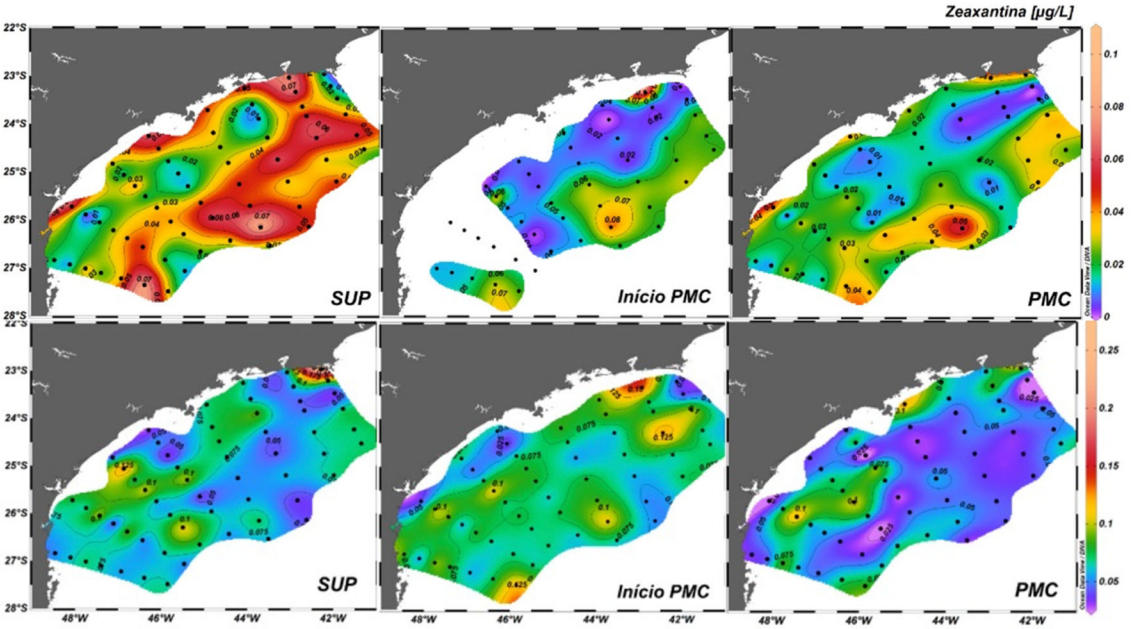


Anexo IV-4: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Diadinoxantina durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e profundidade do máximo da clorofila (PMC).*

PÚBLICA

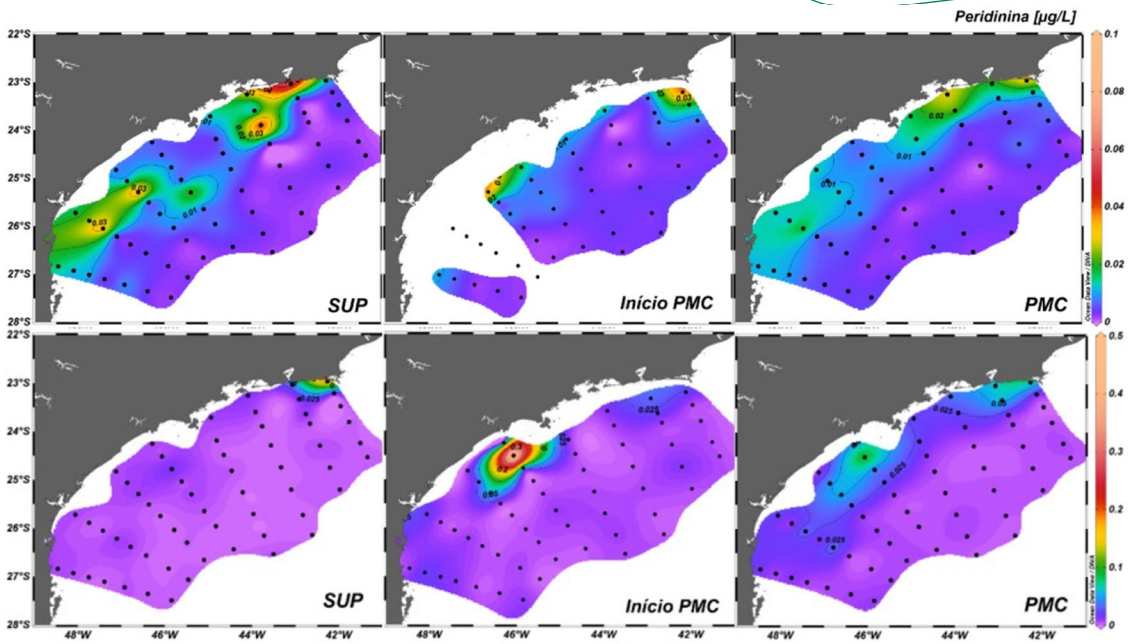


Anexo IV-5: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Diatoxantina durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e profundidade do máximo da clorofila (PMC).*

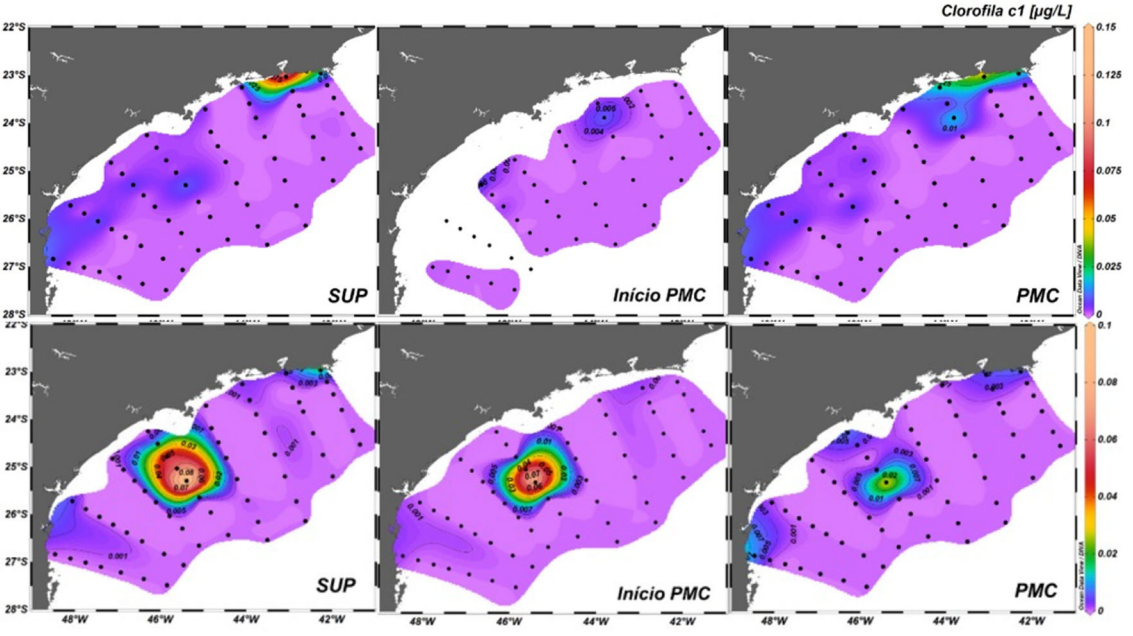


Anexo IV-6*: Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Zeaxantina, indicador da presença de cianobactérias, durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e profundidade do máximo da clorofila (PMC).*

PÚBLICA

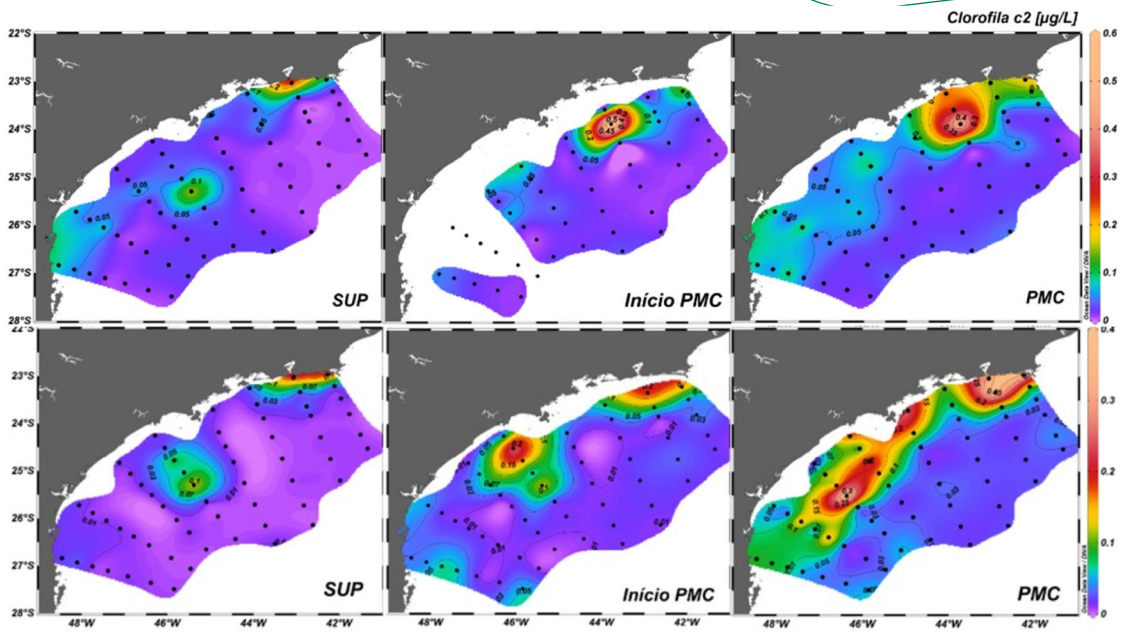


Anexo IV-7: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Peridinina, indicador da presença de Dinoflagelados do tipo 1, durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e da profundidade do máximo da clorofila (PMC).*

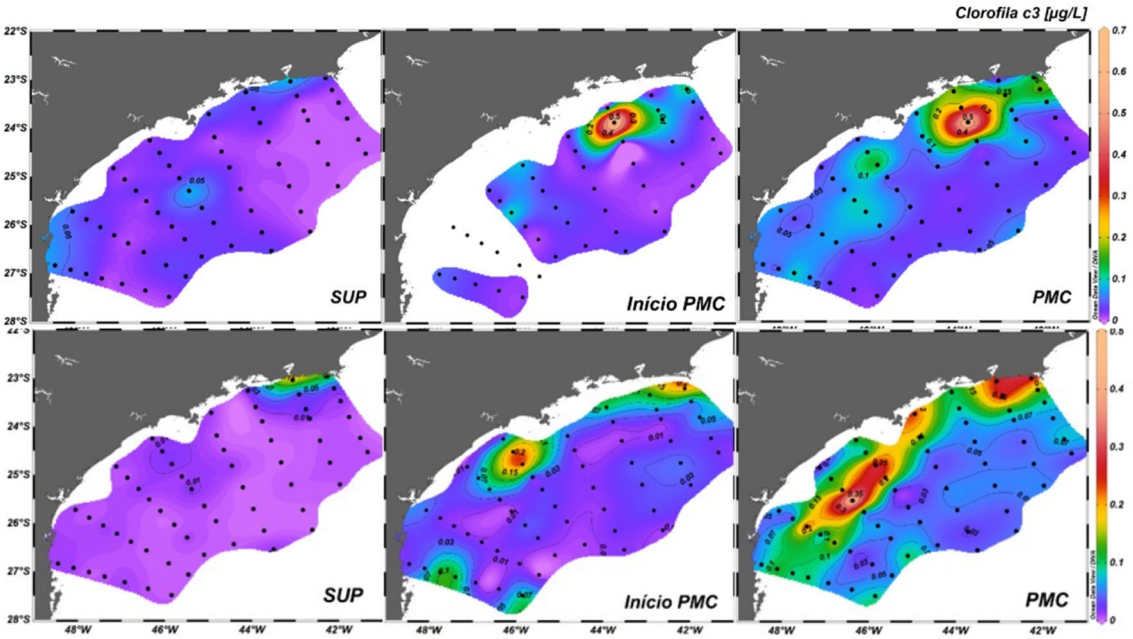


Anexo IV-8: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Clorofila c1, indicador da presença de Diatomáceas do tipo 1, durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e profundidade do máximo da clorofila (PMC).*

PÚBLICA

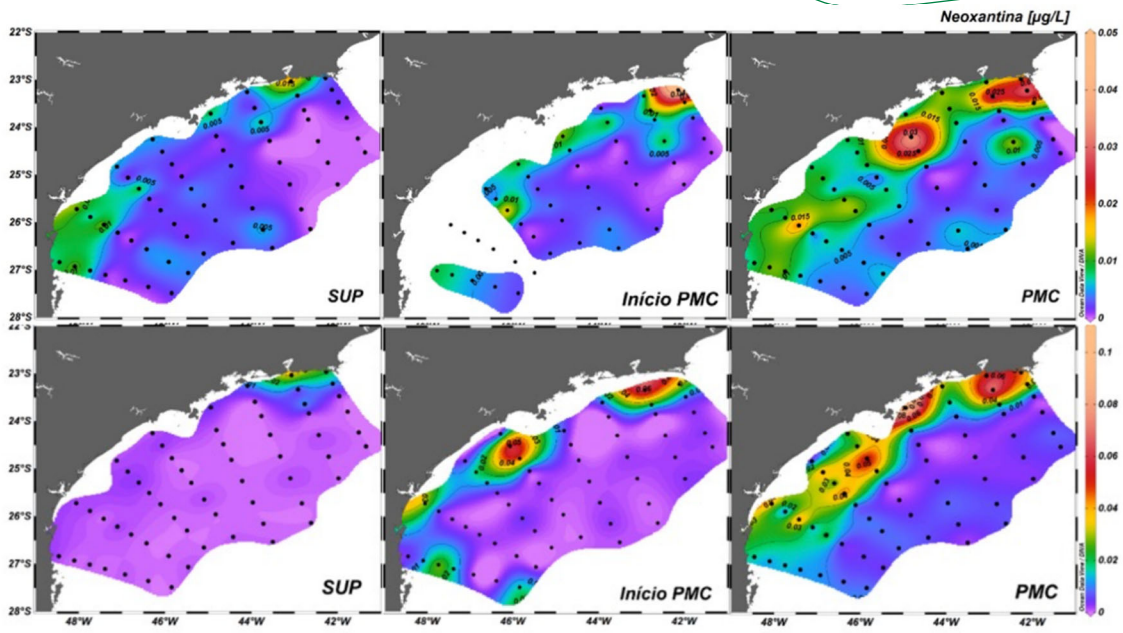


Anexo IV-9: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Clorofila c2, durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e profundidade do máximo de clorofila (PMC).*

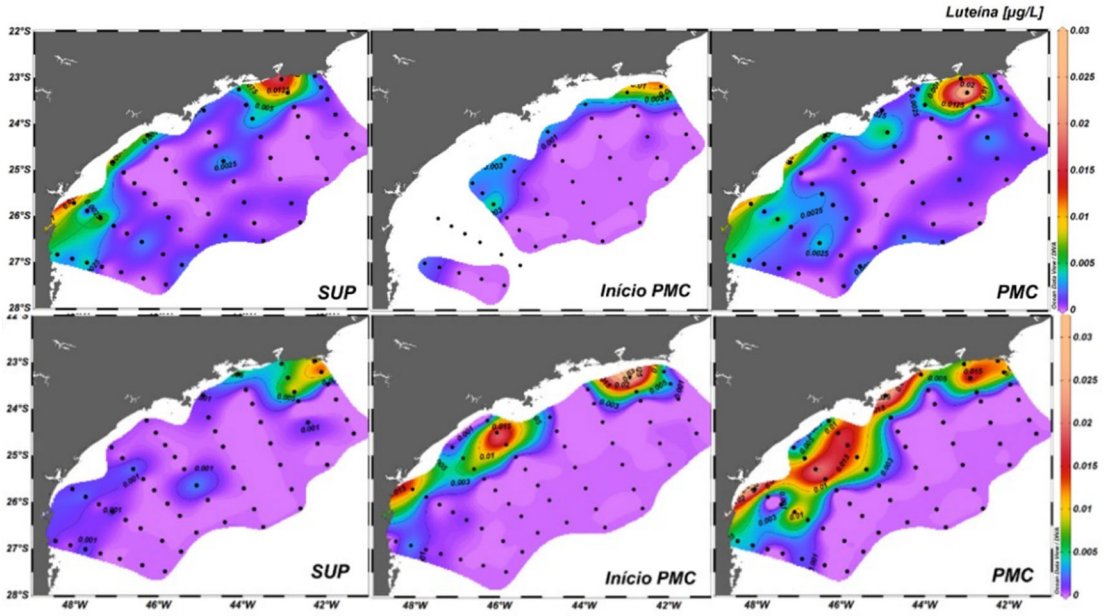


Anexo IV-10: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Clorofila c3 durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e profundidade do máximo da clorofila (PMC).*

PÚBLICA

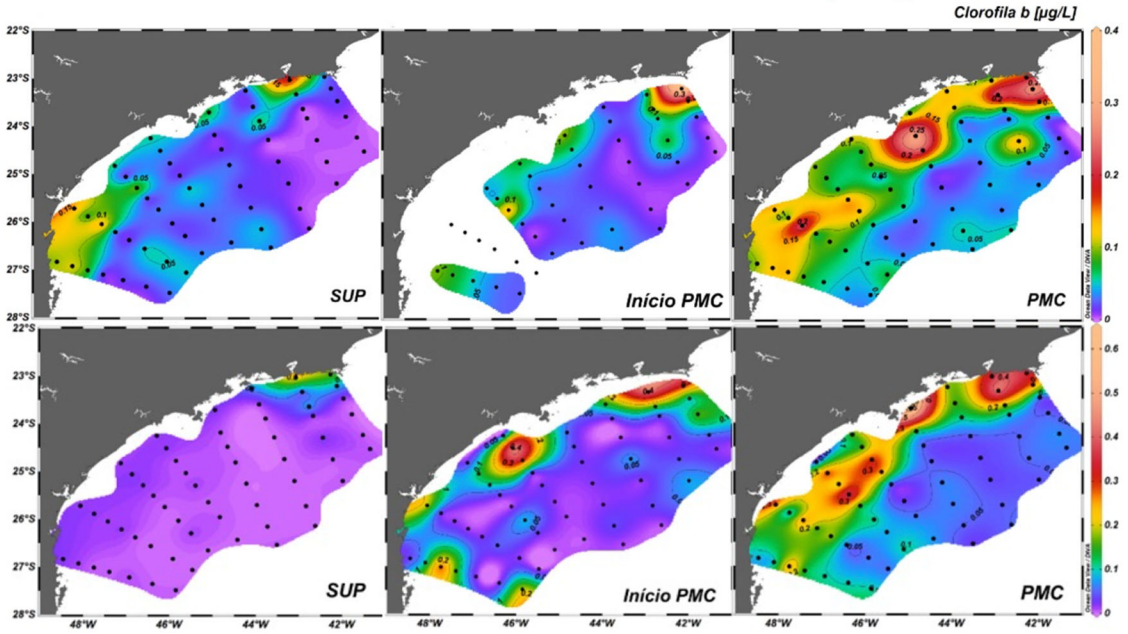


Anexo IV-11: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Neoxantina, indicador da presença de Prasinofíceas, durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e profundidade do máximo da clorofila (PMC).*

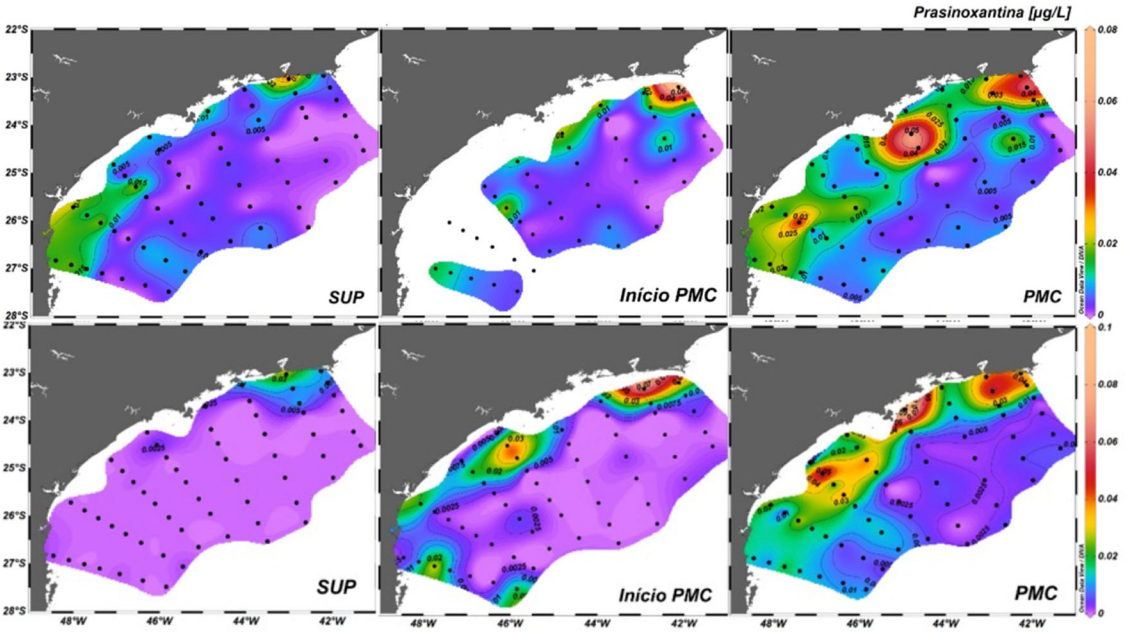


Anexo IV-12: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Luteína durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e da profundidade do máximo da clorofila PMC).*

PÚBLICA

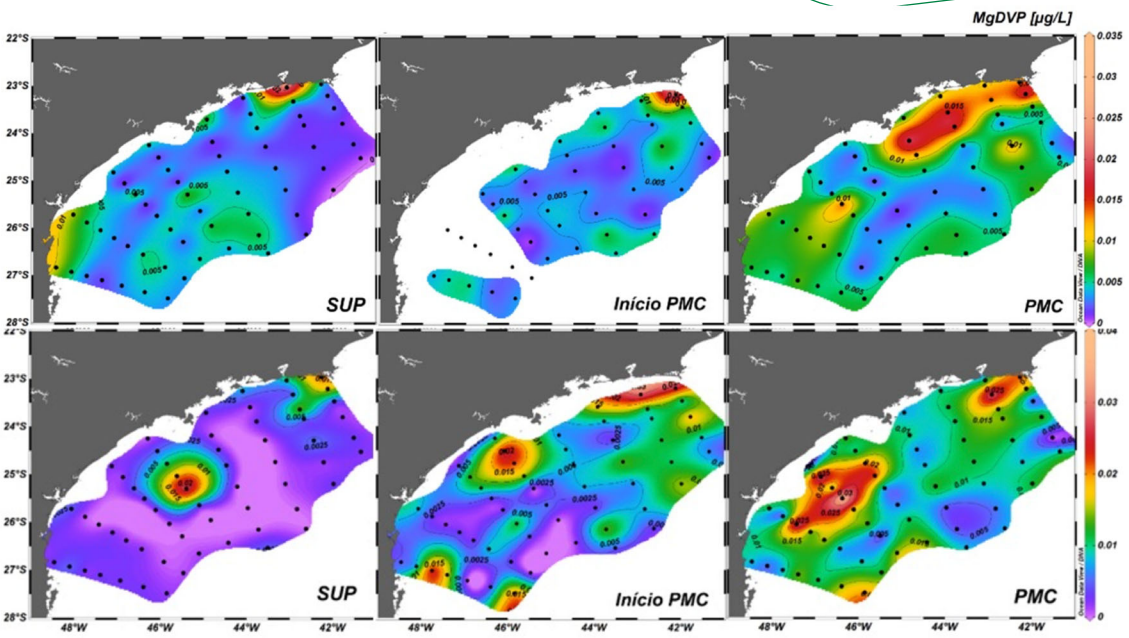


Anexo IV-13: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Clorofila b, indicador da presença de algas verdes, durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e da profundidade do máximo da clorofila (PMC).*

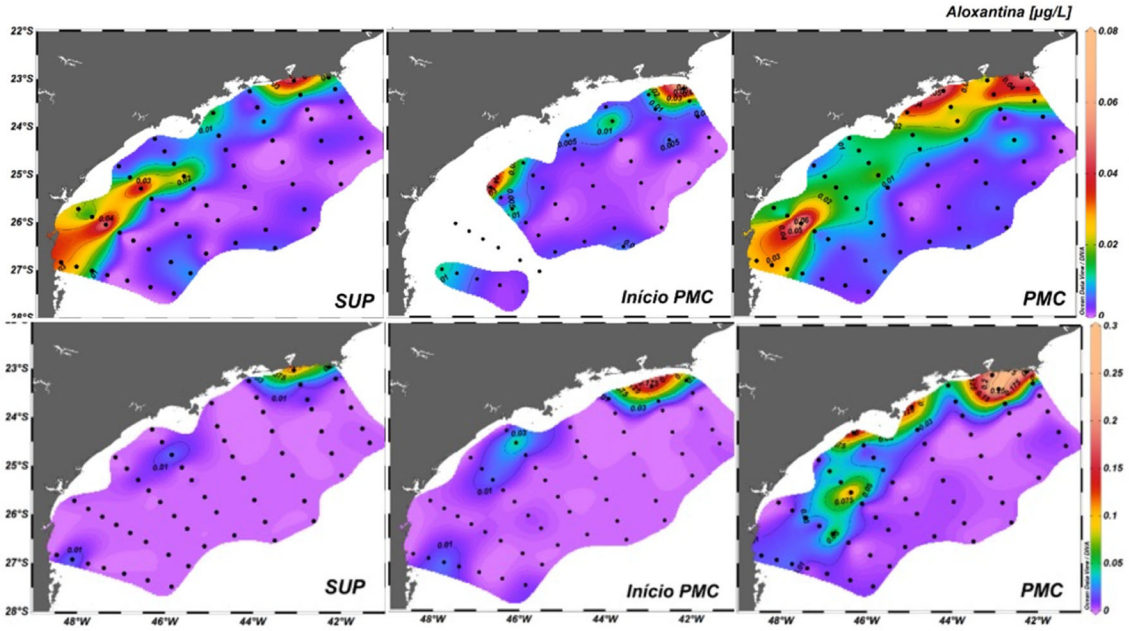


Anexo IV-14: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Prasinoxantina, indicador da presença de Prasinofíceas do tipo 3B, durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e da profundidade do máximo da clorofila (PMC).*

PÚBLICA

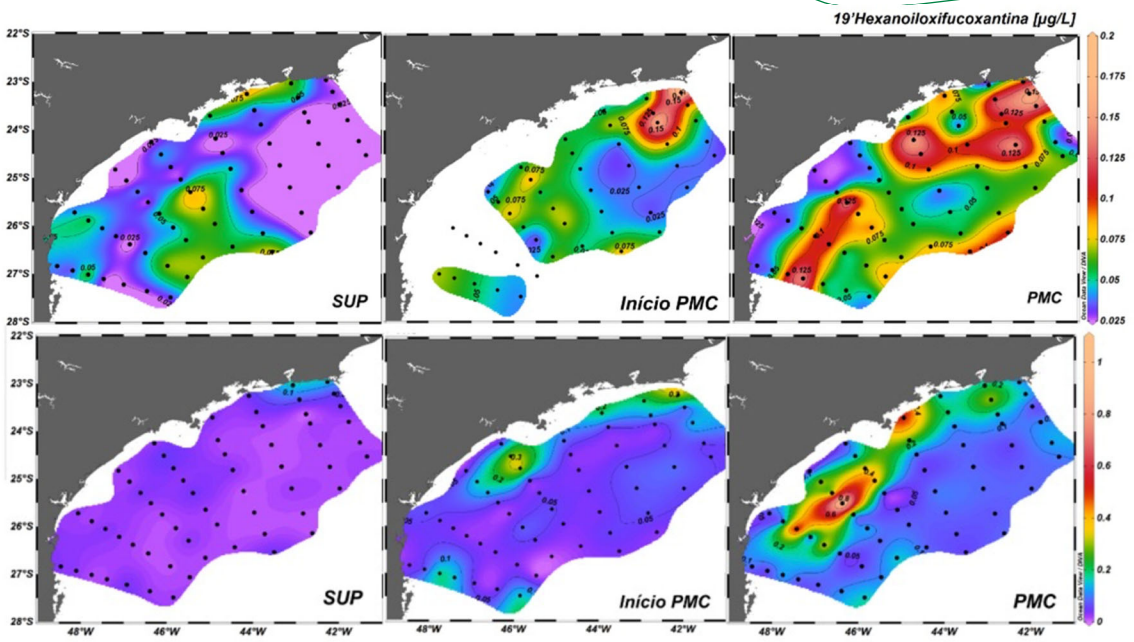


Anexo IV-15: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Mg-2,4-Divinil-Feoporfirina durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e profundidade do máximo da clorofila (PMC).*



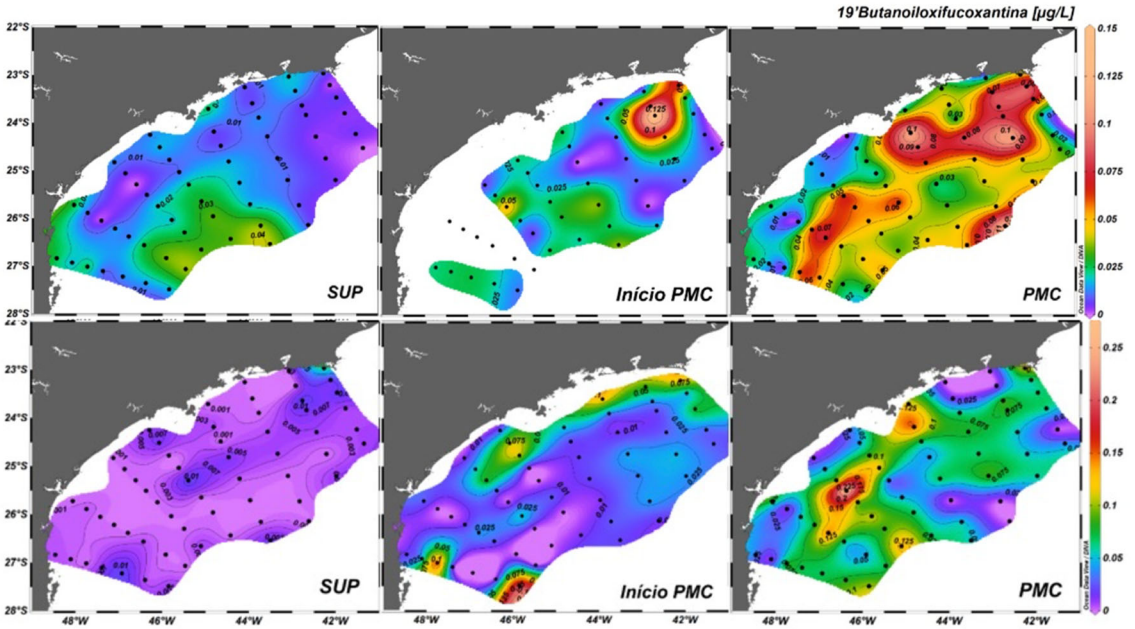
Anexo IV-16: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Aloxantina, indicador da presença de Criptofíceas, durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e profundidade do máximo da clorofila (PMC).*

PÚBLICA

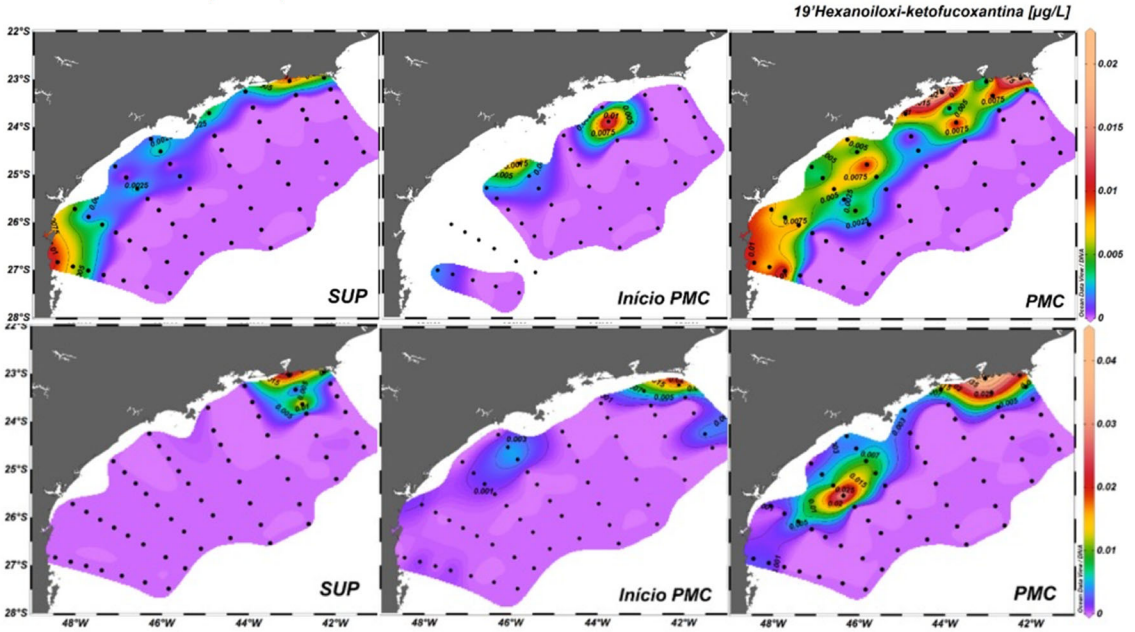


Anexo IV-17: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento 19'Hexanoiloxifucoxantina, indicador da presença de Haptofíceas e Dinoflagelados do tipo 2, durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e da profundidade do máximo PMC).*

PÚBLICA



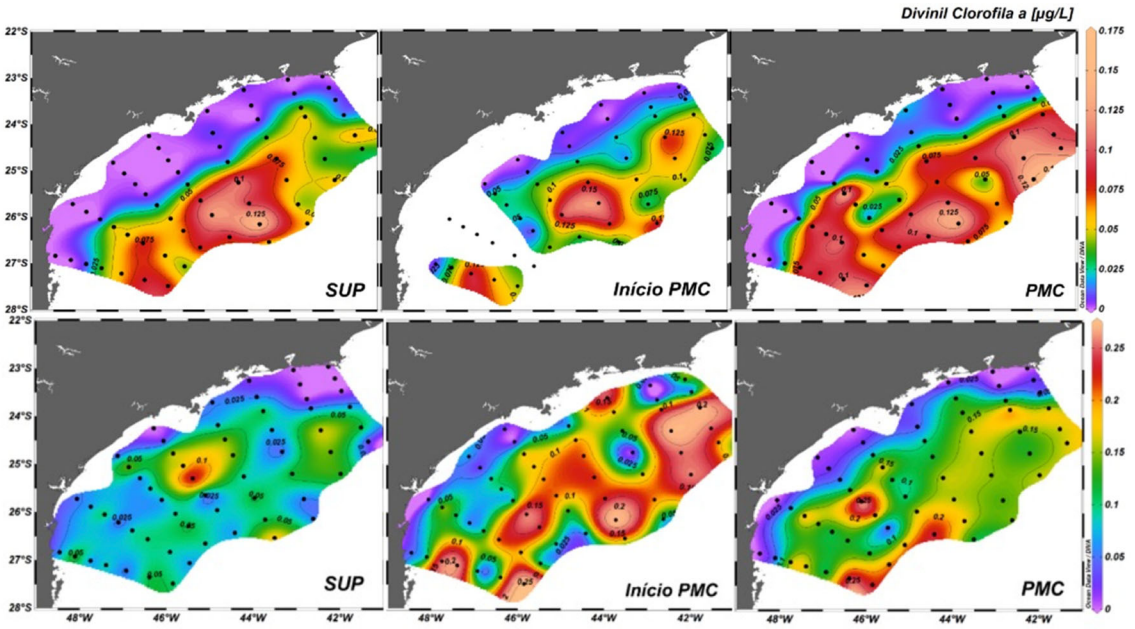
Anexo IV-18: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento 19'Butanoiloxifucoxantina, indicador da presença de Dinoflagelados do tipo 2, Haptofíceas, Dictyofíceas e Pelagofíceas, durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e da profundidade do máximo da clorofila (PMC).*



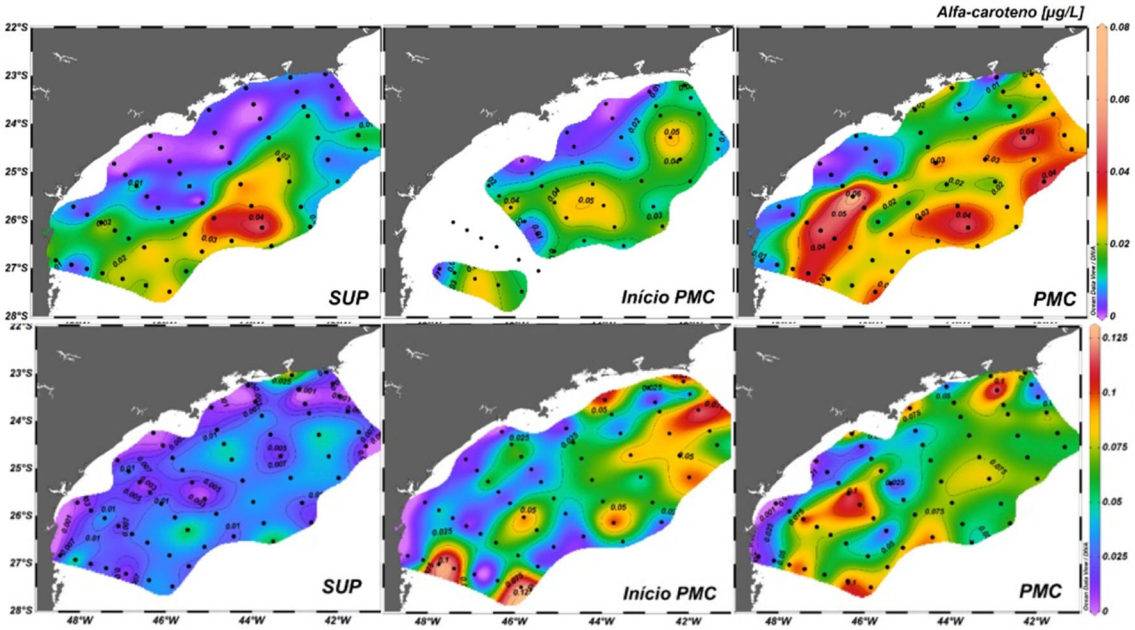
Anexo IV-19: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento 19'Hexanoiloxi-ketofucoxantina, indicador da presença de Haptofíceas e Dinoflagelados do tipo 2, durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP),*

PÚBLICA

início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e da profundidade do máximo da clorofila (PMC).



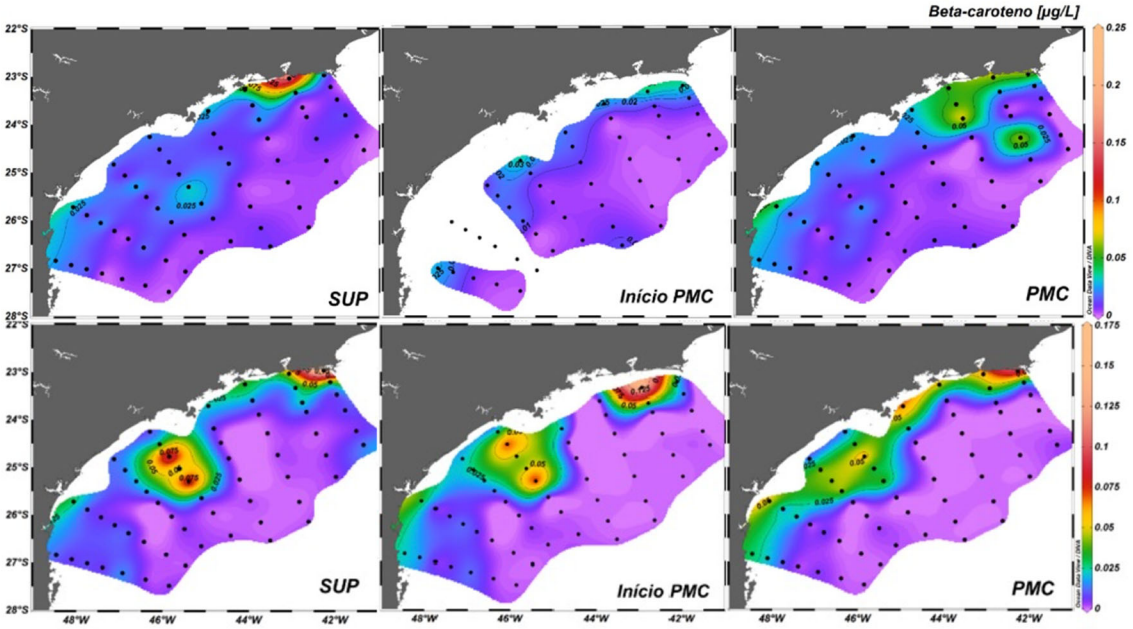
Anexo IV-20: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Divinil Clorofila a, indicador da presença de cianobactérias do gênero Prochlorococcus sp, durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e da profundidade do máximo da clorofila (PMC).*



Anexo IV-21: *Distribuição espacial da concentração (µg.L^{-1}) do pigmento Alfa-caroteno durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da*

PÚBLICA

profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e profundidade do máximo da clorofila (PMC).



Anexo IV-22: *Distribuição espacial da concentração (µg.L-1) do pigmento Beta-caroteno durante o inverno de 2019 (painel superior) e verão de 2022 (painel inferior), nas profundidades de superfície (SUP), início da profundidade do máximo da clorofila (início PMC) e profundidade do máximo da clorofila (PMC).*

PÚBLICA

Anexo IV-23: *Curvas analíticas dos pigmentos quantificados pelo método de padronização externa com padrões DHI (Dinamarca).*

Pigmento	Nº pontos	Equação Curva	R^2
19'Butanoiloxifucoxantina	8	y = 6377,9x	0,9998
19'Hexanoiloxi-ketofucoxantina	6	y = 5082,5x	0,9994
19'Hexanoiloxifucoxantina	7	y = 6095,2x	0,9999
Alfa-caroteno	8	y = 4803,6x	0,9992
Aloxantina	8	y = 7698,1x	0,9998
Beta-caroteno	6	y = 6116,7x	0,9979
Clorofila a	9	y = 2.291.294,30x	1,0000
Clorofila b	8	y = 1803x	0,9999
Clorofila c1	8	y = 10352x	0,9995
Clorofila c2	9	y = 10411x	0,9966
Clorofila c2 MGDG	6	y = 3065,9x	0,9979
Clorofla c3	9	y= 5730,2x	0,9950
Diadinoxantina	8	y = 9552,2x	0,9998
Diatoxantina	5	y = 6906,8x	0,9991
Divinil Clorofila a	8	y = 3418,3x	0,9997
Fucoxantina	8	y = 5929,3x	0,9999
Luteína	6	y = 7386x	0,9997
MgDVP	6	y = 8422,3x	0,9991
MV Clorofila c3	5	y = 5546,4x	0,9972
Neoxantina	6	y = 6605,6x	0,9993
Peridinina	13	y = 4329,1x	0,9989
Prasinoxantina	8	y = 6098,4x	0,9999
Violaxantina	6	y = 9878,6x	0,9996
Zeaxantina	9	y = 9208x	0,9984

Anexo IV-24: *Grupos taxonômicos e suas composições pigmentares, segundo Jeffrey e colaboradores (2011).*

Divisão	**Grupo pigmentar**	**Táxon de exemplo**	**Clorofilas**	**Carotenoides**
Cyanophyta	Ciano 2	*Synechococcus* spp.	Cl a, MgDVP	Zea, b-Car
	Ciano 4	*Prochlorococcus* spp.	DV-Cls a e b, MgDVP	Zea, a-Car
Dinophyta	Dino 1	*Amphidinium carterae*	Cls a, c2 e MgDVP	Per, Diad, Diat, Dino, b-Car
	Dino 2	*Karenia brevis*	Cls a, c2, c3, MgDVP	Hex, Fuco, Diad, But, Diat, a-Car, b-Car
Cryptophyta	Cripto 1	*Chroomonas salina*	Cls a, c2 e MgDVP	Alo, Croco, b-Car
Haptophyta	Hapto-6	*Emiliania huxleyi*	Cls a, c2, c3, c2MgDG, MVClc3, MgDVP	Fuco, Diad, Diat, Hex, Keto, But, b-Car
	Hapto-8	*Phaeocystis pouchetii*	Cls a, c2, c3, c2MGDG, MgDVP	Fuco, Diad, Diat, Keto, But, b-Car
Hetero-kontophyta/ Cromophyta	Diato-1	*Skeletonema* sp.	Cls a, c1, c2, MgDVP	Fuco, Diad, Diat, b-Car, But*
	Diato-2	*Rhizosolenia setigera*	Cls a, c2, c3, MgDVP	Fuco, Diad, Diat, b-Car, But*
Hetero-kontophyta/ Cromophyta	Dictio-1	*Pseudo-chattonella* spp.	Cls a, c2, c1, c3	Fuco, b-Car, Diad, Diat, But, Viol, Zea
	Pelago-1	*Pelagococcus subviridis*	Cls a, c2, c1, c3	Diad, Diat, Fuco, But, b-Car, ε-Car, Giro diester
Chlorophyta	Prasino-1	*Nephroselmis olivaceae*	Cl a, b, MgDVP	Lut, Viol, Neo, Antera, Zea, b-Car, a-Car, γ-Car
	Prasino-3B	*Pycnococcus provasolii*	Cls a, b, ccs170, MgDVP	Lut, Viol, Neo, Antera, Zea, Pras, Uriol, Micromonol, Micrononal, DhL, b-Car, a-Car

PÚBLICA

Anexo IV-25: *Matrizes de saída CHEMTAX para as amostras de inverno.*

Matriz de saída Nerítico Superfície e Início da PMC

Pigmentos	Clc3	MVClc3	MgDVP	Clc1	Peri	ButFuco	Fuco	Neo	Hxkfuco	Hx-fuco	MGDG1	Pras	Alo	Zea	DVClb	Clb	DVCla
Ciano-2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,611	0,000	0,000	0,000
Prochl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,183	0,370	0,000	0,911
Cripto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,463	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-1	0,000	0,000	0,006	0,000	0,548	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-2	0,096	0,000	0,007	0,000	0,000	0,068	0,091	0,000	0,000	0,111	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-6	0,189	0,018	0,004	0,000	0,000	0,008	0,061	0,000	0,045	0,513	0,127	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-8	0,199	0,050	0,038	0,000	0,000	0,213	0,223	0,000	0,037	0,927	0,067	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dictyo-1	0,063	0,000	0,000	0,000	0,000	0,360	0,185	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pelago	0,318	0,000	0,000	0,000	0,000	0,473	0,618	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diato-1	0,000	0,000	0,000	0,053	0,000	0,000	0,730	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000
Diato-2	0,109	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,629	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Prasino-1	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,052	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,822	0,000
Prasino-3B	0,000	0,000	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,063	0,000	0,000	0,000	0,168	0,000	0,070	0,000	0,472	0,000

Matriz de saída Nerítico PMC

Pigmentos	Clc3	MVClc3	MgDVP	Clc1	Peri	ButFuco	Fuco	Neo	Hxkfuco	Hx-fuco	MGDG1	Pras	Alo	Zea	DVClb	Clb	DVCla
Ciano-2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,360	0,000	0,000	0,000
Prochl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,188	0,606	0,000	0,658
Cripto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,452	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-1	0,000	0,000	0,006	0,000	0,484	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-2	0,260	0,000	0,012	0,000	0,000	0,146	0,188	0,000	0,000	0,295	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-6	0,153	0,016	0,004	0,000	0,000	0,010	0,079	0,000	0,100	0,665	0,121	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-8	0,104	0,037	0,033	0,000	0,000	0,168	0,131	0,000	0,040	0,768	0,084	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dictyo-1	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000	0,437	0,263	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pelago	0,478	0,000	0,000	0,000	0,000	0,335	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diato-1	0,000	0,000	0,000	0,043	0,000	0,000	0,653	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000
Diato-2	0,162	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,625	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Prasino-1	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,076	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	1,229	0,000
Prasino-3B	0,000	0,000	0,057	0,000	0,000	0,000	0,000	0,147	0,000	0,000	0,000	0,368	0,000	0,066	0,000	1,096	0,000

Matriz de saída Oceânico Superfície e Início da PMC

Pigmentos	Clc3	MVClc3	MgDVP	Clc1	Peri	ButFuco	Fuco	Neo	Hxkfuco	Hx-fuco	MGDG1	Pras	Alo	Zea	DVClb	Clb	DVCla
Ciano-2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,941	0,000	0,000	0,000
Prochl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,284	0,247	0,000	0,987
Cripto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,518	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-1	0,000	0,000	0,006	0,000	0,535	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-2	0,106	0,000	0,009	0,000	0,000	0,099	0,120	0,000	0,000	0,151	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-6	0,149	0,017	0,004	0,000	0,000	0,007	0,061	0,000	0,134	0,753	0,096	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-8	0,375	0,055	0,086	0,000	0,000	0,352	0,180	0,000	0,016	1,050	0,114	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dictyo-1	0,069	0,000	0,000	0,000	0,000	0,448	0,185	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pelago	0,199	0,000	0,000	0,000	0,000	0,539	0,871	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diato-1	0,000	0,000	0,000	0,053	0,000	0,000	0,657	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000
Diato-2	0,068	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,145	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Prasino-1	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,814	0,000
Prasino-3B	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,000	0,000	0,000	0,140	0,000	0,059	0,000	0,313	0,000

Matriz de saída Oceânico PMC

Pigmentos	Clc3	MVClc3	MgDVP	Clc1	Peri	ButFuco	Fuco	Neo	Hxkfuco	Hx-fuco	MGDG1	Pras	Alo	Zea	DVClb	Clb	DVCla
Ciano-2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,605	0,000	0,000	0,000
Prochl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,132	0,379	0,000	0,985
Cripto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,496	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-1	0,000	0,000	0,006	0,000	0,549	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-2	0,073	0,000	0,006	0,000	0,000	0,078	0,088	0,000	0,000	0,136	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-6	0,147	0,015	0,004	0,000	0,000	0,007	0,068	0,000	0,149	0,574	0,094	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-8	0,591	0,024	0,078	0,000	0,000	0,470	0,138	0,000	0,012	1,291	0,194	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dictyo-1	0,065	0,000	0,000	0,000	0,000	0,456	0,130	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pelago	0,259	0,000	0,000	0,000	0,000	0,559	0,431	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diato-1	0,000	0,000	0,000	0,046	0,000	0,000	0,701	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000
Diato-2	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Prasino-1	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000	0,771	0,000
Prasino-3B	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,047	0,000	0,000	0,000	0,165	0,000	0,060	0,000	0,394	0,000

PÚBLICA

Anexo IV-26: *Matrizes de saída CHEMTAX para as amostras de verão.*

Matriz de saída Nerítico Superfície, Início da PMC e PMC

Pigmentos	Clc3	MVClc3	MgDVP	Clc1	Peri	ButFuco	Fuco	Neo	Hxkfuco	Hx-fuco	MGDG1	Pras	Alo	Zea	DVClb	Clb	DVCla
Ciano-2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,946	0,000	0,000	0,000
Prochl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,185	0,398	0,000	0,783
Cripto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,366	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-1	0,000	0,000	0,005	0,000	0,520	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-2	0,225	0,000	0,007	0,000	0,000	0,074	0,109	0,000	0,000	0,118	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-6	0,211	0,016	0,004	0,000	0,000	0,007	0,073	0,000	0,041	0,580	0,108	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-8	0,152	0,046	0,038	0,000	0,000	0,202	0,203	0,000	0,041	0,958	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dictyo-1	0,070	0,000	0,000	0,000	0,000	0,563	0,236	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pelago	0,378	0,000	0,000	0,000	0,000	0,471	0,767	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diato-1	0,000	0,000	0,000	0,077	0,000	0,000	0,770	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000
Diato-2	0,102	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,679	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Prasino-1	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,055	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000	0,940	0,000
Prasino-3B	0,000	0,000	0,026	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060	0,000	0,000	0,000	0,161	0,000	0,077	0,000	0,420	0,000

Matriz de saída Oceânico Superfície e Início da PMC

Pigmentos	Clc3	MVClc3	MgDVP	Clc1	Peri	ButFuco	Fuco	Neo	Hxkfuco	Hx-fuco	MGDG1	Pras	Alo	Zea	DVClb	Clb	DVCla
Ciano-2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,486	0,000	0,000	0,000
Prochl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,197	0,260	0,000	1,005
Cripto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,462	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-1	0,000	0,000	0,006	0,000	0,614	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-2	0,268	0,000	0,023	0,000	0,000	0,216	0,237	0,000	0,000	0,420	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-6	0,205	0,018	0,004	0,000	0,000	0,008	0,060	0,000	0,039	0,599	0,110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-8	0,143	0,146	0,055	0,000	0,000	0,212	0,189	0,000	0,013	0,775	0,045	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dictyo-1	0,065	0,000	0,000	0,000	0,000	0,630	0,202	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pelago	0,383	0,000	0,000	0,000	0,000	0,495	0,703	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diato-1	0,000	0,000	0,000	0,051	0,000	0,000	1,053	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000
Diato-2	0,099	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,789	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Prasino-1	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	0,862	0,000
Prasino-3B	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,000	0,000	0,000	0,174	0,000	0,075	0,000	0,470	0,000

Matriz de saída Oceânico PMC

Pigmentos	Clc3	MVClc3	MgDVP	Clc1	Peri	ButFuco	Fuco	Neo	Hxkfuco	Hx-fuco	MGDG1	Pras	Alo	Zea	DVClb	Clb	DVCla
Ciano-2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,633	0,000	0,000	0,000
Prochl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,164	0,659	0,000	0,634
Cripto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,457	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-1	0,000	0,000	0,005	0,000	0,546	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dino-2	0,078	0,000	0,007	0,000	0,000	0,080	0,093	0,000	0,000	0,130	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-6	0,166	0,017	0,004	0,000	0,000	0,007	0,074	0,000	0,043	0,593	0,080	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hapto-8	0,797	0,021	0,159	0,000	0,000	0,738	0,044	0,000	0,012	1,579	0,173	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dictyo-1	0,068	0,000	0,000	0,000	0,000	0,556	0,077	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pelago	0,315	0,000	0,000	0,000	0,000	0,569	0,605	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diato-1	0,000	0,000	0,000	0,053	0,000	0,000	0,929	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000
Diato-2	0,085	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,888	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Prasino-1	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,055	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,982	0,000
Prasino-3B	0,000	0,000	0,026	0,000	0,000	0,000	0,000	0,054	0,000	0,000	0,000	0,132	0,000	0,075	0,000	0,453	0,000

PÚBLICA

Anexo V-1: *Lista de espécies do fitoplâncton e protozooplâncton da Bacia de Santos. (•) espécies encontradas em Agosto-Outubro/2019, (▲) espécies encontradas em Dezembro/2021-Março/2022.*

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
DIATOMÁCEAS																																																															
Achnanthes brevipes																																																																
Actinocyclus ehrenbergii																													•								•								•																		
Actinocyclus spp.	•	•	•				•	▲								•								•										•															•														
Actinoptychus undulatus																	•														•												▲																				
Actinoptychus senarius	•	•	•	•				•	•	•	•	•				•			•	•				•		•	•				▲	•								•▲																		•				
Alveus marinus	▲		•▲	•		▲					•▲		▲	▲			•						▲	•	•		•				•	•	▲	▲		▲				•		•					▲													▲		
Anaulus creticus	•							•									•																																															
Arcocellulus cornucervis	•							•																																																								
Asterionellopsis glacialis	•▲	•	•	•				•		•							•							•	•		•				•									•▲	•	•					•									•		•				
Asterolampra marylandica						▲	•																•							•				•									•														•		•	
Asterolampra sp.																																					▲								▲																				
Asteromphalus arachne			▲		•▲		•▲				•	•	•▲	▲	•								▲		•		•			•	•	▲	▲	•	▲	•				▲			•▲	▲	•				▲		▲					•	•	▲		▲	
Asteromphalus cleveanus	•▲		•▲	•	•	•	•	▲		•	•	•	•							•						•						•	▲									▲														•		▲	•	
Asteromphalus flabellatus																																								•																						
Asteromphalus heptactis				•													•		•			•										•	•	•								▲																•	•	
Asteromphalus hookerii																								•	•		•		•			•		•		•	•				•	•																			
Asteromphalus sarcophagus	•		•	•						▲																					•▲	•												▲														▲				
Asteromphalus sp.		▲				▲			▲			▲						•			•		•		▲		▲			▲		▲	▲								▲					▲				▲	▲	▲					▲	▲	
Azpeitia africana			▲		▲		▲						▲	▲																			▲	▲		▲							▲	▲														▲		▲		
Azpeitia nodulifera																								•							•														•	•	•														
Azpeitia tabularis																																•																													
Bacillaria paxillifer								•								•																																																
Bacteriastrum delicatulum					•														•																										▲		▲			▲		▲									
Bacteriastrum elegans																																•																													
Bacteriastrum elongatum							•▲																																						•▲	▲															▲		
Bacteriastrum furcatum	•			•												•											▲																																			
Bacteriastrum hyalinum																								•		•	•	•				•																													
Bacteriastrum spp.		▲	▲	•▲	•	•▲	▲	▲					▲	▲	▲				▲	▲		▲	•			•▲	▲	▲	▲	▲	▲	•▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲				▲	▲	▲					▲		
Bellerochea horologicalis																								•					▲																																		
Bellerochea malleus																																								▲																						
Biddulphia tuomeyi																		•						•																																							
Biddulphia sp.								•																																																								
Biddulphiopsis sp.																•																																																
Brockmanniella brockmannii		•	•																																																															
Cerataulina pelagica	▲	▲	▲	•	•	▲	▲	•			▲	•	▲	▲	▲	▲	•		•	•	▲		▲	▲					▲		•	•	▲	▲	•	▲			▲	▲			▲	▲	▲		▲	▲			▲	▲	▲	▲	•	▲	▲	▲	▲	▲	•
Chaetoceros affinis				•	•	•				•	•	•	•							•	•			•		•	•	•	•			•	•	•							•																			
Chaetoceros atlanticus var. atlanticus																	•								•	•	•				•		•					•						•													▲			
Chaetoceros atlanticus var. *neapolitanus*				•	•							•	•▲								▲		▲										▲	▲						▲			▲		▲	▲												▲	▲	
Chaetoceros brevis																								•		•					•																														

PÚBLICA

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Chaetoceros coarctatus			▲		•			•▲																•	•	•	•	•	•			•▲			•				▲	▲			•				•	•	▲	•	▲								
Chaetoceros compressus																								•		•						•	•			•				•																				
Chaetoceros concavicornis																										•																																				
Chaetoceros constrictus																										•			•																																	
Chaetoceros costatus																										•																▲																				
Chaetoceros curvisetus									•															•								•	•	▲						•	▲													•								
Chaetoceros danicus																			•										•			•											▲																				
Chaetoceros debilis								▲	•	•															•							•																																	
Chaetoceros decipiens		•		•	•			•	•			•	•								▲		▲		•				•			•											•	•					▲		▲							▲				
Chaetoceros denticulatus																																																									•						
Chaetoceros diadema																										•	•		•			•																														
Chaetoceros didymus		•▲	•	•▲	•	•				•	•	•	•											•		•	•		•			•											•				•		•▲							•▲	▲	•	▲		
Chaetoceros diversus			•	•	•			•		•	•	•				•	•	•	•	•	•	•																															•										
Chaetoceros eibenii																										•						▲	•							•▲																				▲			
Chaetoceros elegans																							▲																																									
Chaetoceros laciniosus							▲				▲			▲										•		•	•	•	•			•														•	•												•		•	
Chaetoceros lauderi																										•																																				
Chaetoceros lorenzianus		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•										▲			•	•	•			•		•	•	•										•	•	•						▲										
Chaetoceros messanensis	▲		•▲	•						•	•		•				•	•		•	•▲	•	▲	•		•	•	•			•	•		▲																	•	▲							
Chaetoceros neglectus																										•			•																																▲		
Chaetoceros pelagicus											•																																																							
Chaetoceros pendulus	▲			•		▲					▲	•																														▲				▲																	
Chaetoceros peruvianus	▲				•		•▲														▲		▲			•			•																												▲		▲				
Chaetoceros rostratus				•									•																																															▲				
Chaetoceros similis																▲																																																
Chaetoceros socialis																																																																	
Chaetoceros teres																																•																															
Chaetoceros tortissimus																												•																																		
Chaetoceros spp.	•▲	•▲	▲	•▲	•	•▲	•▲	•▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	•▲		▲		▲	▲	•▲	•▲	•▲	▲	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	•▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
Climacodium frauenfeldianum	•▲	▲	•▲	•	•	•▲	•	•▲	▲	▲	▲	•				▲	•▲		•▲		•▲	•	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	▲	▲	▲		•▲	▲	•	•	•	•	▲	•		▲		•	•	•	•	•	•▲	▲	•▲	▲		▲		▲	•▲	•▲	•	▲		
Corethron criophilum	•▲	•	•▲	•	•		•	•	•	•	•					•			•				▲	•			•				•▲	•							•▲	•	▲			▲							▲		•		▲			
Corethron hystrix	▲		•	•	•▲	•	▲	▲				•	▲	▲																				▲							▲				▲	▲					▲				•	•	•▲		•	
Coscinodiscopsis jonesiana	•▲	•		•	▲			•▲	•	•	▲		•			•																▲							•▲	•	▲															•▲		•	•	
Coscinodiscus asteromphalus	▲																							•					•			•										▲																				
Coscinodiscus centralis																									•																																				
Coscinodiscus concinnus																																•																•	•											
Coscinodiscus gigas		•	•					•	•	•																																																						
Coscinodiscus granii	▲	•		•																				•		•				•			•									▲																▲			
Coscinodiscus marginatus	•	•																																																												
Coscinodiscus oculus-iridis	•	•																														•					•										•	•	•										
Coscinodiscus radiatus	▲		▲			▲																										▲									▲	▲															▲			
Coscinodiscus reniformis	▲				•								•	▲															•	•	•		•		•	•						•	•	•						▲	•			•		•	
Coscinodiscus wailesii	▲		▲													▲								▲								▲									▲									▲	▲								
Coscinodiscus spp.	•▲	•	•▲	•	•	•	•	•	•	•▲						▲		▲	•		▲			•	▲		•		•	▲	▲	•	▲								▲							▲	▲	▲	▲		▲		▲	▲	▲		▲	
Cyclotella striata		•																																																												
Cyclotella stylorum	•		•																													•									•																				

PÚBLICA

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Cyclotella sp.	•			•	•																		•									•							•																						
Cylindrotheca closterium	•▲	•▲	•▲	•	•▲	▲	•	•▲	▲	•▲	▲	▲	▲	▲	•	▲			▲				▲	•	▲				▲			▲	▲	▲	▲		▲			•▲		▲		▲	▲			•▲			▲		▲	•	▲	•▲	•▲	▲	•▲		
Cymatodiscus planetophorus	•	•	•	•																												•								•				•																			
Cymatosira belgica	•																																																																	
Cymatosira lorenziana																																•																																
Dactyliosolen antarcticus																																											•	•	•	•																			
Dactyliosolen fragilissimus	▲			•		•	▲		•			•									▲					▲	•													▲			•			▲	▲			•			▲	•	•	•	•▲	•▲		
Dactyliosolen phuketensis	▲	▲	•▲	•	•	•	•	▲	•		•	•	▲	▲	▲	•▲			▲	▲	▲	▲	▲	▲					▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	•		▲	•▲	▲	▲	▲	▲	•▲	•▲	▲	▲			▲	▲	▲	•▲	•▲	▲	•▲	▲	•
Dactyliosolen sp.																			▲	▲	▲	▲	▲	▲								•																																
Delphineis sp.								•		•			•			•				•			•								•																								•▲	•				
Detonula confervacea													•▲																			▲																															
Diploneis crabro	•																															•																														
Diploneis aestuarii	•	•	•	•	•																																																													
Diploneis spp.	•▲	•	•	•				•▲		▲	▲					▲							•		▲							•																▲	▲						•▲	•				
Ditylum brightwellii	•▲	•						•	•	•	•					•	•	•	•	•													•																									•	•				
Eucampia cornuta		▲	•	•	•	•▲	•				•▲	•	•▲	▲					•		▲		▲				•			▲		•			▲	▲	•	▲		•	•▲	•	▲	•	•	•▲	•▲	▲	•	•▲	•	•▲	•	•	•	•▲	▲	•	•
Eucampia zodiacus																					▲		▲									•																																
Eucampia zodiacus f. *cylindrocornis*																																													•																				
Fragilariopsis doliolus	•▲	•	•▲	•▲	•	•	•▲	•▲	•	•▲	•	•		•		•	•▲	•	•	•	▲	•	•▲	•▲	•	•	•	•	•		•	•▲	•		•																											
Fragilariopsis oceanica				•								•					•																																														
Gossleriella tropica			▲		•		▲	•			•		▲																•					•▲	▲	•	•▲	▲	•						•▲	•▲	•												•▲	•▲		
Guinardia cylindrus			▲				▲						▲								▲		▲											▲			•	▲								•▲	•▲						▲					▲	▲		
Guinardia delicatula									•																																					•		•															
Guinardia flaccida	•▲	•▲	•	•	•	•	•	•▲	•	•	•	•	•	▲		•	•					•				•			▲	•	•▲		▲	▲		▲			•▲	•		▲	•	•	▲	•▲	•▲	▲						•▲	•	•▲	•▲	▲	•
Guinardia striata	▲	•	•▲	•	•	•	•	▲	▲	•	•	•		•	•	▲					▲	•	▲								•		▲	•▲	•	•		•	▲		•	•	•▲	•		▲	▲		▲			▲		•▲	•	•	•▲	▲		
Gyrosigma spp.	•																															•																														
Haslea wawrikae	▲		•▲	•	•▲	•▲	▲	▲			•▲	•	▲	▲										•								•▲		▲						•		▲		▲	▲			•			▲			•	•	•	•▲	•▲	•
Haslea sp.1	▲	•▲	▲	▲	▲	▲	•▲	▲	•▲	•▲	▲	•▲	▲	▲	▲	•▲	▲					▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Haslea sp.2			▲		•									•		▲																																																	
Helicotheca tamesis	•	▲		•	•			•▲								•	•							•								•					•																								
Hemiaulus hauckii	•▲	▲	•▲	•	•	•▲	•▲	•				•	•▲		•	•▲			•		▲	•	•▲			•			•▲	•▲	•				•▲	•▲	▲	▲	•		•	•	•▲	•▲	▲					▲			▲	•	•▲	•	•▲	•▲	•
Hemiaulus indicus	•▲		•▲	•▲	•	•▲	•▲	•▲		▲	▲	•	•	•▲		•▲			•▲		▲		•▲			•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	▲	▲	▲	•▲	•▲	•▲	▲	•▲	▲	•▲	▲	▲	•▲	•▲	•▲	•▲	▲			•	▲		▲		•▲	•▲	•	•▲	▲	
Hemiaulus membranaceus	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•	•▲	•▲	•▲	•▲	▲	•	•▲		▲	•▲		▲	•▲	•▲	•▲	▲	•▲	▲	▲	•▲	▲	•▲	▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	▲	•▲	▲	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•▲	•▲	▲	▲	•▲	▲	•▲	▲	▲	•▲	▲
Hemiaulus sinensis																						•										•	•	•	•																												
Hemidiscus cuneiformis	▲				•▲	▲	•▲	▲				•	•▲	▲			•		•	•	▲	•	•▲			•						•			▲	•▲						▲				•▲	•								•	•			•▲	•
Istimia minima																																																									▲			▲		
Lauderia annulata								•																																																							
Leptocylindrus danicus	•▲	▲	•▲	•	•	•▲	•	•▲	▲	▲	•▲	•		▲		▲	▲			▲		▲		▲	▲	▲	▲	▲	•▲	▲	•▲	▲	▲	▲	▲		•▲	▲			▲	▲	▲	•▲	•▲	▲	•▲			▲	▲		▲		•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•
Leptocylindrus mediterraneus			▲	•	•	▲	▲				•▲	•	▲	▲									▲								•	•		▲	▲		▲		•			▲	•																•	•	•
Leptocylindrus minimus	▲		•																																							▲		▲	▲	▲			▲	▲				▲	▲	▲	▲	▲	▲
Licmophora sp.	▲																																	▲																						•		▲		•	•
Lioloma delicatulum																												•				•																												
Lioloma pacificum	•▲	•	•	•	•	•	•	•▲		•		•				•	•	•			▲		▲	•								•	•		▲					•▲				▲					•▲		▲		•▲	•	▲	•	•
Lioloma sp.	•	▲		•	•	•										▲	▲		•		▲	▲			▲			▲	▲	▲	▲	•		▲							▲	▲		▲	▲	▲			▲		▲		•▲			▲	•	▲
Mastogloia lanceolata	•			•	•							•					•																																													

PÚBLICA

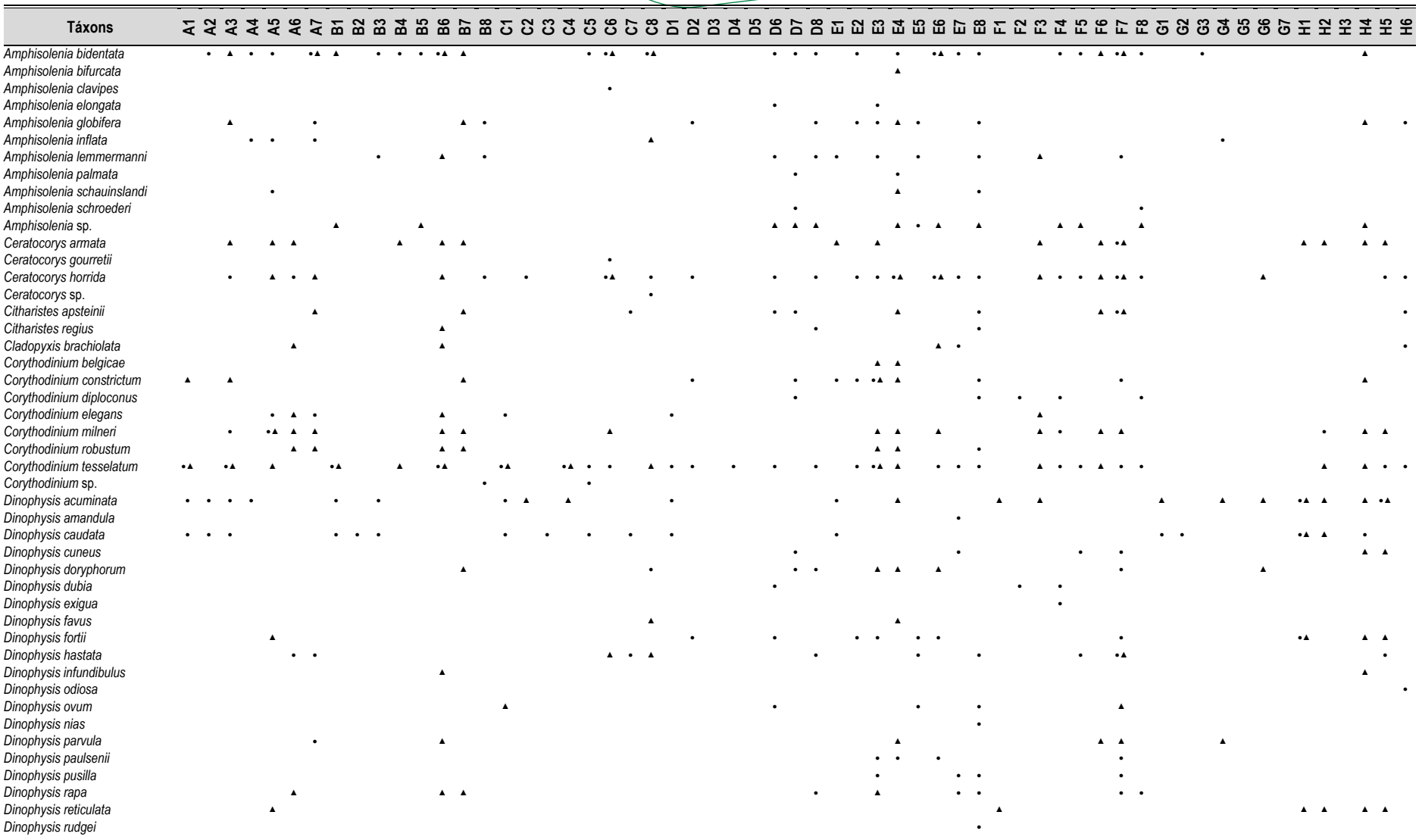
Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Mastogloia rostrata	▲		▲	•	•	▲	•▲				•	•	▲	▲									▲								•			▲	•▲	•	•	•	•			•		•▲	▲					▲		▲	•			•▲	•
Mastogloia sp.	▲													▲																				▲			▲					▲		▲	▲											▲	
Melosira sp.		•								•						•																▲								•																▲	
Meuniera membranacea	•▲	•▲	▲	•▲	•	▲		•▲	•	•▲	•▲	•	▲	▲	▲	•	•		•		▲	•	▲	•			▲	•				•	▲	•▲		•▲		•		•▲	▲	•▲		•▲	•▲	▲			▲	•	▲	•	•		•	•▲		•
Minidiscus chilensis	•															•	•																																										
Minidiscus comicus	•																•																																										
Minidiscus trioculatus	•			•							•						•																																									
Minidiscus variabilis	•			•					•		•						•																																									
Minidiscus spp.	•	•	•	•												•								•																																		
Nanofrustulum shiloi				•							•					•																																										
Nanoneis haslea				•	•	•						•					•																																										
Navicula pennata	•▲	•	▲	•	▲			▲			▲				•									•								▲								▲		▲												•▲		•	•		
Navicula spp.																					▲		▲	•								•																												
Neocalyptrella robusta	•▲	•	•	•▲	•	•▲	•		•	•	•	•▲	•	•		•	•	•	•			•		•							•	•▲			▲		•		•		▲		•	▲	•		▲	▲			•		•▲	▲				
Nitzschia bicapitata			•								•													•						•	•									▲															▲		
Nitzschia bicapitata var. *faeroensis*			•													•																																												
Nitzschia dissipata		•		•																																																								
Nitzschia longissima	•	•▲	•▲	•▲	•▲	•	•	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲									•▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			▲	▲	▲						•	▲	•	•▲	•▲	•▲
Nitzschia lorenziana	•																																																										
Nitzschia sicula	•																																																										
Nitzschia sigma	•																																																										
Nitzschia bifurcata	•		•													•	•																																											
Nitzschia dippelii	•		•													•																																											
Nitzschia ikeanae	•		•						•		•																																																
Nitzschia interruptestriata				•	•																																																							
Nitzschia leehyi			•	•					•																																																			
Nitzschia spp.		•								•									▲													▲																								•				
Odontella sp.																																																											•				
Palmerina hardmanniana	▲		•																							▲	•				▲		•	•	•	•				▲	•▲			•	•	•		▲												
Papiliocellulus elegans	•															•																																													
Paralia sulcata	•▲	•	•	•	•▲			•▲		•	▲					•		•	•					•								•▲									▲		▲	▲			•▲	•					•	•▲	•	•	•▲	▲	
Plagiolemma distortum						▲	▲						▲	▲									▲											▲	▲			▲					▲		▲	▲					▲		▲				▲	▲	
Planktoniella sol				•	•▲	•▲	•▲				•		•▲	▲					•		▲			•▲			▲	•	•	•	•	•		•▲	•▲	•	•▲	•	•				▲	•	•▲	•	▲					▲	•	•	▲	•	•
Pleurosigma sp.			▲		▲	▲	▲				▲		▲	▲																				▲	▲			▲							▲												▲		
Pleurosigma spp.	•▲	•▲	•▲	•▲	•	•		▲	▲	▲						▲		•	•		▲			•▲	▲	▲			▲			•▲					▲				•▲	▲													•▲	▲		▲	▲	
Porosira pentaportula			▲				▲						▲																					▲												•	•													
Porosira sp.			•								•																																															•				
Proboscia alata	▲	▲	▲	•	•	•▲	•	▲		•	•▲	•	•▲	•	•	•▲	•▲		•		▲		▲	•▲	▲	▲	•▲	•▲	•▲	•	•	•▲	▲	▲	•	•▲	▲	•		▲	▲	▲	•▲	•	•▲	▲	•			▲	▲	▲	•	•	•▲	•▲	•▲	•▲	•
Proboscia indica				•		•	•																																																				•		•	•
Proboscia inermis																•																																											
Proboscia sp.	▲	▲	•	•▲	•	•▲	•		▲	•▲	•	•	▲		▲	▲	▲				▲	▲	▲	•▲	▲		•	▲	•	•	▲		•▲	▲		▲		▲		▲	▲		▲		•	•			▲	▲	▲		▲	•	•▲		•	•▲
Psammodictyon molle	•																																																										
Psammodictyon sp.	•		•													•								•								•																							▲	•	•		
Pseudofalcula hyalina											▲			▲																				•	▲																									
Pseudohimantidium pacificum																																		•																									

PÚBLICA

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Pseudo-nitzschia australis	•▲	•																																																										
Pseudo-nitzschia delicatissima	•▲	•				•		•	•						•	•	•					•		•								•				•		•		•						•		•							•	•				
Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima	•▲																																																						•					
Pseudo-nitzschia pungens	•▲							•								•								•								•								•	•							•							•					
Pseudo-nitzschia subcurvata	•▲		•		•																											•								•																	•			
Pseudo-nitzschia americana	•▲	•				•		•	•						•	•	•																			•		•		•						•		•							•					
Pseudo-nitzschia caciantha	•▲							•								•																•																							•					
Pseudo-nitzschia caliantha	•▲					•		•	•						•	•								•								•						•		•						•	•	•							•	•	•			
Pseudo-nitzschia cuspidata	•▲																																																					•					
Pseudo-nitzschia dolorosa	•▲	•						•								•						•																																	•	•				
Pseudo-nitzschia fraudulenta	•▲															•																																							•	•	•			
Pseudo-nitzschia fukuyo	•▲															•																																							•					
Pseudo-nitzschia galaxiae	•▲							•	•																															•																				
Pseudo-nitzschia hasleana	•▲															•																																								•				
Pseudo-nitzschia linea	•▲	•						•								•																																												
Pseudo-nitzschia micropora	•▲							•																																																				
Pseudo-nitzschia multiseries	•▲	•						•								•								•								•								•	•							•							•	•	•			
Pseudo-nitzschia multistriata	•▲	•						•	•							•								•																•															•					
Pseudo-nitzschia pungens var. *cingulata*	•▲	•						•								•								•								•																•							•					
Pseudo-nitzschia subpacifica	•▲							•																								•								•															•	•	•			
Pseudo-nitzschia spp.	•▲	•▲	•▲	•▲	•	•▲	•	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	▲	•▲	▲	•▲	▲		•▲		▲	▲	•	•▲	▲	•▲	•▲	▲	▲	▲	▲	•▲	•▲	•▲	•▲	▲		▲	▲	•▲	•▲		▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	▲	▲	▲	▲	▲		•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲
Pseudosolenia calcar-avis																•																					•							•	•															
Pseudotriceratium punctatum											•			▲	•		•																	▲			▲								▲								▲							•
Rhizosolenia acicularis																•																																												
Rhizosolenia acuminata	▲		▲	•	▲		▲				•▲		▲																			▲		▲	▲					▲		▲							•		•				▲	▲	•	•▲		
Rhizosolenia bergonii																												•					•	•	•																									
Rhizosolenia castracanei			▲		•	•	▲		•			•																•				•▲			▲		•			•▲		▲			•	•							▲		•	▲		▲	▲	•
Rhizosolenia clevei																																														•														
Rhizosolenia debyana																																																	•											
Rhizosolenia formosa			▲					▲																																▲		▲				▲										▲				
Rhizosolenia herbetata						•	•																														•								•	•														
Rhizosolenia hyalina																																																							•					
Rhizosolenia imbricata								▲																																															▲					
Rhizosolenia setigera			▲	•	•			▲	•	•	▲													•							•	▲			▲					•▲		▲			▲			•▲							▲	▲	•	•▲	▲	
Rhizosolenia styliformis				•	•																													▲	•		•▲			•		▲		•	•	•	•									▲			▲	
Rhizosolenia simplex																																													•															
Rhizosolenia sp.																•		▲	▲			▲			▲			▲				▲	▲		•					▲	▲	▲						•		▲	▲			▲	•	▲	▲			
Rhizosolenia spp.	▲	▲	▲	•▲	▲		▲	▲	•▲	▲				▲	•▲	▲	▲	▲	•▲	▲	▲	▲	•▲	▲		▲	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•▲	▲	▲	▲	▲	•	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	•▲
Roperia tessellata			▲			•▲	•							▲									•						•			•			•																	▲							•	•
Skeletonema spp.	•▲	•	•	•				•	•							•	•						▲	•		•	•					•								•▲		•						•	▲						•▲		•	▲	•▲	
Stellarima microtrias																																													•															
Stellarima stellaris																																														•	•													
Stephanopyxis palmeriana	▲	▲		•							•		•											•▲								•		•						•				•	•										•					
Stephanopyxis turris																																																									•			
Surirella fastuosa var. *fastuosa*																																								•																				

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Surirella fastuosa var. *recedens*	•	•	•	•				•		•		•																																																			
Surirella febigeri																																								•																								
Thalassionema frauenfeldii	•			•	•	▲			•	•							•															•								•▲	•	•														•▲	•		▲			
Thalassionema nitzschioides	•▲	•▲		•▲	•▲	•▲		•▲	•▲							•▲							•▲	•		▲						•▲	•	▲			•			•▲	•	•	•	•	▲			•▲	▲	▲	▲	▲			•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•
Thalassionema sp.				•	•																											•								•																•	•		•			
Thalassiosira angulata	•							•	•	•							•	•																																														
Thalassiosira binata	•			•				•	•	•							•	•																																													
Thalassiosira decipiens	•	•						•	•																																																							
Thalassiosira eccentrica	•																																							•																								
Thalassiosira gravida	•	•						•																																																								
Thalassiosira mala	•							•																																																								
Thalassiosira minima	•								•																																																							
Thalassiosira minuscula																																•									•																								
Thalassiosira oestrupii																																•																																
Thalassiosira profunda	•									•																																																								
Thalassiosira punctigera		•	•																																																															
Thalassiosira subtilis																																•									•																								
Thalassiosira diporocyclus	•	•		•				•	•		•																					•									•	•																	•				
Thalassiosira allenii	•							•									•	•																																															
Thalassiosira bulbosa	•			•				•		•																																																								
Thalassiosira hendeyi	•	•						•																																																								
Thalassiosira laevis	•	•						•																																																							
Thalassiosira lundiana		•						•																																																							
Thalassiosira mediterranea	•								•																																																							
Thalassiosira oceanica	•							•	•	•																																																					
Thalassiosira partheneia	•								•																																																						
Thalassiosira simonsenii	•							•																																																							
Thalassiosira symmetrica	•							•																																																							
Thalassiosira tealata		•	•					•																																																							
Thalassiosira sp.1				•				•			•					•															▲																												•	•	•			
Thalassiosira sp.2	•	•														•								•																•	•		▲															•		▲			
Thalassiosira spp.	•▲	▲	▲	•▲	•▲	•		▲	▲	▲	▲	▲			•	▲	▲	▲	▲	•▲	•	▲		•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•	▲	•▲		▲					•▲	▲	▲	▲	▲	▲			▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		•
Trachyneis aspera	•				▲	•		•	•		▲								▲		▲			•								•▲								•▲	▲	▲			▲			▲					▲		•▲	•▲	•	•	▲		
Triceratium favus								•																																																							
Triceratium sp.				•																				•																																						
Trieres chinensis	•▲	▲	▲	•				•	•	•	•		•			•	•	•						•		•						•	•		•					•												•				•				
Trieres mobilensis	▲	•	•	•				•	•	•	•					•	•	•		•				•		•		•				•								•																•		•		
Trieres regia																																																												•				
Tropidoneis vitrea																																•																															
Coscinodiscophyceae sp.				•	•	•	•					•	▲	▲																				▲	▲		▲								▲	▲													▲	▲	•
DINOFLAGELADOS TECADOS																																																																
Achradina sp.								▲			▲		▲																					▲									▲																						
Actiniscus pentasterias								▲																																					•	•																			
Alexandrium catenella																																																																
Alexandrium fraterculus	•		▲	•			▲	•			•	•	•					•	•	•				•				▲		▲				•																													
Alexandrium tamarense				•																				•		•						•								•																						

PÚBLICA


Táxons
A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8 D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7 D8 E1 E2 E3 E4 E5 E6 E7 E8 F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 G1 G2 G3 G4 G5 G6 G7 H1 H2 H3 H4 H5 H6
Amphisolenia bidentata
Amphisolenia bifurcata
Amphisolenia clavipes
Amphisolenia elongata
Amphisolenia globifera
Amphisolenia inflata
Amphisolenia lemmermanni
Amphisolenia palmata
Amphisolenia schauinslandi
Amphisolenia schroederi
Amphisolenia sp.
Ceratocorys armata
Ceratocorys gourretii
Ceratocorys horrida
Ceratocorys sp.
Citharistes apsteinii
Citharistes regius
Cladopyxis brachiolata
Corythodinium belgicae
Corythodinium constrictum
Corythodinium diploconus
Corythodinium elegans
Corythodinium milneri
Corythodinium robustum
Corythodinium tesselatum
Corythodinium sp.
Dinophysis acuminata
Dinophysis amandula
Dinophysis caudata
Dinophysis cuneus
Dinophysis doryphorum
Dinophysis dubia
Dinophysis exigua
Dinophysis favus
Dinophysis fortii
Dinophysis hastata
Dinophysis infundibulus
Dinophysis odiosa
Dinophysis ovum
Dinophysis nias
Dinophysis parvula
Dinophysis paulsenii
Dinophysis pusilla
Dinophysis rapa
Dinophysis reticulata
Dinophysis rudgei

PÚBLICA

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Dinophysis schuettii	•		▲			▲	•			•	•		•▲	▲									▲				•	•	•		•	▲		•▲	•		•	•			•			•▲	•	•			•		•					•▲	•	•
Dinophysis similis																																						•					•														▲		
Dinophysis sourniai																																									•																			
Dinophysis swezyae																														•															•															
Dinophysis tripos	▲				▲			•▲								▲			▲					•	•							•▲	•		•					•▲	•	▲						•▲			▲		▲			•▲	▲		▲	▲	
Dinophysis sp.																				•																																											
Diplopsalis sp.								▲			•▲					•	•	•													▲											▲			▲					•							•▲	•▲	•			
Gambierdiscus sp.																																																										•				
Gonyaulax birostris					•									▲										•						•	•		•						•				•		•	•													•	•
Gonyaulax diegensis																																									•																					
Gonyaulax digitalis			•						•												•				•					•			•											•																	
Gonyaulax grindleyi						▲																																																												
Gonyaulax hyalina							▲																											▲	▲						•																								
Gonyaulax jolliffei						•▲	•▲							▲																					▲			▲					▲																						
Gonyaulax pacifica						▲	▲						▲	▲																					▲	▲		▲						▲					▲		▲										•▲		
Gonyaulax polygramma			▲			▲		▲			▲		▲	▲																•			•		▲	•							▲	•												•	•	▲	▲		
Gonyaulux scrippsae					▲																																																											
Gonyaulax spinifera	•	•	•					•		•	▲													•	•						•	•	•		•					•			•		•			•	•											•			
Gonyaulax turbynei						▲																											•		•												•														
Gonyaulax verior						▲																											▲												•														
Gonyaulax spp.																						•	•								•														•															
Goniodoma polyedricum	•										▲																							•		•																											
Goniodoma sp.																•																																																
Heterocapsa spp.	•	•	•	•	•																											•								•																						
Heterodinium blackmani																																						•																							
Heterodinium expansum																																													▲																		
Heterodinium hindmarchi																																						•																							
Heterodinium inaequale					•																																▲																								
Heterodinium mediocre																																																															•		
Heterodinium sinistrum														▲																																																			
Heterodinium whittingae																																					▲																								
Histioneis acutiformis																																																											•		
Histioneis bougainvillae																																						•																							
Histioneis crateriformis																																			▲								•		▲	▲															•
Histioneis cymbalaria													▲															•	•	•					•	•	•	•	•				•	•	▲	•	•														
Histioneis dolon							▲							▲									•							•					•	•	•	•							•	•															
Histioneis elongata																																						•																							
Histioneis garrettii																																							•																						
Histioneis highlei						•	▲																								•								•							•														•		
Histioneis hippoperoides	•			•		•								▲																•				▲	▲				•	•							•	•										▲	▲	•	•
Histioneis jorgenseni																																						•																							
Histioneis longicollis						▲																																•																							
Histioneis mitchellana					•		•						▲	▲																•								•	•	•																						•		
Histioneis para																														•	•				•			•						•																
Histioneis striata																														•	•							•							•															
Histioneis variabilis																																						•																							

PÚBLICA

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
Histioneis sp.						•	•								
Lingulodinium polyedrum															
Lingulodinium sp.	•														
Ornithocercus heteroporus														▲	
Ornithocercus magnificus	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		▲	
Ornithocercus quadratus					▲		▲								
Ornithocercus splendidus					•	•	•▲						▲		•
Ornithocercus steinii		•	•		•▲	▲	▲	•							
Ornithocercus thurnii													▲		
Ornithocercus sp.															
Oxyphysis oxytoxoides															
Oxytoxum curvatum															
Oxytoxum longiceps															
Oxytoxum mediterraneum															
Oxytoxum obliquum													▲		
Oxytoxum reticulatum															
Oxytoxum sceptrum	▲	•	•▲		•▲	▲	▲	▲					▲	▲	
Oxytoxum scopolax	•	•	•▲		•	▲	•▲	•▲	•			•		▲	
Oxytoxum sphaeroideum															
Oxytoxum turbo															
Oxytoxum sp.						•									
Parahistioneis dentata															•
Parahistioneis pachypus															
Parahistioneis reticulata						▲									
Parahistioneis rotundata					▲										
Phalacroma hindmarchii				•	•					•		•			
Phalacroma mitra					•▲	▲	▲	•							
Phalacroma rotundatum			•	•				•			▲				
Phalacroma sp.							•								
Podolampas bipes			•		▲	▲	▲	▲	•	•	•	•	•▲	▲	
Podolampas elegans					•		•▲	•							
Podolampas palmipes	•▲	•	•▲		•▲	•▲	•▲	•▲		•	•	•	•▲	▲	
Podolampas reticulata															
Podolampas spinifera				•	•	•▲	▲						•▲	▲	
Podolampas sp.															•
Prorocentrum balticum															
Prorocentrum compressum		•	•					•▲	•		•▲				
Prorocentrum elegans															
Prorocentrum gracile	•▲	•	•▲	•	•▲	•		•▲	•▲	•▲		•			
Prorocentrum micans	•▲	•	•			▲		•	•			▲			
Prorocentrum minimum				•											
Prorocentrum obtusidens															
Prorocentrum rhathymum	•▲	•	•	•					•	•					
Prorocentrum rostratum	•▲					▲									
Prorocentrum scutellum		•													
Prorocentrum sigmoides				•	•			•▲							

Táxons	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Histioneis sp.								•								
Lingulodinium polyedrum																
Lingulodinium sp.																
Ornithocercus heteroporus								•								•
Ornithocercus magnificus				•		•		▲		•	•	•	•		•	•
Ornithocercus quadratus										•				•		•
Ornithocercus splendidus						•		•		•		•			•	•
Ornithocercus steinii				•					•				•	•		•
Ornithocercus thurnii																
Ornithocercus sp.								•								
Oxyphysis oxytoxoides																•
Oxytoxum curvatum																
Oxytoxum longiceps																
Oxytoxum mediterraneum										•						
Oxytoxum obliquum																
Oxytoxum reticulatum																•
Oxytoxum sceptrum								▲		•						
Oxytoxum scopolax	•			•					•	•	•	•	•	•	•	
Oxytoxum sphaeroideum																
Oxytoxum turbo															•	•
Oxytoxum sp.								•								
Parahistioneis dentata																•
Parahistioneis pachypus																
Parahistioneis reticulata																•
Parahistioneis rotundata																•
Phalacroma hindmarchii																•
Phalacroma mitra	▲							▲							•	
Phalacroma rotundatum										•	•				•	•
Phalacroma sp.																
Podolampas bipes			•	•	•			▲	•	•			•		•	•
Podolampas elegans				•				•▲								
Podolampas palmipes	▲				•	▲		▲	•	•	•	•	•	•		
Podolampas reticulata										•					•	
Podolampas spinifera	▲				•			▲			•					
Podolampas sp.									•							•
Prorocentrum balticum															•	
Prorocentrum compressum										•						
Prorocentrum elegans																
Prorocentrum gracile	•▲	▲	▲	▲					•	•▲						
Prorocentrum micans	•▲		▲	•▲		•			•	▲	▲	▲				
Prorocentrum minimum									•							
Prorocentrum obtusidens																
Prorocentrum rhathymum				▲			•									
Prorocentrum rostratum	•								•							
Prorocentrum scutellum														•		
Prorocentrum sigmoides																

Táxons	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Histioneis sp.																
Lingulodinium polyedrum										•						
Lingulodinium sp.																
Ornithocercus heteroporus								•				•			•	•
Ornithocercus magnificus	•	•	•	•	•	•	•	•				•		•	•	•
Ornithocercus quadratus		•				•		•		•		•	•			
Ornithocercus splendidus		•	•▲	•	•	•▲	•	•				•		•	•	•
Ornithocercus steinii			•	•		•	•	•					•	•▲	▲	•
Ornithocercus thurnii	•		•					•						•	•	•
Ornithocercus sp.																
Oxyphysis oxytoxoides																
Oxytoxum curvatum																
Oxytoxum longiceps		•	•					•								
Oxytoxum mediterraneum		•														
Oxytoxum obliquum			▲			▲								▲	▲	
Oxytoxum reticulatum					•			•		•						
Oxytoxum sceptrum		•	•▲	▲				•						▲	▲	
Oxytoxum scopolax		•	•▲		•	•		•	•	•	•▲	•		▲	▲	
Oxytoxum sphaeroideum			•					•								
Oxytoxum turbo								•				•				
Oxytoxum sp.																
Parahistioneis dentata																
Parahistioneis pachypus														▲		
Parahistioneis reticulata								•							•	
Parahistioneis rotundata						•		•								
Phalacroma hindmarchii							•	•							•	
Phalacroma mitra	•						•						•		•	•
Phalacroma rotundatum	▲		•▲		•	•	•	•	•		▲	•		▲	•	
Phalacroma sp.																•
Podolampas bipes	•▲	•	•▲	•	•	•	•		•▲	•			•			•
Podolampas elegans		•	▲	•▲		▲		•						▲	▲	
Podolampas palmipes	▲	•	•	•▲	•	•▲	•	•			•▲	•	•	▲	•▲	•
Podolampas reticulata																
Podolampas spinifera			▲	•▲		▲			•		▲	•	•	▲	▲	
Podolampas sp.													•			
Prorocentrum balticum			•		•							•				
Prorocentrum compressum	•	•	•	•		•			•		▲	•				
Prorocentrum elegans										•						
Prorocentrum gracile	•▲	•▲	•▲	•					•▲		▲					
Prorocentrum micans	•▲	•		▲					•▲		•▲		▲	▲		
Prorocentrum minimum										•	▲					
Prorocentrum obtusidens																
Prorocentrum rhathymum	▲								▲		▲			▲	▲	
Prorocentrum rostratum	•	•	•	•▲		•										
Prorocentrum scutellum													•			
Prorocentrum sigmoides	▲								▲		▲					

Táxons	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Histioneis sp.													
Lingulodinium polyedrum													
Lingulodinium sp.													
Ornithocercus heteroporus													
Ornithocercus magnificus			•				•					•	•
Ornithocercus quadratus													
Ornithocercus splendidus												•	•
Ornithocercus steinii													
Ornithocercus thurnii												•	•
Ornithocercus sp.													
Oxyphysis oxytoxoides								▲					
Oxytoxum curvatum												•	
Oxytoxum longiceps													
Oxytoxum mediterraneum													
Oxytoxum obliquum													•
Oxytoxum reticulatum									•				
Oxytoxum sceptrum								▲			▲	•	•
Oxytoxum scopolax			•	•		•		•			▲	•	•
Oxytoxum sphaeroideum													
Oxytoxum turbo												•	
Oxytoxum sp.													
Parahistioneis dentata							•						
Parahistioneis pachypus													
Parahistioneis reticulata													
Parahistioneis rotundata													
Phalacroma hindmarchii													
Phalacroma mitra						▲							
Phalacroma rotundatum												•	
Phalacroma sp.							•						
Podolampas bipes	•▲		•					•	▲			•	•
Podolampas elegans				•▲		▲	•					•	
Podolampas palmipes	▲					•▲	•	•▲		•	•▲	•▲	•
Podolampas reticulata													
Podolampas spinifera				▲								•	•
Podolampas sp.													
Prorocentrum balticum													
Prorocentrum compressum				▲		▲		▲	▲			▲	
Prorocentrum elegans													
Prorocentrum gracile	▲	▲	▲	▲				•▲	•▲		▲	▲	•
Prorocentrum micans	▲	▲	▲			▲		•▲	▲		•▲	▲	
Prorocentrum minimum								▲	▲			▲	
Prorocentrum obtusidens											•		
Prorocentrum rhathymum	▲					▲		▲	▲	•	▲	•▲	•
Prorocentrum rostratum													
Prorocentrum scutellum													
Prorocentrum sigmoides								•▲	▲				

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Prorocentrum triestinum																																										▲													▲					
Prorocentrum sp.1						•																										•							•																					
Prorocentrum sp.2																																•																												
Prorocentrum spp.		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			▲	▲	▲	▲	▲			▲		▲		▲	▲		▲	▲				▲	▲							▲		▲	▲	▲		▲									▲	▲		▲	▲	
Protoceratium spinulosum														▲																				•		•											•													
Protoperidinium bipes	•	•	•													•								•					•		•			•	•	•	•			•	•	•				•											•			
Protoperidinium bispinum																																				•						▲													▲	▲				
Protoperidinium claudicans																																•												•																
Protoperidinium conicum																																									•																			
Protoperidinium crassipes	•																								•							▲	•				▲			▲		▲	•												▲	▲				
Protoperidinium crassum																																		•		•				•																				
Protoperidinium depressum																								•	•	•	•	•		•		•	•	•	•					▲	•																			
Protoperidinium elegans											▲					•														•			•				▲				•			•		•								•						
Protoperidinium diabolum					•					•	•									•	•														▲																•									
Protoperidinium divaricatum			▲		▲																																																							
Protoperidinium divergens																									•		•						•	•							•					•	•													
Protoperidinium grande																															•	•											•																	
Protoperidinium joergensenii																													•											•	•		•				•													
Protoperidinium latissimum																								•							•								•	▲							•													
Protoperidinium longipes																									•				•				•										•	•		•														
Protoperidinium murrayi																					▲																																							
Protoperidinium oblongum	▲						▲	•	•																																														•▲	•▲		▲	▲	
Protoperidinium oceanicum	•▲		•							•	•			▲		•▲		•	•	•	•						•	•		•		•▲	•	•▲	•		•			•			•	•		•									•					
Protoperidinium oviforme																														•				•		•							•																	
Protoperidinium ovum																														•			•														•	•												
Protoperidinium pallidum	•																																										•																	
Protoperidinium pentagonum																													•												•			•																
Protoperidinium pyriforme																														•												▲									▲		▲		▲	▲			▲	
Protoperidinium pyrum																																									•																			
Protoperidinium saltans																													•																															
Protoperidinium sinuosum		•																																																										
Protoperidinium steidingerae																																		•										•			•													
Protoperidinium steinii	▲							▲								▲																					▲																			▲				
Protoperidinium venustum																													•				•															▲					▲							
Protoperidinium sp.							•																																•	•																				
Protoperidinium spp.	▲		▲	•▲	▲	•▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	•	▲	▲	▲	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲				▲	▲	▲	▲		▲	▲
Pyrodinium bahamense																																																			▲									
Pyrophacus horologicum	•		•		•			•	•	•	•		•											•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•				•					•▲	•								•▲	•▲	•		▲	
Pyrophacus steinii	▲				•	•	•	▲			▲		•			•								•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•▲		▲	•			•							▲		▲	▲		▲	▲	
Pyrophacus vancampoae																														•					•																									
Scrippsiella trochoidea	▲		•											▲																		•		▲						•					▲											•	•	•▲	•▲	
Spiraulax kofoidii																														•																•														
Tripos arcticus																																																	•											
Tripos arietinus							•																						•				•		▲								•	•	▲	•▲	•												•	
Tripos azoricus	•	•	•▲			•▲	•▲	•▲		•	•	•	•▲	▲		•	•	•	•	•	•▲			•	•	•	•	•	•		•	•	•	•▲	•▲	•	•▲		•	•			•										•▲			•	•	▲	•▲	•
Tripos belone														•																																														

PÚBLICA

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Tripos bigelowi																																		•																										
Tripos boehmii			•																																																									
Tripos candelabrum		•		▲	•▲	▲		•				▲	▲		•			•	•	▲		•		•	•	•	•	•	•	•	▲	•	•▲	•▲		•▲		•	▲	•	▲			▲	•▲	•	▲		•			▲		•			•	•	•
Tripos carriensis			•	•	▲	•			•																					•			•▲	•▲		▲		•						▲															▲	•	
Tripos cephalotus					▲								▲	▲	•						▲		•								•			•	•		•		•			▲	•															•				•
Tripos concilians			•					•																							•			•	▲	•			•					•		•▲															•▲	
Tripos contortus				•	▲	▲																								•				•	•▲	•	•	•				•										•						•	•
Tripos contrarius								•			•																																	▲				▲								▲				•	•	
Tripos declinatus		•							•																																					•																
Tripos deflexus				▲	▲								▲								•▲													▲								▲																		•				
Tripos dens																								•								•												•					▲													
Tripos digitatus		▲											▲								•	•											•									•									•														
Tripos euarcuatus		•▲			▲	▲							▲																						▲	▲							▲			▲	▲								•						▲	
Tripos extensus				•		•				•	•										•							•	•	•			•			▲	•	•			▲	•		▲		•														
Tripos falcatiformis																																		•									•																		
Tripos falcatum		•	•					▲																							•	•						▲	•	•							•	•														•
Tripos furca	•▲	•	•▲	•	•▲	•▲	▲	•▲	•	•	•	•	▲	▲			▲	•	•▲		•		•		•	•	•	•	•		▲	▲	•▲	•▲	•▲	•	•▲		•	•	•	•▲	•				•	▲	▲	•▲					•▲	•▲	•	•▲	▲	•
Tripos fusus var. *fusus*	•▲	•	•	•	•	•▲	•▲	•▲	•▲	•	•	•▲	•▲	▲	•▲	▲	•		•				▲	▲	•	•	•	•▲	•	•	•▲	•▲	•	•▲	•▲	•	•▲			•▲	•	•▲	•▲		▲	•▲		▲		•	▲				•▲	▲		•	•▲	•
Tripos fusus var. *seta*																																								•				•																		
Tripos geniculatus				•	▲	▲						▲	▲								•						•	•	•			•▲	•▲			•	•				•	•		•	•														
Tripos gibberus		•		•▲		•	•	•		•			▲		•		•	▲	•	•▲	•	▲	•	•				•	•		▲	•	•		•				•	•						•						▲		▲	•		▲	▲	•
Tripos gravidus		▲			•									•						•		•							•										•	•					•	•	•	•												•
Tripos hexacanthus													•						•							•	•	•					•	•				•	▲					▲	▲						▲						▲	•			
Tripos hircus		•																															•																														
Tripos horridus		•							•									▲		•								•	•		▲		•	•					▲		▲				•▲	•									▲	▲				
Tripos humile																																												▲																			
Tripos inflatus				•	▲								▲					•							•	•						•	▲	•	▲	•			•	•	▲							•													
Tripos incisus		•												▲		•														•								•	•							•													
Tripos kofoidii	•▲		•																																								▲																▲					
Tripos limulus																																•																														▲	
Tripos lineatus				•	•										▲			▲																					•		•															▲					
Tripos longirostrum																					•												•					•				•																				
Tripos longissimum																													•		•			•				•	•								•				▲									
Tripos lunula				•								•																				•▲		•									•																	
Tripos macroceros	•	•		•	▲	•▲	▲	•		•	•		▲	▲				•				▲		•	•	•	•	•	•	•		•	•▲	•▲	•			•	•▲						▲										•		•▲	•	
Tripos massiliense				•						•		•												•		•		•	•			•	•	•		•	•	•		•		•	•		▲										•			▲	•▲	
Tripos muelleri	▲	▲	•▲	•	▲	•	•▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲			▲		▲		▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•	•	•▲	•▲	•▲	•▲	•	•		•	•▲	•	▲		•		•	▲			•			▲		▲	•▲	•▲	•▲	•▲	▲
Tripos paradoxides				•	▲																									•			•	▲		•▲		•			•		▲	•	•														
Tripos pentagonus var. *pentagonus*	•	•	•	•	•	•		•		•		•	•	▲		•				•	•		▲	•	•	•	•					•▲	•	•	•	•	•				•	•▲	•		▲	•				•					•▲				
Tripos pentagonus var. *terrerus*																																							•				•			•													
Tripos petersii																										•		•						•																												
Tripos platycornis					▲	▲						▲																			•						▲	•	•				•			•	•				•			▲						•▲	
Tripos praelongus		•		•	•▲						▲	▲	•			•	•	•	•		▲												▲			•				•	•	▲	•								▲						•	
Tripos pulchellus																																															▲		▲				•							
Tripos ranipes	•			•				•															•							•							•	•																						

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Tripos reflexus					•			•																																																						
Tripos strictus							•	▲													•													•								▲	•																			
Tripos symmetricus																														•				•	•																									
Tripos tenuis																																													•					▲													
Tripos teres	•		•		•▲	•▲	•▲				•	•	•▲	▲	•	•	•			•	▲		•▲							•			▲	▲		▲					▲			▲	▲				•	▲			•▲	•		▲	•	•▲	•		
Tripos trichoceros	•▲	•▲	•		•	•▲	•	•▲	•▲		•		•			•					▲		▲		▲			▲	•	•	•	▲	•	•▲		•	▲		•	▲	•		•	•▲		•									▲	▲		▲		
Tripos vultur											•		▲			▲							▲	•				•		•	•				•					•	▲	•			•	•			•									▲			
Tripos venustum																									•																																				
Tripos sp.																																																															
Tripos spp.		▲		▲	▲	•▲	▲		▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
Triposolenia bicornis															•																•								•	•																					
Triposolenia depressa																														•						•	•	•					▲	▲•	•												▲			
Triposolenia sp.							•																										•																										•	•
DINOFLAGELADOS ATECADOS																																																															
Amphidinium spp.	•	•	•▲		•	•										•▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	•							•	•						▲								▲			▲					•	•		•		
Asterodinium gracile				•	•					▲	▲																			▲	•						▲	•			▲		▲		▲									•					
Balechina coerulea	•▲		•				▲	•▲						▲																	▲		▲				▲																				▲		•▲		
Brachidinium sp.																																				•																								
Cochlodinium sp.	•▲	•	•▲	•	•▲	•▲	•	▲					▲																			▲			▲		▲					▲			▲	▲												•▲	•	•▲	▲	•
Craspedotella pileolus	▲		▲	•	•	•▲	•						▲	▲																•	▲	▲	•	▲									•	•	•														•	•
Erythropsidinium agile	•▲	•	•			▲					▲		▲		▲											▲	▲			▲	▲		▲									▲																•	•	•	•
Gymnodinium spp.	•						•																																	•		•																		
Gyrodinium spp.	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	▲	▲	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•	•▲	▲	•▲	•▲	▲
Karenia papilionacea							▲						▲																																																•	•	
Kofoidinium velleloides	•		•▲					•						▲																•		▲		•					•				▲	•	•	▲	•										▲		▲	•	•
Kofoidinium pavillardii	▲					▲	▲	▲					▲	▲															▲	•		•▲	▲	•	•▲	▲	•						▲	•	•																
Microceratium orstomii																																													▲	•												▲		
Noctiluca scintillans	▲							•																																																						
Polykrikos sp.			•																																																												
Pronoctiluca pelagica			▲			▲																																																										
Pronoctiluca spinifera	▲				•	•		▲			▲		▲	▲																•		▲	▲				▲			▲		•		▲	▲												▲	•	▲	•
Pseliodinium fusus	▲	•			•▲	•▲	•		•▲				▲	▲	▲		•		▲	•	•									▲		▲									▲																		▲	▲		
Pyrocystis fusiformis	•▲		▲	•	•▲		•	•				•	▲	▲		•		•		•	•			•	•			•	•		•	•	•▲	•	•	•	•			▲	•		•	•▲	•	•	•			•	•		•▲		▲	•	▲	•	•
Pyrocystis hamulus var. *hamulus*																																		•	•		•							•	▲	•																
Pyrocystis hamulus var. *inaequaelis*																																																													•	
Pyrocystis hamulus var. *semicircularis*																																					▲							•																		
Pyrocystis lanceolata																														•																															
Pyrocystis lunula	•			•	•	•	•	•			•		•	▲		•		•	•	•	•▲	•	•▲				•	•		•			▲								▲			•	•▲	•▲	•		•	•	▲		•				•	
Pyrocystis noctiluca	•▲		▲	•	•▲	▲	•▲	•			▲		•	▲		•	•	•		•	•			•	•		•	•	•	•	•▲	•▲	•▲	•	▲	•	•▲		▲	•			•	▲	•												•▲	▲		•▲	•▲	•
Pyrocystis pseudonoctiluca	•																																												•																		
Pyrocystis robusta	•▲		•	•	•	•	•▲	•▲		•	•	•	•▲	▲					•	•	•	•	•		•		•		•	•	•	•▲	•▲	•	•▲		•	▲			▲	•	•	▲	•			▲		▲								•▲	•
Pyrocystis sp.1																																																													•	•
Pyrocystis sp.2					•	•▲	•																											▲										▲																	
Pyrocystis elegans																					•																																								

PÚBLICA

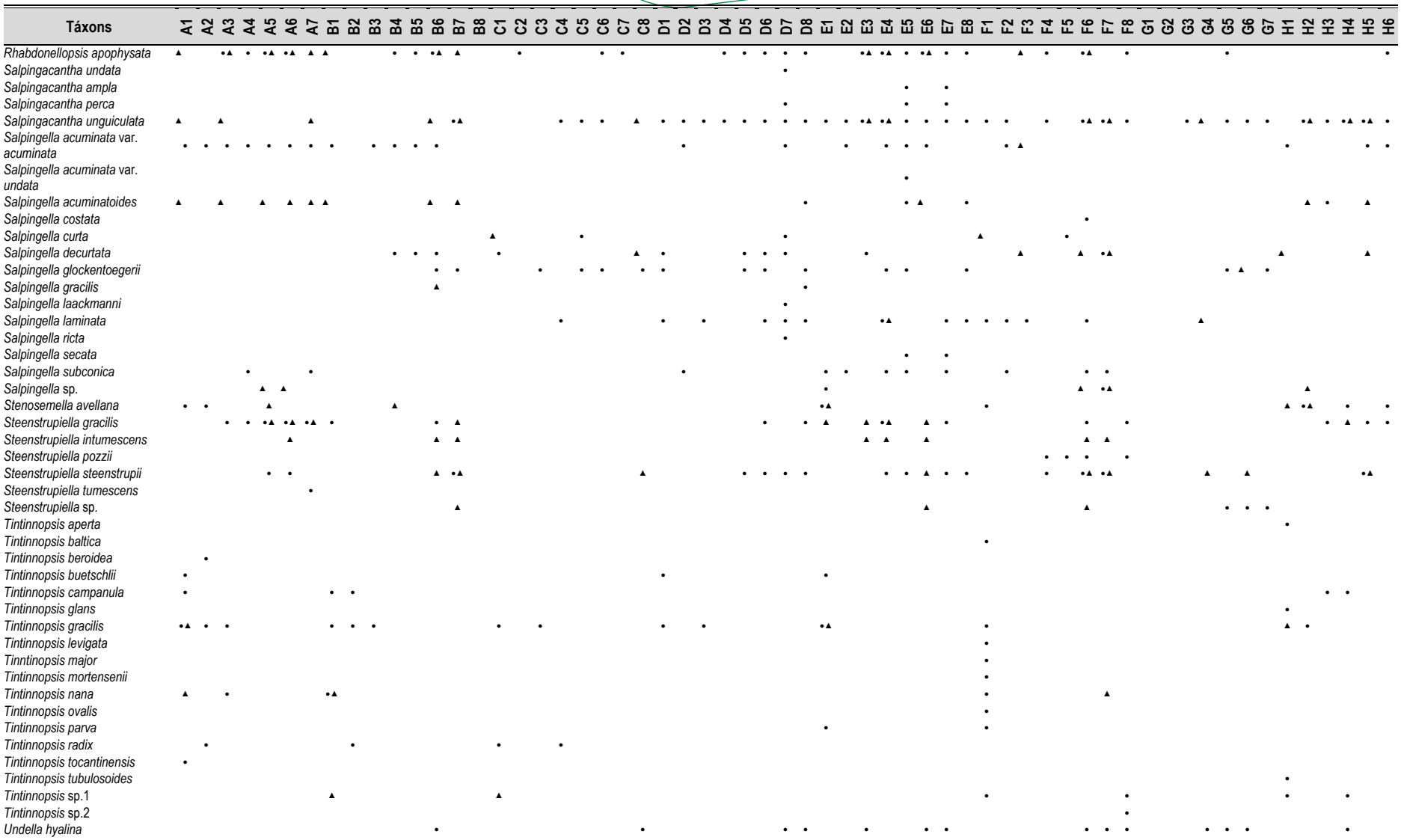
Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Scaphodinium mirabile																															•								•																						
Scaphodinium sp.																													•																																		
Schuettiella mitra				•			▲	▲																							•			•				•																									
Spatulodinium pseudonoctiluca						▲	▲																																																												
Torodinium robustum	•▲	•▲	•▲	•▲	•	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•▲	•▲								•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•▲	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Warnowia sp.	▲	▲	•▲	•▲	•	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			▲	▲	▲	▲			▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲				▲	▲		▲	•	▲	▲	▲	▲	▲	▲
CYANOBACTERIA																																																																	
Richelia intracellularis	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•	•▲	•▲	▲	•▲	•▲	•	•	▲	•	•▲	▲	▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•	•	▲	•▲	•▲	▲	•▲	▲	•▲	▲	▲	▲	•▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•▲	▲	▲	•	▲	▲	▲	▲	▲	▲	•▲	▲		▲	•	•▲	•▲	•	•▲	▲	▲
Synechococcus carcerarius	▲	•	•		▲	•		▲		•		•	•	▲	•						•	•	•								•			•						•	▲				▲	▲				•				•								•
Trichodesmium erythraeum	▲	•	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•	•	•▲	•▲	•▲	▲	•▲	•	•	▲	•	•	•▲	•	•▲	•	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•	▲	▲	•▲	▲	•▲	•▲	•▲	•	•▲	•▲		•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲			•	▲	•	▲	•	•▲	•▲	•	•▲	•
Trichodesmium sp.			▲		•	•▲		▲							▲				▲															•	▲		▲					▲									▲	▲	▲	▲	•			▲	•▲		
Oscillatoriaceae sp.1	•▲		▲	•	•	•		•▲		•	•	•	•			•								•			•							▲	•					▲	▲								•							•	•			
Oscillatoriaceae sp.2																																																										•				
Chroococcales sp.																																					▲																										
PRASINOPHYCEAE																																																																	
Pterosperma undulatum	•	•		•	•	•	•	▲															▲											▲																								▲		•		▲	▲		
Pterosperma sp.				•	•▲	•▲	•				•▲	•	•▲	▲	•▲								•					▲	▲	▲				▲	▲	▲	▲	•▲	▲	▲			▲	▲		▲	•▲	•▲							▲		▲	▲	•▲	•▲	•
RAPHIDOPHYCEAE																																																																
Chattonella sp.													▲						▲		▲								▲						▲							▲															▲						
Fibrocapsa japonica																																								●																						
Raphydophyceae sp.										▲												▲							●			▲							▲	▲																		▲			
PRYMNESIOPHYCEAE																																																																
Algirosphaera oryza							•								•																																																	
Algirosphaera robusta							•								•																																																	
Braarudosphaera bigelowi					•	•	•						▲																																																						
Calciosolenia murrayi			•																																																																
Calyptrolithina multipora							•								•																																																			
Cenosphaera compacta							•																																																											
Cenosphaera cristata						•																																																											
Corisphaera gracilis							•							•	•																																																		
Coronosphaera binodata							•								•																			▲	▲																																
Florisphaera profunda							•								•																																																		
Gladiolithus flabellatus							•								•																																																		
Hayaster perplexus							•								•																																																		
Papposphaera lepida																																																																	
Periphyllophora mirabilis							•								•																																																		
Phaeocystis sp.				•	•																																																												
Pontosphaera discopora	•	•	•		•	•	•				•		•			•				▲	▲		•																																															
Rhabdosphaera sp.						•																																																												
Scyphosphaera apsteinii				•		•																																																											
Syracolithus catilliferus							•								•																																																	
Syracosphaera pirus							•				•			•	•																																																	
Thorosphaera elegans					•																																																											
Turrilithus latericioides							•								•																																																
Umbilicosphaera sibogae							•								•																																																
Umbilicosphaera hulburtiana							•								•																																															

PÚBLICA

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Zygosphaera hellenica							•								•																																													
Prymnesiophyceae spp.		•	•		•▲	▲	▲		▲	▲			▲	▲	▲			▲	▲						▲			▲	▲	▲	•	▲	▲	▲	▲	▲			▲	•			▲	▲	▲	▲	▲					▲						•▲		•
EUGLENOIDES																																																												
Euglenophyceae sp.1	•		•	•				•▲		•	•			▲		•			•					•								•								•		•													•▲					
Euglenophyceae sp.2	▲				•											•	•▲	•		•				•	•	•															▲														▲					
TINTININOS																																																												
Acanthostomella norvegica				•	•		•▲							▲	•						▲					•	•	•	•	•	•				•▲	•	•		•	•			•	•	•	•▲	•						▲				•			•
Acanthostomella lata					▲																																												•		•									
Acanthostomella minutissima	•			•	•▲	•	•▲							•																				•▲	•			•	•				•		•	•	•					•	•	•				▲		•
Acanthostomella obtusa	▲		▲	•	▲	▲	▲				•▲	•	•▲	•▲		▲					▲		▲											▲	▲		▲					▲			▲	▲		▲			▲					•	•	▲	•▲	•
Albatrossiella agassizi													▲																																▲															
Amphorellopsis acuta		•							•	•							•							•								•	•							▲	•															▲		•		
Amphorellopsis quinquealata																																		•																										
Amphorides amphora			•▲		•▲	•▲	▲	•▲			•	•	▲	•▲		•▲		•		•	▲	•		•			•	•		•	•	•▲	•	•▲	•▲	•	•▲	•	•	•▲	•	▲	•	•	•▲	•▲	•	•▲		•	▲	•	•▲	•	▲	•▲	•	•▲	•	•
Amphorides quadrilineata																							•																						▲						▲					▲			▲	
Amplectella monocollaria																																													▲	▲														
Ascampbelliella acuta													▲																													▲				•										▲			▲	
Ascampbelliella urceolata																																														•														
Ascampbelliella sp.						•▲	▲						▲	•▲																				▲			▲								▲													▲	•▲	•
Brandtiella palliata						•	•						▲																									•																						
Climacocylis scalaria			▲		•	▲	•						▲	•▲							▲		•		•			•			•		•	•▲	•		•▲	•	•				•	•	•▲		•				•		▲					▲	•	•
Climacocylis scalaroides var. *scalaroides*			•			▲							▲	▲					•																		▲																•▲			▲			•	•
Climacocylis scalaroides var. *marschallae*	▲		•▲	•	•▲	•			•	•	•	•	•						•																										▲	▲					▲									
Climacocylis sipho							▲							▲															•		•														•	•														
Codonaria cistellula													▲																					•			•								•	•	•													
Codonella acuta																																▲																												
Codonella amphorella							•▲						▲	▲							•		▲								•				•		▲	•	•					•	•	▲	•						•					▲		•
Codonella apicata													•	•									•							•				•		•		•	•			▲	•		•▲		•											•	•▲	•
Codonella aspera					•	•																•									•								•																					
Codonella elongata																																														•														
Codonella galea					•	▲	•▲																								•			•▲	▲		▲		•				•				•													
Codonella olla						▲																																																						•
Codonellopsis ostenfeldii	▲															•								•				•																											•					
Codonellopsis orthoceras					•	▲	•▲				▲		•	•▲	•		•				•	•						•	•		•			▲		•	▲	•	•				•			•▲	•			•		•		•		•				
Codonellopsis schabii	•▲		•		•			•	•	•	•	•	•			•	•	•		•				•	•										•					•	•	•						•▲							▲					
Codonellopsis sp.																•							•									•																												
Coxliella declivis													▲																																															
Coxliella fasciata							•																																																					
Coxliella laciniosa						▲																																	•																			▲	•	•
Coxliella sp.																																													▲															
Cymatocylis antarctica																																																			•									
Cyttarocylis brandti					•		•▲																								•			▲	▲				•			•	•	•	•▲	▲	•											▲	•	•
Cyttarocylis conica			▲																											•																														
Dadayiella ganymedes	•▲	•	•▲	•	•▲	•▲	•▲	•▲		•	•▲	•	•▲	•▲		•▲	•	•	•	•	•▲	•	•▲	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•▲	•▲	•	•▲	•	•	•▲	•	•▲	•	•	•▲	•▲	•			•	•▲		•▲	•	•	•	•	•▲	•▲	•
Dadayiella paquytoecus					▲	•▲	•▲						▲	•▲																				▲	▲		▲								▲	▲										•		▲	•▲	•

PÚBLICA

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Dictyocysta californiensis						•	•							•							▲										•	▲			•				•																					
Dictyocysta elegans var. *elegans*	•	•	•	•	•	•	•					•	•▲	•							•							•	•	•	•			•	•	•	•	•	•		•		•	•	•	•▲				•						•	•		•	•
Dictyocysta elegans var. *lepida*	▲		▲		▲	▲	▲	▲			▲			▲		▲						•	•							•				▲	▲	•	▲	•				▲			▲						▲	•							▲	
Dictyocystis extensa																																					▲																							
Dictyocysta mitra						•▲	•▲							•																								•	•						•	•	•											▲		
Dictyocysta spinosa							•																																																					
Dictyocysta sp.						•	•															•	•																															•						
Epicancella nervosa						▲	▲						▲																								▲	•	•						▲	▲								•					•	
Epiplocylis acuminata						▲	▲			•				•																															•	•▲	•												▲	
Epiplocylis blanda						•	•																													•		•	•				•		•		•						•					▲	•▲	•
Epiplocylis calyx							•								•																																													
Epiplocylis undella					•▲	▲	▲						▲	▲									•▲					•			•			•▲	•▲	•	▲	•	•			▲	•			•▲												▲	•▲	•
Epiplocylis sp.																																			•																									
Eutintinnus apertus			•▲	•	•▲	▲	•	▲			•	•	•▲	▲		▲							▲							•			•	•			•	•		▲					•	▲	•				•				•			▲	▲	
Eutintinnus birictus			•													▲				•													•	•	•				•					•			•						•▲	•				•	•	
Eutintinnus fraknoi				•	▲	•					•	•	•▲																		•		•	•	▲	•		•	•	•			•	•	•▲		•						▲						▲	•
Eutintinnus latus											•	•																				▲		▲												▲	•						▲							
Eutintinnus lusus-undae	•▲		•▲	•	•	•▲	•	•▲	•	•		•	•▲	•▲		•			•	•	•▲		•▲	•	•	•	•	•	•	•	•	•▲	•	•▲	•▲	•	•▲	•	•		•	•▲	•	•	•	•	•	•		•	▲	•	•		•▲	•	•	•	•	•
Eutintinnus medius	▲		•▲		▲	▲		•			•▲		▲	▲											•						•		•		•	•			•	•		•▲				▲									▲			▲		
Eutintinnus pacificus						▲	▲																											▲	▲							▲			▲					•										
Eutintinnus stramenthus	•									•				▲											•					•			•	•	•▲		▲						•		•	▲													•	
Eutintinnus tenue																														•						•		•																						
Eutintinnus tubulosus			•	•		•	•					•	•											•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•					▲	•				•	•▲	•									•		▲	•	
Eutintinnus sp.																	•	•				•													▲							▲			▲				•											
Favella ehrenbergii																																								•								•								•				
Favella sp.													•																																															
Leprotintinnus nordqvisti																									•																																			
Ormosella acantharus																																		•	•			•									•													
Ormosella bresslaui					•	•	▲		•		•	•	•▲								▲							•	•		•			•	•	•	•	•	•					•		•	•	▲			•▲	•	•▲			•	•			•
Ormosella haeckeli																															•			•				•							•															
Ormosella sp.																																													•															
Parundella caudata			▲		•▲	•▲	•▲	▲			•	•	•	•							▲		•▲		•		•	•	•	•	•	•	•	•	•▲	•	•▲	•	•		•		•	•	•▲	•▲	•			•	•▲	•	•▲	•	•	•▲	•	▲	•	•
Parundella inflata			•			•▲	•▲				•		•▲	▲																				▲	▲				•						▲	▲					▲			•			•	•▲	•▲	•
Parundella pellucida					•		▲						▲	•																	•			•					•					•	•	•	•													
Petalotricha ampulla					•▲	▲	•▲							•											•	•	•			•			•	•		•	•	•	•		•		•		•															•
Poroecus apiculatus																																						•																						
Poroecus curtus			•	•		•	•▲						▲	•												•					•			•▲		•	•	•	•				•	•															•	•
Protorhabdonella curta						▲	▲																												▲	•									▲															
Protorhabdonella simplex			•		•	•▲	▲						▲	•▲							▲	•	▲							•				•▲	•▲		•▲	•					•		▲	•▲					▲		▲					▲	▲	•
Rhabdonella brandti							•								•																																													
Rhabdonella amor	•		•		•	•▲	•▲			•	•		•▲	•▲																					▲	•	▲					▲				▲												▲	•▲	•
Rhabdonella cornucopia						▲							▲																	•	•				▲		▲		•					•	•	•	•						▲						▲	
Rhabdonella elegans			•		•	•▲	•▲				•		▲	•									•											•▲	•	•	•▲	•	•		•	▲	•		•▲	•▲	•				▲	•	•	•				▲	•	•
Rhabdonella exilis		•		•	•	•	•	•				•	•▲	•▲																																													•	•
Rhabdonella indica							•								•															•	•			▲		•		•	•								•													
Rhabdonella spiralis														•																																	•													

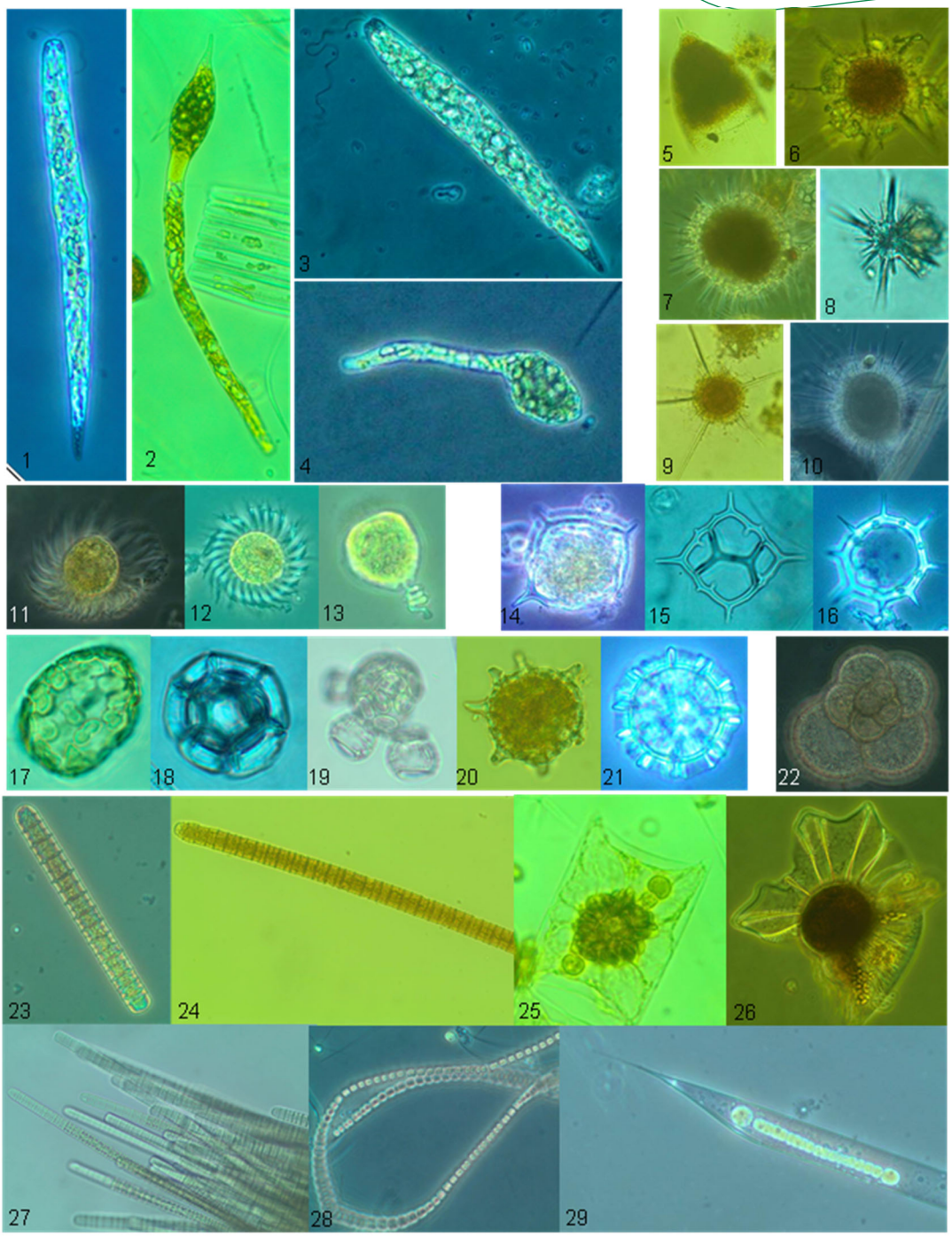

Táxons
A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8 D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7 D8 E1 E2 E3 E4 E5 E6 E7 E8 F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 G1 G2 G3 G4 G5 G6 G7 H1 H2 H3 H4 H5 H6
Rhabdonellopsis apophysata
Salpingacantha undata
Salpingacantha ampla
Salpingacantha perca
Salpingacantha unguiculata
Salpingella acuminata var. acuminata
Salpingella acuminata var. undata
Salpingella acuminatoides
Salpingella costata
Salpingella curta
Salpingella decurtata
Salpingella glockentoegerii
Salpingella gracilis
Salpingella laackmanni
Salpingella laminata
Salpingella ricta
Salpingella secata
Salpingella subconica
Salpingella sp.
Stenosemella avellana
Steenstrupiella gracilis
Steenstrupiella intumescens
Steenstrupiella pozzii
Steenstrupiella steenstrupii
Steenstrupiella tumescens
Steenstrupiella sp.
Tintinnopsis aperta
Tintinnopsis baltica
Tintinnopsis beroidea
Tintinnopsis buetschlii
Tintinnopsis campanula
Tintinnopsis glans
Tintinnopsis gracilis
Tintinnopsis levigata
Tinntinopsis major
Tintinnopsis mortensenii
Tintinnopsis nana
Tintinnopsis ovalis
Tintinnopsis parva
Tintinnopsis radix
Tintinnopsis tocantinensis
Tintinnopsis tubulosoides
Tintinnopsis sp.1
Tintinnopsis sp.2
Undella hyalina

PÚBLICA

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Undella claparedei						▲	•▲						•▲	•▲							•								•		•	▲		▲	▲	•	▲	•							▲	▲	•						▲						▲	•
Undella globosa				•		•	•							•																•				•					•				•	•	•	•	•				•		•						•	•
Undella hyalina						▲	▲						▲	▲																				▲			▲									▲														
Undella lackmannii						▲	•▲					•	▲	•▲								•										▲		▲	▲							▲			•▲	▲												▲	•	•
Undella minuta							•																																																					
Undella perpusilla				•	▲		•						▲	▲							•▲		▲		•					•			•		•	•	•	•					•	•	•	•		▲		•	•▲	•		•				•▲	▲	
Undella pistilum							•																													•												▲												
Undella pocolum	•																																																											
Undella subacuta	•		•	•	•	•	•																									•			•				•							▲	•												•	
Undella subcaudata					•	•	•▲			•		•	•▲	•▲								•	•▲				•	•	•	•	•			•▲	•▲	•	•▲	•	•		•		•	•	•▲	•	•			•	•▲		•	•			•	•	•▲	•
Undella sp.1																						•									•																			•										
Undella sp.2																																																			•									
Xystonella treforti	▲		•	•	•	•▲	•▲			•	•	•	•▲	•▲	•						▲	•	•▲					•	•	•	•			•▲	•	•	▲	•	•			▲	•	•	•▲	•▲	•				•	•	•▲	•			•	▲	•▲	•
Xystonella longicauda			•			•▲								•					•			•								•	•			•	•		•	•	•						•	•	•			•			•						•	
Xystonellopsis cymatica																																					▲								•▲		•											▲		
Xystonellopsis dahli																								•	•	•	•	•	•	•			•	•																										•
Xystonellopsis dicymatica				•	•						•				•															•	•				•▲			•	•						•	▲					•		•	•				•▲	•	•
Xystonellopsis gaussi	•		▲		•						•	•	•▲	▲		•				•												•	•	•▲	▲			•			•	▲	•		•▲	•					▲	•	▲					•▲	▲	•
Xystonellopsis paradoxa	•				•	•▲	•▲						▲	•							•		•							•	•			•	•▲	•	•	•	•				•		•▲	•▲	•				▲			•	▲			•▲	•▲	•
Xystonellopsis spicata																														•																														
CILIOPHORA																																																												
Cyrtostrombidium sp.	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲
Laboea sp.	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲
Lohmanniella sp.	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲
Myrionecta rubra																																								▲		▲													▲	▲				
Solenicola setigera																																																												
Strombidium sp.	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲
Strombilidium sp.	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲
Strombidinopsis sp.	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲	•▲
Vorticella oceanica			▲					•▲			▲		▲			•																▲		▲						▲		▲			▲			•	•	•		•	▲		•	▲				
Zoothamnium sp.	•▲			•	•		•▲																																			▲																	•	
RADIOLARIA																																																												
Acantharia sp.						▲																	•														▲																							
Acanthodesmia viniculata																																		•					•																					
Actinomma sp.																																							•																					
Amphirhopalum ypsilon							•																															•																						
Arachnocorys circumtexta																																		•																										
Arachnocorys sp.																																			•																									
Astrosphaera sp.																																		•																										
Botryocephalina armata																																																												
Centrocubus cladostyus							•																															•																						
Clathrocyclas latonae																																																				•								
Clathrocanium coarctatum							•																															•																						
Corolalyptra columba																																		•	•																									
Cromyechinus icosacanthus							•																															•																						
Cycladophora sp.																																			•																									

Táxons	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Diploconus fasces	•▲		•▲		•▲									▲																									▲																									
Eucyrtidium acuminatum							•																															•																									
Eucyrtidium hexastichum							•																															•																									
Eucyrtidium sp.																													•						•			•																									
Helotholus histricosa							•																															•																									
Helotholus sp.																																			•																													
Lampromitra danaes							•																															•																									
Lampromitra sp.																																			•																													
Lithomelissa setosa				•																																																															
Lithoptera fenestrata																													•										•																									
Lophophaena hispida							•																															•																									
Lophospyris pentagona							•																															•																									
Medusetta inflata			▲		•▲																•														•▲																													
Peridium sp.														▲																																																						
Peromelissa phalacra							•																															•																									
Pseudocubus sp.																																			•																													
Spirocyrtis cornutella													▲																																																							
Spongosphaera streptacantha							•																															•																									
Stylochlamidium sp.																													•																																		
Stylodictya aculeata							•																															•																									
Theocalyptra cornuta																																																																		
Plagoniidae sp.											▲																								•							▲																									
Radiolaria spp.			▲	•▲	•▲	•▲	▲				▲		▲	•▲	•▲			▲			▲		▲							•▲	▲	▲	•			▲	▲	▲	▲	▲	▲			▲		▲	▲	▲	▲				▲	▲	▲	•			▲	▲	•
SILICOFLAGELADOS																																																																	
Dictyocha fibula	•▲	•	•		•▲		▲	•▲			•		•	▲		•	•	•	•	•	▲		•▲											▲				▲			•		▲			▲				▲			▲									
Dictyocha speculum	▲				▲													•				•	•											▲																		▲					▲			▲		
Dictyocha sp.	•	•		▲	▲		•								▲	•	•▲			▲			•	•	▲			▲			•	▲	▲							▲		▲			▲			▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲					
Ebria tripartita	▲	•	•		•	•		•	•														•						•											•▲																							
Hermesinum adriaticum	•▲		•	•	•		•	•	•																				•▲	▲	•									•▲																							
Riqueza total	**237**	**133**	**203**	**164**	**210**	**212**	**231**	**182**	**101**	**107**	**142**	**100**	**183**	**166**	**82**	**144**	**78**	**57**	**88**	**66**	**112**	**63**	**123**	**134**	**97**	**82**	**89**	**92**	**131**	**136**	**154**	**199**	**124**	**224**	**213**	**127**	**177**	**136**	**181**	**185**	**93**	**148**	**135**	**113**	**208**	**244**	**158**	**87**	**44**	**58**	**107**	**54**	**116**	**64**	**154**	**143**	**101**	**167**	**205**	**139**

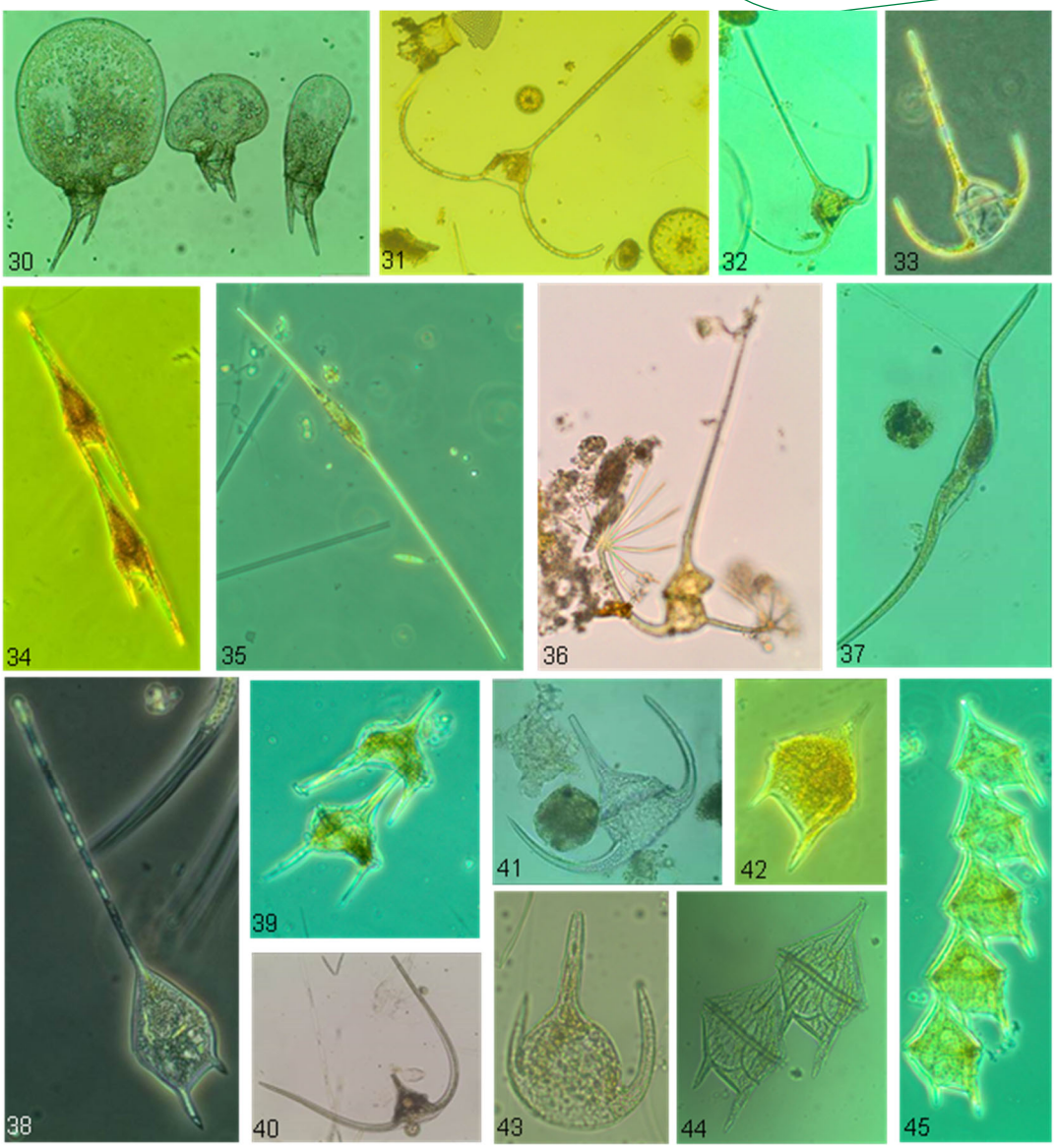
PÚBLICA



j

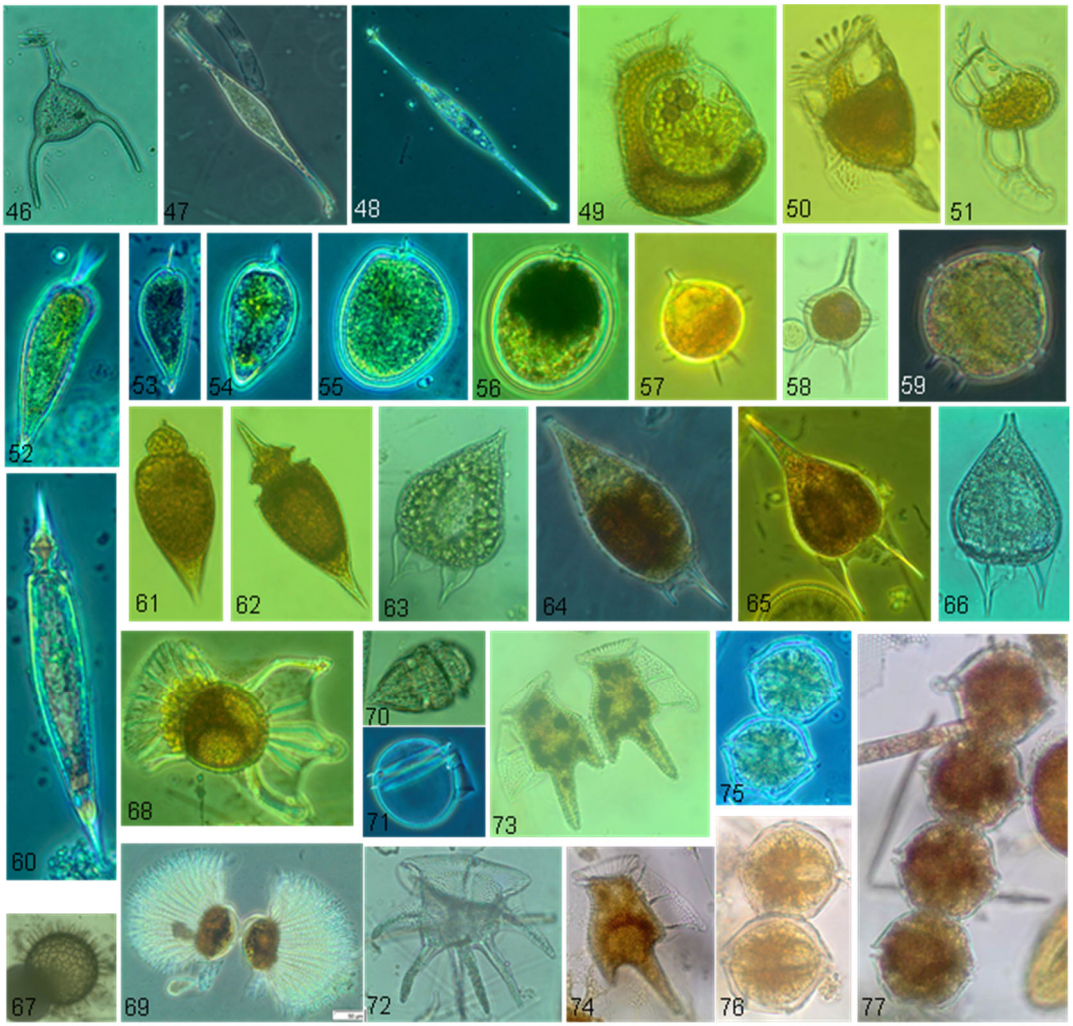
Anexo V-2: *1-4. Euglenóides; 5-10. Radiolários; 11-12. Ciliados; 13. Vorticella sp.; 14-15. Dictyocha fibula; 16. Dictyocha speculum; 17. Cocolitoforídeo sp.; Fig. 18. Braarudosphaera bigelowii; 19. Scyphosphaera apsteinii; 20. Cocolitoforídeo sp.; 21. Pontosphaera discopora; 22. Foraminífero; 23, 24, 27. Trichodesmium erythraeum; 25. Richelia intracellularis em Hemiaulus membranaceus; 26. Scynechocystis carcerarius em Ornithocercus sp.; 28. Cianobactéria filamentosa; 29. Richelia intracellularis em Rhizosolenia.*

PÚBLICA



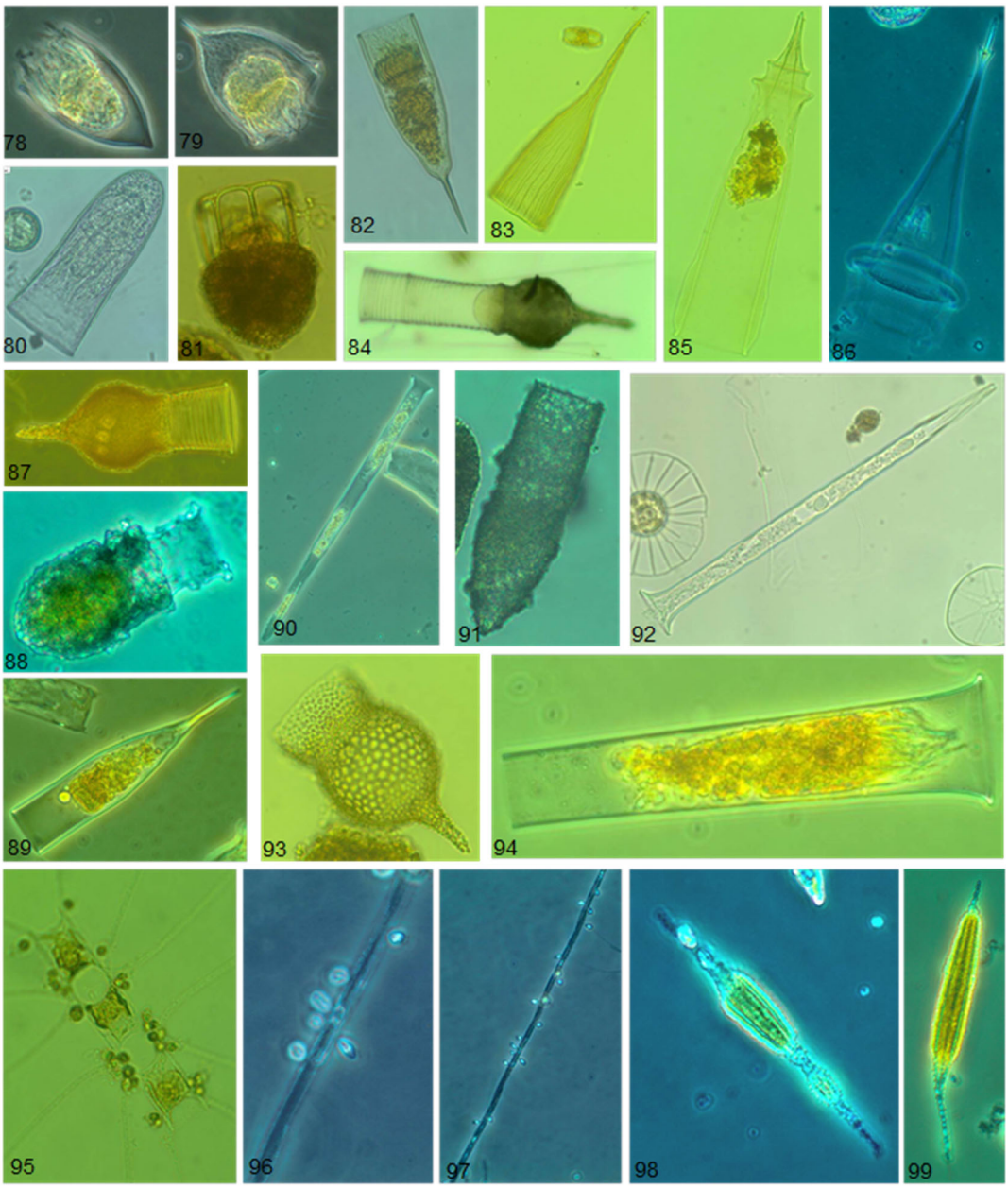
Anexo V-2 (cont.): 30. *Tripos gravidum, T. cephalotum, T. praelongum*, respectivamente; 31. *Tripos trichoceros;* 32. *Tripos horridum*; 33. *Tripos muelleri*; 34. *Tripos furca*; 35. *Tripos fusus*; 36. *Tripos ranipes*; 37. *Tripos geniculatum*; 38. *Tripos teres;* 39. *Tripos candelabrum;* 40-41. *Tripos* sp.; 42, 44-45. *Tripos pentagonum* var. *tenerum;* 43. *Tripos azoricum*.

PÚBLICA



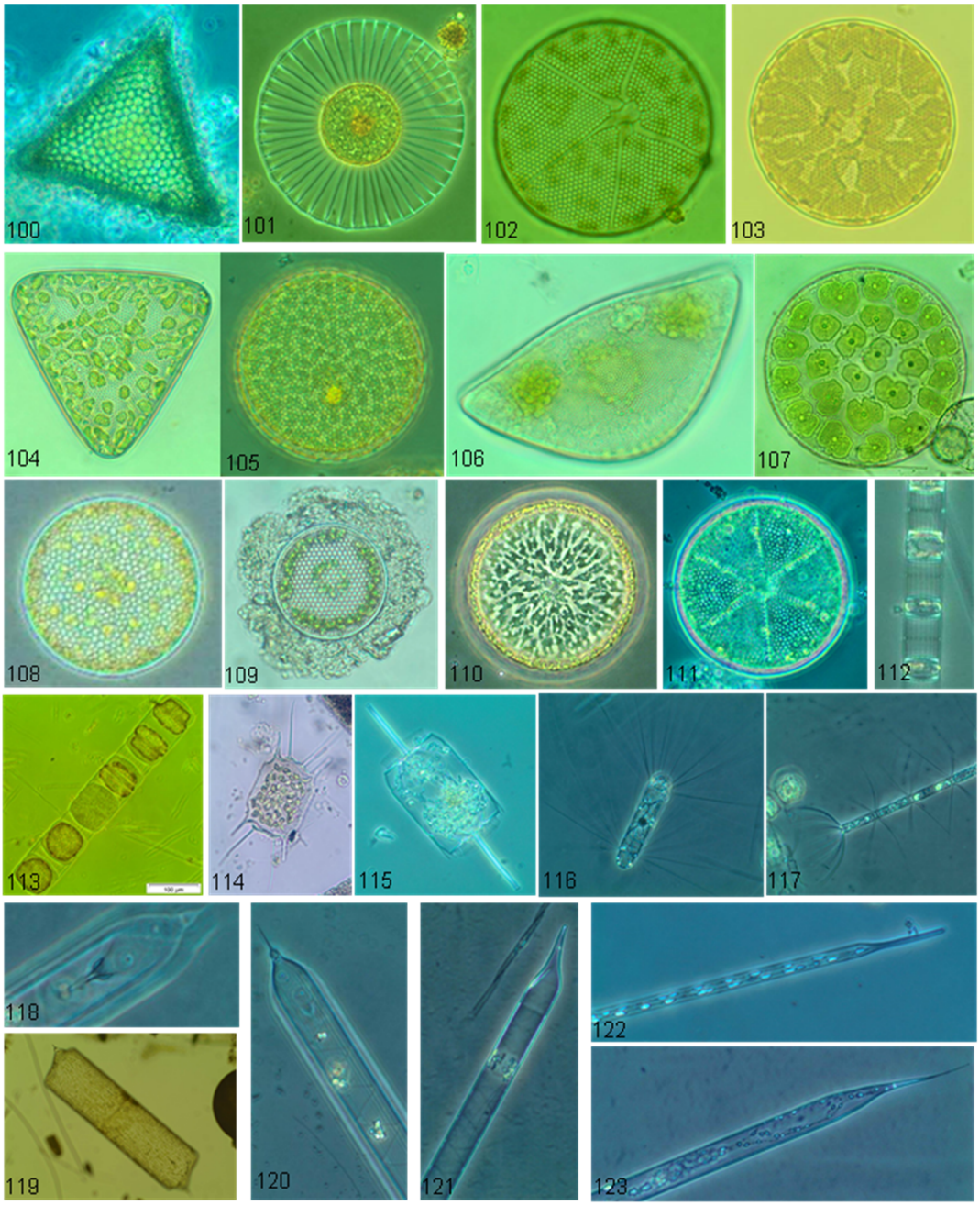
Anexo V-2 (cont.): 46. *Triposolenia bicornis;* 47. *Amphisolenia bidentata;* 48. *Amphisolenia globulosa;* 49. *Citharistes apsteinii*; 50. *Parahistioneis dentata;* 51. *Histioneis* sp.; 52. *Prorocentrum sigmoides;* 53. *Prorocentrum gracile;* 54. *Prorocentrum micans;* 55. *Prorocentrum* sp.; 56. *Prorocentrum* aff. *scutellum;* 57-59. *Protoperidinium* spp; 60. *Oxytoxum scolopax;* 61. *Oxytoxum gladiolus;* 62. *Oxytoxum sceptrum;* 63, 66. *Podolampas bipes;* 64. *Podolampas palmipes;* 65. *Podolampas* sp.; 67. Cisto de dinoflagelado; 68. *Ornithocercus magnificus;* 69. *Ornithocercus splendidus;* 70. *Corythodinium tesselatum;* 71. *Phalacroma* sp.; 72. *Ceratocorys horrida;* 73-74. *Dinophysis tripos;* 75. *Alexandrium fraterculus*; 76-77. *Alexandrium tamarense.*

PÚBLICA



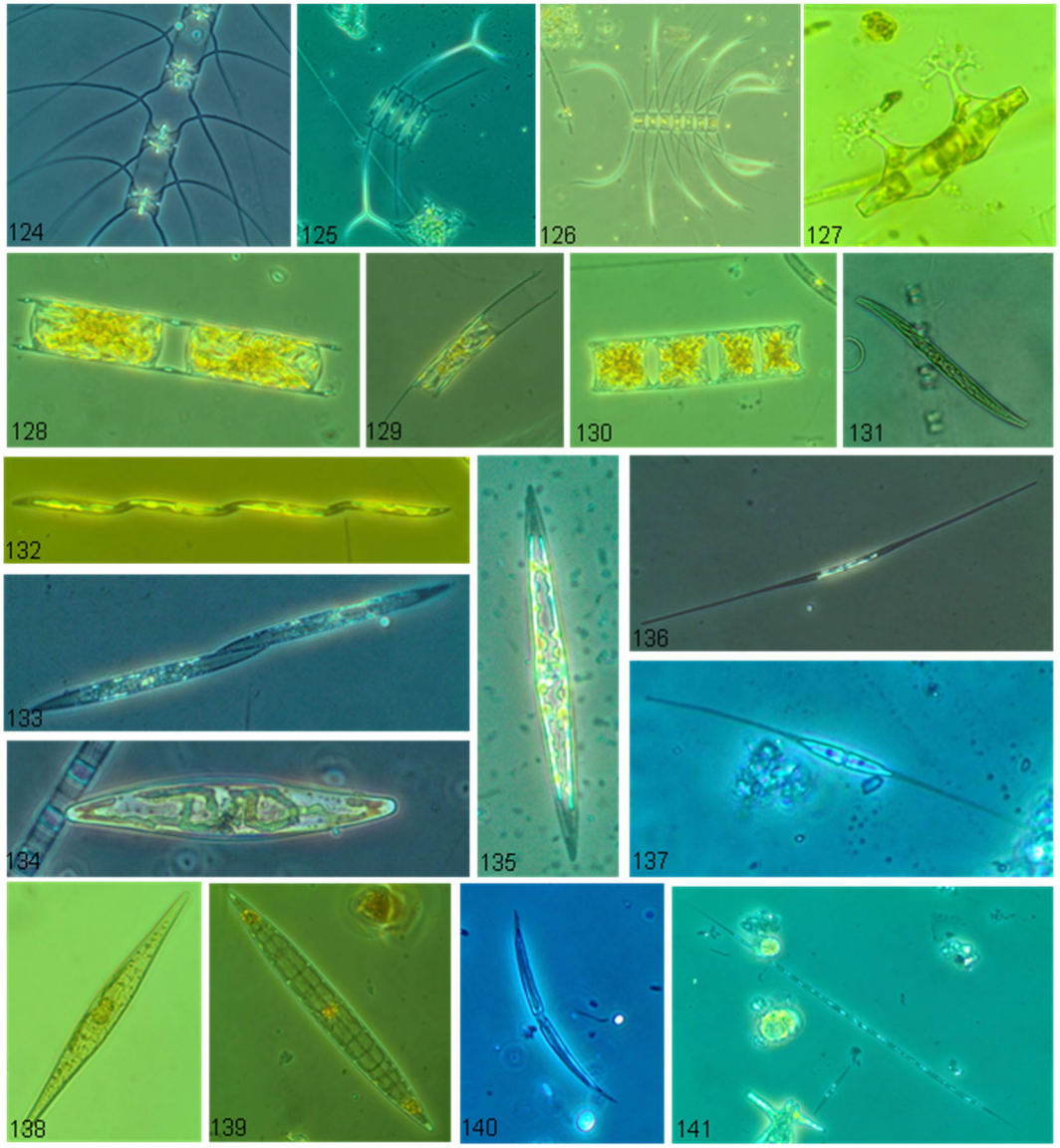
Anexo V-2 (cont.): 78. *Undella subcaudata;* 79. *Epiplocylis calyx;* 80. *Undella hyalina;* 81. *Dictyocysta elegans;* 82. *Parundella inflata;* 83. *Rhabdonella spiralis;* 84, 87. *Codonellopsis orthoceras;* 85. *Xystonellopsis paradoxa;* 86. *Xystonellopsis dicymatica;* 88. *Codonellopis schabi;* 89. *Parundella caudata;* Figs 90, 92. *Salpingella glockentoegerii*; 91. *Tintinopsis gracilis*; 93. *Codonella amphorella;* 94. *Eutintinnus lususundae*; 95. *Vorticella oceanica* em *Chaetoceros coarctatus.* 96-97; *Bisoeca* sp. em *Pseudo-nitzschia* sp.; 98-99. Célula não identificada.

PÚBLICA



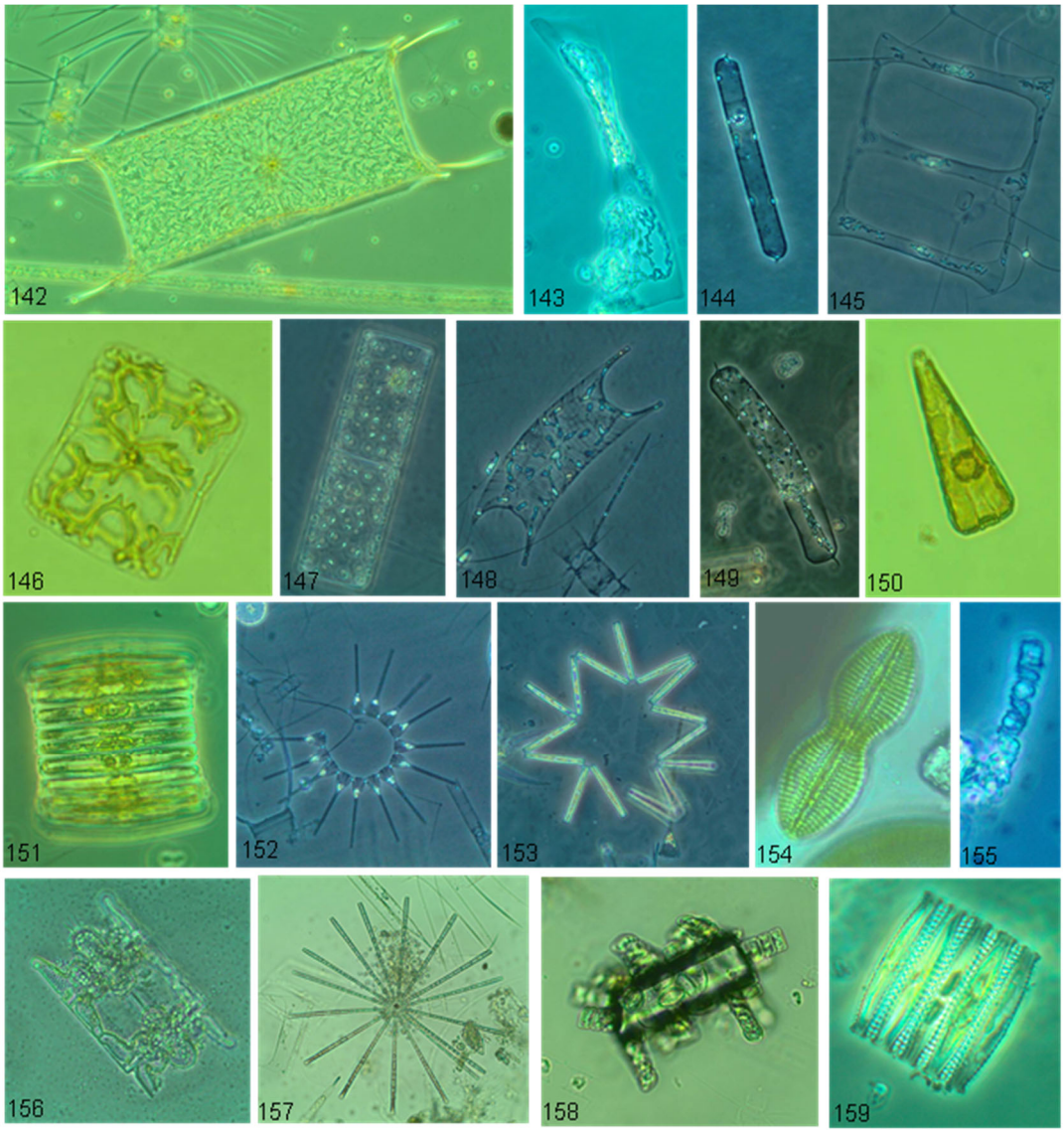
Anexo V-2 (cont.): 100. *Triceratium favus*; 101. *Planktoniella sol*; 102. *Asteromphalus aracne;* 103. *Thalassiosira* sp.; 104. *Pseudotriceratium punctatum*; 105. *Roperia tesselata*; 106. *Hemidiscus cuneiformes*; 107. *Porosira pentaportula*; 108. *Coscinodiscus* sp.; 109. *Thalassiosira* sp. em mucilagem; 110. *Actinocyclus* sp.; 111. *Actinoptychus* sp.; 112. *Skeletonema* sp.; 113. *Stephanopyxis palmeriana*; 114. *Trieres mobiliensis*; 115. *Ditylum brightwelii*; 116. *Corethron cryophillum*; 117. *Bacteriastrum* sp.; 118, 120, 123. *Rhizosolenia*

spp; 119. *Rhizosolenia castracanei*; 121. *Proboscia alata*; 122. *Proboscia* sp.



Anexo V-2 (cont.): 124. *Chaetoceros didymus*; 125. *Chaetoceros messanensis;* Fig, 126. *Chaetoceros* sp.; 127. Cisto de *Chaetoceros*; 128. *Hemiaulus indicus*; 129. *Hemiaulus haukii*; 130. *Hemiaulus membranaceus*; 131, 138. *Nitzschia* spp; 132, 133. *Pseudo-nitzschia* spp; 134. *Pleurosigma* sp.; 135. *Haslea* sp.; 136. *Nitzschia longissima*; 137. *Cylindrotheca closterium*; 139. *Haslea* sp.; 140. *Pseudo-nitzschia subcurvata;* 141. *Haslea wawrikae*.

PÚBLICA



Anexo V-2 (cont.): 142. *Trieres chinensis*; 143. *Helicotheca tamesis*; 144. *Dactyliosolen phuketensis*; 145. *Climacodium frauenfeldianum*; 146. *Meuniera membranacea*; 147. *Guinardia flaccida*; 148. *Eucampia cornuta*; 149. *Guinardia striata*; 150. *Licmophora* sp.; 151. *Fragilariopsis doliolus*; 152. *Asterionellopsis glacialis*; 153. *Thalassionema nitzschioides*; 154. *Diploneis* sp.; 155. *Minidiscus* sp.; 156. *Biddulphia* sp.; 157. *Lioloma pacificum*; 158. *Delphineis surirella*; 159. Cymathosiraceae.

Anexo VI-1: *Lista de táxons da comunidade mesozooplanctônica registrada durante o Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos.*

Foraminifera	*Undeuchaeta major* Giesbrecht, 1888	*Euchaeta media* Giesbrecht, 1888
Radiozoa	*Undeuchaeta plumosa* (Lubbock, 1856)	*Euchaeta paraconcinna* Fleminger, 1957
Hydrozoa	*Undeuchaeta* spp.	*Euchaeta spinosa* Giesbrecht, 1893
Scyphozoa	*Valdiviella insignis* Farran, 1908	Euchaetidae
Siphonophorae	*Valdiviella oligarthra* Steuer, 1904	*Paraeuchaeta sarsi* (Farran, 1908)
Ctenophora	*Arietellus giesbrechti* Sars G.O., 1905	*Heterorhabdus austrinus* Giesbrecht, 1902
Nematoda	*Arietellus setosus* Giesbrecht, 1893	*Heterorhabdus papilliger* (Claus, 1863)
Phoronida	*Arietellus simplex* Sars G.O., 1905	*Heterorhabdus spinifrons* (Claus, 1863)
Platyhelminthes	*Arietellus* spp.	*Heterorhabdus* spp.
Rhabditophora	Augaptilidae	*Temoropia mayumbaensis* Scott T., 1894
Bivalvia	*Haloptilus acutifrons* (Giesbrecht, 1893)	*Lucicutia clausi* (Giesbrecht, 1889)
Gastropoda	*Haloptilus longicornis* (Claus, 1863)	*Lucicutia flavicornis* Claus, 1863
Thecosomata	*Haloptilus mucronatus* (Claus, 1863)	*Lucicutia gaussae* Grice, 1963
Pterotracheoidea	*Haloptilus ornatus* (Giesbrecht, 1893)	*Lucicutia gemina* Farran, 1926
Cephalopoda	*Haloptilus* spp.	*Lucicutia longicornis* (Giesbrecht, 1889)
Polychaeta	Calanidae	*Lucicutia ovalis* (Giesbrecht, 1889)
Cladocera	*Calanoides carinatus* (Krøyer, 1849)	*Lucicutia wolfendeni* Sewell, 1932
Penilia avirostris Dana, 1849	*Calanoides* spp.	*Lucicutia*spp.
Evadne spinifera P. E. Müller, 1867	*Nannocalanus minor* (Claus, 1863)	*Nullosetigera bidentata* (Brady, 1883)
Pseudevadne tergestina (Claus, 1862)	*Neocalanus gracilis* (Dana, 1852)	*Nullosetigera helgae* (Farran, 1908)
Pleopis sp.	*Neocalanus robustior* (Giesbrecht, 1888)	*Megacalanus princeps* Wolfenden, 1904
Copepoda	*Neocalanus* spp.	*Megacalanus* spp.
Calanoida	*Undinula vulgaris* (Dana, 1849)	*Gaussia intermedia* Defaye, 1998
Acartia (Acartiura) clausi	*Candacia bipinnata* (Giesbrecht, 1889)	*Metridia gerlachei* Giesbrecht, 1902
Acartia (*Acartia*) *danae* Giesbrecht, 1889	*Candacia bispinosa* (Claus, 1863)	*Metridia princeps* Giesbrecht, 1889
Acartia negligens Dana, 1849	*Candacia curta* (Dana, 1849)	*Metridia* spp.

PÚBLICA

Acartia tonsa Dana, 1849
Acartia spp.
Aetideidae
Aetideus acutus (Farran, 1929)
Aetideus giesbrechti Cleve, 1904
Aetideus spp.
Chiridius gracilis Farran, 1908
Chiridius spp.
Chirundina streetsii Giesbrecht, 1895
Chirundinella magna Wolfenden, 1911
Euchirella amoema Giesbrecht, 1888
Euchirella curticauda Giesbrecht, 1888
Euchirella formosa Vervoort, 1949
Euchirella maxima Wolfenden, 1905
Euchirella messinensis messinensis (Claus, 1863)
Euchirella pulchra (Lubbock, 1856)
Euchirella spp.
Gaetanus minor Farran, 1905
Gaetanus pileatus Farran, 1903
Gaetanus tenuispinus (Sars G.O., 1900)
Gaetanus spp.
Pseudochirella obtusa (Sars G.O, 1905)
Pseudochirella spp.
Undeuchaeta incisa Esterly, 1911
Rhincalanus cornutus cornutus (Dana, 1849)
Rhincalanus nasutus Giesbrecht, 1888
Scolecitrichidae
Amallothrix valida (Farran, 1908)
Candacia longimana (Claus, 1863)
Candacia pachydactyla (Dana, 1849)
Candacia simplex (Giesbrecht, 1889)
Candacia spp.
Centropages bradyi Wheeler, 1900
Centropages velificatus (Oliveira, 1947)
Centropages spp.
Clausocalanidae
Clausocalanus arcuicornis (Dana, 1849)
Clausocalanus brevipes Frost & Fleminger, 1968
Clausocalanus furcatus (Brady, 1883)
Clausocalanus mastigophorus (Claus, 1863)
Clausocalanus parapergens Frost & Fleminger, 1968
Clausocalanus paululus Farran, 1926
Ctenocalanus citer Heron & Bowman, 1971
Ctenocalanus vanus Giesbrecht, 1888
Ctenocalanus spp.
Drepanopus forcipatus Giesbrecht, 1888
Microcalanus pygmaeus (Sars G.O., 1900)
Eucalanidae
Eucalanus hyalinus (Claus, 1866)
Pareucalanus sewelli (Fleminger, 1973)
Euchaeta acuta Giesbrecht, 1893
Euchaeta marina (Prestandrea, 1833)
Oncaea cf. *media* Giesbrecht, 1891
Oncaea venusta Philipp, 1843
Oncaea venusta venella Farran, 1929
Oncaea sp1
Pleuromamma abdominalis abdominalis (Lubbock, 1856)
Pleuromamma gracilis Claus, 1863
Pleuromamma piseki Farran, 1929
Pleuromamma xiphias (Giesbrecht, 1889)
Pleuromamma spp.
Acrocalanus longicornis Giesbrecht, 1888
Calocalanus pavo (Dana, 1852)
Calocalanus pavoninus Farran, 1936
Calocalanus styliremis Giesbrecht, 1888
Calocalanus spp.
Mecynocera clausi Thompson I.C., 1888
Paracalanus aculeatus aculeatus Giesbrecht, 1888
Paracalanus cf. *parvus* (Claus, 1863)
Paracalanus parvus parvus (Claus, 1863)
Paracalanus spp.
Phaenna spinifera Claus, 1863
Pontellidae
Calanopia americana F. Dahl, 1894
Labidocera acutifrons (Dana, 1849)
Labidocera fluviatilis Dahl F., 1894
Labidocera spp.
Pontella sp.
Pontellina plumata (Dana, 1849)
Pontellina sp.
Krohnitta spp.
Pterosagitta draco (Krohn, 1853)
Pterosagitta spp.
Caecosagitta macrocephala (Fowler, 1905)

PÚBLICA

Lophothrix frontalis Giesbrecht, 1895
Lophothrix similis Wolfenden, 1911
Scaphocalanus echinatus (Farran, 1905)
Scaphocalanus sp.
Scolecithrix bradyi Giesbrecht, 1888
Scolecithricella ovata (Farran, 1905)
Scolecithricella subdentata (Esterly, 1905)
Scolecithricella vittata (Giesbrecht, 1893)
Scolecithricella spp.
Scolecithrix danae (Lubbock, 1856)
Scottocalanus securifrons (Scott T., 1894)
Subeucalanus longiceps (Scott T., 1894)
Subeucalanus pileatus (Giesbrecht, 1888)
Subeucalanus subtenuis (Giesbrecht, 1888)
Subeucalanus spp.
Spinocalanidae
Mimocalanus cultrifer Farran, 1908
Temora stylifera Dana, 1849
Temora turbinata (Dana, 1849)
P-calanus
Oithona plumifera Baird, 1843
Oithona robusta Giesbrecht, 1891
Oithona setigera (Dana, 1849)
Oithona similis Claus, 1866
Oithona tenuis Rosendorn, 1917
Oithona spp.
Copilia mirabilis Dana, 1852-1853
Sapphirina angusta Dana, 1849
Sapphirina nigromaculata Claus, 1863
Sapphirina opalina-darwinii Lehnhofer, 1929
Oncaea sp2
Oncaea spp.
Triconia cf. *conifera* (Giesbrecht, 1891)
Triconia spp
Harpacticoida
Aegisthus mucronatus Giesbrecht, 1891
Microsetella rosea (Dana, 1847)
Microsetella norvegica (Boeck, 1865)
Miracia efferata Dana, 1849
Macrosetella gracilis (Dana, 1846)
Clytemnestra scutellata Dana, 1847
Clytemnestra sp.
Euterpina acutifrons (Dana, 1847)
Siphonostomatoida
Cirripedia
Ostracoda
Decapoda
Luciferidae
Brachyura
Euphausiacea
Euphausiidae
Euphausia americana Hansen, 1911
Euphausia brevis Hansen, 1905
Euphausia hemigibba Hansen, 1910
Euphausia recurva Hansen, 1905
Euphausia similis G.O. Sars, 1885
Euphausia tenera Hansen, 1905
Euphausia spp.
Nematoscelis tenella G.O. Sars, 1883
Nematoscelis spp.
Decipisagitta decipiens (Fowler, 1905)
Decipisagitta sibogae (Fowler, 1906)
Decipisagitta spp.
Ferosagitta hispida (Conant, 1895)
Flaccisagitta enflata (Grassi, 1881)
Flaccisagitta hexaptera (D'orbygni, 1843)
Mesosagitta minima (Grassi, 1881)
Parasagitta friderici (Ritter-Zahony, 1911)
Parasagitta tenuis (Conant, 1896)
Parasagitta spp.
Pseudosagitta lyra (Krohn, 1853)
Sagitta bipunctata (Quoy & Gaimard, 1827)
Sagitta helenae (Ritter-Zahony, 1910)
Serratosagitta serratodentata (Krohn, 1853)
Acanthocephala
Echinodermata
Cephalochordata
Appendicularia
Oikopleura longicauda (Vogt, 1854)
Oikopleura dioica Fol, 1872
Oikopleura fusiformis Fol, 1872
Oikopleura rufescens Fol, 1872
Oikopleura cophocerca (Gegenbaur, 1855)
Oikopleura albicans (Leuckart, 1854)
Oikopleura intermedia Lohmann, 1896
Oikopleura fusiformis cornutogastra Aida, 1907
Oikopleura parva Lohmann, 1896
Stegosoma magnum (Langerhans, 1880)
Fritillaria pellucida (Busch, 1851)
Fritillaria sargassi Lohmann, 1896

PÚBLICA

Sapphirina spp.
Vettoria granulosa (Giesbrecht, 1891)
Corycaeidae
Agetus flaccus (Giesbrecht, 1891)
Agetus limbatus (Brady, 1883)
*Agetus typicus (*Krøyer, 1849)
Corycaeus speciosus Dana, 1849
Ditrichocorycaeus amazonicus (Dahl F., 1894)
Ditrichocorycaeus minimus (Dahl F., 1894)
Farranulla gracilis (Dana, 1849)
Farranula rostrata (Claus, 1863)
Onychocorycaeus giesbrechti (Dahl F., 1894)
Urocorycaeus furcifer (Claus, 1863)
Urocorycaeus lautus (Dana, 1849)
Lubbockia aculeata Giesbrecht, 1891
Lubbockia squillimana Claus, 1863
Lubbockia spp.
Conaea rapax Giesbrecht, 1891
Oncaea curta Sars G.O., 1916
Stylocheiron abbreviatum G.O. Sars, 1883
Stylocheiron carinatum G.O. Sars, 1883
Stylocheiron elongatum G.O. Sars, 1883
Stylocheiron longicorne G.O. Sars, 1883
Stylocheiron suhmi G.O. Sars, 1883
Stylocheiron spp.
Thysanoessa spp.
Thysanopoda aequalis Hansen, 1905
Thysanopoda tricuspidata Milne Edwards, 1837
Thysanopoda spp.
Stomatopoda
Amphipoda
Cumacea
Isopoda
Lophogastrida
Mysida
Chaetognatha
Krohnitta mutabbii Alvariño, 1969
Krohnitta subtilis (Grassi, 1881)
Fritillaria haplostoma Fol, 1872
Fritillaria tenella Lohmann, 1896
Fritillaria formica Fol, 1872
Fritillaria venusta Lohmann, 1896
Kowalevskia spp.
Doliolida
Doliolum nationalis Borgert, 1893
Dolioletta gegenbauri (Uljanin, 1884)
Doliolina mülleri (Krohn, 1852)
Salpida
Thalia democratica (Forskal, 1775)
Salpa fusiformis Cuvier, 1804
Soestia zonaria (Pallas, 1774)
Brooksia rostrata (Traustedt, 1893)
Cyclosalpa pinnata (Forsskål, 1775)
Pyrosomatida
Pyrosoma atlanticum Péron, 1804
Osteichthyes

PÚBLICA

Anexo VI-2: *Biomassa, abundância total e abundância dos principais grupos coletados em cada arrasto durante o inverno na Bacia de Santos.*

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet (m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Inverno	A01	25-0	0,1440	2097,51	53,18	1961,46	4,56	50,93	0,00
Inverno	A02	50-25	0,5930	7125,03	1,62	7029,62	16,00	6,43	1,51
Inverno	A02	25-0	0,0350	797,24	0,24	789,33	1,01	1,06	0,07
Inverno	A03	100-50	0,0880	341,83	0,00	337,17	1,39	0,05	0,02
Inverno	A03	50-25	0,1230	951,76	0,09	915,39	25,21	1,36	0,12
Inverno	A03	25-0	0,3120	2026,08	0,06	1804,19	1,95	49,78	3,49
Inverno	A04	100-50	0,0360	279,86	0,03	249,49	6,03	0,33	0,00
Inverno	A04	50-25	0,0870	691,61	0,16	653,47	20,00	1,34	0,05
Inverno	A04	25-0	0,1720	1858,20	0,46	1265,62	17,26	2,52	0,08
Inverno	A05	550-150	0,0020	8,55	0,00	7,44	0,41	0,00	0,00
Inverno	A05	150-100	0,0090	20,57	0,00	16,58	0,99	0,01	0,00
Inverno	A05	100-50	0,0260	91,19	0,01	79,29	3,61	0,06	0,02
Inverno	A05	50-25	0,0720	524,29	0,25	488,73	7,27	0,18	0,38
Inverno	A05	25-0	0,1180	828,00	1,40	768,00	19,40	0,90	0,30
Inverno	A06	1500-1100	0,0020	0,27	0,00	0,16	0,01	0,00	0,00
Inverno	A06	1100-550	0,0030	0,69	0,00	0,62	0,01	0,00	0,00
Inverno	A06	550-150	0,0070	18,62	0,00	16,75	0,23	0,00	0,00
Inverno	A06	150-100	0,0110	40,01	0,00	35,15	0,17	0,01	0,00
Inverno	A06	100-50	0,0280	100,33	0,00	91,88	2,38	0,00	0,12
Inverno	A06	50-25	0,0660	89,85	0,01	73,63	4,69	0,00	0,10
Inverno	A06	25-0	0,0600	104,86	0,03	99,56	1,56	0,03	0,06
Inverno	A07	2400-1500	0,0010	0,23	0,00	0,19	0,01	0,00	0,00

(continua)

PÚBLICA

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet (m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Inverno	A07	1500-1100	0,0010	0,09	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
Inverno	A07	1100-550	0,0060	3,44	0,00	3,34	0,02	0,00	0,00
Inverno	A07	550-150	0,0100	33,08	0,00	30,98	0,48	0,00	0,00
Inverno	A07	150-100	0,1080	93,12	0,00	91,88	0,31	0,21	0,01
Inverno	A07	100-50	0,0510	215,79	0,00	212,71	0,00	0,43	0,00
Inverno	A07	50-25	0,1110	135,61	0,00	125,83	1,71	0,12	0,00
Inverno	A07	25-0	0,0810	255,47	0,00	249,26	0,00	0,39	0,02
Inverno	B01	25-0	1,0560	1243,34	768,00	363,79	11,79	0,16	97,68
Inverno	B02	50-25	0,2130	1029,84	0,00	958,84	15,13	29,96	0,02
Inverno	B02	25-0	0,3500	3004,40	0,00	2876,95	19,43	89,90	0,10
Inverno	B03	100-50	0,1330	235,92	0,00	230,74	1,16	0,08	0,00
Inverno	B03	50-25	0,1190	289,09	0,00	284,44	0,61	0,37	0,00
Inverno	B03	25-0	0,3600	2077,30	0,25	2048,00	9,28	1,19	0,00
Inverno	B04	100-50	0,0380	163,13	0,01	149,96	2,51	0,11	0,01
Inverno	B04	50-25	0,1650	2110,73	0,92	1882,84	16,13	0,71	0,66
Inverno	B04	25-0	0,2740	1382,80	4,73	1273,76	23,80	10,15	1,05
Inverno	B05	150-100	0,0230	143,10	0,16	137,53	0,90	0,44	0,01
Inverno	B05	100-50	0,0780	753,73	0,14	734,32	5,74	2,76	0,20
Inverno	B05	50-25	0,1900	1974,53	8,80	1877,33	16,00	6,93	0,33
Inverno	B05	25-0	0,2490	2851,88	18,10	2681,90	39,24	80,00	0,55
Inverno	B06	550-150	0,0080	32,84	0,00	31,28	0,19	0,04	0,00
Inverno	B06	150-100	0,0110	33,34	0,02	28,92	0,28	0,04	0,00
Inverno	B06	100-50	0,0510	471,53	0,03	455,11	7,47	0,19	0,09

(continua)

PÚBLICA

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet (m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Inverno	B06	25-0	0,3190	3016,00	11,90	2861,95	90,26	22,15	1,15
Inverno	B07	1100-550	0,0050	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B07	550-150	0,0050	1,14	0,00	0,71	0,04	0,00	0,00
Inverno	B07	150-100	0,0340	6,16	0,00	3,64	0,28	0,00	0,00
Inverno	B07	100-50	0,0270	3,47	0,00	2,12	0,18	0,00	0,00
Inverno	B07	50-25	0,0180	1,14	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B07	25-0	0,0330	1,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00
Inverno	B08	2400-1500	0,0000	0,05	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
Inverno	B08	1500-1100	0,0020	0,07	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Inverno	B08	1100-550	0,0060	0,80	0,00	0,67	0,03	0,00	0,00
Inverno	B08	550-150	0,0120	60,84	0,00	56,10	0,81	0,00	0,00
Inverno	B08	150-100	0,0540	196,72	0,00	168,67	2,36	0,06	0,01
Inverno	B08	100-50	0,0550	155,72	0,00	137,57	3,85	0,22	0,02
Inverno	B08	50-25	0,0560	153,18	0,00	144,98	2,18	0,61	0,14
Inverno	B08	25-0	0,0740	255,98	0,00	240,28	4,00	1,23	0,05
Inverno	C01	25-0	0,5150	789,77	17,38	590,77	36,00	14,62	34,46
Inverno	C02	50-25	4,4560	469,29	0,01	254,14	22,49	0,13	181,80
Inverno	C02	25-0	6,5870	833,59	0,02	171,13	4,57	0,20	640,00
Inverno	C03	100-50	0,0510	34,62	0,00	27,88	2,94	0,14	0,32
Inverno	C03	50-25	0,1100	162,62	0,02	146,13	6,40	0,55	3,23
Inverno	C03	25-0	0,6850	505,18	0,03	429,18	13,88	23,29	11,88
Inverno	C04	100-50	0,0400	36,42	0,03	31,59	1,04	0,30	1,87
Inverno	C04	50-25	0,1620	151,64	0,01	134,15	3,77	0,13	8,23
Inverno	C04	25-0	0,3860	316,42	0,53	273,36	7,05	0,12	6,98

PÚBLICA

(continua)

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet (m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Inverno	C05	150-100	0,0030	29,57	0,00	25,87	0,57	0,03	0,00
Inverno	C05	100-50	0,0220	112,11	0,06	104,00	1,72	1,39	0,00
Inverno	C05	50-25	0,2090	827,55	3,00	762,18	36,00	8,09	0,00
Inverno	C05	25-0	0,3170	378,88	2,42	324,92	15,23	2,42	0,12
Inverno	C06	550-150	0,0080	5,84	0,00	4,30	0,25	0,01	0,00
Inverno	C06	150-100	0,0200	29,35	0,00	21,39	1,66	0,02	0,00
Inverno	C06	100-50	0,0460	198,82	0,00	184,11	5,92	0,04	0,01
Inverno	C06	50-25	0,1300	184,08	0,00	155,43	13,71	0,03	0,56
Inverno	C06	25-0	0,3340	372,41	61,04	218,07	62,22	3,67	1,43
Inverno	C07	1500-1100	0,0040	0,37	0,00	0,24	0,03	0,02	0,00
Inverno	C07	1100-550	0,0040	1,97	0,00	1,83	0,03	0,00	0,00
Inverno	C07	550-150	0,0080	9,33	0,00	5,68	0,76	0,00	0,00
Inverno	C07	150-100	0,0320	52,89	0,00	34,09	1,81	0,07	0,00
Inverno	C07	100-50	0,0420	57,88	0,00	40,66	9,32	0,40	0,01
Inverno	C07	50-25	0,1880	609,59	0,00	464,00	31,50	57,00	0,53
Inverno	C07	25-0	0,1760	250,03	0,08	185,26	11,05	29,89	0,71
Inverno	D01	25-0	0,4020	1916,89	486,82	1049,20	102,82	116,46	0,00
Inverno	D02	50-25	0,2560	1386,87	0,17	1317,93	35,26	0,83	0,00
Inverno	D02	25-0	0,4960	3061,71	10,54	2647,41	171,71	38,63	0,00
Inverno	D03	100-50	1,1460	64,41	0,65	59,29	0,47	0,74	0,06
Inverno	D03	50-25	0,1960	2330,62	0,55	2259,86	14,76	52,97	0,00
Inverno	D03	25-0	0,7670	997,79	22,69	924,66	24,36	11,46	0,00
Inverno	D04	100-50	0,1280	87,26	0,00	80,98	0,21	0,16	0,00

PÚBLICA

(continua)

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet (m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Inverno	D04	50-25	0,1110	710,72	0,06	699,89	4,00	0,53	0,41
Inverno	D04	25-0	0,4450	667,43	0,75	634,67	10,50	3,88	0,17
Inverno	D05	100-50	0,0270	110,14	0,19	99,45	3,65	0,19	0,00
Inverno	D05	50-25	0,1130	815,09	4,30	757,11	16,85	4,51	0,34
Inverno	D05	25-0	0,6630	3824,17	560,00	2858,67	149,33	0,88	0,50
Inverno	D06	550-150	0,0180	24,09	0,00	22,58	0,36	0,00	0,00
Inverno	D06	150-100	0,0350	16,24	0,00	10,63	0,13	0,00	0,00
Inverno	D06	100-50	0,0350	176,61	0,00	164,98	4,84	0,08	0,00
Inverno	D06	50-25	0,1390	682,56	0,22	649,37	10,34	0,00	0,02
Inverno	D06	25-0	0,3940	1912,53	0,81	1712,00	49,00	0,16	0,66
Inverno	D07	2400-1500	0,0100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	D07	1500-1100	0,0040	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Inverno	D07	1100-550	0,0030	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Inverno	D07	550-150	0,0000	0,09	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00
Inverno	D07	150-100	0,0490	93,14	0,00	87,27	0,94	0,00	0,01
Inverno	D07	100-50	0,0490	158,01	0,01	113,45	3,42	0,02	0,04
Inverno	D07	50-25	0,2060	737,08	0,10	624,64	9,04	0,26	0,40
Inverno	D07	25-0	0,0130	0,17	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00
Inverno	D08	2400-1500	0,0010	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Inverno	D08	1500-1100	0,0010	0,11	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00
Inverno	D08	1100-550	0,0110	0,78	0,00	0,67	0,01	0,00	0,00
Inverno	D08	550-150	0,0060	28,51	0,00	27,36	0,11	0,00	0,00
Inverno	D08	150-100	0,1040	69,52	0,00	64,00	0,17	0,00	0,00

PÚBLICA

Inverno	D08	100-50	0,1040	266,20	0,00	243,20	3,47	0,20	0,00

(continua)

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet (m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Inverno	D08	50-25	0,3330	360,27	0,00	320,00	9,18	4,27	2,09
Inverno	D08	25-0	0,1210	290,62	0,00	265,85	7,23	5,23	0,00
Inverno	E01	25-0	0,3990	3361,50	112,00	2201,60	59,20	964,27	0,00
Inverno	E03	150-100	0,0110	79,63	0,00	71,05	0,73	0,04	0,00
Inverno	E03	100-50	0,0150	145,26	0,15	142,52	0,42	0,20	0,04
Inverno	E03	50-25	0,1050	2813,35	88,80	2662,40	10,60	22,40	4,85
Inverno	E03	25-0	0,2330	6303,71	173,95	5828,92	173,95	45,13	2,46
Inverno	E05	2400-1500	0,0010	0,09	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00
Inverno	E05	1500-1100	0,0020	0,05	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
Inverno	E05	1100-550	0,0020	0,53	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00
Inverno	E05	550-150	0,0040	6,15	0,00	4,84	0,04	0,00	0,00
Inverno	E05	150-100	0,0390	34,16	0,01	31,69	0,58	0,03	0,00
Inverno	E05	100-50	0,1270	199,07	0,00	184,89	6,67	0,01	0,03
Inverno	E05	50-25	0,1080	469,28	0,01	316,24	5,69	0,01	0,00
Inverno	E05	25-0	0,0880	3,75	0,00	2,50	0,25	0,00	0,00
Inverno	E08	2400-1500	0,0020	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Inverno	E08	1500-1100	0,0010	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	E08	1100-550	0,0040	0,53	0,00	0,40	0,02	0,00	0,00
Inverno	E08	550-150	0,0110	51,96	0,00	34,39	0,10	0,00	0,00
Inverno	E08	150-100	0,0750	159,53	0,00	139,73	4,87	0,33	0,33
Inverno	E08	100-50	0,0660	175,10	0,00	166,10	1,52	0,43	0,19
Inverno	E08	50-25	0,1710	454,89	0,00	391,11	7,56	0,33	0,11

PÚBLICA

Inverno	E08	25-0	0,5950	1578,17	0,00	1408,00	83,33	16,67	1,17

(continua)

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet (m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Inverno	F01	25-0	0,0920	272,44	0,15	235,05	16,15	7,05	0,00
Inverno	F02	100-50	0,0650	100,53	0,04	84,51	2,62	0,22	3,23
Inverno	F02	50-25	0,4440	704,94	0,12	590,37	31,35	38,86	32,33
Inverno	F02	25-0	0,4360	777,33	17,67	634,67	67,33	34,00	4,21
Inverno	F03	150-100	0,0360	50,80	0,00	46,63	1,29	0,20	0,00
Inverno	F03	100-50	0,0590	145,01	0,02	130,37	3,59	3,67	0,08
Inverno	F03	50-25	6,4680	2998,96	1,35	2325,33	1,75	592,00	0,44
Inverno	F03	25-0	0,4150	1044,68	43,76	971,29	1,51	1,60	1,41
Inverno	F04	550-150	0,0140	9,02	0,00	7,37	0,47	0,00	0,01
Inverno	F04	150-100	0,0250	26,93	0,00	21,02	0,00	0,00	0,00
Inverno	F04	100-50	0,1120	215,14	0,01	186,31	11,47	0,26	0,53
Inverno	F04	50-25	0,1610	227,00	0,30	183,07	9,12	1,28	4,47
Inverno	F04	25-0	0,1620	493,49	5,12	390,24	19,12	20,10	0,83
Inverno	F05	2400-1500	0,0020	1,01	0,01	0,84	0,01	0,01	0,00
Inverno	F05	1500-1100	0,0010	0,29	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00
Inverno	F05	1100-550	0,0030	1,31	0,00	1,20	0,02	0,00	0,00
Inverno	F05	550-150	0,0100	13,16	0,00	12,20	0,73	0,00	0,00
Inverno	F05	150-100	0,0400	74,43	0,00	64,00	4,00	0,01	0,00
Inverno	F05	100-50	0,0880	173,04	0,01	151,15	8,17	0,20	0,17
Inverno	F05	50-25	0,1570	766,63	4,74	729,04	9,57	0,59	0,78
Inverno	F05	25-0	0,3090	858,71	68,67	688,00	16,33	0,46	1,40
Inverno	F06	2400-1500	0,0000	0,22	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00

PÚBLICA

Inverno	F06	1500-1100	0,0020	0,55	0,00	0,50	0,02	0,00	0,00

(continua)

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet (m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Inverno	F06	1100-550	0,0060	1,15	0,00	1,03	0,01	0,00	0,00
Inverno	F06	550-150	0,0080	7,45	0,00	6,27	0,29	0,00	0,00
Inverno	F06	150-100	0,0670	106,78	0,00	94,06	2,61	0,14	0,12
Inverno	F06	100-50	0,0480	74,64	0,00	63,53	3,59	0,05	0,01
Inverno	F06	50-25	0,0970	442,20	0,46	408,12	5,57	0,38	0,38
Inverno	F06	25-0	0,0910	232,47	0,78	202,11	5,00	0,50	0,37
Inverno	F07	2400-1500	0,0000	0,27	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00
Inverno	F07	1500-1100	0,0010	0,32	0,00	0,29	0,01	0,00	0,00
Inverno	F07	1100-550	0,0040	1,97	0,00	1,84	0,02	0,00	0,01
Inverno	F07	550-150	0,0010	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Inverno	F07	150-100	0,0400	39,50	0,00	33,70	2,94	0,08	0,02
Inverno	F07	100-50	0,1560	347,70	0,00	307,20	16,48	0,88	0,30
Inverno	F07	50-25	0,1660	326,16	0,80	276,48	22,24	0,44	0,52
Inverno	F07	25-0	0,2310	334,69	0,85	295,38	16,62	0,00	2,88
Inverno	F08	2400-1500	0,0020	1,61	0,00	1,28	0,10	0,08	0,00
Inverno	F08	1500-1100	0,0050	0,63	0,00	0,61	0,00	0,00	0,00
Inverno	F08	1100-550	0,0050	0,88	0,00	0,82	0,01	0,00	0,00
Inverno	F08	550-150	0,0130	2,94	0,00	2,13	0,23	0,00	0,00
Inverno	F08	150-100	0,0870	68,00	0,00	59,04	3,13	0,09	0,00
Inverno	F08	100-50	0,1530	206,17	0,00	170,67	10,00	18,29	0,13
Inverno	F08	50-25	0,1750	279,42	0,00	231,93	14,77	13,13	0,37
Inverno	F08	25-0	0,1120	225,92	0,50	184,62	17,85	3,73	0,18

PÚBLICA

Inverno	G01	25-0	0,8440	1062,92	146,70	759,37	35,96	34,88	71,19
Inverno	G02	100-50	0,1180	273,18	0,05	264,26	3,48	0,05	0,77

(continua)

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet (m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Inverno	G02	50-25	0,4550	1923,45	59,60	1797,86	30,29	0,00	24,18
Inverno	G02	25-0	0,6620	2912,71	893,28	1815,60	108,03	43,12	22,24
Inverno	G03	100-50	0,0320	159,54	0,94	136,77	3,65	1,99	1,44
Inverno	G03	50-25	0,0930	333,16	1,84	274,73	12,88	6,24	12,75
Inverno	G03	25-0	0,1530	327,80	52,50	234,00	11,50	0,19	3,03
Inverno	G04	550-150	0,0260	9,04	0,00	7,20	0,39	0,00	0,00
Inverno	G04	150-100	0,0140	19,52	0,00	16,63	0,44	0,00	0,00
Inverno	G04	100-50	0,0730	119,92	0,05	109,71	5,71	0,46	0,21
Inverno	G04	50-25	0,0860	233,64	0,06	223,09	3,17	1,37	0,32
Inverno	G04	25-0	0,1000	323,19	0,82	292,57	10,21	1,94	0,33
Inverno	G05	1500-1100	0,0070	9,25	0,04	8,00	0,43	0,22	0,02
Inverno	G05	1100-550	0,0100	5,79	0,00	5,28	0,02	0,00	0,00
Inverno	G05	550-150	0,0050	9,10	0,00	8,71	0,08	0,00	0,00
Inverno	G05	150-100	0,0270	65,22	0,05	60,58	0,69	0,12	0,14
Inverno	G05	100-50	0,1550	1210,33	0,22	1158,95	27,53	3,47	0,76
Inverno	G05	50-25	0,1110	495,28	20,53	431,50	11,47	9,66	1,22
Inverno	G05	25-0	0,1700	900,70	41,60	745,24	35,56	34,49	8,71
Inverno	G06	2400-1500	0,0010	0,42	0,00	0,39	0,01	0,01	0,00
Inverno	G06	1500-1100	0,0040	0,97	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00
Inverno	G06	1100-550	0,0070	11,54	0,00	11,43	0,02	0,00	0,00
Inverno	G06	550-150	0,0060	6,17	0,00	6,01	0,00	0,04	0,00

PÚBLICA

Inverno	G06	150-100	0,0660	81,79	0,00	72,49	2,55	0,49	0,02
Inverno	G06	100-50	0,0650	220,30	0,00	185,55	4,36	4,53	0,10

continua

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet (m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Inverno	G06	50-25	0,0790	205,28	0,01	173,91	9,57	8,78	0,14
Inverno	G06	25-0	0,0670	224,09	0,07	186,55	9,28	8,94	0,13
Inverno	G07	2400-1500	0,0010	0,59	0,00	0,45	0,03	0,02	0,00
Inverno	G07	1500-1100	0,0010	0,17	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00
Inverno	G07	1100-550	0,0040	1,35	0,00	1,27	0,01	0,00	0,00
Inverno	G07	550-150	0,0090	12,69	0,00	9,75	0,52	0,00	0,00
Inverno	G07	150-100	0,0320	73,88	0,00	64,55	3,79	0,00	0,02
Inverno	G07	100-50	0,0760	289,89	0,00	263,82	7,69	3,02	0,09
Inverno	G07	50-25	0,0070	104,19	0,01	92,16	3,39	0,11	0,10
Inverno	G07	25-0	0,0760	661,77	0,14	633,90	5,48	10,38	0,04
Inverno	H01	25-0	0,7870	3822,19	588,65	3090,40	37,56	9,39	0,01
Inverno	H02	100-50	0,0680	101,33	0,01	91,65	2,40	0,07	0,00
Inverno	H02	50-25	0,2300	631,21	28,25	539,68	8,43	7,42	7,06
Inverno	H02	25-0	0,2530	578,27	7,15	466,69	15,15	30,02	13,59
Inverno	H03	150-100	0,0390	63,09	0,03	52,51	3,26	0,59	0,12
Inverno	H03	100-50	0,0820	113,99	0,05	100,69	5,23	1,61	0,03
Inverno	H03	50-25	0,2270	410,91	4,22	325,57	16,70	20,87	0,15
Inverno	H03	25-0	0,1340	304,91	3,68	256,00	7,44	14,04	3,51
Inverno	H04	550-150	0,0370	17,95	0,00	16,55	0,24	0,00	0,00
Inverno	H04	150-100	0,0040	13,21	0,00	11,17	0,14	0,01	0,00
Inverno	H04	100-50	0,0850	113,23	0,00	104,51	2,51	0,25	0,04

PÚBLICA

Inverno	H04	50-25	0,1760	411,45	0,00	382,34	20,36	0,25	0,01
Inverno	H04	25-0	0,2460	519,11	0,00	494,19	16,83	0,63	0,00

(continua)

PÚBLICA

continuação

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet (m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Inverno	H05	2400-1500	0,0050	0,81	0,00	0,63	0,05	0,00	0,00
Inverno	H05	1500-1100	0,0020	0,35	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00
Inverno	H05	1100-550	0,0020	0,92	0,00	0,77	0,01	0,00	0,00
Inverno	H05	550-150	0,0160	16,64	0,00	12,86	0,48	0,00	0,01
Inverno	H05	150-100	0,0370	43,36	0,00	35,98	3,58	0,02	0,02
Inverno	H05	100-50	0,0560	84,82	0,00	72,40	4,20	0,05	0,05
Inverno	H05	50-25	0,0550	71,58	0,02	58,00	3,06	0,05	0,08
Inverno	H05	25-0	0,0510	118,10	0,05	104,80	4,75	0,10	0,00
Inverno	H06	2400-1500	0,0010	0,15	0,00	0,08	0,01	0,00	0,00
Inverno	H06	1500-1100	0,0010	0,22	0,00	0,19	0,01	0,00	0,00
Inverno	H06	1100-550	0,0020	0,61	0,00	0,55	0,01	0,00	0,00
Inverno	H06	550-150	0,0090	5,22	0,00	3,79	0,50	0,00	0,00
Inverno	H06	150-100	0,0450	66,35	0,00	57,55	3,97	0,04	0,02
Inverno	H06	100-50	0,1660	204,35	0,00	186,18	5,87	0,13	0,59
Inverno	H06	50-25	0,1750	186,55	0,10	165,74	5,69	0,13	0,65
Inverno	H06	25-0	0,1270	186,24	0,17	153,83	14,53	0,31	0,45

PÚBLICA

Anexo VI-3: *Biomassa, abundância total e abundância dos principais grupos coletados em cada arrasto durante o verão na Bacia de Santos.*

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet(m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Verão	A01	50-25	0,427	1551,86	39,24	1377,52	66,29	9,90	24,38
Verão	A01	25-0	0,440	469,65	2,39	374,63	24,59	0,98	10,05
Verão	A02	50-25	0,504	982,84	106,99	725,97	74,99	29,85	15,16
Verão	A02	25-0	0,276	654,34	24,11	551,66	22,76	5,46	5,41
Verão	A03	100-50	0,191	963,05	0,76	908,39	24,39	3,77	0,56
Verão	A03	50-25	0,274	1090,47	0,19	966,19	26,84	0,13	0,05
Verão	A03	25-0	0,361	674,67	6,52	540,44	39,70	0,04	0,00
Verão	A04	100-50	0,136	1276,17	157,83	571,65	25,17	164,04	1,96
Verão	A04	50-25	0,212	470,27	0,30	424,00	12,83	0,08	0,13
Verão	A04	25-0	2,557	1456,64	15,52	1167,36	121,60	0,00	0,04
Verão	A05	550-150	0,011	10,64	0,01	9,30	1,01	0,00	0,02
Verão	A05	150-100	0,020	29,45	0,00	26,76	1,22	0,06	0,00
Verão	A05	100-50	0,093	402,82	0,00	389,69	2,82	4,98	0,07
Verão	A05	50-25	0,265	1355,43	0,76	1292,19	3,05	24,19	0,10
Verão	A05	25-0	0,396	763,24	0,60	696,32	8,72	31,68	0,04
Verão	A06	1500-1100	0,001	0,69	0,00	0,62	0,01	0,01	0,00
Verão	A06	1100-550	0,007	4,97	0,00	4,62	0,10	0,00	0,00
Verão	A06	550-150	0,014	4,88	0,00	3,85	0,66	0,00	0,00
Verão	A06	150-100	0,016	53,78	0,00	39,88	3,17	0,01	0,00
Verão	A06	100-50	0,028	135,62	0,03	124,04	6,60	0,35	0,00
Verão	A06	50-25	0,044	110,05	0,03	98,53	5,32	0,13	0,00
Verão	A06	25-0	0,104	468,11	17,53	422,13	8,43	9,11	0,26

(continua)

PÚBLICA

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet(m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Verão	B01	25-0	1,435	1715,58	59,77	1120,60	19,92	0,03	239,09
Verão	B02	50-25	0,633	1535,41	372,71	986,35	62,59	7,06	82,35
Verão	B02	25-0	2,019	693,00	0,61	564,07	28,20	0,42	72,68
Verão	B03	100-50	0,555	1220,36	196,92	971,49	27,90	0,31	0,13
Verão	B03	50-25	0,607	13762,73	64,86	13616,43	44,97	0,57	0,34
Verão	B03	25-0	0,299	425,00	9,12	360,19	35,72	0,30	0,02
Verão	B04	100-50	0,305	959,33	90,07	657,38	7,31	186,47	0,40
Verão	B04	50-25	0,351	1119,35	21,82	648,31	19,84	408,94	0,03
Verão	B04	25-0	0,394	706,33	10,15	449,64	25,23	182,15	0,46
Verão	B05	100-50	0,219	9996,83	0,02	9941,75	4,93	31,69	0,08
Verão	B05	50-25	1,562	121003,40	0,32	120858,60	2,81	70,65	0,04
Verão	B05	25-0	0,361	519,58	0,49	431,16	17,05	49,26	0,01
Verão	B06	550-150	0,010	8,54	0,01	6,47	0,65	0,00	0,01
Verão	B06	150-100	0,028	76,21	0,00	57,32	4,38	0,83	0,17
Verão	B06	100-50	0,049	108,31	0,00	84,55	4,84	3,52	0,28
Verão	B06	50-25	0,155	143,06	0,22	91,65	9,58	19,56	0,17
Verão	B06	25-0	0,212	756,93	14,00	643,76	14,94	33,41	0,53
Verão	B07	1100-550	0,005	3,76	0,00	3,45	0,05	0,00	0,00
Verão	B07	550-150	0,008	9,82	0,00	8,22	1,00	0,00	0,07
Verão	B07	150-100	0,057	92,92	0,00	71,16	5,47	3,45	0,26
Verão	B07	100-50	0,023	74,34	0,20	55,61	1,72	7,48	0,39
Verão	B07	50-25	0,097	1116,00	4,14	1051,43	7,29	24,71	0,14
Verão	B07	25-0	0,091	119,86	0,71	79,24	9,14	10,00	0,05

(continua)

PÚBLICA

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet(m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Verão	B08	2400-1500	0,004	0,28	0,00	0,22	0,01	0,00	0,00
Verão	B08	1500-1100	0,003	0,62	0,00	0,52	0,01	0,00	0,00
Verão	B08	1100-550	0,006	7,36	0,00	7,07	0,06	0,00	0,00
Verão	B08	550-150	0,007	5,69	0,00	4,35	0,54	0,00	0,00
Verão	B08	150-100	0,049	108,80	0,00	92,10	5,80	1,27	0,93
Verão	B08	100-50	0,057	95,14	0,00	75,76	3,20	2,51	0,84
Verão	B08	50-25	0,071	43,29	0,07	34,29	1,29	1,00	0,43
Verão	B08	25-0	0,965	43,09	0,00	34,91	1,45	0,27	0,09
Verão	C01	25-0	0,565	733,69	334,77	307,69	16,92	15,54	16,31
Verão	C02	50-25	1,196	175,25	14,22	128,89	11,33	0,58	0,14
Verão	C02	25-0	0,309	1447,63	968,00	424,00	28,25	13,63	0,06
Verão	C03	100-50	0,382	1163,81	0,02	1149,58	1,00	0,13	0,00
Verão	C03	50-25	0,604	51585,79	1,49	51492,57	0,34	23,31	0,00
Verão	C03	25-0	0,351	866,14	139,52	640,00	8,88	26,08	0,02
Verão	C04	100-50	0,270	540,85	0,15	512,00	3,11	16,59	0,00
Verão	C04	50-25	0,361	1375,96	2,26	1332,71	9,82	6,18	0,07
Verão	C04	25-0	0,215	293,71	28,22	228,07	13,82	0,00	0,04
Verão	C05	150-100	0,043	22,89	0,00	18,80	0,86	0,13	0,00
Verão	C05	100-50	0,029	126,55	0,12	105,37	7,56	6,88	0,07
Verão	C05	50-25	0,065	733,46	0,09	710,78	3,15	0,44	0,00
Verão	C05	25-0	0,109	614,82	83,65	480,56	14,32	1,65	0,02
Verão	C06	550-150	0,016	50,65	0,00	48,64	1,45	0,00	0,03
Verão	C06	150-100	0,031	48,91	0,00	42,40	2,73	0,04	0,00

(continua)

PÚBLICA

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet(m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Verão	C05	100-50	0,029	126,55	0,12	105,37	7,56	6,88	0,07
Verão	C05	50-25	0,065	733,46	0,09	710,78	3,15	0,44	0,00
Verão	C05	25-0	0,109	614,82	83,65	480,56	14,32	1,65	0,02
Verão	C06	550-150	0,016	50,65	0,00	48,64	1,45	0,00	0,03
Verão	C06	150-100	0,031	48,91	0,00	42,40	2,73	0,04	0,00
Verão	C06	100-50	0,091	368,94	0,00	310,04	10,31	8,71	0,00
Verão	C06	50-25	0,207	402,41	0,41	331,03	13,17	3,52	1,38
Verão	C06	25-0	0,275	1040,20	10,00	972,80	11,50	12,30	0,05
Verão	C07	1100-550	0,014	15,68	0,00	15,43	0,06	0,00	0,00
Verão	C07	550-150	0,011	10,22	0,00	8,95	0,36	0,01	0,00
Verão	C07	150-100	0,039	26,36	0,01	20,16	1,91	0,06	0,00
Verão	C07	100-50	0,167	414,32	0,02	312,32	11,68	36,48	0,12
Verão	C07	50-25	0,279	420,39	13,88	348,86	9,18	10,59	0,76
Verão	C07	25-0	0,209	764,67	10,47	631,47	11,53	28,80	0,67
Verão	C08	2400-1500	0,002	0,30	0,00	0,25	0,01	0,00	0,00
Verão	C08	1500-1100	0,002	0,41	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00
Verão	C08	1100-550	0,006	5,51	0,00	5,27	0,04	0,00	0,00
Verão	C08	550-150	0,015	15,68	0,00	14,06	0,74	0,01	0,04
Verão	C08	150-100	0,083	133,58	0,04	109,51	9,33	1,82	0,29
Verão	C08	100-50	0,176	259,71	0,05	224,78	3,27	3,51	0,71
Verão	C08	50-25	0,120	203,11	1,06	147,56	27,33	2,39	0,11
Verão	C08	25-0	0,104	1450,30	104,80	1305,60	7,60	4,65	0,25
Verão	D01	25-0	0,821	4611,41	1677,24	1871,45	32,83	104,83	0,00

(continua)

PÚBLICA

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet(m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Verão	D02	50-25	1,820	2782,24	50,34	2697,37	0,46	2,68	0,00
Verão	D02	25-0	1,845	98528,88	30508,14	67795,86	9,72	14,34	0,00
Verão	D03	100-50	0,267	2700,45	130,67	2261,33	8,42	170,67	0,02
Verão	D03	50-25	0,436	4725,81	312,00	3029,33	11,75	80,00	0,02
Verão	D03	25-0	0,308	1249,42	244,87	838,49	16,58	15,19	0,06
Verão	D04	100-50	0,155	542,00	0,28	528,79	4,79	2,41	0,00
Verão	D04	50-25	0,244	1801,17	3,37	1654,15	30,77	90,46	0,08
Verão	D04	25-0	0,421	838,64	53,62	501,62	17,95	186,81	0,07
Verão	D05	100-50	0,190	128,62	0,11	109,11	6,62	3,51	0,38
Verão	D05	50-25	0,136	366,71	1,85	263,38	16,00	67,69	0,15
Verão	D05	25-0	0,172	93,49	8,86	65,30	5,84	0,00	0,76
Verão	D06	550-150	0,009	4,57	0,00	3,83	0,42	0,03	0,01
Verão	D06	150-100	0,016	17,76	0,00	16,64	0,12	0,40	0,00
Verão	D06	100-50	0,038	63,57	0,16	54,86	2,16	3,87	0,01
Verão	D06	50-25	0,105	575,70	38,08	479,59	11,24	21,67	2,43
Verão	D06	25-0	0,198	930,54	110,48	700,63	64,67	0,00	0,02
Verão	D07	2400-1500	0,006	0,87	0,00	0,66	0,09	0,01	0,00
Verão	D07	1500-1100	0,022	7,08	0,00	6,74	0,06	0,00	0,00
Verão	D07	1100-550	0,006	3,34	0,00	2,08	0,48	0,00	0,00
Verão	D07	550-150	0,003	4,71	0,00	3,74	0,54	0,00	0,00
Verão	D07	150-100	0,052	85,77	0,00	75,34	2,35	0,26	0,60
Verão	D07	100-50	0,100	148,71	8,67	125,33	5,71	0,11	0,76
Verão	D07	50-25	0,153	417,22	43,75	340,25	10,23	5,37	1,39

(continua)

PÚBLICA

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet(m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Verão	D07	25-0	0,006	5,36	0,31	3,71	0,39	0,23	0,06
Verão	E01	25-0	0,234	2204,52	80,57	1115,43	4,75	16,00	0,00
Verão	E02	100-50	0,016	41,32	0,06	36,72	1,17	0,03	0,01
Verão	E02	50-25	0,046	3182,49	0,12	3170,19	1,90	1,40	0,00
Verão	E02	25-0	0,087	375,63	117,55	231,18	2,10	8,24	0,02
Verão	E03	150-100	0,011	13,98	0,00	12,39	0,56	0,00	0,00
Verão	E03	100-50	0,004	38,56	0,09	33,70	0,71	1,11	0,05
Verão	E03	50-25	0,004	38,28	0,21	33,10	0,79	0,79	0,00
Verão	E03	25-0	0,049	134,28	1,48	117,12	5,76	0,44	0,24
Verão	E04	550-150	0,010	10,05	0,00	8,78	0,56	0,00	0,00
Verão	E04	150-100	0,040	67,46	0,00	53,62	5,62	0,00	0,01
Verão	E04	100-50	0,028	97,11	0,00	64,62	4,78	0,50	0,17
Verão	E04	50-25	0,029	120,62	0,27	102,77	7,38	2,31	0,00
Verão	E04	25-0	0,057	416,17	1,30	384,00	7,65	2,30	0,04
Verão	E05	2400-1500	0,004	2,67	0,00	2,55	0,04	0,00	0,00
Verão	E05	1500-1100	0,002	1,27	0,00	1,24	0,02	0,00	0,00
Verão	E05	1100-550	0,010	8,09	0,00	7,83	0,05	0,00	0,00
Verão	E05	550-150	0,007	4,23	0,00	2,81	0,65	0,00	0,00
Verão	E05	150-100	0,026	9,94	0,00	0,90	3,45	0,05	0,11
Verão	E05	100-50	0,048	289,76	0,02	269,24	8,97	0,41	1,55
Verão	E05	50-25	0,067	134,49	3,04	108,94	7,40	1,21	0,17
Verão	E05	25-0	0,068	174,70	15,85	130,37	8,52	2,30	0,56
Verão	E06	2400-1500	0,003	0,67	0,00	0,56	0,03	0,00	0,00

(continua)

PÚBLICA

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet(m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Verão	E06	1500-1100	0,011	1,62	0,00	1,38	0,03	0,00	0,00
Verão	E06	1100-550	0,007	5,69	0,00	4,28	0,71	0,00	0,00
Verão	E06	550-150	0,001	0,35	0,00	0,20	0,07	0,00	0,00
Verão	E06	150-100	0,185	149,22	0,03	105,74	23,65	0,51	0,48
Verão	E06	100-50	0,019	35,08	0,13	25,72	3,24	0,71	0,08
Verão	E06	50-25	0,081	276,39	0,90	239,48	17,55	2,29	1,61
Verão	E06	25-0	0,030	176,56	0,72	156,16	6,44	1,12	0,32
Verão	E07	2400-1500	0,002	0,15	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
Verão	E07	1500-1100	0,001	0,14	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00
Verão	E07	1100-550	0,007	1,93	0,00	1,74	0,03	0,00	0,00
Verão	E07	550-150	0,011	2,89	0,00	1,37	0,49	0,00	0,00
Verão	E07	150-100	0,036	42,84	0,00	33,02	6,29	0,16	0,07
Verão	E07	100-50	0,041	72,16	0,01	60,14	1,69	0,00	0,67
Verão	E07	50-25	0,074	112,98	1,28	74,49	15,34	8,07	0,10
Verão	E07	25-0	0,053	339,48	5,65	310,15	6,38	1,71	2,10
Verão	E08	2400-1500	0,001	0,12	0,00	0,09	0,01	0,00	0,00
Verão	E08	1500-1100	0,001	0,07	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
Verão	E08	1100-550	0,005	1,35	0,00	1,23	0,02	0,00	0,00
Verão	E08	550-150	0,008	6,65	0,00	4,65	0,35	0,00	0,01
Verão	E08	150-100	0,035	32,51	0,00	27,49	1,49	0,04	0,14
Verão	E08	100-50	0,044	53,49	0,11	36,98	4,85	0,36	0,31
Verão	E08	50-25	0,099	75,13	1,92	48,33	8,75	0,63	0,04
Verão	E08	25-0	0,013	23,55	0,59	19,45	0,62	0,34	0,03

(continua)

PÚBLICA

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet(m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Verão	F01	25-0	0,146	16767,17	7606,86	9069,71	6,29	52,11	0,00
Verão	F02	50-25	0,031	73,24	1,58	56,73	2,45	4,27	0,00
Verão	F02	25-0	0,077	382,00	20,00	336,59	3,93	5,19	0,00
Verão	F03	150-100	0,011	58,46	0,00	54,97	0,77	0,08	0,00
Verão	F03	100-50	0,017	77,36	0,00	66,04	2,23	4,38	0,09
Verão	F03	50-25	0,087	253,76	10,80	194,56	8,00	18,24	0,04
Verão	F03	25-0	0,108	275,32	10,84	237,47	10,63	3,32	0,00
Verão	F04	550-150	0,008	8,53	0,00	7,00	0,48	0,02	0,00
Verão	F04	150-100	0,015	32,28	0,00	27,92	1,89	0,17	0,12
Verão	F04	100-50	0,062	326,67	0,05	284,72	7,65	0,40	0,96
Verão	F04	50-25	0,070	212,80	8,64	181,24	8,99	0,23	0,49
Verão	F04	25-0	0,119	321,10	10,24	245,07	40,59	0,63	0,18
Verão	F05	2400-1500	0,002	0,44	0,00	0,36	0,02	0,00	0,00
Verão	F05	1500-1100	0,003	0,76	0,00	0,73	0,01	0,00	0,00
Verão	F05	1100-550	0,005	1,49	0,00	1,30	0,03	0,00	0,00
Verão	F05	550-150	0,020	7,01	0,00	5,08	0,43	0,00	0,03
Verão	F05	150-100	0,033	71,72	0,00	55,44	7,44	0,75	0,61
Verão	F05	100-50	0,066	488,21	0,00	461,52	8,34	1,75	0,30
Verão	F05	50-25	0,085	223,27	2,33	187,15	10,61	1,58	0,17
Verão	F05	25-0	0,085	202,53	10,89	160,68	17,87	1,53	0,45
Verão	F06	2400-1500	0,001	0,00500	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Verão	F06	1500-1100	0,001	0,41	0,00	0,35	0,02	0,00	0,00
Verão	F06	1100-550	0,007	3,69	0,00	3,43	0,07	0,01	0,00

(continua)

PÚBLICA

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet(m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Verão	F06	550-150	0,005	11,39	0,00	9,11	0,23	0,00	0,00
Verão	F06	150-100	0,020	11,50	0,01	8,46	1,18	0,08	0,06
Verão	F06	100-50	0,044	58,03	0,01	48,54	5,66	0,08	0,00
Verão	F06	50-25	0,068	235,01	2,68	211,20	0,00	0,00	0,11
Verão	F06	25-0	0,066	1667,04	100,21	1536,00	13,79	6,37	0,84
Verão	F07	2400-1500	0,001	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Verão	F07	1500-1100	0,002	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
Verão	F07	1100-550	0,001	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Verão	F07	550-150	0,003	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Verão	F07	150-100	0,028	56,70	0,00	47,65	3,22	0,54	0,14
Verão	F07	100-50	0,048	229,13	0,01	204,80	6,70	1,88	0,73
Verão	F07	50-25	0,034	118,02	0,90	89,10	6,20	2,37	0,26
Verão	F07	25-0	0,070	64,18	2,67	38,06	6,97	0,94	0,06
Verão	F08	2400-1500	0,001	0,06	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Verão	F08	1500-1100	0,004	0,28	0,00	0,23	0,01	0,00	0,00
Verão	F08	1100-550	0,018	2,40	0,00	2,06	0,07	0,01	0,00
Verão	F08	550-150	0,027	34,13	0,00	23,76	2,84	0,00	0,00
Verão	F08	150-100	0,142	123,21	0,00	101,65	8,00	0,15	0,24
Verão	F08	100-50	0,261	418,48	0,23	333,33	23,67	4,46	2,17
Verão	F08	50-25	0,235	793,13	6,09	723,48	5,13	5,87	1,61
Verão	F08	25-0	0,248	770,29	108,24	568,47	36,24	5,82	2,29
Verão	G01	25-0	1,252	5522,34	552,96	4751,36	17,12	130,56	0,00
Verão	G02	100-50	0,069	453,87	0,04	442,81	3,71	0,00	0,00

(continua)

PÚBLICA

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet(m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Verão	G02	50-25	0,144	432,49	0,11	373,93	18,52	0,15	0,00
Verão	G02	25-0	0,432	57895,64	405,10	57253,98	47,82	2,48	0,00
Verão	G03	100-50	0,069	258,25	7,32	238,64	4,95	0,60	0,00
Verão	G03	50-25	0,104	516,41	284,94	160,28	7,10	42,02	0,02
Verão	G03	25-0	0,302	2972,54	966,31	1788,39	25,24	120,79	0,00
Verão	G04	550-150	0,012	13,11	0,00	10,67	0,93	0,00	0,00
Verão	G04	150-100	0,018	67,36	0,02	61,59	1,09	0,00	0,00
Verão	G04	100-50	0,038	150,63	0,00	133,02	5,84	1,69	0,00
Verão	G04	50-25	0,110	456,78	232,35	164,17	9,57	16,26	0,11
Verão	G04	25-0	0,135	911,22	19,03	823,35	14,49	26,60	0,35
Verão	G05	1500-1100	0,002	1,56	0,00	1,53	0,01	0,00	0,00
Verão	G05	1100-550	0,004	1,44	0,00	1,32	0,01	0,00	0,00
Verão	G05	550-150	0,010	10,17	0,00	8,91	0,18	0,00	0,00
Verão	G05	150-100	0,044	44,87	0,00	40,73	0,83	0,00	0,00
Verão	G05	100-50	0,101	365,40	0,26	276,95	16,29	1,00	0,00
Verão	G05	50-25	0,187	2713,20	2,23	1241,60	22,00	21,00	0,10
Verão	G05	25-0	0,286	279,14	1,32	195,46	14,27	5,46	0,00
Verão	G06	2400-1500	0,001	0,11	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00
Verão	G06	1500-1100	0,001	0,07	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
Verão	G06	1100-550	0,003	1,26	0,00	1,16	0,02	0,00	0,00
Verão	G06	550-150	0,009	12,82	0,00	7,69	0,22	0,00	0,00
Verão	G06	150-100	0,021	98,81	0,00	88,75	1,23	0,25	0,01
Verão	G06	100-50	0,066	269,84	0,04	254,10	1,75	1,99	0,22

(continua)

PÚBLICA

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet(m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Verão	G06	50-25	0,003	7,74	0,00	6,77	0,14	0,19	0,00
Verão	G06	25-0	0,152	1335,84	2,00	1299,69	6,62	5,31	0,41
Verão	G07	2400-1500	0,002	0,12	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Verão	G07	1500-1100	0,001	0,15	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00
Verão	G07	1100-550	0,004	0,47	0,00	0,35	0,01	0,00	0,00
Verão	G07	550-150	0,006	6,66	0,00	4,56	0,26	0,00	0,00
Verão	G07	150-100	0,029	55,79	0,00	46,66	1,42	0,03	0,00
Verão	G07	100-50	0,066	220,55	0,05	198,94	5,49	0,59	0,01
Verão	G07	50-25	0,158	728,24	4,06	655,52	12,73	6,30	0,08
Verão	G07	25-0	0,148	1254,72	4,37	1180,74	16,33	6,65	0,01
Verão	H01	25-0	0,601	8280,02	373,41	7760,84	49,56	11,79	0,00
Verão	H02	100-50	0,157	515,24	0,40	501,86	4,55	0,28	0,00
Verão	H02	50-25	0,372	2180,20	384,00	1697,68	14,42	56,00	0,00
Verão	H02	25-0	1,213	13434,66	7084,97	6088,65	39,35	118,49	0,00
Verão	H03	150-100	0,132	454,04	0,03	405,10	22,51	0,18	0,00
Verão	H03	100-50	0,295	947,35	0,16	877,71	7,22	24,73	0,01
Verão	H03	50-25	0,447	3072,73	537,86	2316,93	36,53	142,22	0,00
Verão	H03	25-0	0,290	1310,04	10,32	993,28	10,32	101,12	0,02
Verão	H04	550-150	0,017	354,39	0,00	339,35	4,56	0,00	0,00
Verão	H04	150-100	0,036	23,34	0,00	14,19	1,03	0,01	0,00
Verão	H04	100-50	0,071	140,98	0,10	125,81	4,68	0,96	0,86
Verão	H04	50-25	0,168	900,52	7,11	507,62	16,00	18,05	7,25
Verão	H04	25-0	0,361	3010,48	39,43	2709,98	21,33	41,05	1,55

continua

PÚBLICA

Campanha	Estação	Profundidade dos estratos da multinet(m)	Biomassa total (g/m³)	Abundância (ind/m³)					
				Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida
Verão	H04	25-0	0,361	3010,48	39,43	2709,98	21,33	41,05	1,55
Verão	H05	2400-1500	0,003	1,40	0,00	1,23	0,03	0,02	0,00
Verão	H05	1500-1100	0,006	7,30	0,00	7,23	0,01	0,01	0,01
Verão	H05	1100-550	0,018	155,82	0,00	155,26	0,38	0,00	0,00
Verão	H05	550-150	0,023	12,65	0,00	9,88	1,18	0,00	0,00
Verão	H05	150-100	0,048	285,22	0,00	257,13	8,11	7,40	0,11
Verão	H05	100-50	0,072	268,56	0,04	231,00	4,69	3,91	2,01
Verão	H05	50-25	0,294	496,73	1,56	415,03	12,73	6,91	3,39
Verão	H05	25-0	0,282	262,64	5,10	178,02	9,75	18,21	8,83
Verão	H06	2400-1500	0,001	0,08	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
Verão	H06	1500-1100	0,003	4,21	0,00	4,18	0,00	0,00	0,00
Verão	H06	1100-550	0,018	17,46	0,00	17,29	0,07	0,00	0,00
Verão	H06	550-150	0,015	14,60	0,00	9,48	0,62	0,00	0,00
Verão	H06	150-100	0,047	45,92	0,00	32,86	3,68	0,53	0,00
Verão	H06	100-50	0,089	126,00	0,05	78,15	2,76	1,92	0,26
Verão	H06	50-25	0,175	490,94	2,06	268,19	9,60	0,79	0,13
Verão	H06	25-0	0,149	759,43	0,49	504,06	7,50	0,45	0,29

PÚBLICA

Anexo VII-1: *Levantamento taxonômico das larvas de peixes coletadas durante o inverno e o verão na Bacia de Santos. Ab= Abundância (larvas/m³). FO%= Frequência de ocorrência.*

Ordem	Família	Gênero/Espécie	Inverno		Verão	
			Ab	FO%	Ab	FO%
Anguilliformes			2.08	1.8	12.55	5.0
	Albulidae					
		Albula vulpes	6.22	1.8		
	Notacanthidae					
		(Tiluropsis)	3.83	1.8		
	Congridae				11.97	3.3
		Ariosoma sp.			3.81	1.7
		Ariosoma balearicum	28.52	5.5		
		Bathycongrus sp.	3.62	1.8		
		Conger sp.			3.37	1.7
		Heteroconger sp.	6.71	1.8	10.48	1.7
	Muraenidae				9.51	3.3
		Gymnothorax sp.			7.25	3.3
	Ophichthidae		1.04	1.8		
		Ophichthidae spp	42.35	10.9		
		Ophichthinae sp.			7.14	5.0
		Letharchus sp.			17.65	5.0
		Myrophis sp.			2.36	1.7
		Ophichthus sp1	1.86	1.8	40.15	6.7
		Ophichthus gomesii			6.54	3.3
		Ophichthus menezesi	32.96	7.3		
		Saurenchelys sp.	5.33	1.8		
	Nemichthidae					
		Nemichthys sp	19.27	3.6	8.84	3.3
		Serrivomer sp.	9.34	3.6		
Clupeiformes					3.83	3.3
	Engraulidae		186.37	23.6	290.54	25.0
		Engraulis anchoita	224.11	21.8	659.78	33.3
	Clupeidae		97.78	5.5	286.82	18.3
		Sardinella brasiliensis	84.43	9.1	648.99	28.3
		Harengula jaguana	2.77	1.8	6.99	5.0
		Opisthonema oglinum			4.23	1.7
Argentiniformes						
	Argentinidae					
		Argentina striata	40.50	9.1	12.76	5.0
		Glossanodon pygmaeus			13.44	5.0
Stomiiformes			16.91	7.3	11.17	5.0
	Gonostomatidae		49.36	5.5		
		Cyclothone sp.	3193.94	49.1	4210.36	50.0
		Margrethia obtusirostra			20.29	3.3
		Sigmops elongatum	76.16	10.9	374.21	28.3

PÚBLICA

Sternoptychidae		10.84	5.5	12.81	3.3
	Maurolicus stehmanni	3569.60	38.2	1182.79	31.7
	Argyropelecus sp.	48.24	14.5	98.96	18.3
	Argyropelecus aculeatus	3.35	1.8	12.43	5.0
	Argyropelecus hemigymnus	6.91	3.6	16.57	6.7
	Argyropelecus sladeni	8.68	3.6	40.63	11.7
	Sternoptyx sp.	53.77	18.2	38.24	11.7
	Sternoptyx diaphana			1.78	1.7
	Valenciennellus tripunctulatus	75.23	14.5	85.76	23.3
Phosichthyidae		41.00	12.7	28.60	11.7
	Polichthys mauli	594.74	47.3	338.93	41.7
	Vinciguerria sp.	29.66	10.9		
	Vinciguerria attenuata	22.83	3.6		
	Vinciguerria nimbaria	183.15	27.3	406.38	43.3
	Vinciguerria poweriae	6.27	1.8	12.56	6.7
	Yarrella blackfordi			3.10	1.7
Stomiidae		7.66	3.6		
	Eustomias sp.	1.78	1.8	4.63	3.3
	Stomias sp	2.72	1.8	11.75	6.7
	Stomias affinis	1.56	1.8		
Idiacanthidae				8.00	3.3
	Idiacanthus atlanticus	4.32	1.8		
Astronesthidae					
	Astronesthes sp.			6.02	3.3
Chauliodontidae				2.75	1.7
Chauliodontidae	*Chauliodus minimus*	3.96	1.8		
Malacosteidae					
	Photostomias sp.			10.48	1.7
Aulopiformes					
Synodontidae					
	Saurida sp.			4.23	1.7
	Saurida brasiliensis	5.57	3.6	206.06	23.3
	Saurida caribbaea	89.54	16.4	43.73	6.7
	Synodus foetens			37.55	8.3
	Synodus intermedius			2.34	1.7
	Synodus synodus	3.90	1.8		
	Trachynocephalus myops	3.29	3.6	4.95	1.7
Chlorophthalmidae		2.31	1.8		
	Chlorophthalmus sp.	4.47	1.8		
	Chlorophthalmus agassizi			18.71	5.0
	Parasudis truculenta			15.15	5.0
Notosudidae		127.81	27.3		
	Scopelosaurus sp.			8.15	1.7
	Scopelosaurus argenteneus			6.22	1.7
	Scopelosaurus herwigi			3.80	1.7
	Scopelosaurus smithii			1.65	1.7

PÚBLICA

Evermannellidae					
	Cocorella atlantica	4.21	1.8	7.86	3.3
	Evermannella balbo	23.34	9.1		
	Evermannella melanoderma			27.57	5.0
	Odontoostomops normalops			2.63	1.7
Scopelarchidae		21.34	7.3	6.83	1.7
	Scopelarchus analis			46.31	8.3
Paralepididae		27.03	12.7	65.70	8.3
	Anotopterus pharao			25.54	8.3
	Lestidiopis affinis	4.72	3.6		
	Lestidiopis jayakari	15.79	7.3		
	Lestidiopis mirabilis	3.53	1.8		
	Lestidium atanticum	38.46	12.7	25.22	11.7
	Lestrolepis intermedia	18.75	5.5	40.94	15.0
	Macroparalepis brevis	5.44	1.8		
	Magnisudis atlantica	38.22	14.5		
	Stemonosudis intermedia	2.55	1.8	1.72	1.7
	Stenosudis rothschildi	3.94	1.8		
	Sudis sp.	5.55	1.8		
	Sudis atrox	1.83	1.8	10.62	5.0
	Sudis hyalina			12.35	1.7
	Uncisudis advena			21.64	10.0
Alepsauridae					
	Alepsaurus sp.	3.52	1.8		
	Alepisaurus ferox	4.32	1.8	8.75	3.3
Myctophiformes					
Myctophidae		387.19	40.0	2803.66	55.0
	Benthosema suborbitale	78.15	16.4	1294.06	41.7
	Centrobranchus nigroocellatus	22.71	5.5	5.18	3.3
	Ceratoscopelus madeirensis	45.84	7.3		
	Ceratoscopelus warmingii	34.74	7.3		
	Diaphus spp	1118.95	60.0	4502.98	68.3
	Electrona risso	3.07	1.8		
	Hygophum spp	274.60	32.7	389.12	36.7
	Hygophum reinhardtii	95.77	23.6	264.12	33.3
	Lampadena sp.	5.69	1.8	22.81	5.0
	Lampadena luminosa	4.23	1.8		
	Lampadena urophaos (atlanticum)	2.31	1.8	23.91	10.0
	Lampanyctus spp	139.70	27.3	86.88	20.0
	Lampanyctus alatus	7.23	1.8		
	Lampanyctus tenuiformis	9.17	1.8		
	Lepidophanes sp.	11.03	1.8		
	Lepidophanes gaussi	4.81	3.6		
	Lepidophanes guentheri	108.60	18.2	438.43	35.0
	Lobianchia gemellarii			41.96	6.7

PÚBLICA

	Myctophum spp	2.95	1.8	8.52	1.7
	Myctophum affine	820.96	41.8	808.64	46.7
	Myctophum asperum	12.65	3.6	7.36	1.7
	Myctophum nitidulum	20.99	5.5	19.32	5.0
	Myctophum obtusirostre	37.35	12.7	51.03	13.3
	Myctophum selenops	16.66	7.3	117.18	18.3
	Nannobrachium spp			6.35	5.0
	Nannobrachium cuprarium			5.68	3.3
	Notolychnus valdiviae	54.32	12.7	609.61	28.3
	Notoscopelus caudispinosus	30.35	10.9	3.17	1.7
	Symbolophorus rufinus			3.87	1.7
Lampriformes					
Lamprididae					
	Lampris guttatus	4.21	1.8	36.19	3.3
Polymixiiformes					
Polymixiidae					
	Polymixia lowei	10.20	5.5	30.28	10.0
Gadiformes				16.44	6.7
Bathygadidae&Macrouridae		2.95	1.8	18.29	6.7
Merlucciidae					
	Merluccius albidus			22.72	5.0
	Merluccius bilinearis			7.63	3.3
	Merluccius hubbsi	6.22	1.8		
	Urophycis sp.	19.31	7.3		
Moridae		13.41	1.8		
	Gadella imberbis	14.27	5.5		
Bregmacerotidae					
	Bregmaceros atlanticus	283.67	38.2	430.02	38.3
	Bregmaceros cantori	1113.44	41.8	363.30	26.7
	Bregmaceros nsp.	5.27	3.6	4.68	1.7
Holocentriformes					
Holocentridae		1.42	1.8	1.22	1.7
	Holocentrus adscensionis			3.82	1.7
Trachichthyiformes					
Trachichthyidae		3.40	1.8		
Beryciformes					
Cetomimidae					
	Eutaeniophorus festivus			4.46	1.7
	Cetomimidae sp1			4.15	1.7
	Cetomimidae sp2			3.78	1.7
Beryciformes					
Melamphaidae					
	Melaphaes simus	18.21	5.5		
	Poromitra crassiceps			3.81	1.7
	Poromitra megalops	2.13	1.8		
Berycidae					

PÚBLICA

	Beryx sp.			3.82	1.7
Ophidiiformes					
Carapidae					
	Echiodon dawsoni	12.53	1.8		
Ophidiidae		2.08	1.8	23.10	3.3
	Brotulinae	8.46	1.8		
	Lepophidium sp.	3.42	1.8	11.65	3.3
	Ophidion spp	10.06	7.3	24.69	8.3
	Ophidion nocomis	2.19	1.8	10.10	3.3
	Otophidium sp.			3.46	1.7
Kurtiformes					
Apogonidae					
	Apogon sp.	3.52	1.8		
Gobiiformes					
Eleotridae		3.57	3.6		
Gobiidae		4.98	1.8	14.39	8.3
	Ctenogobius sp.	38.64	10.9	30.91	10.0
	Gobioides sp.			13.62	6.7
	Gobiosoma sp.			14.17	5.0
	Microgobius sp.	2.52	1.8		
Microdesmidae					
	Microdesmus sp.			3.98	1.7
Ptereleotridae				106.53	6.7
	Ptereleotris randalli	30.59	3.6		
Pomacentridae					
	Chromis sp.			4.30	3.3
Mugiliformes					
Mugilidae					
	Mugil sp.	56.21	12.7	9.74	5.0
Blenniiformes					
Dactyloscopidae					
	Dactyloscopus sp.	3.47	1.8		
Blenniidae		1.19	1.8	9.56	3.3
	Entomacrodus vomerinus			3.85	1.7
	Parablennius sp.	22.01	5.5		
Beloniformes				2.92	1.7
Exocoetidae					
	Prognichthys glaphyrae			5.14	1.7
Hemiramphidae					
	Hyporhamphus sp.			4.35	1.7
Carangiformes					
Coryphaenidae					
	Coryphaena equiselis	8.30	5.5		
	Coryphaena hippurus	8.15	3.6		
	Coryphaena hippurus			3.87	3.3
Carangidae				7.44	3.3

PÚBLICA

	Caranx sp.	5.84	3.6	1.40	1.7
	Carangoides sp.			7.92	3.3
	Chlorocombrus chrysurus	5.61	1.8	16.14	3.3
	Decapterus sp.			2.52	1.7
	Decapterus punctatus	41.16	10.9	12.87	5.0
	Oligoplites sp.	3.90	1.8		
	Pseudocaranx dentex	12.71	3.6		
	Selar crumenophthalmus			7.70	1.7
	Seriola lalandi	1.78	1.8	144.46	26.7
	Trachurus lathami	499.43	21.8		
Istiophoriformes					
Sphyraenidae					
	Sphyraena guachancho	7.30	3.6	6.33	3.3
	Sphyraena sphyraena	1.78	1.8		
Istiophoridae					
	Tetrapturus sp.			5.65	1.7
Pleuronectiformes				4.28	1.7
Paralichthyidae		13.88	7.3	37.72	6.7
	Etropus crossotus	57.73	12.7	192.61	25.0
	Citharichthys spilopterus	5.61	1.8		
	Syacium papillosum	71.54	7.3	524.47	30.0
Bothidae				1.22	1.7
	Bothus sp.			36.29	15.0
	Bothus ocellatus	15.15	5.5	180.06	30.0
	Chascanopsetta danae			5.14	1.7
Cynoglossidae				3.32	1.7
	Symphurus spp			5.71	3.3
	Symphurus diomedeanus			3.27	1.7
	Symphurus ginsburgi	6.71	1.8	9.76	3.3
	Symphurus jenynsi			13.84	5.0
	Symphurus kyaropterygium	5.29	1.8	18.04	6.7
	Symphurus tessellatus	8.31	1.8	3.46	1.7
	Symphurus trewavasae			97.92	13.3
	Symphurus spp	2.95	3.6		
Syngnathiformes					
Macrorhamphosidae		2.04	1.8		
	Macroramphosus solopax	23.26	1.8		
Syngnathiformes					
Fistulariidae					
	Fistularia tabacaria			11.05	1.7
Dactylopteridae					
	Dactylopterus volitans	2.04	1.8	282.34	25.0
Callionymiformes					
Callionymidae					
	Foetorepus agassizii			3.76	1.7
	Paradiplogrammus baird			17.88	3.3

PÚBLICA

Scombriformes					
Gempylidae		17.92	7.3	4.93	3.3
	Diplospinus multistriatus	15.58	5.5		
	Gempylus serpens	25.72	7.3	14.23	8.3
	Lepidocybium flavobrunneum	1.39	1.8		
	Nealotus tripes	2.15	1.8		
	Nesiarchus nasutus	4.06	3.6	3.89	3.3
	Thyrsitops lepidopoides	314.74	21.8	70.13	10.0
Trichiuridae					
	Benthodesmus sp.	29.00	5.5		
	Benhodesmus elongatus	21.38	5.5	12.65	8.3
	Benthodesmus tenuis	3.32	1.8	13.43	5.0
	Lepidopus altifrons	23.07	5.5	23.97	6.7
	Trichiurus lepturus	44.77	9.1	24.90	5.0
Scombridae		1.39	1.8	17.29	6.7
	Allothunnus fallai	67.82	9.1		
	Auxis sp.	142.26	16.4	469.89	33.3
	Euthynnus alletteratus			7.69	1.7
	Katsuwonus pelamis	11.31	7.3	46.44	10.0
	Sarda sarda	3.42	1.8		
	Scomber colias	56.54	10.9	8.34	5.0
	Scomberomorus sp.	18.30	5.5		
	Scomberomorus regalis			1.73	1.7
	Thunnus sp.	2.52	1.8	47.12	8.3
Nomeidae					
	Cubiceps sp.	3.40	1.8	18.96	6.7
	Cubiceps pauciradiatus	14.86	5.5	245.19	28.3
	Nomeus gronovii	4.31	3.6		
	Psenes cyanophrys	1.39	1.8		
	Psenes sp.	11.52	1.8		
Ariommatidae					
	Ariomma bondi	279.48	29.1	385.57	31.7
Stromateidae					
	Peprilus paru	1.76	1.8		
Trachiniformes					
Chiasmodontidae					
	Chiasmodon niger	6.68	1.8		
Percophidae		19.23	5.5		
	Bembrops heterurus	18.84	3.6		
Uranoscopidae					
	Astroscopus sp.	5.61	1.8	1.73	1.7
Labriformes					
Labridae		6.99	3.6	1.65	1.7
	Talassoma noronhanum	18.69	7.3		
	Xyrichtys sp.			37.59	3.3
Scaridae		1.76	1.8	26.29	8.3

PÚBLICA

	Cryptotomus roseus	10.06	5.5	7.48	3.3
	Scarus sp.			6.16	3.3
	Sparisoma sp.	72.75	20.0	30.37	15.0
Perciformes					
Gerreidae		21.33	5.5	18.25	6.7
	Eucinostomus sp.	18.99	10.9	24.82	10.0
Howellidae		21.65	9.1		
	Bathysphyraenops sp.			2.75	1.7
	Howella sp.	26.54	7.3	17.47	8.3
Acropomatidae					
	Synagrops sp.	5.76	1.8		
	Synagrops belluss	7.63	1.8	25.78	8.3
	Synagrops spinosus	6.68	1.8	12.35	3.3
Mullidae		46.75	3.6	5.10	1.7
	Upeneus parvus	15.44	5.5		
Serranidae		6.74	3.6	93.10	10.0
	Anthias sp.1	12.29	5.5	18.53	5.0
	Anthias menezesi	8.45	3.6		
	Althias nicholsi			2.65	1.7
	Baldwinella vivanus	1.78	1.8		
	Diplectrum sp.	15.42	1.8	7.79	1.7
	Dules auriga	28.65	9.1	37.50	6.7
	Epinephelinae	38.52	5.5	12.59	8.3
	Epinephelus sp.			4.28	1.7
	Hemanthias vivanus			5.74	1.7
	Liopropoma sp.	1.42	1.8		
	Mycteroperca sp.	8.13	5.5	4.23	1.7
	Pronotogrammus martinicensis	8.08	3.6		
	Pseudogramma gregoryi	1.68	1.8		
	Serranus sp.	69.47	18.2	98.19	13.3
Pomatomidae					
	Pomatomus saltatrix	34.60	10.9		
Bramidae		3.47	1.8		
	Brama dussumieri	2.10	1.8	2.89	1.7
	Bramidae sp1.	6.31	3.6		
Chaetodontidae		6.02	3.6		
	Chaetodon sedentarius	2.10	1.8		
Pomacanthidae		1.42	1.8		
	Centropyge aurantonotus	10.51	5.5		
Priacanthidae				11.34	5.0
Malacanthidae					
	Caulolatilus chrysops	21.60	7.3	8.83	3.3
	Malacanthus plumieri	2.10	1.8		
Haemulidae		104.86	3.6	33.08	3.3
Lutjanidae				3.48	1.7
	Pristipomoides aquilonaris			4.78	3.3

PÚBLICA

	Rhomboplites aurorubens			1.65	1.7
Scorpaeniformes					
Scorpaenidae		2.67	1.8	3.66	1.7
	Pontinus sp.			50.90	8.3
	Scorpaena sp.	23.97	9.1	9.50	3.3
	Scorpanodes sp.	2.67	1.8	6.05	5.0
Triglidae		51.54	12.7	153.27	28.3
	Bellator brachychir	28.41	10.9	3.27	1.7
	Prionotus sp.	8.50	1.8	21.97	6.7
Acanthuriformes					
Sciaenidae		58.11	14.5	8.07	3.3
	Bardiella ronchus	28.06	9.1	32.44	5.0
	Cynoscion spp	70.23	9.1	86.06	8.3
	Macrodon ancylodon			5.18	1.7
	Menticirrhus sp.	49.02	3.6	8.17	3.3
	Stellifer sp.			9.82	1.7
	Stellifer rastrifer	15.59	1.8		
Luvaridae					
	Luvarus imperialis	1.97	1.8		
Acanthuridae					
	Acanthurus sp.	7.44	1.8		
Spariformes					
Sparidae		14.75	3.6		
	Calamus sp.	3.52	1.8	3.60	3.3
	Pagrus pagrus	99.78	12.7		
Caproiformes					
Caproidae					
	Antigonia capros			80.60	11.7
Lophiiformes					
Lophiidae					
	Lophius sp.	2.25	1.8		
Ogcocephalidae					
Lophiiformes	*Ogcocephalus sp.*			1.65	1.7
Melanocetidae					
	Melanocetus johnsonii	9.69	3.6		
	Melanocetus murrayi			4.15	1.7
Tetraodontiformes					
Ostraciidae				1.22	1.7
Balistidae					
	Balistes sp.			9.35	3.3
	Canthidermis sp.			6.81	1.7
Monacanthidae					
	Stephanolepis hispidus	14.51	3.6	2.34	1.7
Molidae					
	Mola sp.				
Tetraodontidae		15.63	3.6	5.51	1.7

PÚBLICA

Canthigaster sp.			6.61	3.3
Sphoeroides sp.	3.49	1.8	8.57	5.0
Sphoeroides pachygaster	48.54	9.1	7.57	1.7
NÃO IDENTIFICADAS	749.12	58.2	1417.96	86.7

PÚBLICA

Anexo VIII-1: *Biomassa (g.m³) e Abundância total (ind.100 m^{-3}) do epi- e hiponêuston coletado durante a campanha de inverno (2019) na Bacia de Santos.*

Estação	Epinêuston		Hiponêuston	
	Biomassa (g.m^{-3})	Abundância total (ind.100 m^{-3})	Biomassa (g.m^{-3})	Abundância total (ind.100 m^{-3})
A2	0,02	87,78	0,10	886,40
A7	0,01	25,48	0,01	129,51
B1	0,14	364,88	1,39	12848,65
B2	0,06	594,36	0,40	4051,86
B3	0,01	214,42	0,04	1870,52
B5	0,03	540,48	0,04	1283,35
B6	0,01	108,31	0,03	378,88
B8	0,01	13,50	0,01	31,50
C1	0,26	4824,36	1,15	13344,76
C2	0,73	4349,17	5,31	46725,06
C3	0,13	592,55	1,05	5986,63
C4	0,56	2858,64	7,08	28470,28
C6	0,00	454,94	0,07	2396,24
C7	0,01	149,07	0,03	304,95
D2	0,08	149,49	0,16	3049,83
D3	0,01	153,50	0,11	1603,18
D4	0,01	407,37	0,09	2881,59
D5	0,01	360,20	0,04	1040,59
D8	0,00	32,51	0,01	72,24
E1	0,04	828,58	0,03	1175,16
E3	0,02	671,21	0,04	832,34
E5	0,00	32,45	0,03	391,77
E6	0,01	188,51	0,02	386,00
E8	0,00	26,17	0,01	26,84
F1	0,50	536,32	0,03	921,83
F2	0,04	533,22	0,06	571,97
F3	0,29	6450,54	0,27	4290,47
F4	0,03	361,30	0,03	441,59
F5	0,03	717,48	0,06	1521,36
F6	0,01	204,84	0,13	425,28
F8	0,02	51,46	0,01	60,03
G1	1,84	37898,59	0,46	6512,92
G2	0,59	4911,38	1,34	8312,96
G3	0,10	4006,60	0,04	1331,33
G4	0,01	457,60	0,00	67,55
G5	0,02	413,50	0,01	170,65
G6	0,02	720,81	0,01	332,94
H1	0,18	73913,26	0,05	12392,22
H2	0,06	616,43	0,01	136,98
H3	0,00	439,62	0,03	871,63
H4	0,01	466,39	0,01	714,34

PÚBLICA

Anexo VIII-2: *Biomassa (g.m³) e Abundância total (ind.100m-3) do epi- e hiponêuston coletado durante a campanha de verão (2021/2022) na Bacia de Santos.*

Estação	Epinêuston		Hiponêuston	
	Biomassa ($g.m^{-3}$)	Abundância total ($ind.100m^{-3}$)	Biomassa ($g.m^{-3}$)	Abundância total ($ind.100\ m^{-3}$)
A1	0,08	3457,72	0,11	5250,39
A2	0,11	3005,49	0,15	6718,27
A5	0,01	433,45	0,03	680,09
A7	0,05	2775,49	0,07	3730,11
B1	1,43	14103,16	2,54	19491,79
B2	1,51	21446,07	1,63	64859,35
B3	0,19	10922,22	0,11	7267,64
B4	0,01	581,15	0,02	752,91
B5	0,18	2768,52	0,19	2095,13
B6	0,01	343,20	0,02	454,97
B7	0,01	582,41	0,01	706,97
B8	0,82	22708,65	0,88	29754,95
C1	0,71	16562,70	1,59	13570,52
C2	0,12	5016,61	0,17	10710,59
C3	0,07	1668,10	0,06	2598,89
C4	0,11	9616,21	0,14	17782,46
C5	0,02	916,13	0,02	603,38
C6	0,03	365,36	0,02	1051,65
C7	0,02	166,26	0,01	218,91
C8	0,02	310,09	0,01	294,91
D1	0,10	3935,90	0,09	5076,45
D2	0,19	31781,33	0,21	37504,88
D3	0,44	51390,19	0,70	20523,28
D5	0,06	3141,37	0,06	5611,80
E1	0,46	19777,39	0,42	37917,07
E2	0,02	653,42	0,02	456,82
E3	0,03	430,56	0,02	434,29
E5	0,04	1431,57	0,07	1823,27
F1	0,23	35849,02	0,37	50836,17
F2	0,03	3482,10	0,03	3102,32
F3	0,04	2920,77	0,04	3289,22
F5	0,03	307,41	0,03	586,96
F6	0,11	3495,47	0,06	1308,38
F7	0,04	369,20	0,05	572,77
F8	0,03	217,53	0,04	337,26
G1	0,24	78050,86	0,29	67715,04
G4	0,06	6266,08	0,07	5753,36
H1	0,68	8120,96	0,99	5206,49
H2	0,18	31930,84	0,05	2490,93

PÚBLICA

Anexo VIII-3: *Lista de táxons que ocorreram na Bacia de Santos durante as campanhas de amostragens de inverno (2019) e verão (2021/2022) com seus respectivos descritores.*

Lista de táxons			
Zoonêuston	**Descritores**	**Zoonêuston**	**Descritores**
Foraminifera	Orbigny, A. D. d'. (1826)	Decapoda	Latreille, 1802
Radiozoa		Caridea	Dana, 1852
Hydroidolina (Hidroidomedusae)	Collins, 2000	*Chlorotocus crassicornis*	A. Costa, 1871
Siphonophorae	Eschscholtz, 1829	Lysmatidae	Dana, 1852
Ctenophora	Eschscholtz, 1829	*Lysmata* sp.	Risso, 1816
Platyhelminthes (Turbellaria)	Minot, 1876	Processidae	Ortmann, 1896
Bivalvia (larvas)	Linnaeus, 1758	*Processa* sp.	Leach, 1815
Gastropoda	Cuvier, 1795	Callianassidae	Dana, 1852
Thecosomata (Pterópodes)	Cuvier, 1804	*Callianassa* sp.	Leach, 1814
Pterotracheoidea (Heterópodes)	Lamarck, 1812	Anomura	MacLeay, 1838
Cephalopoda (larvas)	Cuvier, G. 1795	*Upogebia* sp.	Leach, 1814
Polychaeta (larvas)	Grube, 1850	Penaeidae	Rafinesque, 1815
Copepoda	Milne Edwards, 1840	*Gennadas* sp.	Spence Bate, 1881
Calanoida	Sars G. O., 1903	*Parapenaeus* sp.	Smith, 1885
Acartia tonsa	Dana, 1849	Pasiphaeidae	Dana, 1852
Acartia longiremis	(Lilljeborg, 1853)	Sergestidae	Dana, 1852
Acartia danae	Giesbrecht, 1889	*Eusergestes similis*	(Hansen, 1903)
Haloptilus longicornis	Claus, 1863	*Petalidium sp.*	Spence Bate, 1881
Haloptilus mucronatus	Claus, 1863	Palaemonidae	Rafinesque, 1815
Calanidae	Dana, 1849	*Periclimenaeus* sp.	Borradaile, 1915
Calanoides carinatus	(Krøyer, 1849)	Hippidae	Latreille, 1825
Nannocalanus minor	(Claus, 1863)	Axiidae	Huxley, 1879
Neocalanus gracilis	Dana, 1852	Paguridae	Latreille, 1802
Neocalanus spp.	Sars G.O., 1925	Alpheidae	Rafinesque, 1815
Undinula vulgaris	(Dana, 1849)	*Alpheus* sp.	Fabricius, 1798
Candacia bispinosa	Claus, 1863	*Synalpheus* sp.	Spence Bate, 1888
Candacia bipinnata	(Giesbrecht, 1889)	Luciferidae	De Haan, 1849
Candacia curta	(Dana, 1849)	*Lucifer typus*	H. Milne Edwards, 1837
Candacia ethiopica	(Dana, 1849)	*Belzebub faxoni*	(Borradaile, 1915)
Candacia pachydactyla	(Dana, 1849)	Brachyura	Latreille, 1802
Candacia simplex	(Giesbrecht, 1889)	Ostracoda	Latreille, 1802
Candacia spp.	Dana, 1846	Chaetognatha	Latreille, 1802

(continuação Anexo VIII-3)

PÚBLICA

Zoonêuston	Descritores	Zoonêuston	Descritores
Centropages velificatus	(Oliveira, 1947)	*Krohnitta pacifica*	(Aida, 1897)
Centropages bradyi	Wheeler, 1900	*Pterosagitta draco*	(Krohn, 1853)
Clausocalanidae	Giesbrecht, 1893	*Ferosagitta hispida*	(Conant, 1895)
Clausocalanus arcuicornis	(Dana, 1849)	*Decipisagitta decipiens*	(Fowler, 1905)
Clausocalanus furcatus	(Brady, 1883)	*Flaccisagitta enflata*	(Grassi, 1881)
Pareucalanus sewelli	(Fleminger, 1973)	*Flaccisagitta hexaptera*	(d'Orbigny, 1836)
Euchaeta acuta	Giesbrecht, 1893	*Parasagitta friderici*	(Ritter-Záhony, 1911)
Euchaeta marina	(Prestandrea, 1833)	*Parasagitta tenuis*	(Conant, 1896)
Euchaeta paraconcinna	Fleminger, 1957	*Sagitta bipunctata*	Quoy & Gaimard, 1827
Euchaeta spp.	Philippi, 1843	*Sagitta helenae*	Ritter-Záhony, 1911
Lucicutia flavicornis	(Claus, 1863)	*Serratosagitta serratodentata*	(Krohn, 1853)
Lucicutia spp.	Giesbrecht, 1898	Echinodermata	Klein, 1778
Pleuromamma gracilis	Claus, 1863	Appendicularia	Fol, 1874
Pleuromamma abdominalis abdominalis	Lubbock, 1856)	*Oikopleura (Coecaria) fusiformis*	Fol, 1872
Acrocalanus longicornis	Giesbrecht, 1888	*Oikopleura (Vexillaria) dioica*	Fol, 1872
Calocalanus spp.	Giesbrecht, 1888	*Oikopleura (Coecaria) longicauda*	(Vogt, 1854)
Paracalanus aculeatus	Giesbrecht, 1888	*Oikopleura (Coecaria) fusiformis cornutogastra*	Aida, 1907
Paracalanus spp.	Boeck, 1865	Doliolida	Delage & Hérouard, 1898
Pontellidae	Dana, 1852-1853	*Dolioletta gegenbauri*	(Uljanin, 1884)
Labidocera spp.	Lubbock, 1853	*Doliolina (Doliolina) muelleri*	(Krohn, 1852)
Labidocera acutifrons	(Dana, 1849)	*Doliolum nationalis*	Borgert, 1893
Labidocera nerii	(Krøyer, 1849)	Salpida	Forbes, 1853
Labidocera fluviatilis	Dahl F., 1894	*Thalia democratica*	(Forskål, 1775)
Pontellopsis brevis	(Giesbrecht, 1889)	**Ictionêuston**	
Pontellopsis sp.	Brady, 1883	**Ovos de peixes**	**Descritores**
Pontella patagoniensis	(Lubbock, 1853)	Anguilliformes	
Pontellina plumata	(Dana, 1849)	Clupeidae	Cuvier, 1816
Pontella securifer	Brady, 1883	*Opisthonema oglinum*	(Lesueur, 1818)
Pontellina spp.	Dana, 1852-1853	Engraulidae	Gill, 1861
Rhincalanus cornutus	(Dana, 1849)	*Maurolicus stehmanni*	Parin & Kobyliansky, 1993
Scolecithricidae	Giesbrecht, 1892	Synodontidae	Gill, 1861
Scolecithrix danae	(Lubbock, 1856)	*Oxyporhamphus micropterus similis*	Bruun, 1935

PÚBLICA

(continuação Anexo VIII-3)

Zoonêuston	**Descritores**	**Ovos de peixes**	**Descritores**
Subeucalanus crassus	(Giesbrecht, 1888)	Trichiuridae	Rafinesque, 1810
Subeucalanus pileatus	(Giesbrecht, 1888)	Beloniformes	
Subeucalanus spp.	Geletin, 1976	**Larvas de peixes**	**Descritores**
Temora stylifera	(Dana, 1849)	Clupeidae	Cuvier, 1816
Temora turbinata	(Dana, 1849)	*Sardinella brasiliensis*	(Steindachner, 1879)
P.Calanus sp.	Leach, 1816	*Harengula jaguana*	Poey, 1865
Oithona plumifera	Baird, 1843	Clupeiformes	
Oithona setigera setigera	(Dana, 1849)	*Engraulis anchoita*	Hubbs & Marini, 1935
Oithona similis	Claus, 1866	*Cyclothone* sp.	Goode & Bean, 1883
Oithona spp.	Baird, 1843	*Myctophum* sp.	Rafinesque, 1810
Copilia mirabilis	Dana, 1852-1853	*Exocoetus obtusirostris*	Günther, 1866
Sapphirina spp.	Thompson J., 1829	*Lepidophanes* sp.	Fraser-Brunner, 1949
Sapphirina angusta	Dana, 1849	*Urophycis cirrata*	(Goode & Bean, 1896)
Sapphirina gastrica (cf.)	Giesbrecht, 1891	*Mugil* sp.	Linnaeus, 1758
Sapphirina nigromaculata	Claus, 1863	*Mugil curema*	Valenciennes, 1836
Agetus flaccus	Giesbrecht, 1891	Atherinopsidae	Fitzinger, 1873
Corycaeidae	Dana, 1852-1853	*Hirundichthys rondeletii*	(Valenciennes, 1847)
Corycaeus speciosus	Dana, 1849	*Coryphaena* sp.	Linnaeus, 1758
Ditrichocorycaeus amazonicus	(Dahl F., 1894)	*Coryphaena hippurus*	Linnaeus, 1758
Ditrichocorycaeus minimus (cf.)	(Dahl F., 1894)	*Decapterus punctatus*	(Cuvier, 1829)
Farranula gracilis	(Dana, 1849)	*Chloroscombrus chrysurus*	(Linnaeus, 1766)
Onchocorycaeus giesbrechti	Dahl F., 1894	*Macroramphosus scolopax*	Linnaeus, 1758
Oncaea venusta	Philippi, 1843	Gerreidae	Bleeker, 1859
Oncaea venusta venella	Farran, 1929	*Eucinostomus* sp.	Baird & Girard, 1855
Oncaea media	Giesbrecht, 1891	Mullidae	Rafinesque, 1815
Oncaea spp.	Philippi, 1843	*Upeneus parvus*	Poey, 1852
Miracia efferata	Dana, 1849	*Mullus auratus*	Jordan & Gilbert, 1882
Macrosetella gracilis	(Dana, 1846)	*Gempylus serpens*	Cuvier, 1829
Siphonostomatoida	Burmeister, 1835	*Allothunnus fallai*	Serventy, 1948
Cladocera	Latreille, 1829	*Haemulon* sp.	Cuvier, 1829
Evadne spinifera	P.E. Müller, 1867	*Haemulon plumierii*	(Lacepède, 1801)
Pseudevadne tergestina	Claus, 1877	*Prionotus* sp.	Lacepède, 1801
Penilia avirostris	Dana, 1849	*Antigonia capros*	Lowe, 1843

PÚBLICA

(continuação VIII-3)

Zoonêuston	Descritores	Larvas de peixes	Descritores
Cirripedia	Burmeister, 1834	*Sphoeroides* anonymous	[Lacepède], 1798
Stomatopoda	Latreille, 1817	*Sphyraena tome*	Fowler, 1903
Amphipoda	Latreille, 1816	*Sphyraena guachancho*	Cuvier, 1829
Isopoda	Latreille, 1816	*Istiophorus albicans*	(Latreille, 1804)
Euphausiacea	Dana, 1852	*Symphurus kyaropterygium*	Menezes & Benvegnú, 1976
Mysida	Boas, 1883	*Dactylopterus volitans*	(Linnaeus, 1758)
		Scombridae	Rafinesque, 1815
		Auxis rochei	(Risso, 1810)
		Diapterus sp.	Ranzani, 1842
		Remora sp.	Gill, 1862
		Oligoplites sp.	Gill, 1863
		Dules auriga	Cuvier, 1829

PÚBLICA

Anexo VIII-4: *Abundância total e abundância dos principais grupos zooneustônicos do epinêuston e hiponêuston coletados durante a campanha de inverno (2019) na Bacia de Santos.*

Campanha	Estação	Camada do nêuston	Zoonêuston - Abundância (ind. 100 m^{-3})								
			Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida	Siphonophorae	Luciferidae	Outros
Inverno	A02	Epinêuston	85,20	0,00	25,82	0,00	0,00	43,89	12,91	2,58	0,00
Inverno	A02	Hiponêuston	882,96	0,00	495,70	5,16	0,00	313,25	25,82	29,26	13,77
Inverno	A07	Epinêuston	22,29	0,00	6,37	0,00	0,00	0,00	15,92	0,00	0,00
Inverno	A07	Hiponêuston	123,14	0,00	19,11	36,09	0,00	0,00	61,57	0,00	6,37
Inverno	B01	Epinêuston	362,09	0,00	16,71	0,00	0,00	314,74	0,00	19,50	11,14
Inverno	B01	Hiponêuston	12776,22	90,99	46,43	11,14	0,00	12597,96	1,86	24,14	3,71
Inverno	B02	Epinêuston	594,36	0,00	213,03	40,48	4,26	153,38	0,00	0,00	183,21
Inverno	B02	Hiponêuston	4040,50	0,00	2204,16	126,40	8,52	1056,64	63,91	2,84	578,03
Inverno	B03	Epinêuston	211,35	0,00	128,65	21,44	3,06	0,00	52,07	0,00	6,13
Inverno	B03	Hiponêuston	1946,07	0,00	1829,67	91,89	0,00	2,04	0,00	0,00	22,46
Inverno	B05	Epinêuston	531,28	0,00	285,19	13,80	0,00	32,20	177,09	0,00	23,00
Inverno	B05	Hiponêuston	1243,49	0,00	809,57	35,27	1,53	33,73	321,99	4,60	36,80
Inverno	B06	Epinêuston	107,04	0,00	18,48	24,85	0,00	13,38	46,51	0,00	3,82
Inverno	B06	Hiponêuston	372,51	0,00	46,30	53,94	0,00	43,75	224,27	0,00	4,25
Inverno	B08	Epinêuston	13,50	0,00	3,37	1,69	0,00	0,00	6,75	0,00	1,69
Inverno	B08	Hiponêuston	31,48	10,12	7,87	0,00	0,00	0,00	10,12	0,00	3,37
Inverno	C01	Epinêuston	4815,59	0,00	96,55	8,78	2,93	4587,38	58,51	5,85	55,59
Inverno	C01	Hiponêuston	13274,55	17,55	306,22	19,50	0,00	12732,33	76,07	1,95	120,93
Inverno	C02	Epinêuston	4349,17	0,00	5,06	12,65	0,00	4331,45	0,00	0,00	0,00
Inverno	C02	Hiponêuston	46718,31	0,00	23,61	30,36	0,00	46633,98	10,12	1,69	18,55

PÚBLICA

(continuação Anexo VIII-4)

Campanha	Estação	Camada do nêuston	Zoonêuston - Abundância (ind. 100m-3)								
			Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida	Siphonophorae	Luciferidae	Outros
Inverno	C03	Epinêuston	587,59	0,00	39,67	4,96	0,00	505,57	27,27	0,00	9,92
Inverno	C03	Hiponêuston	5986,64	0,00	323,96	51,24	0,00	5447,80	95,87	0,00	67,77
Inverno	C04	Epinêuston	2855,53	0,00	12,44	0,00	0,00	2836,87	0,00	0,00	6,22
Inverno	C04	Hiponêuston	28461,98	0,00	14,52	0,00	0,00	28401,84	24,88	2,07	18,66
Inverno	C06	Epinêuston	454,95	0,00	255,41	34,59	0,00	2,66	74,49	0,00	87,80
Inverno	C06	Hiponêuston	2433,49	7,09	1716,92	125,93	0,00	118,84	133,03	5,32	326,36
Inverno	C07	Epinêuston	142,29	0,00	27,10	3,39	0,00	101,64	3,39	0,00	6,78
Inverno	C07	Hiponêuston	311,73	0,00	144,57	58,73	2,26	56,47	20,33	2,26	27,11
Inverno	D02	Epinêuston	20,86	0,00	17,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,48
Inverno	D02	Hiponêuston	398,60	0,00	183,08	41,71	0,00	0,00	71,84	4,63	97,33
Inverno	D03	Epinêuston	130,76	0,00	8,53	2,84	0,00	0,00	113,70	0,00	5,69
Inverno	D03	Hiponêuston	1472,43	11,37	30,32	15,16	0,00	0,00	1364,41	3,79	47,38
Inverno	D04	Epinêuston	85,55	0,00	0,00	4,07	4,07	0,00	65,18	0,00	12,22
Inverno	D04	Hiponêuston	2715,91	0,00	32,59	86,91	0,00	0,00	2390,01	8,15	198,26
Inverno	D05	Epinêuston	354,20	4,00	156,09	32,02	0,00	0,00	16,01	104,06	42,02
Inverno	D05	Hiponêuston	1037,93	12,01	269,49	108,06	0,00	0,00	242,80	242,80	162,76
Inverno	D08	Epinêuston	30,70	0,00	10,84	3,61	0,00	0,00	9,03	1,81	5,42
Inverno	D08	Hiponêuston	79,47	1,20	22,88	7,22	0,00	0,00	24,08	1,20	22,88
Inverno	E01	Epinêuston	709,23	32,13	243,30	146,90	0,00	2,30	2,30	181,32	100,99
Inverno	E01	Hiponêuston	1048,16	238,70	355,00	191,27	12,24	0,00	7,65	157,61	85,69
Inverno	E03	Epinêuston	671,21	8,29	162,97	74,58	2,76	77,34	104,96	2,76	237,55

PÚBLICA

Inverno	E03	Hiponêuston	824,96	64,45	222,82	88,39	5,52	134,43	123,38	14,73	171,25

(continuação Anexo VIII-4)

Campanha	Estação	Camada do nêuston	Zoonêuston - Abundância (ind. 100m^{-3})								
			Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida	Siphonophorae	Luciferidae	Outros
Inverno	E05	Epinêuston	30,64	0,00	5,41	1,80	0,00	3,61	10,82	0,00	9,01
Inverno	E05	Hiponêuston	380,95	0,00	50,47	51,68	0,00	24,04	192,28	0,00	62,49
Inverno	E06	Epinêuston	168,31	0,00	84,83	0,00	0,00	8,08	49,82	6,73	18,85
Inverno	E06	Hiponêuston	370,74	5,39	190,31	8,08	0,00	23,34	89,77	20,65	33,21
Inverno	E08	Epinêuston	22,15	0,00	16,11	2,01	0,00	0,00	4,03	0,00	0,00
Inverno	E08	Hiponêuston	22,81	0,00	4,03	2,68	0,00	1,34	13,42	0,00	1,34
Inverno	F01	Epinêuston	355,86	0,00	185,55	81,34	0,00	0,00	17,79	20,33	50,84
Inverno	F01	Hiponêuston	520,22	11,86	113,53	237,24	0,00	1,69	13,56	49,14	93,20
Inverno	F02	Epinêuston	370,84	0,00	158,36	56,13	0,00	0,00	98,22	4,01	54,12
Inverno	F02	Hiponêuston	498,47	6,68	89,54	42,76	0,00	122,95	112,26	20,05	104,24
Inverno	F03	Epinêuston	1418,29	0,00	103,85	26,70	50,44	1163,12	41,54	0,00	32,64
Inverno	F03	Hiponêuston	1091,90	7,91	79,12	13,85	45,50	854,53	33,63	0,00	57,36
Inverno	F04	Epinêuston	308,61	0,00	117,92	47,67	0,00	37,64	75,27	0,00	30,11
Inverno	F04	Hiponêuston	399,77	0,00	199,05	43,49	1,67	36,80	66,91	1,67	50,18
Inverno	F05	Epinêuston	723,80	0,00	464,63	75,86	0,00	104,30	22,13	0,00	56,89
Inverno	F05	Hiponêuston	1527,68	0,00	851,29	202,29	0,00	282,36	73,75	10,54	107,46
Inverno	F06	Epinêuston	172,65	0,00	158,02	8,78	0,00	0,00	2,93	0,00	2,93
Inverno	F06	Hiponêuston	405,77	0,00	386,26	15,61	0,00	0,00	0,00	0,00	3,90
Inverno	F08	Epinêuston	46,31	0,00	5,15	2,57	7,72	0,00	10,29	0,00	20,58
Inverno	F08	Hiponêuston	51,46	0,00	10,29	20,58	0,00	0,00	0,00	0,00	20,58

PÚBLICA

Inverno	G01	Epinêuston	37797,15	4075,46	2073,79	3859,06	13,52	27121,63	33,81	112,71	507,18
Inverno	G01	Hiponêuston	6481,36	228,42	387,71	1298,38	6,01	4472,18	6,01	42,08	40,57

(continuação Anexo VIII-4)

Campanha	Estação	Camada do nêuston	Zoonêuston - Abundância (ind. 100m-^{3})								
			Total	Cladocera	Copepoda	Chaetognatha	Appendicularia	Salpida	Siphonophorae	Luciferidae	Outros
Inverno	G02	Epinêuston	4178,34	1,93	175,54	23,15	3,86	3888,98	1,93	0,00	82,95
Inverno	G02	Hiponêuston	6924,04	0,00	1087,99	23,15	12,86	5761,46	1,29	0,00	37,30
Inverno	G03	Epinêuston	2318,61	0,00	193,39	14,71	6,31	1664,86	403,60	0,00	35,74
Inverno	G03	Hiponêuston	706,30	0,00	77,08	5,61	1,40	515,71	86,89	0,00	19,62
Inverno	G04	Epinêuston	411,83	0,00	58,83	0,00	0,00	271,29	65,37	0,00	16,34
Inverno	G04	Hiponêuston	41,41	0,00	0,00	0,00	0,00	26,15	4,36	0,00	10,90
Inverno	G05	Epinêuston	366,73	0,00	100,91	2,46	2,46	73,84	135,37	0,00	51,69
Inverno	G05	Hiponêuston	152,60	0,00	19,69	0,00	1,64	54,15	52,51	0,00	24,61
Inverno	G06	Epinêuston	703,65	0,00	171,62	130,43	0,00	97,82	114,99	1,72	187,07
Inverno	G06	Hiponêuston	323,79	0,00	62,93	21,74	0,00	20,59	65,22	0,00	153,31
Inverno	H01	Epinêuston	71690,30	42762,97	21175,90	205,59	391,91	12,85	12,85	6116,34	1011,89
Inverno	H01	Hiponêuston	12024,95	6990,10	3460,79	93,16	61,03	3,21	8,57	1096,49	311,60
Inverno	H02	Epinêuston	643,66	86,65	108,93	9,90	2,48	212,90	4,95	163,39	54,46
Inverno	H02	Hiponêuston	133,69	4,95	37,96	3,30	0,00	46,21	4,95	9,90	26,41
Inverno	H03	Epinêuston	373,96	0,00	276,90	5,71	0,00	57,09	2,85	0,00	31,40
Inverno	H03	Hiponêuston	658,48	9,52	475,78	17,13	0,00	131,32	5,71	3,81	15,22
Inverno	H04	Epinêuston	377,83	0,00	336,51	8,86	0,00	11,81	0,00	0,00	20,66
Inverno	H04	Hiponêuston	619,88	1,97	507,71	39,36	0,00	61,00	0,00	0,00	9,84

PÚBLICA

PÚBLICA

Anexo VIII-5: *Abundância total e Abundância dos táxons de ovos de peixes do epinêuston e hiponêuston coletados durante a campanha de inverno (2019) na Bacia de Santos.*

Campanha	Estação	Camada do nêuston	Ictionêuston - Ovos de Peixes – Abundância (ovos. 100 m^{-3})			
			Total	Clupeidae	Não identificados	Outros
Inverno	A02	Epinêuston	2,58	0,00	2,58	0,00
Inverno	A02	Hiponêuston	3,44	0,00	3,44	0,00
Inverno	A07	Epinêuston	3,18	0,00	3,18	0,00
Inverno	A07	Hiponêuston	6,37	0,00	6,37	0,00
Inverno	B01	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B01	Hiponêuston	1,86	0,00	0,00	1,86
Inverno	B02	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B02	Hiponêuston	11,36	0,00	11,36	0,00
Inverno	B03	Epinêuston	3,06	0,00	3,06	0,00
Inverno	B03	Hiponêuston	6,13	0,00	6,13	0,00
Inverno	B05	Epinêuston	6,90	0,00	6,90	0,00
Inverno	B05	Hiponêuston	38,33	0,00	38,33	0,00
Inverno	B06	Epinêuston	0,64	0,00	0,64	0,00
Inverno	B06	Hiponêuston	2,55	0,00	2,55	0,00
Inverno	B08	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B08	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	C01	Epinêuston	8,78	0,00	8,78	0,00
Inverno	C01	Hiponêuston	70,22	0,00	70,22	0,00
Inverno	C02	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	C02	Hiponêuston	6,75	0,00	5,06	1,69
Inverno	C03	Epinêuston	2,48	0,00	2,48	0,00
Inverno	C03	Hiponêuston	13,22	0,00	11,57	1,65
Inverno	C04	Epinêuston	3,11	0,00	3,11	0,00
Inverno	C04	Hiponêuston	2,07	0,00	2,07	0,00
Inverno	C06	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	C06	Hiponêuston	7,09	0,00	7,09	0,00
Inverno	C07	Epinêuston	3,39	0,00	3,39	0,00
Inverno	C07	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	D02	Epinêuston	121,68	86,91	34,76	0,00
Inverno	D02	Hiponêuston	2651,22	2224,80	426,42	0,00
Inverno	D03	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	D03	Hiponêuston	130,76	0,00	126,97	3,79
Inverno	D04	Epinêuston	44,81	28,52	16,29	0,00
Inverno	D04	Hiponêuston	162,95	0,00	162,95	0,00
Inverno	D05	Epinêuston	6,00	0,00	6,00	0,00
Inverno	D05	Hiponêuston	12,01	0,00	12,01	0,00
Inverno	D08	Epinêuston	1,81	0,00	1,81	0,00
Inverno	D08	Hiponêuston	2,41	0,00	2,41	0,00

PÚBLICA

(continuação Anexo VIII-5)

Campanha	Estação	Camada do nêuston	Ictionêuston - Ovos de Peixes – Abundância (ovos. 100 m^{-3})			
			Total	Clupeidae	Não identificados	Outros
Inverno	E01	Epinêuston	117,06	0,00	117,06	0,00
Inverno	E01	Hiponêuston	133,12	0,00	133,12	0,00
Inverno	E03	Epinêuston	11,05	0,00	11,05	0,00
Inverno	E03	Hiponêuston	7,37	0,00	7,37	0,00
Inverno	E05	Epinêuston	1,80	0,00	1,80	0,00
Inverno	E05	Hiponêuston	10,82	0,00	10,82	0,00
Inverno	E06	Epinêuston	8,08	0,00	5,39	2,69
Inverno	E06	Hiponêuston	9,87	0,00	9,87	0,00
Inverno	E08	Epinêuston	4,03	0,00	4,03	0,00
Inverno	E08	Hiponêuston	4,03	0,00	4,03	0,00
Inverno	F01	Epinêuston	183,01	0,00	183,01	0,00
Inverno	F01	Hiponêuston	420,25	6,78	413,47	0,00
Inverno	F02	Epinêuston	164,38	0,00	164,38	0,00
Inverno	F02	Hiponêuston	98,89	1,34	97,56	0,00
Inverno	F03	Epinêuston	5032,25	2943,39	2088,86	0,00
Inverno	F03	Hiponêuston	3196,59	1614,12	1582,47	0,00
Inverno	F04	Epinêuston	55,20	10,04	45,16	0,00
Inverno	F04	Hiponêuston	51,85	3,35	48,51	0,00
Inverno	F05	Epinêuston	3,16	0,00	3,16	0,00
Inverno	F05	Hiponêuston	4,21	2,11	2,11	0,00
Inverno	F06	Epinêuston	26,34	0,00	26,34	0,00
Inverno	F06	Hiponêuston	11,70	0,00	11,70	0,00
Inverno	F08	Epinêuston	5,15	0,00	5,15	0,00
Inverno	F08	Hiponêuston	6,86	0,00	6,86	0,00
Inverno	G01	Epinêuston	81,15	36,07	42,83	2,25
Inverno	G01	Hiponêuston	36,07	4,51	31,56	0,00
Inverno	G02	Epinêuston	733,04	0,00	725,33	7,72
Inverno	G02	Hiponêuston	1388,92	0,00	1378,63	10,29
Inverno	G03	Epinêuston	1681,68	0,00	1681,68	0,00
Inverno	G03	Hiponêuston	622,22	0,00	622,22	0,00
Inverno	G04	Epinêuston	39,22	0,00	35,95	3,27
Inverno	G04	Hiponêuston	26,15	0,00	26,15	0,00
Inverno	G05	Epinêuston	41,84	0,00	36,92	4,92
Inverno	G05	Hiponêuston	11,49	0,00	11,49	0,00
Inverno	G06	Epinêuston	15,45	0,00	15,45	0,00
Inverno	G06	Hiponêuston	9,15	0,00	6,86	2,29
Inverno	H01	Epinêuston	414,39	112,43	295,54	6,42
Inverno	H01	Hiponêuston	216,30	68,53	147,77	0,00
Inverno	H02	Epinêuston	4,95	0,00	4,95	0,00
Inverno	H02	Hiponêuston	3,30	0,00	3,30	0,00
Inverno	H03	Epinêuston	74,22	0,00	74,22	0,00
Inverno	H03	Hiponêuston	215,05	0,00	215,05	0,00

PÚBLICA

(continuação Anexo VIII-5)

Campanha	Estação	Camada do nêuston	Ictionêuston - Ovos de Peixes – Abundância (ovos. 100 m^{-3})			
			Total	Clupeidae	Não identificados	Outros
Inverno	H01	Epinêuston	414,39	112,43	295,54	6,42
Inverno	H01	Hiponêuston	216,30	68,53	147,77	0,00
Inverno	H02	Epinêuston	4,95	0,00	4,95	0,00
Inverno	H02	Hiponêuston	3,30	0,00	3,30	0,00
Inverno	H03	Epinêuston	74,22	0,00	74,22	0,00
Inverno	H03	Hiponêuston	215,05	0,00	215,05	0,00
Inverno	H04	Epinêuston	94,46	0,00	94,46	0,00
Inverno	H04	Hiponêuston	102,33	0,00	102,33	0,00

PÚBLICA

Anexo VIII-6: *Abundância total e abundância dos táxons de larvas de peixes do epinêuston e hiponêuston coletados durante a campanha de inverno (2019) na Bacia de Santos. Clupe=Clupeiformes; Phyc=Phycidae; Mugil=Mugilidae; Mulli=Mullidae; Macror=Macroramphosidae; Mycto=Myctophidae; Caran=Carangidae; Coryp=Coryphaenidae; Gerre=Gerreidae; Haemu=Haemulidae; Athe=Atherinopsidae; Gempy=Gempylidae; Scom=Scombridae; Exoco=Exocoetidae; Nid=Não identificadas.*

			Ictionêuston - Larvas de Peixes - Abundância (larvas. 100 m^{-3})															
Campanha	**Estação**	**Camada do nêuston**	**Total**	**Clupe**	**Phyc**	**Mugil**	**Mulli**	**Macror**	**Mycto**	**Caran**	**Coryp**	**Gerre**	**Haemu**	**Athe**	**Gempy**	**Scom**	**Exoco**	**Nid**
Inverno	A02	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	A02	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	A07	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	A07	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B01	Epinêuston	2,79	2,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B01	Hiponêuston	1,86	1,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B02	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B02	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B03	Epinêuston	3,06	0,00	3,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B03	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B05	Epinêuston	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B05	Hiponêuston	1,53	0,00	1,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B06	Epinêuston	0,64	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B06	Hiponêuston	1,27	0,00	0,00	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B08	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	B08	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	C01	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	C01	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	C02	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	C02	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PÚBLICA

continua

(continuação Anexo VIII-6)

Campanha	Estação	Camada do nêuston	Ictionêuston - Larvas de Peixes - Abundância (larvas. 100 m^{-3})															
			Total	Clupe	Phyc	Mugil	Mulli	Macror	Mycto	Caran	Coryp	Gerre	Haemu	Athe	Gempy	Scom	Exoco	Nid
Inverno	C03	Epinêuston	2,48	0,00	2,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	C03	Hiponêuston	4,96	0,00	4,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	C04	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	C04	Hiponêuston	6,22	0,00	6,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	C06	Epinêuston	2,66	0,00	0,00	0,00	2,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	C06	Hiponêuston	7,09	0,00	1,77	1,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,77	0,00	0,00	0,00	1,77
Inverno	C07	Epinêuston	3,39	0,00	0,00	3,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	C07	Hiponêuston	2,26	0,00	0,00	0,00	0,00	2,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	D02	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	D02	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	D03	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	D03	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	D04	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	D04	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	D05	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	D05	Hiponêuston	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	D08	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	D08	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	E01	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	E01	Hiponêuston	1,53	1,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	E03	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	E03	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PÚBLICA

(continuação Anexo VIII-6)

			Ictionêuston - Larvas de Peixes - Abundância (larvas. 100 m^{-3})															
Campanha	**Estação**	**Camada do nêuston**	**Total**	**Clupe**	**Phyc**	**Mugil**	**Mulli**	**Macror**	**Mycto**	**Caran**	**Coryp**	**Gerre**	**Haemu**	**Athe**	**Gempy**	**Scom**	**Exoco**	**Nid**
Inverno	E05	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	E05	Hiponêuston	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,00
Inverno	E06	Epinêuston	12,12	0,00	0,00	6,73	5,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	E06	Hiponêuston	3,59	0,00	0,00	0,00	2,69	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	E08	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	E08	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	F01	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	F01	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	F02	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	F02	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	F03	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	F03	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	F04	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	F04	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	F05	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	F05	Hiponêuston	2,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	F06	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	F06	Hiponêuston	7,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,90	0,00	1,95
Inverno	F08	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	F08	Hiponêuston	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	G01	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PÚBLICA

Inverno	G01	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	G02	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	G02	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(continuação Anexo VIII-6)

			Ictionêuston - Larvas de Peixes - Abundância (larvas. 100 m^{-3})															
Campanha	**Estação**	**Camada do nêuston**	**Total**	**Clupe**	**Phyc**	**Mugil**	**Mulli**	**Macror**	**Mycto**	**Caran**	**Coryp**	**Gerre**	**Haemu**	**Athe**	**Gempy**	**Scom**	**Exoco**	**Nid**
Inverno	G03	Epinêuston	6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,20
Inverno	G03	Hiponêuston	2,80	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00
Inverno	G04	Epinêuston	6,54	0,00	0,00	0,00	3,27	0,00	0,00	3,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	G04	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	G05	Epinêuston	4,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,46
Inverno	G05	Hiponêuston	1,64	0,00	0,00	1,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	G06	Epinêuston	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	G06	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	H01	Epinêuston	16,07	9,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,61	0,00	4,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	H01	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	H02	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	H02	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	H03	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	H03	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	H04	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inverno	H04	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PÚBLICA

Anexo VIII-7: *Abundância total e abundância dos principais grupos zooneustônicos do epinêuston e hiponêuston coletados durante a campanha de verão (2021/2022) na Bacia de Santos.*

			Zoonêuston - Abundância (ind. 100 m^{-3})								
Campanha	**Estação**	**Camada do nêuston**	**Total**	**Siphonophorae**	**Copepoda**	**Cladocera**	**Luciferidae**	**Chaetognatha**	**Appendicularia**	**Salpidae**	**Outros**
Verão	A01	Epinêuston	2834,20	222,01	902,22	42,51	0,00	1039,21	0,00	330,66	297,59
Verão	A01	Hiponêuston	3662,99	494,49	1914,96	31,50	0,00	718,11	0,00	34,65	469,29
Verão	A02	Epinêuston	2904,18	202,62	333,47	8,44	4,22	303,93	0,00	1907,98	143,52
Verão	A02	Hiponêuston	1494,51	351,82	574,16	22,52	5,63	270,19	0,00	30,96	239,23
Verão	A05	Epinêuston	232,05	87,57	74,43	0,00	0,00	17,51	0,00	0,00	52,54
Verão	A05	Hiponêuston	326,91	148,86	110,92	0,00	0,00	5,84	0,00	2,92	58,38
Verão	A07	Epinêuston	2740,13	730,70	606,95	17,68	55,98	109,02	0,00	854,45	365,35
Verão	A07	Hiponêuston	2419,96	824,99	989,98	0,00	51,07	155,18	0,00	19,64	379,10
Verão	B01	Epinêuston	12517,32	169,36	1524,25	7,70	0,00	808,31	0,00	7882,99	2124,71
Verão	B01	Hiponêuston	5924,02	225,87	2238,19	5,13	0,00	1262,83	0,00	5,13	2186,86
Verão	B02	Epinêuston	21133,04	112,28	1456,28	0,00	0,00	98,67	0,00	19271,86	193,94
Verão	B02	Hiponêuston	4736,84	86,21	4428,31	0,00	2,27	102,09	0,00	2,27	115,70
Verão	B03	Epinêuston	10856,98	468,56	9489,84	121,59	0,00	344,01	0,00	26,69	406,28
Verão	B03	Hiponêuston	7194,49	869,90	4523,49	136,42	3,95	1130,87	1,98	13,84	514,03
Verão	B04	Epinêuston	545,86	131,76	329,40	2,35	0,00	9,41	0,00	16,47	56,47
Verão	B04	Hiponêuston	702,72	147,44	453,31	12,55	0,00	3,14	0,00	0,00	86,27
Verão	B05	Epinêuston	2700,85	41,80	1799,24	15,92	0,00	27,86	0,00	1,99	814,04
Verão	B05	Hiponêuston	2030,12	25,21	1008,42	26,54	1,33	18,58	0,00	0,00	950,04
Verão	B06	Epinêuston	272,19	25,64	199,21	17,75	0,00	1,97	0,00	0,00	27,61
Verão	B06	Hiponêuston	387,91	78,90	243,26	27,61	0,00	7,89	0,00	0,00	30,24
Verão	B07	Epinêuston	511,44	137,77	336,09	4,17	0,00	4,17	0,00	2,09	27,14
Verão	B07	Hiponêuston	594,24	104,37	389,67	9,74	0,00	4,17	0,00	52,88	33,40

PÚBLICA

(continuação Anexo VIII-7)

			Zoonêuston - Abundância (ind. 100 m^{-3})								
Campanha	**Estação**	**Camada do nêuston**	**Total**	**Siphonophorae**	**Copepoda**	**Cladocera**	**Luciferidae**	**Chaetognatha**	**Appendicularia**	**Salpidae**	**Outros**
Verão	B08	Epinêuston	22080,76	4499,87	10046,22	0,00	0,00	4447,55	0,00	156,97	2930,15
Verão	B08	Hiponêuston	28568,94	9767,16	11022,94	34,88	0,00	5092,88	0,00	139,53	2511,56
Verão	C01	Epinêuston	15770,74	154,82	8384,07	11,91	53,59	571,64	0,00	5001,86	1592,85
Verão	C01	Hiponêuston	9241,53	377,12	6033,99	3,97	39,70	1278,25	0,00	0,00	1508,50
Verão	C02	Epinêuston	4811,74	229,79	1949,06	1616,83	8,31	437,43	0,00	166,11	404,21
Verão	C02	Hiponêuston	10359,91	179,03	3248,43	5610,93	23,99	505,72	3,69	186,42	601,70
Verão	C03	Epinêuston	1573,51	42,99	1157,92	74,52	0,00	45,86	8,60	0,00	243,62
Verão	C03	Hiponêuston	2516,72	22,93	1910,95	212,12	0,00	49,68	32,49	0,00	288,55
Verão	C04	Epinêuston	9550,94	146,21	8772,87	15,67	7,83	65,27	2,61	2,61	537,86
Verão	C04	Hiponêuston	17697,17	85,29	16821,62	40,03	0,00	73,11	0,00	13,93	663,19
Verão	C05	Epinêuston	174,37	22,14	116,25	11,07	0,00	2,77	0,00	0,00	22,14
Verão	C05	Hiponêuston	123,63	11,07	83,03	5,54	0,00	1,85	0,00	0,00	22,14
Verão	C06	Epinêuston	305,18	236,41	55,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,89
Verão	C06	Hiponêuston	902,64	555,91	275,09	14,33	0,00	2,87	0,00	0,00	54,45
Verão	C07	Epinêuston	76,89	35,33	29,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,47
Verão	C07	Hiponêuston	152,40	65,12	55,42	2,77	0,00	0,00	0,00	9,70	19,40
Verão	C08	Epinêuston	153,96	26,02	110,59	6,51	0,00	0,00	0,00	0,00	10,84
Verão	C08	Hiponêuston	186,49	40,48	131,55	5,78	0,00	0,00	0,00	0,00	8,67
Verão	D01	Epinêuston	2708,89	428,55	1578,87	15,79	13,53	153,38	0,00	2,26	516,52
Verão	D01	Hiponêuston	2884,07	715,75	1599,92	28,57	19,55	156,38	0,00	15,04	348,86
Verão	D02	Epinêuston	30579,06	99,34	1120,77	27550,44	7,64	140,10	0,00	0,00	1660,77
Verão	D02	Hiponêuston	36307,69	64,53	1073,22	33473,52	0,00	86,60	0,00	519,63	1090,20

PÚBLICA

(continuação Anexo VIII-7)

			Zoonêuston - Abundância (ind. 100 m^{-3})								
Campanha	**Estação**	**Camada do nêuston**	**Total**	**Siphonophorae**	**Copepoda**	**Cladocera**	**Luciferidae**	**Chaetognatha**	**Appendicularia**	**Salpidae**	**Outros**
Verão	D03	Epinêuston	51260,19	19327,32	23935,16	30,00	0,00	255,99	0,00	0,00	7711,73
Verão	D03	Hiponêuston	20352,62	9301,01	8277,04	12,00	1,33	282,66	0,00	8,00	2470,58
Verão	D05	Epinêuston	3025,61	1099,64	1324,71	12,86	0,00	0,00	0,00	0,00	588,40
Verão	D05	Hiponêuston	5515,34	1389,02	2932,37	40,73	0,00	137,19	0,00	0,00	1016,04
Verão	E01	Epinêuston	19666,87	328,02	14033,50	178,27	0,00	470,64	7,13	0,00	4649,31
Verão	E01	Hiponêuston	37798,22	475,39	27382,44	2167,78	0,00	698,82	0,00	14,26	7059,53
Verão	E02	Epinêuston	643,63	46,50	342,62	0,00	0,00	7,34	0,00	0,00	247,17
Verão	E02	Hiponêuston	450,30	34,26	342,62	9,79	0,00	6,53	0,00	6,53	50,58
Verão	E03	Epinêuston	405,40	83,87	299,15	8,39	0,00	0,00	0,00	0,00	13,98
Verão	E03	Hiponêuston	402,60	78,28	294,49	3,73	0,00	0,00	0,00	0,00	26,09
Verão	E05	Epinêuston	1413,25	86,37	952,64	5,23	0,00	107,30	0,00	138,71	123,01
Verão	E05	Hiponêuston	1601,69	108,17	1221,33	1,74	1,74	113,41	0,00	0,00	155,28
Verão	F01	Epinêuston	35527,06	108,22	15064,71	9956,56	16,23	622,28	43,29	2,71	9713,06
Verão	F01	Hiponêuston	50578,24	138,89	28628,71	13390,85	9,02	616,87	0,00	110,03	7683,87
Verão	F02	Epinêuston	3424,91	29,74	3038,26	9,15	0,00	48,04	0,00	0,00	299,71
Verão	F02	Hiponêuston	3056,56	51,86	2660,00	10,68	1,53	42,71	0,00	1,53	288,27
Verão	F03	Epinêuston	2910,36	707,43	2039,07	10,40	2,60	28,61	0,00	2,60	119,64
Verão	F03	Hiponêuston	3277,08	860,02	2261,01	15,61	0,00	34,68	0,00	0,00	105,77
Verão	F05	Epinêuston	277,56	62,68	152,21	8,95	0,00	20,89	0,00	5,97	26,86
Verão	F05	Hiponêuston	561,10	99,49	350,19	15,92	1,99	43,77	0,00	0,00	49,74
Verão	F06	Epinêuston	3481,54	664,26	562,06	20,90	2,32	1356,38	0,00	641,03	234,58
Verão	F06	Hiponêuston	963,09	226,06	192,00	9,29	0,00	421,16	0,00	0,00	114,58

PÚBLICA

(continuação Anexo VIII-7)

			Zoonêuston - Abundância (ind. 100 m^{-3})								
Campanha	**Estação**	**Camada do nêuston**	**Total**	**Siphonophorae**	**Copepoda**	**Cladocera**	**Luciferidae**	**Chaetognatha**	**Appendicularia**	**Salpidae**	**Outros**
Verão	F07	Epinêuston	332,05	222,91	58,05	16,25	0,00	0,00	0,00	2,32	32,51
Verão	F07	Hiponêuston	520,13	328,18	145,51	4,64	0,00	15,48	0,00	0,00	26,32
Verão	F08	Epinêuston	207,41	43,00	70,82	7,59	0,00	43,00	0,00	0,00	43,00
Verão	F08	Hiponêuston	332,20	79,26	128,16	13,49	0,00	57,33	0,00	0,00	53,96
Verão	G01	Epinêuston	77255,14	57,60	17339,42	53520,10	140,80	2525,82	234,66	0,00	3436,74
Verão	G01	Hiponêuston	66864,57	54,04	32039,24	29490,67	95,29	2252,76	0,00	893,14	2039,43
Verão	G04	Epinêuston	6058,64	160,47	4133,03	767,11	3,91	461,83	1,96	7,83	522,50
Verão	G04	Hiponêuston	5633,34	110,89	4258,27	66,54	1,30	934,11	0,00	13,05	249,18
Verão	H01	Epinêuston	7885,73	32,57	3734,77	1020,55	90,47	61,52	0,00	0,00	2945,84
Verão	H01	Hiponêuston	5138,93	9,65	2605,66	936,11	55,49	41,01	0,00	14,48	1476,54
Verão	H02	Epinêuston	31901,31	9,09	26602,22	159,00	186,25	204,42	38,61	27,26	4674,47
Verão	H02	Hiponêuston	2489,41	0,00	2204,74	27,26	12,11	22,71	0,00	9,09	213,51

PÚBLICA

Anexo VIII-8: *Abundância total e abundância dos táxons de ovos de peixes do epinêuston e hiponêuston coletados durante a campanha de verão (2021/2022) na Bacia de Santos.*

Campanha	Estação	Camada no nêuston	Ictionêuston - Ovos de peixes – Abundância (ovos. 100 m^{-3})			
			Total	Clupeiformes	Não identificados	Outros
Verão	A01	Epinêuston	623,52	47,23	576,29	0,00
Verão	A01	Hiponêuston	844,09	56,69	787,40	0,00
Verão	A02	Epinêuston	97,09	0,00	97,09	0,00
Verão	A02	Hiponêuston	135,10	0,00	135,10	0,00
Verão	A05	Epinêuston	201,40	0,00	201,40	0,00
Verão	A05	Hiponêuston	347,34	0,00	347,34	0,00
Verão	A07	Epinêuston	38,30	0,00	38,30	0,00
Verão	A07	Hiponêuston	53,03	0,00	53,03	0,00
Verão	B01	Epinêuston	1616,63	15,40	1601,23	0,00
Verão	B01	Hiponêuston	1991,79	0,00	1930,18	61,60
Verão	B02	Epinêuston	299,43	0,00	292,62	6,81
Verão	B02	Hiponêuston	301,72	0,00	288,11	13,61
Verão	B03	Epinêuston	41,52	0,00	41,52	0,00
Verão	B03	Hiponêuston	53,38	0,00	53,38	0,00
Verão	B04	Epinêuston	30,59	0,00	30,59	0,00
Verão	B04	Hiponêuston	47,06	0,00	47,06	0,00
Verão	B05	Epinêuston	63,69	0,00	63,69	0,00
Verão	B05	Hiponêuston	70,32	0,00	70,32	0,00
Verão	B06	Epinêuston	71,01	0,00	71,01	0,00
Verão	B06	Hiponêuston	67,06	0,00	67,06	0,00
Verão	B07	Epinêuston	52,19	0,00	52,19	0,00
Verão	B07	Hiponêuston	107,16	0,00	107,16	0,00
Verão	B08	Epinêuston	470,92	0,00	470,92	0,00
Verão	B08	Hiponêuston	662,77	0,00	627,89	34,88
Verão	C01	Epinêuston	786,01	17,86	768,14	0,00
Verão	C01	Hiponêuston	539,88	0,00	539,88	0,00
Verão	C02	Epinêuston	207,64	138,43	69,21	0,00
Verão	C02	Hiponêuston	346,99	247,32	99,67	0,00
Verão	C03	Epinêuston	94,57	60,18	34,39	0,00
Verão	C03	Hiponêuston	80,25	55,41	24,84	0,00
Verão	C04	Epinêuston	65,27	20,88	44,39	0,00
Verão	C04	Hiponêuston	69,63	5,22	64,40	0,00
Verão	C05	Epinêuston	741,76	0,00	741,76	0,00
Verão	C05	Hiponêuston	472,37	0,00	472,37	0,00
Verão	C06	Epinêuston	47,28	0,00	47,28	0,00
Verão	C06	Hiponêuston	143,28	0,00	143,28	0,00
Verão	C07	Epinêuston	89,36	0,00	89,36	0,00

PÚBLICA

(continuação Anexo VIII-8)

Campanha	Estação	Camada no nêuston	Ictionêuston - Ovos de peixes – Abundância (ovos. 100 m^{-3})			
			Total	Clupeiformes	Não identificados	Outros
Verão	C07	Hiponêuston	59,58	0,00	59,58	0,00
Verão	C08	Epinêuston	156,13	0,00	156,13	0,00
Verão	C08	Hiponêuston	108,42	0,00	106,98	1,45
Verão	D01	Epinêuston	1227,01	18,04	1208,96	0,00
Verão	D01	Hiponêuston	2189,36	48,11	2141,25	0,00
Verão	D02	Epinêuston	1202,28	0,00	1202,28	0,00
Verão	D02	Hiponêuston	1195,48	0,00	1195,48	0,00
Verão	D03	Epinêuston	130,00	0,00	130,00	0,00
Verão	D03	Hiponêuston	169,33	0,00	167,99	1,33
Verão	D05	Epinêuston	112,54	0,00	112,54	0,00
Verão	D05	Hiponêuston	100,75	0,00	100,75	0,00
Verão	E01	Epinêuston	106,96	0,00	106,96	0,00
Verão	E01	Hiponêuston	118,85	0,00	118,85	0,00
Verão	E02	Epinêuston	9,79	0,00	9,79	0,00
Verão	E02	Hiponêuston	3,26	0,00	3,26	0,00
Verão	E03	Epinêuston	25,16	0,00	25,16	0,00
Verão	E03	Hiponêuston	31,69	0,00	31,69	0,00
Verão	E05	Epinêuston	18,32	0,00	18,32	0,00
Verão	E05	Hiponêuston	17,45	0,00	17,45	0,00
Verão	F01	Epinêuston	308,43	2,71	303,02	2,71
Verão	F01	Hiponêuston	351,72	0,00	349,92	1,80
Verão	F02	Epinêuston	52,62	0,00	52,62	0,00
Verão	F02	Hiponêuston	45,76	0,00	45,76	0,00
Verão	F03	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	F03	Hiponêuston	6,94	0,00	6,94	0,00
Verão	F05	Epinêuston	23,88	0,00	23,88	0,00
Verão	F05	Hiponêuston	15,92	0,00	15,92	0,00
Verão	F06	Epinêuston	16,26	0,00	16,26	0,00
Verão	F06	Hiponêuston	7,74	0,00	7,74	0,00
Verão	F07	Epinêuston	34,83	0,00	34,83	0,00
Verão	F07	Hiponêuston	35,60	0,00	35,60	0,00
Verão	F08	Epinêuston	7,59	0,00	7,59	0,00
Verão	F08	Hiponêuston	3,37	0,00	3,37	0,00
Verão	G01	Epinêuston	827,72	8,53	819,19	0,00
Verão	G01	Hiponêuston	847,63	0,00	847,63	0,00
Verão	G04	Epinêuston	205,48	0,00	205,48	0,00
Verão	G04	Hiponêuston	108,28	0,00	108,28	0,00
Verão	H01	Epinêuston	242,47	0,00	242,47	0,00
Verão	H01	Hiponêuston	55,49	0,00	55,49	0,00

PÚBLICA

(continuação Anexo VIII-8)

Campanha	Estação	Camada no nêuston	Ictionêuston - Ovos de peixes – Abundância (ovos. 100 m^{-3})			
			Total	Clupeiformes	Não identificados	Outros
Verão	H02	Epinêuston	6,81	0,00	6,81	0,00
Verão	H02	Hiponêuston	1,51	0,00	1,51	0,00

PÚBLICA

Anexo VIII-9: *Abundância total e Abundância dos táxons de larvas de peixes do epinêuston e hiponêuston coletados durante a campanha de verão (2021/2022) na Bacia de Santos.*

			Ictionêuston - Larvas de peixes – Abundância (larvas. 100m-3)						
Campanha	**Estação**	**Camada do nêuston**	**Total**	**Clupeiformes**	**Exocoetidae**	**Dactylopteridae**	**Scombridae**	**Mullidae**	**Outros**
Verão	A01	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	A01	Hiponêuston	3,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,15
Verão	A02	Epinêuston	4,22	0,00	4,22	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	A02	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	A05	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	A05	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	A07	Epinêuston	2,95	0,00	0,00	0,00	2,95	0,00	0,00
Verão	A07	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	B01	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	B01	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	B02	Epinêuston	13,61	3,40	3,40	0,00	0,00	6,81	0,00
Verão	B02	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	B03	Epinêuston	23,72	0,00	2,97	0,00	2,97	8,90	8,90
Verão	B03	Hiponêuston	13,83	0,00	1,97	0,00	5,93	0,00	5,93
Verão	B04	Epinêuston	4,70	0,00	0,00	0,00	4,70	0,00	0,00
Verão	B04	Hiponêuston	3,14	0,00	0,00	3,14	0,00	0,00	0,00
Verão	B05	Epinêuston	5,97	0,00	0,00	0,00	5,97	0,00	0,00
Verão	B05	Hiponêuston	9,28	0,00	0,00	1,33	5,31	1,32	1,32
Verão	B06	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	B06	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PÚBLICA

(continuação Anexo VIII-9)

Ictionêuston - Larvas de peixes – Abundância (larvas. 100m-3)

Campanha	Estação	Camada do nêuston	Total	Clupeiformes	Exocoetidae	Dactylopteridae	Scombridae	Mullidae	Outros
Verão	B07	Epinêuston	18,79	0,00	2,09	4,17	0,00	12,52	0,00
Verão	B07	Hiponêuston	5,56	0,00	0,00	4,17	0,00	0,00	1,39
Verão	B08	Epinêuston	156,97	0,00	0,00	156,97	0,00	0,00	0,00
Verão	B08	Hiponêuston	209,29	0,00	0,00	139,53	34,88	0,00	34,88
Verão	C01	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	C01	Hiponêuston	1,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,98
Verão	C02	Epinêuston	2,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,77
Verão	C02	Hiponêuston	3,70	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	1,85
Verão	C03	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	C03	Hiponêuston	1,91	0,00	0,00	0,00	1,91	0,00	0,00
Verão	C04	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	C04	Hiponêuston	1,74	0,00	0,00	1,74	0,00	0,00	0,00
Verão	C05	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	C05	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	C06	Epinêuston	12,89	0,00	0,00	12,89	0,00	0,00	0,00
Verão	C06	Hiponêuston	2,87	0,00	0,00	2,87	0,00	0,00	0,00
Verão	C07	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	C07	Hiponêuston	4,17	1,39	0,00	1,39	0,00	0,00	1,39
Verão	C08	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	C08	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	D01	Epinêuston	2,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,26
Verão	D01	Hiponêuston	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50

PÚBLICA

(continuação Anexo VIII-9)

Ictionêuston - Larvas de peixes – Abundância (larvas. 100m-3)

Campanha	Estação	Camada do nêuston	Total	Clupeiformes	Exocoetidae	Dactylopteridae	Scombridae	Mullidae	Outros
Verão	D02	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	D02	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	D03	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	D03	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	D05	Epinêuston	3,22	0,00	0,00	3,22	0,00	0,00	0,00
Verão	D05	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	E01	Epinêuston	3,57	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	E01	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	E02	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	E02	Hiponêuston	4,89	0,00	0,00	1,63	0,00	1,63	1,63
Verão	E03	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	E03	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	E05	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	E05	Hiponêuston	6,97	0,00	0,00	0,00	1,74	0,00	5,23
Verão	F01	Epinêuston	16,23	5,41	0,00	0,00	8,11	0,00	2,71
Verão	F01	Hiponêuston	10,81	7,21	0,00	0,00	1,80	0,00	1,80
Verão	F02	Epinêuston	4,58	0,00	0,00	4,58	0,00	0,00	0,00
Verão	F02	Hiponêuston	3,05	0,00	0,00	3,05	0,00	0,00	0,00
Verão	F03	Epinêuston	13,00	0,00	2,60	0,00	0,00	0,00	10,40
Verão	F03	Hiponêuston	5,19	0,00	0,00	1,73	0,00	0,00	3,46
Verão	F05	Epinêuston	5,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,96
Verão	F05	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PÚBLICA

(continuação Anexo VIII-9)

Ictionêuston - Larvas de peixes – Abundância (larvas. 100m-3)

Campanha	Estação	Camada do nêuston	Total	Clupeiformes	Exocoetidae	Dactylopteridae	Scombridae	Mullidae	Outros
Verão	F06	Epinêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	F06	Hiponêuston	1,55	0,00	0,00	1,55	0,00	0,00	0,00
Verão	F07	Epinêuston	2,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,32
Verão	F07	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	F08	Epinêuston	2,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,53
Verão	F08	Hiponêuston	1,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,69
Verão	G01	Epinêuston	23,45	17,06	0,00	0,00	0,00	0,00	6,39
Verão	G01	Hiponêuston	18,48	17,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,42
Verão	G04	Epinêuston	1,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96
Verão	G04	Hiponêuston	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30
Verão	H01	Epinêuston	3,62	3,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verão	H01	Hiponêuston	7,24	2,41	0,00	0,00	0,00	0,00	4,83
Verão	H02	Epinêuston	9,09	6,81	0,00	0,00	0,00	0,00	2,27
Verão	H02	Hiponêuston	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PÚBLICA

Anexo IX-1: *Parâmetros fotossintéticos calculados para a campanha de inverno de 2019 da Bacia de Santos. Pmax (taxa de assimilação) = produção máxima potencial em luz saturante ($mgC.m^{-3}.h^{-1}$); α = eficiência fotossintética ($mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$); β = fotoinibição ($mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$). PMC= Profundidade de Máximo de Clorofila. * Estações com asterisco correspondem aos ajustes segundo modelo Jassby e Platt (1976), desconsiderando fotoinibição.*

ESTAÇÃO	SUPERFÍCIE			PMC		
	Pmax	α	β	Pmax	α	β
B02	5,00	0,05	0,004	3,85	0,04	0,01
B04	1,59	0,02	0,001	-	-	-
B07	1,14	0,20	0,002	0,94	12.65	0,001
C01	3,45	0,12	0,0005	4,47	11,52	0,002
D01*	2,67	0,06	-	4,31	1,67	0,001
E01	10,28	0,17	0,007	6,80	16,90	0,002
E04*	4,36	0,12	0,001	3,52	0,02	-
E06*	1,41	0,27	-	4,29	0,05	0,01
F04*	1,33	0,08	-	1,41	0,04	0,002
F06	1,53	0,19	0,0003	1,17	4,94	0,004
G01	68,39	0,12	0,002	30,46	0,07	0,005
G03	1,15	0,01	0,002	2,22	0,04	0,005
G05	1,87	0,01	0,0004	1,81	0,11	0,01
H01	10,99	0,07	0,005	14,17	0,31	0,008
H05	1,12	0,31	0,0004	0,97	3,72	0,005
MÉDIA	**7,75**	**0,12**	**0,002**	**5,74**	**3,72**	**0,01**
DESV. PAD.	**17,07**	**0,09**	**0,002**	**7,90**	**5,72**	**0,003**

PÚBLICA

Anexo IX-2: *Parâmetros fotossintéticos calculados da campanha de verão na Bacia de Santos. Pmax (taxa de assimilação) = produção máxima potencial em luz saturante ($mgC.m^{-3}.h^{-1}$); α = eficiência fotossintética ($mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$); β = fotoinibição ($mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$). PMC= Profundidade de Máximo de Clorofila. * Estações com asterisco correspondem aos ajustes segundo o modelo Jassby e Platt (1976), desconsiderando fotoinibição.*

ESTAÇÃO	SUPERFÍCIE			PMC		
	Pmáx	**α**	**β**	**Pmáx**	**α**	**β**
A05*	1,01	0,01	-	1,53	0,02	0,007
C01*	2,28	0,007	0,005	1,96	0,01	-
C07	-	-	-	-	-	-
E03	0,63	0,01	0,001	0,45	0,01	0,006
F07*	0,05	0,01	-	0,04	0,01	-
MÉDIA	**0,81**	**0,01**	**0,003**	**0,88**	**0,01**	**0,007**
DESV. PAD	**0,91**	**0,009**	**0,003**	**0,81**	**0,006**	**0,0007**

PÚBLICA

Anexo IX-3: *Parâmetros fotossintéticos calculados na campanha de inverno de 2019 da Bacia de Santos. Pbmax = produção máxima potencial normalizada pela biomassa ($mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$); α = eficiência fotossintética ($mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$); β = fotoinibição ($mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$). PMC= Profundidade de Máximo de Clorofila. * Estações com asterisco correspondem aos ajustes segundo modelo Jassby e Platt (1976), desconsiderando fotoinibição.*

ESTAÇÃO	SUPERFÍCIE			PMC		
	Pbmax	α	β	Pbmax	α	β
B02	16,70	0,16	0,01	22,21	0,23	0,05
B04	7,82	0,09	0,003	1,99	0,19	0,002
B07	5,80	0,22	0,005	3,18	0,14	0,004
C01	11,04	0,16	0,002	10,61	1,25	0,001
D01*	7,94	0,17	-	5,71	0,14	0,001
E01	16,30	0,26	0,01	5,31	0,14	0,002
E04*	14,74	0,16	0,004	9,28	0,06	-
E06*	6,49	0,16	-	3,76	0,05	0,02
F04*	9,79	0,16	-	3,29	0,09	0,004
F06	9,97	0,13	0,009	3,85	0,14	0,001
G01	13,50	0,17	0,004	12,19	0,07	0,05
G03	17,61	0,22	0,005	6,37	0,12	0,01
G05	13,45	0,09	0,003	3,12	0,19	0,02
H01	9,09	0,06	0,004	10,32	0,22	0,006
H05	7,59	0,16	0,003	2,30	0,14	0,01
MÉDIA	**11,97**	**0,16**	**0,005**	**6,63**	**0,14**	**0,01**
DESV. PAD.	**3,96**	**0,05**	**0,002**	**5,46**	**0,05**	**0,01**

PÚBLICA

Anexo IX-4: *Parâmetros fotossintéticos calculados na campanha de verão da Bacia de Santos. Pbmax = produção máxima potencial normalizada pela biomassa ($mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$); α = eficiência fotossintética ($mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$); β = fotoinibição ($mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}.(\mu E.m^{-2}.s^{-1})^{-1}$). PMC= Profundidade de Máximo de Clorofila. * Estações com asterisco correspondem aos ajustes segundo modelo Jassby e Platt (1976), desconsiderando fotoinibição.*

ESTAÇÃO	SUPERFÍCIE			PMC		
	Pbmáx	α	β	Pbmáx	α	β
A05*	6,74	0,09	-	1,26	0,02	-
C01*	14,07	0,06	-	10,27	0,05	-
C07	-	-	-	-	-	-
E03	6,43	0,08	0,008	1,98	0,05	0,01
F07*	1,28	0,23	-	0,14	0,03	-
MÉDIA	**9,05**	**0,1**	**-**	**2,74**	**0,03**	**-**
DESV. PAD	**6,27**	**0,07**	**-**	**4,28**	**0,01**	**-**

PÚBLICA

Anexo IX-5: *Produtividade primária quimiossintética (mgC.m^{-3}.h^{-1}) das campanhas de inverno e verão (dados em vermelho) na Bacia de Santos. SUP = superfície; PMC = Profundidade de Máximo de Clorofila; FR = fundo raso (30 – 40 m); ACAS = Água Central do Atlântico Sul; AIA = Água Intermediária Antártica; ACS = Água Circumpolar Superior; APAN = Água Profunda do Atlântico Norte. * Estações em asterisco representam valores referentes a segunda campanha (verão).*

PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA QUIMIOSSINTÉTICA (mgC.m^{-3}.h^{-1})

ESTAÇÃO	SUP	PMC e FR	250 m (ACAS)	900 m (AIA)	1200 m (ACS)	2300 m (APAN)
	0,03	0,03	-	-	-	-
B04	<0, B0201	0,06	-	-	-	-
B07	0,02	0,05	0,05	<0,01	0,01	-
C01	0,05	0,04	-	-	-	-
C01*	0,07	0,01	-	-	-	-
C07*	0,02	0,03	0,04	0,008	0,001	-
D01	0,07	0,04 e 0,04	-	-	-	-
E01	1,13	0,76 e 1,87	-	-	-	-
E03*	<0,01	0,02	-	-	-	-
E04	4,47	2,72	3,58	-	-	-
E06	3,10	4,30	2,00	2,34	4,07	0,02
E08	1,96	2,46	1,72	1,49	1,44	1,12
F04	0,50	0,56	0,34	-	-	-
F06	-	0,34	0,27	0,40	-	-
G01	0,32	0,31	-	-	-	-
G03	0,43	0,27	-	-	-	-
G05	0,01	0,07	0,33	0,02	<0,01	-
H01	1,01	0,41	-	-	-	-
H05	1,76	1,86	0,42	1,15	0,72	-

Anexo IX-6: *Análise de Componentes Principais (PCA) relativa à campanha de inverno da Bacia de Santos. PPF = Produtividade Primária Fotossintética ($mgC.m^{-3}.h^{-1}$); Pmax = produtividade máxima potencial em luz saturante ($mgC.m^{-3}.h^{-1}$); Pbmax= assimilação fotossintética ($mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$); OD= oxigênio dissolvido ($mL.L^{-1}$); PPFNORM = Produtividade fotossintética normalizada pela biomassa ($mgC(mgClo)^{-1}.h^{-1}$); PPQ= produtividade quimiossintética ($mgC.m^{-3}.h^{-1}$); Prof. Local= profundidade local (m); Dist. Costa = distância da costa (m); Sal. Absoluta = salinidade absoluta; Dens. Neutra= densidade neutra ($kg.m^{-3}$); Clo-a = clorofila-a ($\mu g.L^{-1}$).*

Análise de Componentes Principais (PCA) - Inverno (2019)		
PCA1 (40,45%)		
	Correlação	**p-valor**
Silicato	0,87	<0,001
Fosfato	0,85	<0,001
Longitude	0,64	<0,001
PPF	0,57	<0,001
Pmax	0,56	<0,001
Pbmax	0,55	<0,001
OD	0,50	<0,001
Amônio	0,46	<0,001
PPFNORM	0,45	<0,001
PPQ	-0,45	<0,001
Temperatura	-0,73	<0,001
Prof. Local	-0,82	<0,001
Dist. Costa	-0,84	<0,001
Sal. Absoluta	-0,93	<0,001
Dens. Neutra	-0,96	<0,001
PCA2 (19,83%)		
Clo-a	0,78	<0,001
Nitrato	0,64	<0,001
PPF	0,55	<0,001
Pmax	0,55	<0,001
Nitrito	0,44	<0,001
Longitude	-0,56	<0,001
OD	-0,68	<0,001
Latitude	-0,73	<0,001

PÚBLICA

Anexo IX-7: *Análise de Componentes Principais (PCA) relativa à campanha de verão da Bacia de Santos. PPF = Produtividade Primária Fotossintética (mgC.m^{-3}.h^{-1}); Pmax = produtividade máxima potencial em luz saturante (mgC.m^{-3}.h^{-1}); Pbmax= assimilação fotossintética (mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}); PPFNORM = Produtividade fotossintética normalizada pela biomassa (mgC(mgClo)$^{-1}$.h^{-1}); Prof. Local= profundidade local (m); Dist. Costa = distância da costa (m); Sal. Absoluta = salinidade absoluta; Clo-a = clorofila-a (µg.L^{-1}).*

Análise de Componentes Principais (PCA) - Verão (2021/2022)		
PCA1 (40,75%)		
	Correlação	**p-valor**
Pbmax	0,94	<0,001
Pmax	0,88	0,003
PPF	0,85	0,007
Longitude	0,83	0,01
PPFNORM	0,83	0,01
Prof. Local	-0,83	0,009
Sal. Absoluta	-0,87	0,004
Dist. Costa	-0,89	0,002
PCA2 (26,35%)		
Clo-a	0,88	0,003
Nitrito	0,88	0,003
Temperatura	-0,74	0,03

PÚBLICA

Anexo IX-8: *Comparação dos valores de produtividade primária máxima potencial sob luz saturante (Pmax) entre a Bacia de Santos, Bacia de Campos (Gonzalez-Rodriguez et al., 2017) e Bacia de Sergipe – Alagoas (Fonseca et al., 2019). SUP = Superfície; MA = Meia-Água; PMC= Profundidade do Máximo de Clorofila.*

Bacia Santos				
	SUP		**MA / PMC**	
	Nerítica	**Oceânica**	**Nerítica**	**Oceânica**
Média	16,8	1,4	10,7	1,83
Desv. Pad.	25,51	0,31	10,43	1,41
Min	2,7	1,1	3,9	0,94
Máx	68,4	1,9	30,5	4,29
Bacia Campos				
	SUP		**MA / PMC**	
	Nerítica	**Oceânica**	**Nerítica**	**Oceânica**
Média	4,21	2.52	6,03	3,17
Desv. Pad.	3,61	0,63	2,61	1,27
Min	0,6	0,33	3,42	1,9
Máx	14,98	3,15	10,43	4,44
Sergipe/ Alagoas				
	SUP		**MA / PMC**	
	Nerítica	**Oceânica**	**Nerítica**	**Oceânica**
Média	0,90	0,30	0,62	0,19
Desv. Pad.	0,67	0,20	0,46	0,14
Min	0,26	0,06	0,08	0,03
Máx	2,68	0,97	1,8	0,51

PÚBLICA

Anexo XI-1: *Dados in situ da caracterização bio-óptica para a campanha de 2019.*

Data de amostragem	Campanha	Rótulo da profundidade amostrada	Estação	Latitude	Longitude	$a_p(443)$	$a_{ph}(443)$	$a_d(443)$	$a_{cdom}(443)$	S_{cdom} (240-700)
14-08-19	2019	SUP	A01	-26.837	-48.4598	0.048244	0.029011	0.019233	0.045744	0.019875
14-08-19	2019	PMC	A01	-26.837	-48.4598	0.048119	0.028399	0.01972	0.060734	0.018766
15-08-19	2019	SUP	A02	-26.9253	-48.1048	0.103936	0.030759	0.073176	0.152371	0.016375
15-08-19	2019	PMC	A02	-26.9253	-48.1048	0.11234	0.031209	0.081131	0.067248	0.019375
15-08-19	2019	SUP	A03	-27.0145	-47.7487	0.020758	0.018659	0.002099	0.034924	0.021094
15-08-19	2019	PMC	A03	-27.0145	-47.7487	0.030131	0.027423	0.002708	0.143364	0.016781
10-08-19	2019	SUP	A04	-27.1043	-47.3923	0.009555	0.008415	0.00114	0.037873	0.021188
10-08-19	2019	PMC	A04	-27.1043	-47.3923	0.022247	0.020533	0.001713	0.004001	0.01925
08-08-19	2019	SUP	A05	-27.22	-46.93	0.013321	0.011188	0.002133	0.011513	0.022906
08-08-19	2019	PMC	A05	-27.22	-46.93	0.007748	0.006366	0.001382	0.012267	0.0215
09-08-19	2019	SUP	A06	-27.35	-46.39	0.01027	0.008772	0.001498	0.000357	0.027688
09-08-19	2019	PMC	A06	-27.35	-46.39	0.013576	0.012112	0.001463	0.017823	0.021906
12-08-19	2019	SUP	A07	-27.49	-45.85	0.012616	0.010985	0.001631	0.01042	0.022156
12-08-19	2019	PMC	A07	-27.49	-45.85	0.011933	0.010958	0.000975	0.000216	0.027438
16-08-19	2019	SUP	B01	-25.7208	-48.061	0.035375	0.027858	0.007517	0.140662	0.018844
16-08-19	2019	PMC	B01	-25.7208	-48.061	0.040674	0.029252	0.011422	0.269898	0.016969
27-08-19	2019	SUP	B02	-25.8852	-47.744	0.017767	0.013793	0.003974	0.127865	0.017858
27-08-19	2019	PMC	B02	-25.8852	-47.744	0.014535	0.012731	0.001805	0.113375	0.018173
26-08-19	2019	SUP	B03	-26.0493	-47.4262	0.035567	0.025541	0.010026	0.102879	0.018537
26-08-19	2019	PMC	B03	-26.0493	-47.4262	0.037337	0.033051	0.004286	0.091436	0.019005
26-08-19	2019	SUP	B04	-26.2147	-47.1073	0.014263	0.013153	0.00111	0.028101	0.02638
26-08-19	2019	PMC	B04	-26.2147	-47.1073	0.017057	0.016156	0.000901	0.069287	0.030282
25-08-19	2019	SUP	B05	-26.3807	-46.787	0.009028	0.00855	0.000478	0.023196	0.025182

PÚBLICA

25-08-19	2019	PMC	B05	-26.3807	-46.787	0.019512	0.018659	0.000853	0.022255	0.0321
25-08-19	2019	SUP	B06	-26.56	-46.43	0.014716	0.013814	0.000903	0.022092	0.027284
25-08-19	2019	PMC	B06	-26.56	-46.43	0.018685	0.017681	0.001004	0.019489	0.030634
24-08-19	2019	SUP	B07	-26.83	-45.92	0.010543	0.009918	0.000625	0.135054	0.032131
24-08-19	2019	PMC	B07	-26.83	-45.92	0.010364	0.009905	0.000459	0.080356	0.02891
23-08-19	2019	SUP	B08	-27.06	-45.47	0.011338	0.010955	0.000383	0.003261	0.030357
23-08-19	2019	PMC	B08	-27.06	-45.47	0.010744	0.010239	0.000505	0.03808	0.033659
28-08-19	2019	SUP	C01	-24.8238	-47.1247	0.019406	0.014238	0.005168	0.091648	0.02011
28-08-19	2019	PMC	C01	-24.8238	-47.1247	0.021249	0.016907	0.004341	0.067254	0.020925
28-08-19	2019	SUP	C02	-25.0573	-46.8663	0.007455	0.006576	0.00088	0.068795	0.020458
28-08-19	2019	PMC	C02	-25.0573	-46.8663	0.022544	0.018014	0.00453	0.060006	0.020845
29-08-19	2019	SUP	C03	-25.291	-46.6083	0.030731	0.024733	0.005998	0.098428	0.018612
29-08-19	2019	PMC	C03	-25.291	-46.6083	0.021645	0.01693	0.004715	0.116514	0.019589
29-08-19	2019	SUP	C04	-25.5067	-46.3692	0.010291	0.008868	0.001423	0.067298	0.020783
29-08-19	2019	PMC	C04	-25.5067	-46.3692	0.028582	0.027844	0.000738	0.016829	0.032566
02-09-19	2019	SUP	C05	-25.7433	-46.1082	0.013618	0.011927	0.001691	0.168554	0.019628
02-09-19	2019	PMC	C05	-25.7433	-46.1082	0.021909	0.019279	0.002631	0.193809	0.019369
03-09-19	2019	SUP	C06	-26.03	-45.79	0.015688	0.014017	0.001671	0.102264	0.019649
03-09-19	2019	PMC	C06	-26.03	-45.79	0.013501	0.01253	0.000971	0.174495	0.014084
04-09-19	2019	SUP	C07	-26.3	-45.5	0.011929	0.010776	0.001153	0.171354	0.02004
04-09-19	2019	PMC	C07	-26.3	-45.5	0.01058	0.009513	0.001066	0.055785	0.020906
05-09-19	2019	SUP	C08	-26.65	-45.1	0.015037	0.01361	0.001427	0.237722	0.017528
05-09-19	2019	PMC	C08	-26.65	-45.1	0.014668	0.013615	0.001053	0.191662	0.018045
11-09-19	2019	SUP	D01	-24.2503	-46.2933	0.023611	0.01657	0.007041	0.103939	0.015616
11-09-19	2019	PMC	D01	-24.2503	-46.2933	0.030692	0.02398	0.006712	0.109522	0.016576
11-09-19	2019	SUP	D02	-24.5125	-46.0682	0.019444	0.014336	0.005108	0.118315	0.018296
11-09-19	2019	PMC	D02	-24.5125	-46.0682	0.02183	0.018676	0.003154	0.124247	0.017338

12-09-19	2019	SUP	D03	-24.7737	-45.8437	0.013365	0.011198	0.002167	0.056826	0.018191
12-09-19	2019	PMC	D03	-24.7737	-45.8437	0.025248	0.021344	0.003903	0.038199	0.020973
12-09-19	2019	SUP	D04	-25.0353	-45.6187	0.015483	0.01263	0.002854	0.11274	0.018999
12-09-19	2019	PMC	D04	-25.0353	-45.6187	0.029443	0.025576	0.003866	0.073791	0.020254
21-09-19	2019	SUP	D05	-25.2975	-45.3935	0.02923	0.023177	0.006053	0.085493	0.022391
21-09-19	2019	PMC	D05	-25.2975	-45.3935	0.013942	0.01217	0.001773	0.015709	0.031834
21-09-19	2019	SUP	D06	-25.64	-45.1	0.020677	0.017931	0.002746	0.01157	0.027291
21-09-19	2019	PMC	D06	-25.64	-45.1	0.015656	0.013877	0.001779	0.013776	0.030865
22-09-19	2019	SUP	D07	-25.95	-44.83	0.014915	0.013629	0.001286	0.026345	0.030789
22-09-19	2019	PMC	D07	-25.95	-44.83	0.00831	0.008076	0.000234	0.008604	0.034061
23-09-19	2019	SUP	D08	-26.43	-44.42	0.013233	0.012591	0.000642	0.000591	0.0326
23-09-19	2019	PMC	D08	-26.43	-44.42	0.014037	0.013017	0.00102	0.000571	0.038989
06-10-19	2019	SUP	E01	-23.7123	-44.9425	0.023421	0.020504	0.002917	0.057816	0.0235
06-10-19	2019	PMC	E01	-23.7123	-44.9425	0.045612	0.031038	0.014574	0.021487	0.027415
01-10-19	2019	SUP	E02	-24.1848	-44.8143	0.011062	0.009549	0.001513	0.037152	0.021165
01-10-19	2019	PMC	E02	-24.1848	-44.8143	0.030631	0.029509	0.001122	0.064579	0.023114
05-10-19	2019	SUP	E03	-24.4812	-44.6497	0.008225	0.007976	0.000248	3.62E-02	0.020814
05-10-19	2019	PMC	E03	-24.4812	-44.6497	0.024762	0.023785	0.000978	1.73E-02	0.032468
28-09-19	2019	SUP	E04	-24.81	-44.47	0.011411	0.011039	0.000372	0.04696	0.024593
28-09-19	2019	PMC	E04	-24.81	-44.47	0.012066	0.011642	0.000424	0.003103	0.028547
27-09-19	2019	SUP	E05	-25.26	-44.22	0.010666	0.010376	0.00029	0.010366	0.030165
27-09-19	2019	PMC	E05	-25.26	-44.22	0.00642	0.006305	0.000115	2.14E-05	0.035615
26-09-19	2019	SUP	E06	-25.7	-43.97	0.012031	0.011722	0.000309	0.001184	0.032727
26-09-19	2019	PMC	E06	-25.7	-43.97	0.012163	0.011857	0.000306	0.030959	0.03054
25-09-19	2019	SUP	E07	-26.15	-43.72	0.015387	0.015058	0.00033	0.000355	0.035927
25-09-19	2019	PMC	E07	-26.15	-43.72	0.013184	0.012774	0.00041	0.003005	0.033369
24-09-19	2019	SUP	E08	-26.54	-43.51	0.013147	0.012792	0.000355	0.023205	0.029979

PÚBLICA

24-09-19	2019	PMC	E08	-26.54	-43.51	0.012078	0.011757	0.000321	-	0.03487
06-10-19	2019	SUP	F01	-23.2567	-44.0943	0.025199	0.023172	0.002027	0.050202	0.023401
06-10-19	2019	PMC	F01	-23.2567	-44.0943	0.057253	0.043913	0.01334	0.126628	0.02363
07-10-19	2019	SUP	F02	-23.5927	-43.9215	0.015312	0.01427	0.001042	0.088446	0.028192
07-10-19	2019	PMC	F02	-23.5927	-43.9215	0.05134	0.048105	0.003235	0.023316	0.028535
07-10-19	2019	SUP	F03	-23.893	-43.767	0.016383	0.015445	0.000938	0.061644	0.02623
07-10-19	2019	PMC	F03	-23.893	-43.767	0.061931	0.056949	0.004981	0.053028	0.026338
08-10-19	2019	SUP	F04	-24.29	-43.57	0.007813	0.007288	0.000525	0.050652	0.024392
08-10-19	2019	PMC	F04	-24.29	-43.57	0.012639	0.01215	0.000489	0.018517	0.034791
09-10-19	2019	SUP	F05	-24.74	-43.34	0.011523	0.010664	0.000858	0.034217	0.025616
09-10-19	2019	PMC	F05	-24.74	-43.34	0.011656	0.010827	0.000829	0.039434	0.029588
10-09-19	2019	SUP	F06	-25.2	-43.1	0.01163	0.011558	0.00018	-	0.033585
10-09-19	2019	PMC	F06	-25.2	-43.1	0.01248	0.011784	0.000582	0.060155	0.028636
11-10-19	2019	SUP	F07	-25.73	-42.83	0.008008	0.007776	0.000232	0.036018	0.031095
11-10-19	2019	PMC	F07	-25.73	-42.83	0.011752	0.01099	0.000762	0.003848	0.034386
22-10-19	2019	SUP	F08	-26.14	-42.62	0.007311	0.006664	0.000646	0.010291	0.035026
22-10-19	2019	PMC	F08	-26.14	-42.62	0.011434	0.011386	4.51E-05	0.056096	0.028201
27-10-19	2019	SUP	G01	-23.033	-43.072	0.246342	0.223411	0.022931	0.112534	0.019111
27-10-19	2019	PMC	G01	-23.033	-43.072	0.034658	0.031808	0.00285	0.047516	0.023212
26-10-19	2019	SUP	G02	-23.3332	-42.9227	0.018441	0.018011	0.00043	0.020861	0.028565
26-10-19	2019	PMC	G02	-23.3332	-42.9227	0.029321	0.026845	0.002477	0.028679	0.033984
26-10-19	2019	SUP	G03	-23.6382	-42.7678	0.005291	0.005253	3.87E-05	0.013315	0.034167
26-10-19	2019	PMC	G03	-23.6382	-42.7678	0.013431	0.01325	0.000181	0.005278	0.035339
25-10-19	2019	SUP	G04	-23.84	-42.67	0.005866	0.005398	0.000468	0.013377	0.028723
25-10-19	2019	PMC	G04	-23.84	-42.67	0.009896	0.009454	0.000441	-	0.031377
24-10-19	2019	SUP	G05	-24.29	-42.44	0.006868	0.006351	0.000517	0.000207	0.031659
24-10-19	2019	PMC	G05	-24.29	-42.44	0.019633	0.0186	0.001033	0.012918	0.034223

PÚBLICA

23-10-19	2019	SUP	G06	-24.74	-42.21	0.003535	0.003241	0.000294	0.000474	0.039103
23-10-19	2019	PMC	G06	-24.74	-42.21	0.010711	0.010088	0.000623	-	0.037941
19-10-19	2019	SUP	G07	-25.2	-41.98	0.006082	0.006072	1.05E-05	0.02253	0.033569
19-10-19	2019	PMC	G07	-25.2	-41.98	0.013552	0.013339	3.14E-05	0.004752	0.029207
16-10-19	2019	SUP	H01	-22.9612	-42.2658	0.027558	0.025006	0.002552	0.140676	0.020053
16-10-19	2019	PMC	H01	-22.9612	-42.2658	0.037837	0.030136	0.007701	0.104525	0.021709
16-10-19	2019	SUP	H02	-23.2087	-42.121	0.008779	0.008394	0.000385	0.054335	0.027585
16-10-19	2019	PMC	H02	-23.2087	-42.121	0.036787	0.034786	0.002002	0.045633	0.026617
17-10-19	2019	SUP	H03	-23.4702	-41.9667	0.006049	0.005222	0.000827	0.027016	0.03022
17-10-19	2019	PMC	H03	-23.4702	-41.9667	0.024437	0.02154	0.002897	0.008807	0.031015
17-10-19	2019	SUP	H04	-23.8	-41.78	0.00803	0.006468	0.001561	0.022354	0.030846
17-10-19	2019	PMC	H04	-23.8	-41.78	0.012987	0.011676	0.001311	0.000382	0.032985
18-10-19	2019	SUP	H05	-24.24	-41.52	0.005132	0.004278	0.000216	0.019119	0.031956
18-10-19	2019	PMC	H05	-24.24	-41.52	0.012955	0.01206	0.000895	0.035316	0.03247
18-10-19	2019	SUP	H06	-24.53	-41.35	0.00648	0.005805	0.000476	6.50E-05	0.038049
18-10-19	2019	PMC	H06	-24.53	-41.35	0.007192	0.007557	0.000	0.002336	0.035087

PÚBLICA

Anexo XI-2: *Dados in situ da caracterização bio-óptica para a campanha de 2021/2022.*

Data de amostragem	Campanha	Rótulo da profundidade amostrada	Estação	Latitude	Longitude	$a_p(443)$	$a_{ph}(443)$	$a_d(443)$	$a_{cdom}(443)$	S_{cdom} (240-700)
19-12-21	2021/22	SUP	A01	-26.84	-48.46	0.010236	0.009179	0.001057	0.004477	0.030761
19-12-21	2021/22	PMC	A01	-26.84	-48.46	0.032777	0.026475	0.006302	0.032544	0.020741
19-12-21	2021/22	SUP	A02	-26.93	-48.1	0.010625	0.009413	0.001212	0.012704	0.025171
19-12-21	2021/22	PMC	A02	-26.93	-48.1	0.051208	0.025319	0.025888	0.016491	0.023682
18-12-21	2021/22	SUP	A03	-27.01	-47.75	0.007308	0.00674	0.000568	0.00823	0.026286
18-12-21	2021/22	PMC	A03	-27.01	-47.75	0.033195	0.032099	0.001096	0.007679	0.026549
18-12-21	2021/22	SUP	A04	-27.1	-47.39	0.007898	0.007585	0.000312	0.009395	0.026321
18-12-21	2021/22	PMC	A04	-27.1	-47.39	0.031933	0.029727	0.002206	0.015518	0.023095
17-12-21	2021/22	SUP	A05	-27.22	-46.93	0.00876	0.00828	0.00048	0.002748	0.032101
17-12-21	2021/22	PMC	A05	-27.22	-46.93	0.027648	0.026138	0.00151	0.007025	0.026626
16-12-21	2021/22	SUP	A06	-27.35	-46.39	0.008277	0.007949	0.000328	0.004609	0.02941
16-12-21	2021/22	PMC	A06	-27.35	-46.39	0.027659	0.027049	0.000609	0.006442	0.027615
14-12-21	2021/22	SUP	A07	-27.49	-45.85	0.006941	0.006369	0.000573	0.023599	0.02368
14-12-21	2021/22	PMC	A07	-27.49	-45.85	0.027427	0.026455	0.000972	0.007331	0.027087
20-12-21	2021/22	SUP	B01	-25.72	-48.06	0.013915	0.013445	0.00047	0.027486	0.02416
20-12-21	2021/22	PMC	B01	-25.72	-48.06	0.049453	0.039256	0.010197	0.060839	0.019078
20-12-21	2021/22	SUP	B02	-25.89	-47.74	0.00757	0.006707	0.000864	0.004336	0.030473
20-12-21	2021/22	PMC	B02	-25.89	-47.74	0.026317	0.017942	0.008375	0.052152	0.019075
24-12-21	2021/22	SUP	B03	-26.05	-47.43	0.010163	0.009606	0.000557	0.105543	0.01583
24-12-21	2021/22	PMC	B03	-26.05	-47.43	0.072752	0.066421	0.006331	0.061304	0.017643
25-12-21	2021/22	SUP	B04	-26.21	-47.11	0.007854	0.007228	0.000626	0.142485	0.020986
25-12-21	2021/22	PMC	B04	-26.21	-47.11	0.024961	0.023224	0.001738	0.091635	0.01606
25-12-21	2021/22	SUP	B05	-26.38	-46.79	0.010424	0.009659	0.000765	0.020084	0.022802

PÚBLICA

25-12-21	2021/22	PMC	B05	-26.38	-46.79	0.048072	0.047105	0.000967	0.009653	0.025854
26-12-21	2021/22	SUP	B06	-26.56	-46.43	0.004758	0.004379	0.00038	0.005789	0.029159
26-12-21	2021/22	PMC	B06	-26.56	-46.43	0.015588	0.014868	0.00072	0.046453	0.019749
27-12-21	2021/22	SUP	B07	-26.83	-45.92	0.006817	0.006376	0.000441	0.016296	0.024038
27-12-21	2021/22	PMC	B07	-26.83	-45.92	0.013768	0.013191	0.000577	0.057345	0.018306
28-12-21	2021/22	SUP	B08	-27.06	-45.47	0.004342	0.003979	0.000363	0.021459	0.02226
28-12-21	2021/22	PMC	B08	-27.06	-45.47	0.01689	0.016495	0.000396	0.000317	0.042594
04-01-22	2021/22	SUP	C01	-24.82	-47.12	0.008	0.007291	0.000709	0.052149	0.019079
04-01-22	2021/22	PMC	C01	-24.82	-47.12	0.012672	0.01029	0.002382	0.030906	0.021294
03-01-22	2021/22	SUP	C02	-25.06	-46.87	0.010597	0.009838	0.000759	0.090335	0.021242
03-01-22	2021/22	PMC	C02	-25.06	-46.87	0.059059	0.051978	0.007081	0.120885	0.021127
03-01-22	2021/22	SUP	C03	-25.29	-46.61	0.014681	0.011987	0.002694	0.029046	0.02165
03-01-22	2021/22	PMC	C03	-25.29	-46.61	0.059036	0.056095	0.002941	0.051141	0.017973
02-01-22	2021/22	SUP	C04	-25.51	-46.37	0.015444	0.013232	0.002212	0.048139	0.019261
02-01-22	2021/22	PMC	C04	-25.51	-46.37	0.099776	0.096981	0.002796	0.021554	0.022299
02-01-22	2021/22	SUP	C05	-25.74	-46.11	0.006753	0.006317	0.000436	0.01834	0.02357
02-01-22	2021/22	PMC	C05	-25.74	-46.11	0.030001	0.029124	0.000878	0.015683	0.023276
01-01-22	2021/22	SUP	C06	-26.03	-45.79	0.006781	0.006535	0.000246	0.01511	0.024369
01-01-22	2021/22	PMC	C06	-26.03	-45.79	0.024257	0.023464	0.000793	0.016616	0.022997
31-12-21	2021/22	SUP	C07	-26.3	-45.5	0.009243	0.008756	0.000487	0.01824	0.023582
31-12-21	2021/22	PMC	C07	-26.3	-45.5	0.042522	0.039138	0.003384	0.027462	0.021318
29-12-21	2021/22	SUP	C08	-26.65	-45.1	0.007399	0.006914	0.000485	0.014399	0.023879
29-12-21	2021/22	PMC	C08	-26.65	-45.1	0.026554	0.025174	0.00138	0.015562	0.023591
06-01-22	2021/22	SUP	D01	-24.25	-46.29	0.038666	0.034814	0.003852	0.013206	0.042705
06-01-22	2021/22	PMC	D01	-24.25	-46.29	0.032231	0.026157	0.006074	0.012956	0.036726
14-01-22	2021/22	SUP	D02	-24.51	-46.07	0.027207	0.024671	0.002535	0.006994	0.04631
14-01-22	2021/22	PMC	D02	-24.51	-46.07	0.026544	0.024588	0.001956	0.011424	0.032275

PÚBLICA

15-01-22	2021/22	SUP	D03	-24.77	-45.84	0.101266	0.090784	0.010482	0.013068	0.032862
15-01-22	2021/22	PMC	D03	-24.77	-45.84	0.134595	0.131328	0.003268	0.016029	0.0274
16-01-22	2021/22	SUP	D04	-25.04	-45.62	0.043356	0.041118	0.002238	0.023719	0.026356
16-01-22	2021/22	PMC	D04	-25.04	-45.62	0.084242	0.077677	0.006565	0.024221	0.023658
17-01-22	2021/22	SUP	D05	-25.3	-45.39	0.068585	0.065007	0.003578	0.015387	0.0262
17-01-22	2021/22	PMC	D05	-25.3	-45.39	0.040756	0.038611	0.002145	0.016988	0.025007
25-01-22	2021/22	SUP	D06	-25.64	-45.1	0.009677	0.008875	0.000802	0.006729	0.030543
25-01-22	2021/22	PMC	D06	-25.64	-45.1	0.012716	0.012245	0.000471	0.005938	0.030683
26-01-22	2021/22	SUP	D07	-25.95	-44.83	0.005456	0.005246	0.00021	0.005473	0.030635
26-01-22	2021/22	PMC	D07	-25.95	-44.83	0.016295	0.015611	0.000683	0.018396	0.024995
27-01-22	2021/22	SUP	D08	-26.43	-44.42	0.005452	0.004915	0.000537	0.004871	0.030996
27-01-22	2021/22	PMC	D08	-26.43	-44.42	0.017768	0.015698	0.00207	0.012166	0.025515
12-02-22	2021/22	SUP	E01	-23.71	-44.94	0.016191	0.012921	0.003269	0.011824	0.026303
12-02-22	2021/22	PMC	E01	-23.71	-44.94	0.115658	0.111373	0.004285	0.037213	0.020295
11-02-22	2021/22	SUP	E02	-24.18	-44.81	0.009253	0.008363	0.00089	0.015003	0.025226
11-02-22	2021/22	PMC	E02	-24.18	-44.81	0.049382	0.046117	0.003266	0.03504	0.019675
11-02-22	2021/22	SUP	E03	-24.48	-44.65	0.007856	0.006511	0.001345	0.009917	0.026192
11-02-22	2021/22	PMC	E03	-24.48	-44.65	0.016235	0.014706	0.001529	0.011806	0.02475
07-02-22	2021/22	SUP	E04	-24.81	-44.47	0.008919	0.00807	0.000849	0.021485	0.022643
07-02-22	2021/22	PMC	E04	-24.81	-44.47	0.014078	0.01309	0.000989	0.001251	0.035695
06-02-22	2021/22	SUP	E05	-25.26	-44.22	0.006083	0.005696	0.000387	0.007039	0.028101
06-02-22	2021/22	PMC	E05	-25.26	-44.22	0.017919	0.016686	0.001233	0.012343	0.024703
05-02-22	2021/22	SUP	E06	-25.7	-43.97	0.007545	0.007162	0.000383	0.00015	0.046922
05-02-22	2021/22	PMC	E06	-25.7	-43.97	0.021331	0.019531	0.0018	0.007752	0.029039
03-02-22	2021/22	SUP	E07	-26.15	-43.72	0.007569	0.007011	0.000558	4.35E-05	0.056426
03-02-22	2021/22	PMC	E07	-26.15	-43.72	0.016112	0.015057	0.001055	0.021842	0.02255
29-01-22	2021/22	SUP	E08	-26.54	-43.51	0.009492	0.009033	0.000458	0.00088	0.038514

PÚBLICA

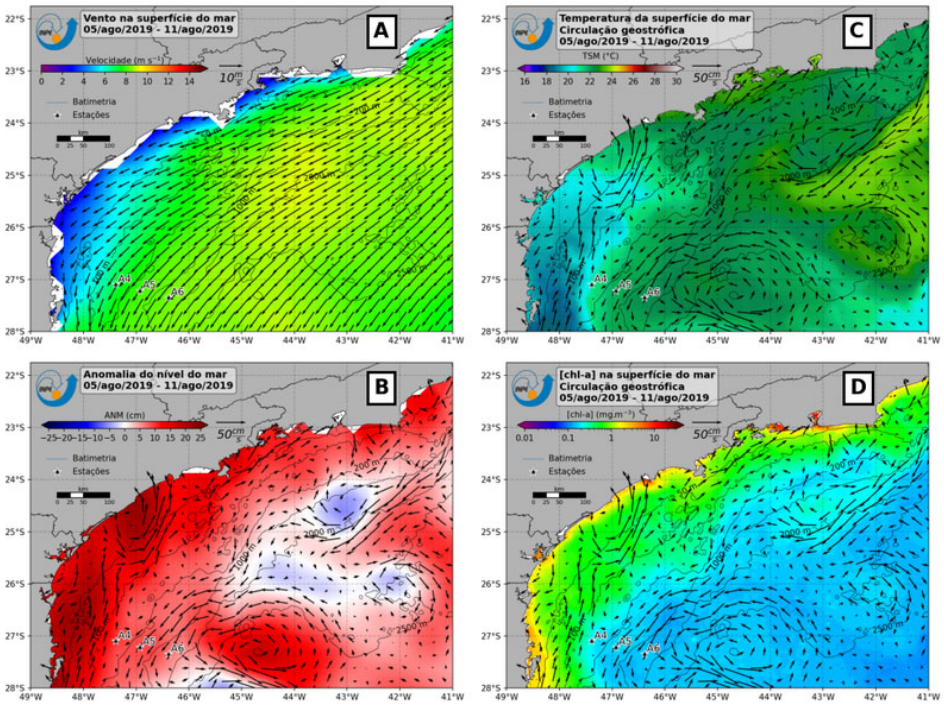
29-01-22	2021/22	PMC	E08	-26.54	-43.51	0.011559	0.01123	0.000329	0.008933	0.027
13-02-22	2021/22	SUP	F01	-23.26	-44.09	0.022475	0.020078	0.002398	0.029881	0.022742
13-02-22	2021/22	PMC	F01	-23.26	-44.09	0.050084	0.045275	0.004809	0.061588	0.019163
13-02-22	2021/22	SUP	F02	-23.59	-43.92	0.028157	0.02683	0.001327	0.003718	0.031376
13-02-22	2021/22	PMC	F02	-23.59	-43.92	0.032016	0.029027	0.002989	0.00738	0.027088
14-02-22	2021/22	SUP	F03	-23.89	-43.77	0.006655	0.006389	0.000267	0.020015	0.022682
14-02-22	2021/22	PMC	F03	-23.89	-43.77	0.02223	0.019672	0.002558	0.00687	0.027461
28-02-22	2021/22	SUP	F04	-24.29	-43.57	0.005579	0.005403	0.000175	0.010056	0.026412
28-02-22	2021/22	PMC	F04	-24.29	-43.57	0.017428	0.016713	0.000715	0.009645	0.027139
17-02-22	2021/22	SUP	F05	-24.74	-43.34	0.00554	0.004981	0.000559	0.009402	0.031786
17-02-22	2021/22	PMC	F05	-24.74	-43.34	0.019004	0.018559	0.000445	0.004505	0.035452
18-02-22	2021/22	SUP	F06	-25.2	-43.1	0.005511	0.005294	0.000218	0.001305	0.038499
18-02-22	2021/22	PMC	F06	-25.2	-43.1	0.016055	0.015849	0.000206	0.006568	0.030394
21-02-22	2021/22	SUP	F07	-25.73	-42.83	0.004465	0.004211	0.000254	0.002365	0.034774
21-02-22	2021/22	PMC	F07	-25.73	-42.83	0.012423	0.012132	0.000291	0.002888	0.034839
26-02-22	2021/22	SUP	F08	-26.14	-42.62	0.004574	0.004184	0.00039	0.006349	0.030947
26-02-22	2021/22	PMC	F08	-26.14	-42.62	0.014811	0.013735	0.001076	0.004978	0.030657
28-03-22	2021/22	SUP	G01	-23.03	-43.07	0.036369	0.026019	0.010351	0.039533	0.020415
28-03-22	2021/22	PMC	G01	-23.03	-43.07	0.057575	0.049734	0.00784	0.038591	0.020159
28-03-22	2021/22	SUP	G02	-23.33	-42.92	0.019134	0.015802	0.003332	0.020938	0.023017
28-03-22	2021/22	PMC	G02	-23.33	-42.92	0.119742	0.113895	0.005847	0.016347	0.023626
27-03-22	2021/22	SUP	G03	-23.64	-42.77	0.018972	0.016982	0.00199	0.009626	0.02681
27-03-22	2021/22	PMC	G03	-23.64	-42.77	0.027262	0.026288	0.000974	0.010876	0.024304
23-03-22	2021/22	SUP	G04	-23.84	-42.67	0.007046	0.006041	0.001005	0.006659	0.027726
23-03-22	2021/22	PMC	G04	-23.84	-42.67	0.019669	0.018605	0.001064	0.016459	0.022951
24-03-22	2021/22	SUP	G05	-24.29	-42.44	0.008748	0.007507	0.001241	0.004092	0.030843
24-03-22	2021/22	PMC	G05	-24.29	-42.44	0.016918	0.015381	0.001537	0.017141	0.022644

PÚBLICA

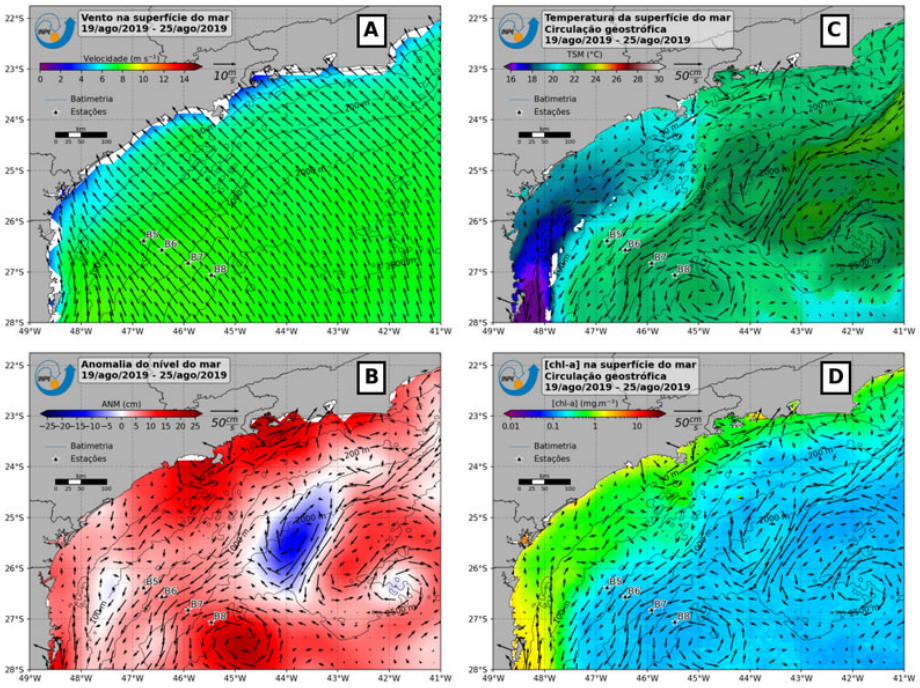
25-03-22	2021/22	SUP	G06	-24.74	-42.21	0.006937	0.006446	0.000492	0.001262	0.036172
25-03-22	2021/22	PMC	G06	-24.74	-42.21	0.015869	0.015265	0.000604	0.002738	0.031639
26-03-22	2021/22	SUP	G07	-25.2	-41.98	0.007662	0.006562	0.0011	0.003813	0.030681
26-03-22	2021/22	PMC	G07	-25.2	-41.98	0.015898	0.01519	0.000709	0.012637	0.02376
29-03-22	2021/22	SUP	H01	-22.96	-42.27	0.092804	0.073449	0.019355	0.108634	0.017749
29-03-22	2021/22	PMC	H01	-22.96	-42.27	0.117881	0.101228	0.016653	0.028093	0.021133
20-03-22	2021/22	SUP	H02	-23.21	-42.12	0.021083	0.019448	0.001635	0.016693	0.024194
20-03-22	2021/22	PMC	H02	-23.21	-42.12	0.041206	0.039674	0.001532	0.011847	0.023807
20-03-22	2021/22	SUP	H03	-23.47	-41.97	0.012586	0.011126	0.00146	0.015941	0.024136
20-03-22	2021/22	PMC	H03	-23.47	-41.97	0.01726	0.015446	0.001814	0.013965	0.023503
19-03-22	2021/22	SUP	H04	-23.8	-41.78	0.007561	0.006714	0.000848	0.005466	0.029045
19-03-22	2021/22	PMC	H04	-23.8	-41.78	0.019812	0.019241	0.000571	0.008336	0.026603
18-03-22	2021/22	SUP	H05	-24.24	-41.52	0.007247	0.006031	0.001216	0.003824	0.031004
18-03-22	2021/22	PMC	H05	-24.24	-41.52	0.019878	0.01952	0.000359	0.00701	0.027597
17-03-22	2021/22	SUP	H06	-24.53	-41.35	0.010744	0.008951	0.001794	0.006554	0.028568
17-03-22	2021/22	PMC	H06	-24.53	-41.35	0.022061	0.020444	0.001617	0.014501	0.0243

PÚBLICA

Anexo XI-3: Composições Semanais

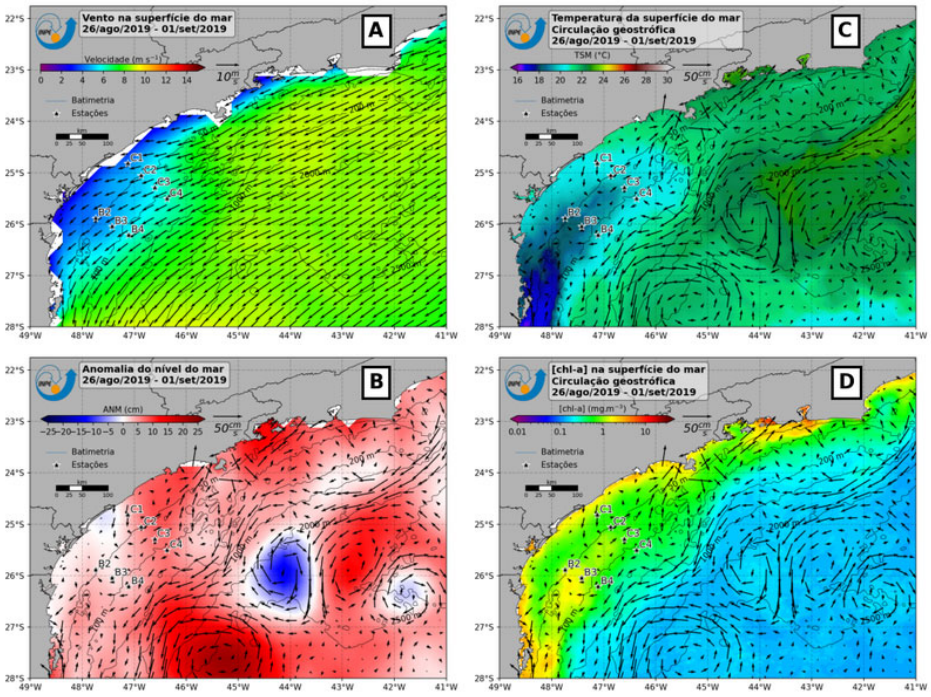


***Anexo XI.3-1**: Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 05/08/2019 a 11/08/2019 na Bacia de Santos.*

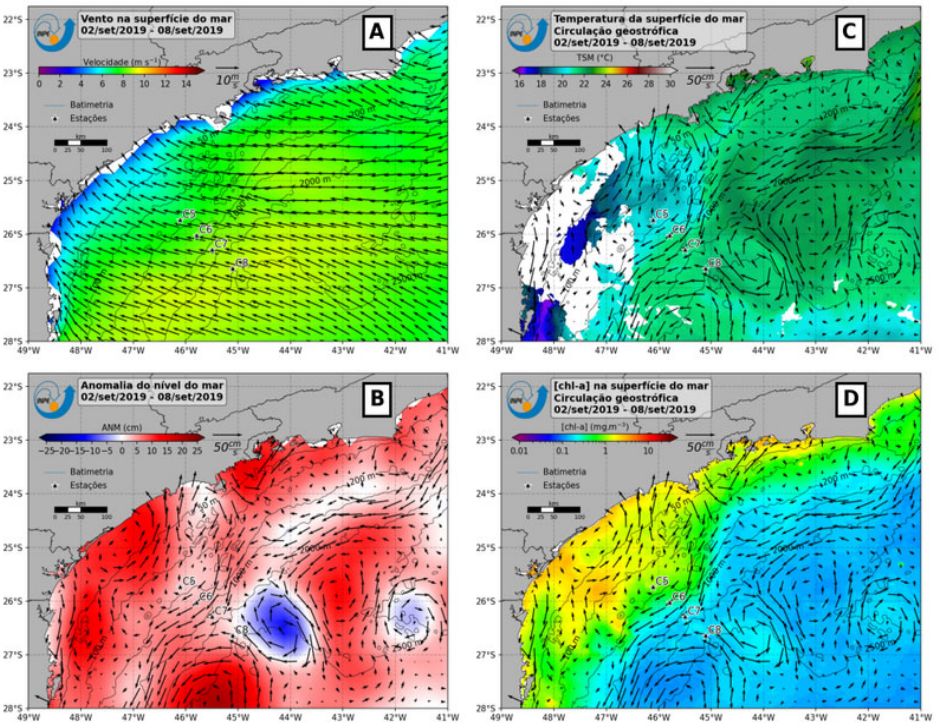


***Anexo XI.3-2:** Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 19/08/2019 a 25/08/2019 na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

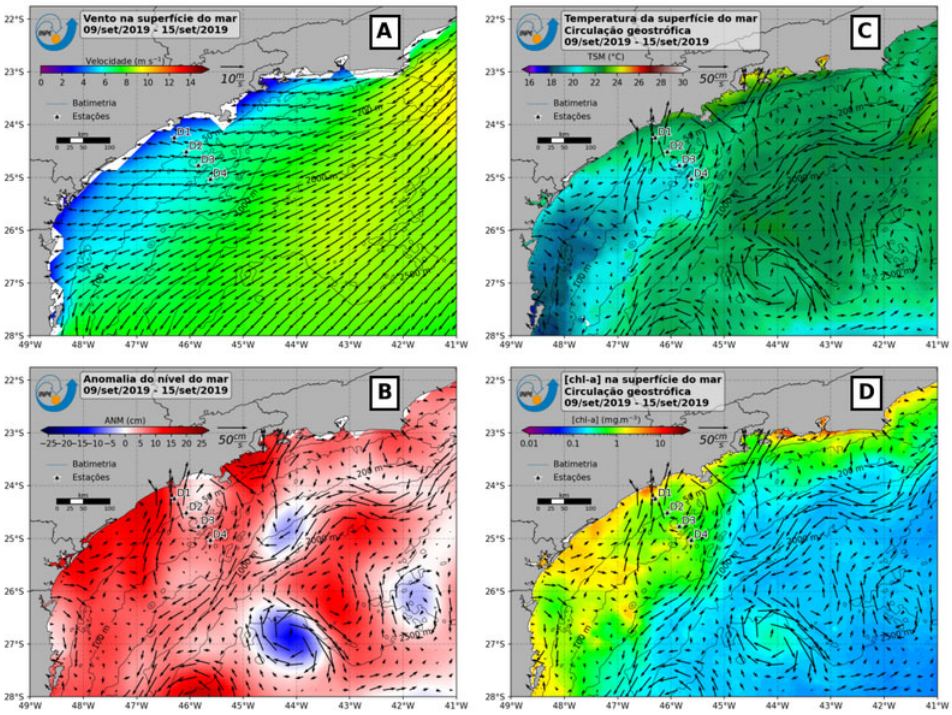


Anexo XI.3-3: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 26/08/2019 a 01/09/2019 na Bacia de Santos.*

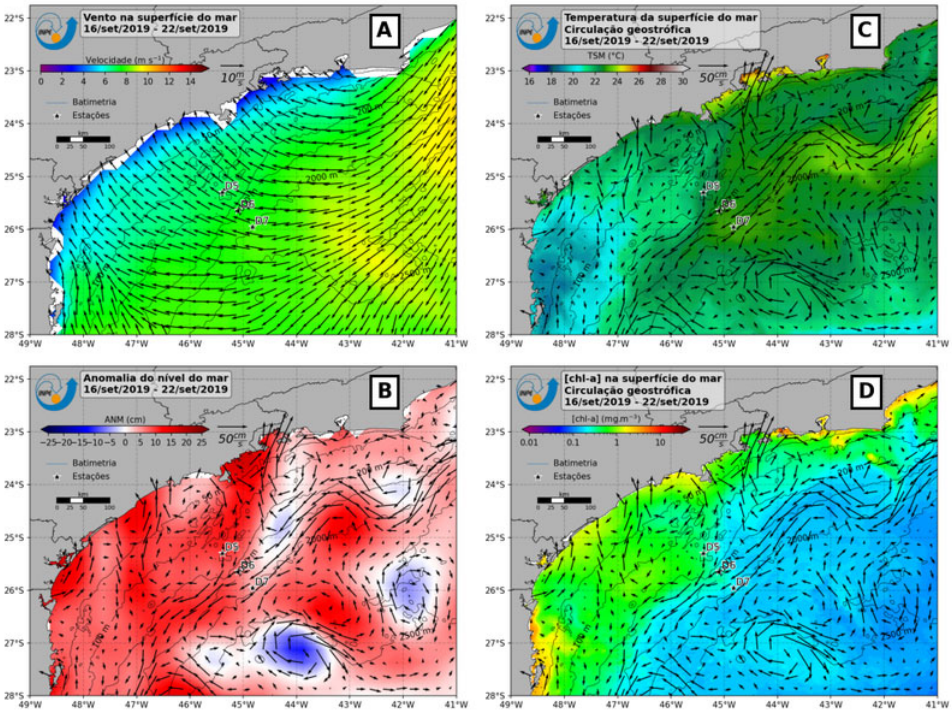


Anexo XI.3-4: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 02/09/2019 a 08/09/2019 na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

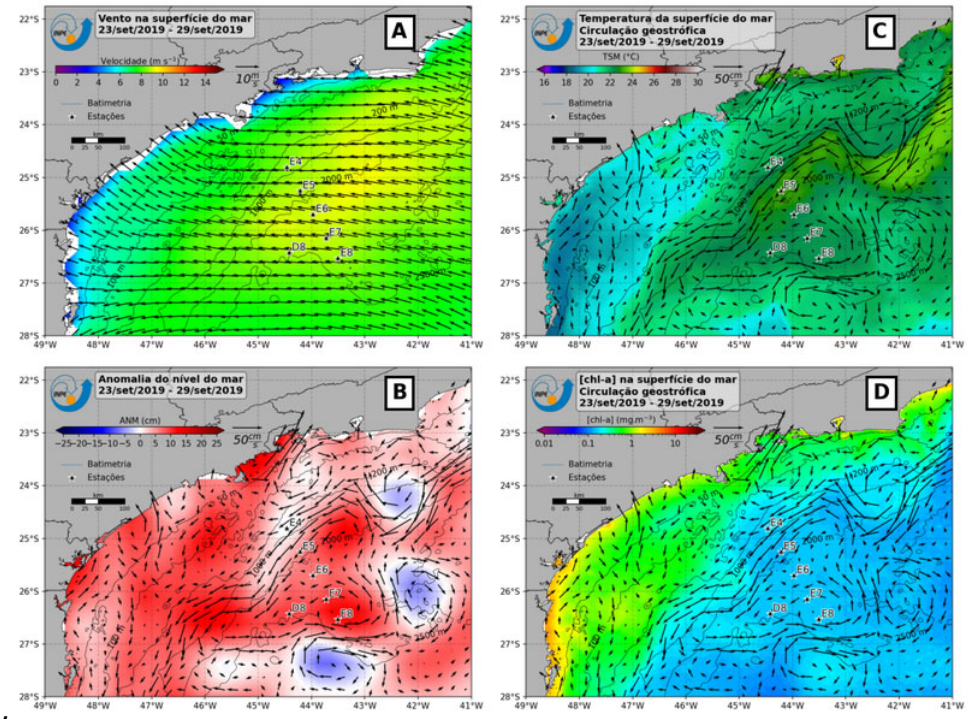


***Anexo XI.3-5**: Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 09/09/2019 a 15/09/2019 na Bacia de Santos.*

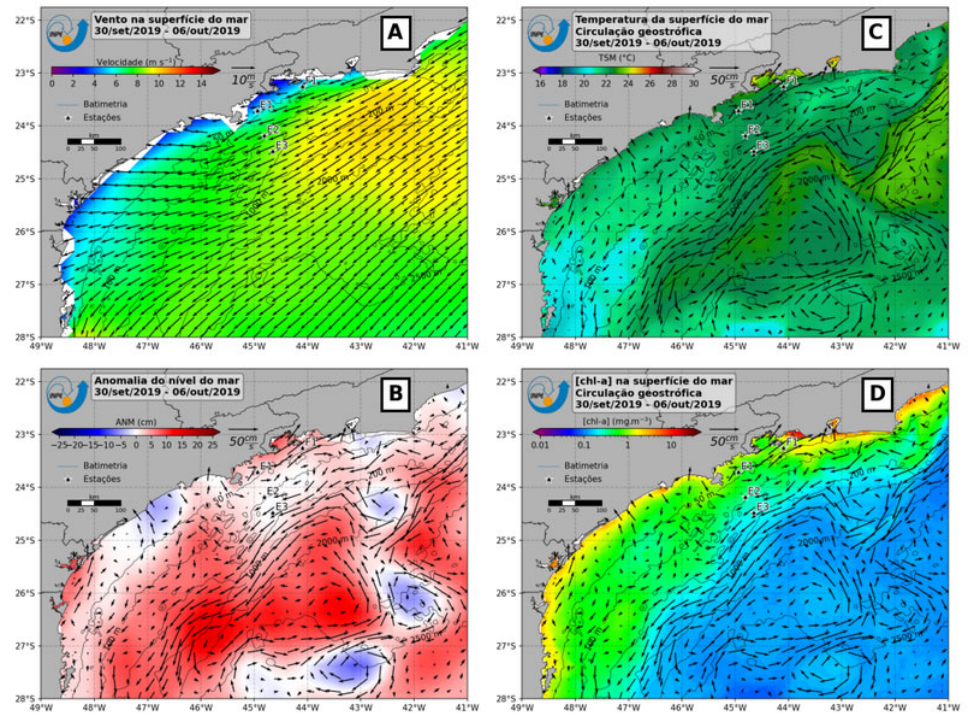


***Anexo XI.3-6:** Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 16/09/2019 a 22/09/2019 na Bacia de Santos.*

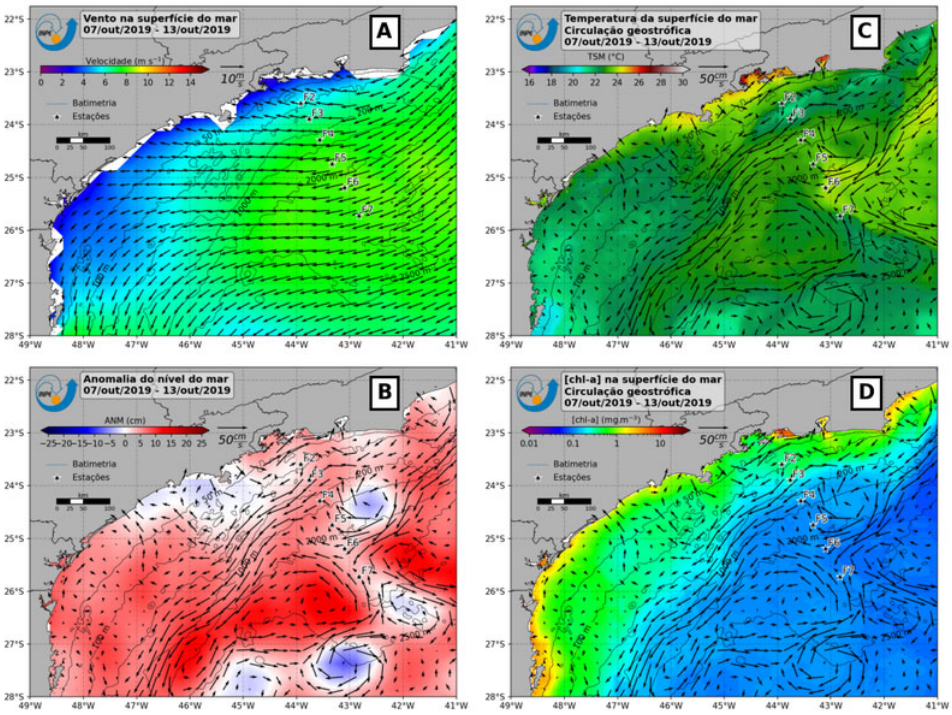
PÚBLICA



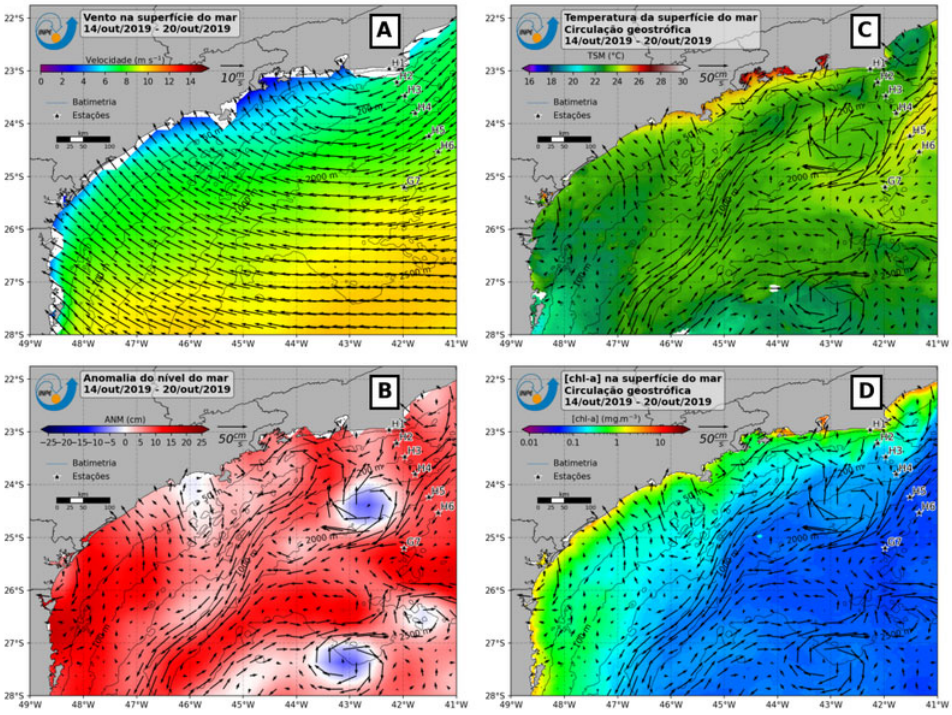
Anexo XI.3-7: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 23/09/2019 a 29/09/2019 na Bacia de Santos.*



Anexo XI.3-8: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 30/09/2019 a 06/10/2019 na Bacia de Santos.*

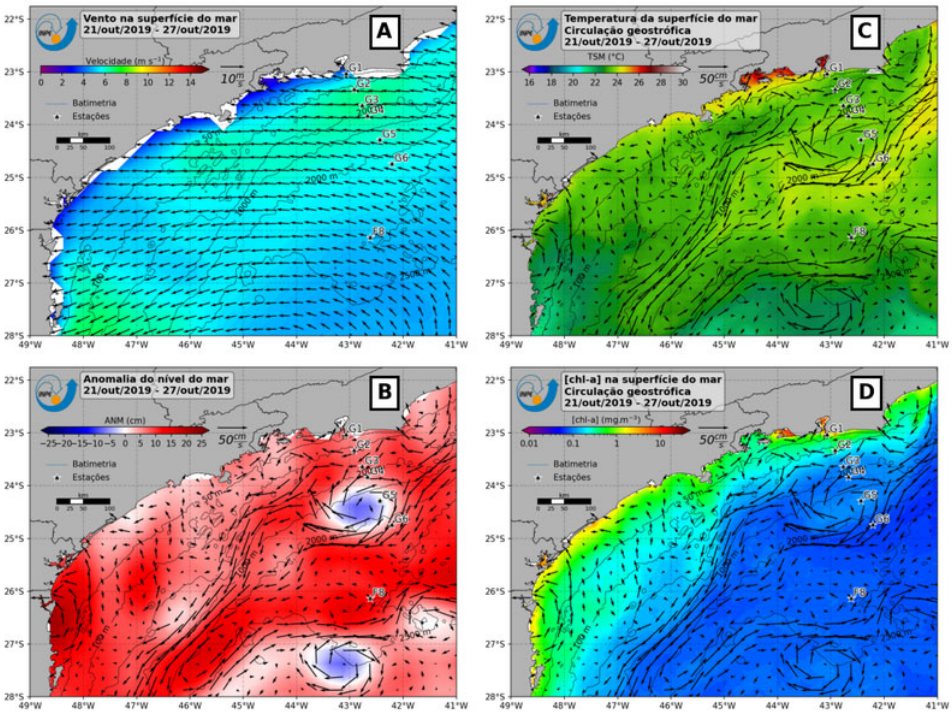


Anexo XI.3-9: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 07/10/2019 a 13/10/2019 na Bacia de Santos.*

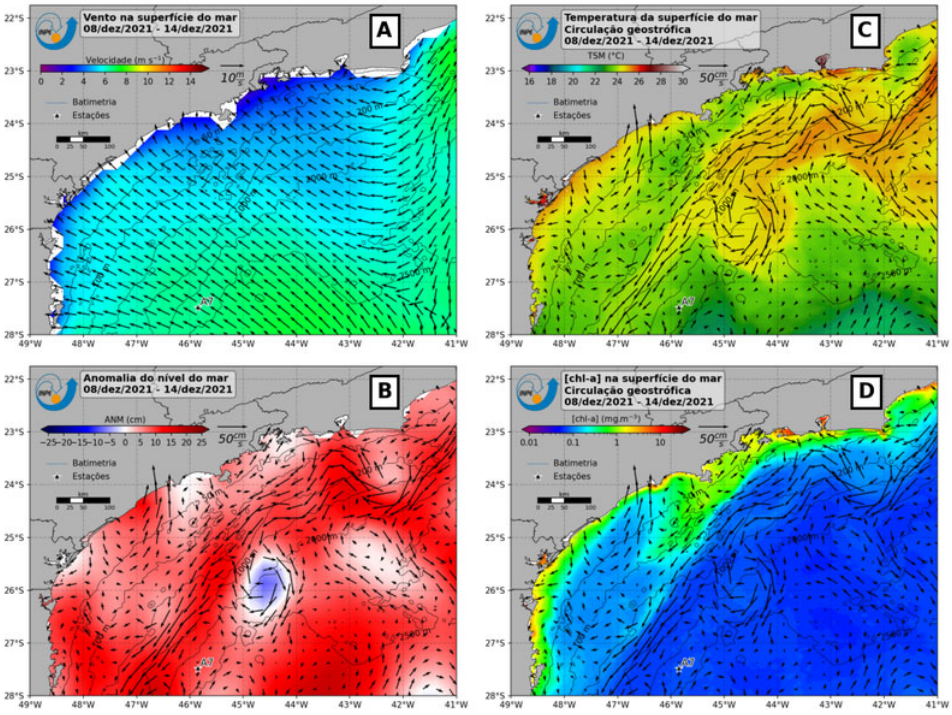


Anexo XI.3-10: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 14/10/2019 a 20/10/2019 na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

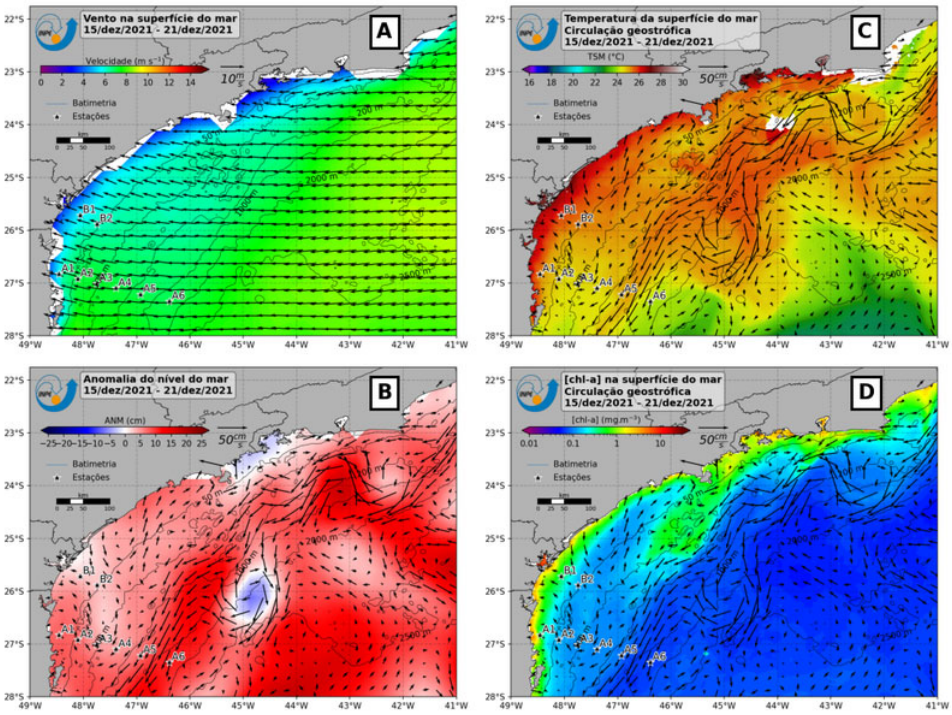


Anexo XI.3-11: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 21/10/2019 a 27/10/2019 na Bacia de Santos.*

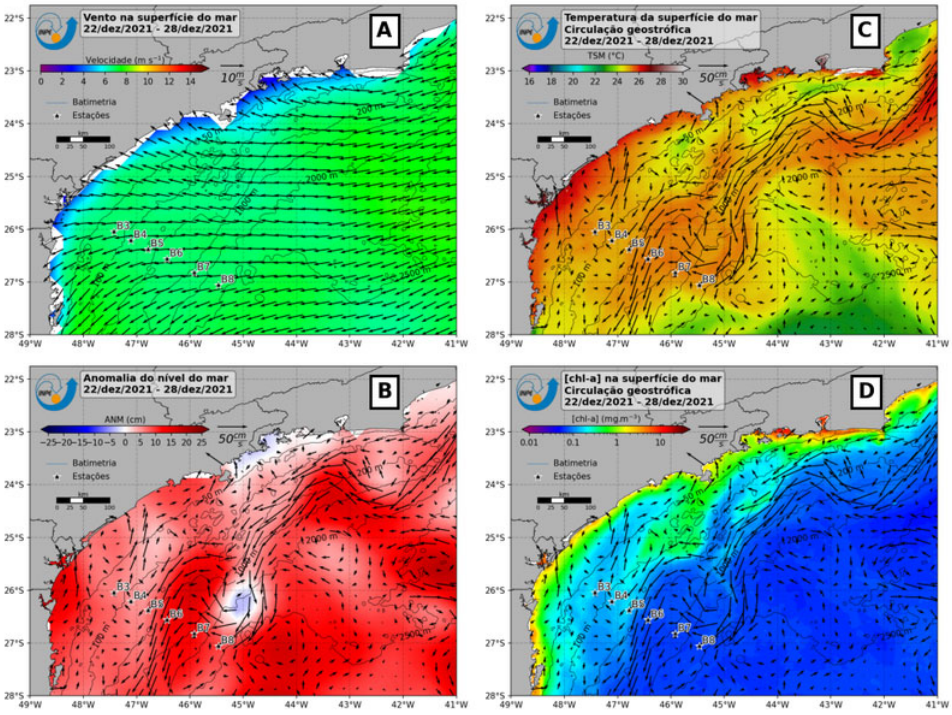


Anexo XI.3-12: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 08/12/2021 a 14/12/2021 na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

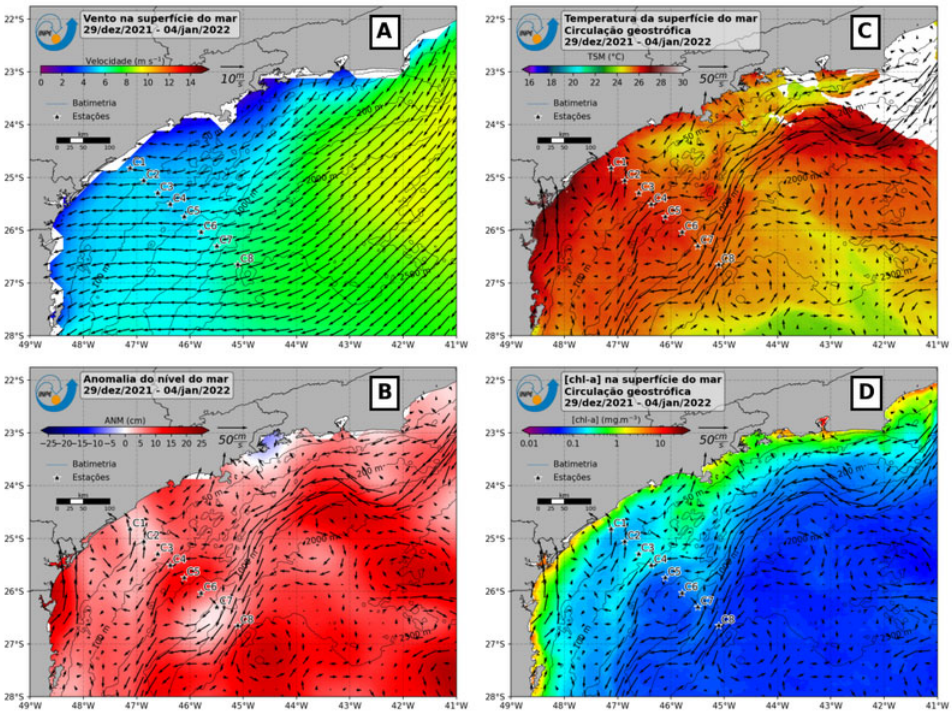


Anexo XI.3-13: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 15/12/2021 a 21/12/2021 na Bacia de Santos.*

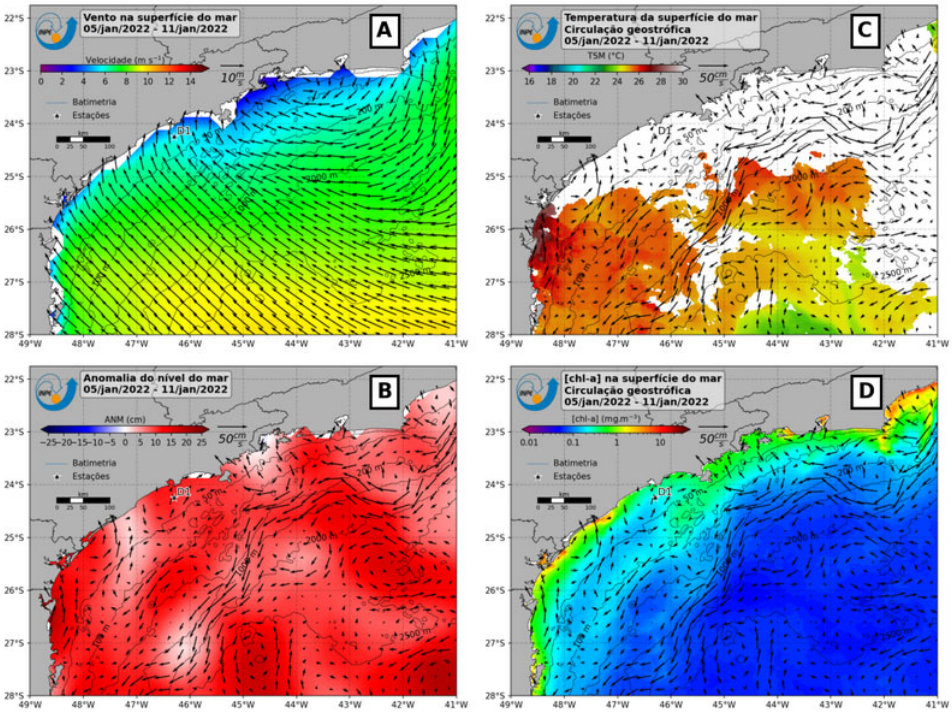


Anexo XI.3-14: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 22/12/2021 a 28/12/2021 na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

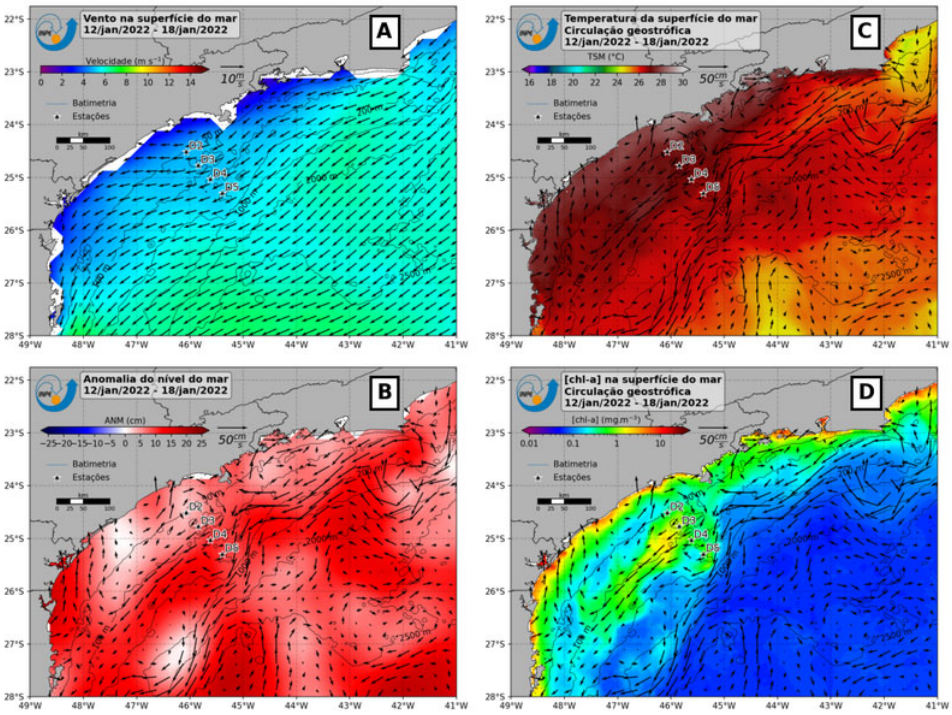


Anexo XI.3-15: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 29/12/2021 a 04/01/2022 na Bacia de Santos.*

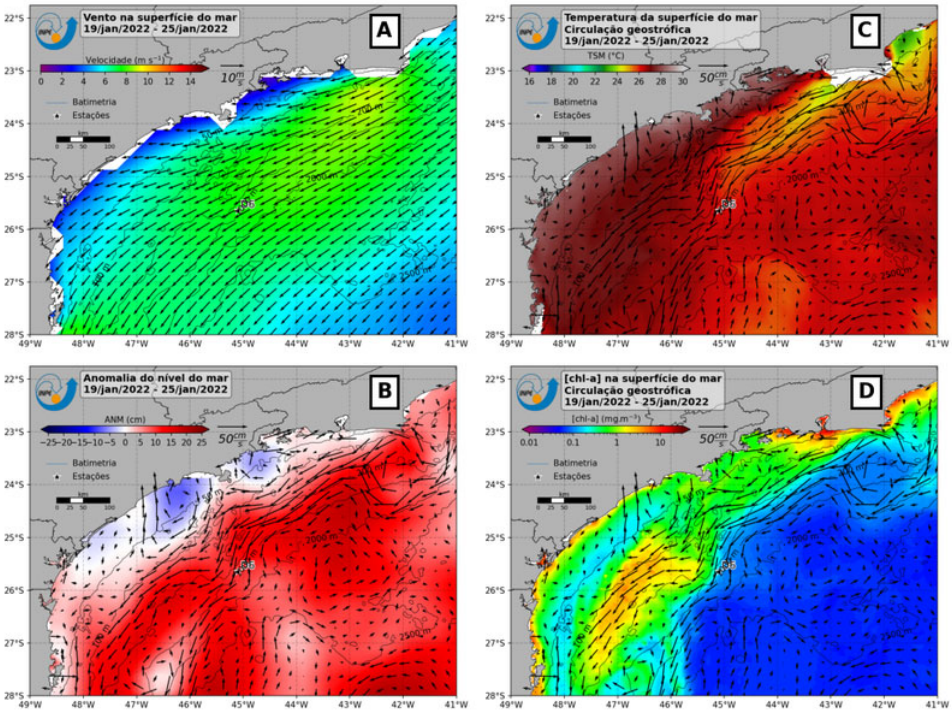


Anexo XI.3-16: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 05/01/2022 a 11/01/2022 na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

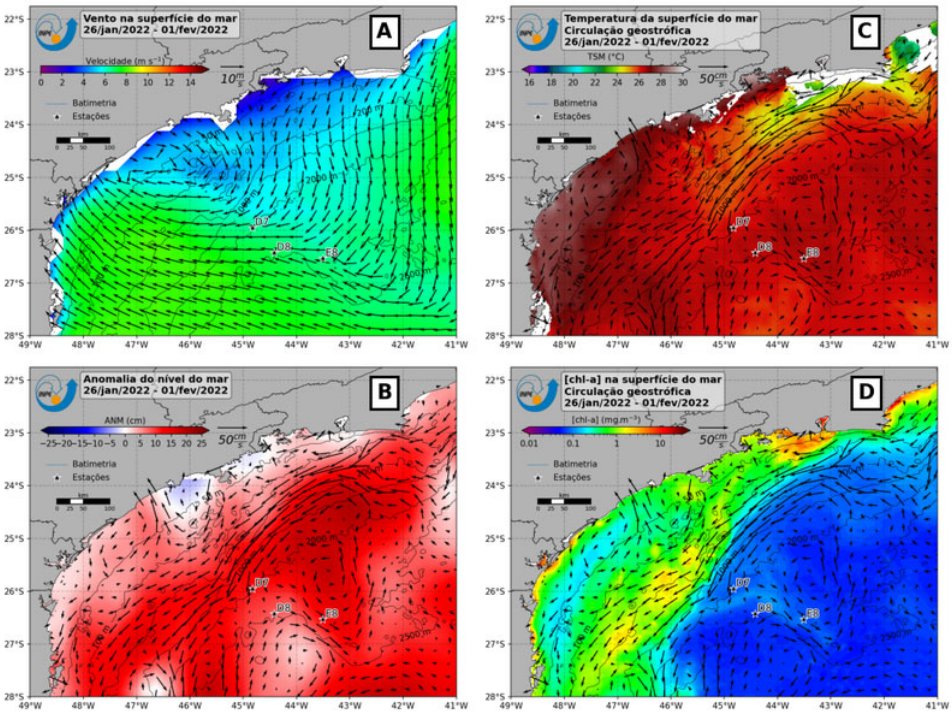


Anexo XI.3-17: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 12/01/2022 a 18/01/2022 na Bacia de Santos.*

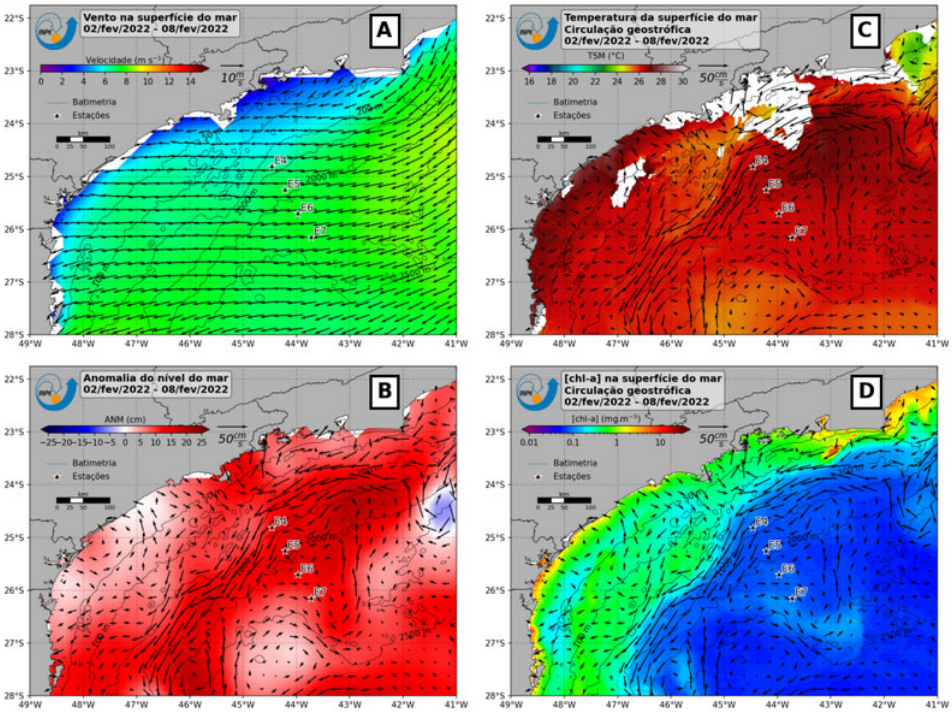


Anexo XI.3-18*: Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 18/01/2022 a 25/01/2022 na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

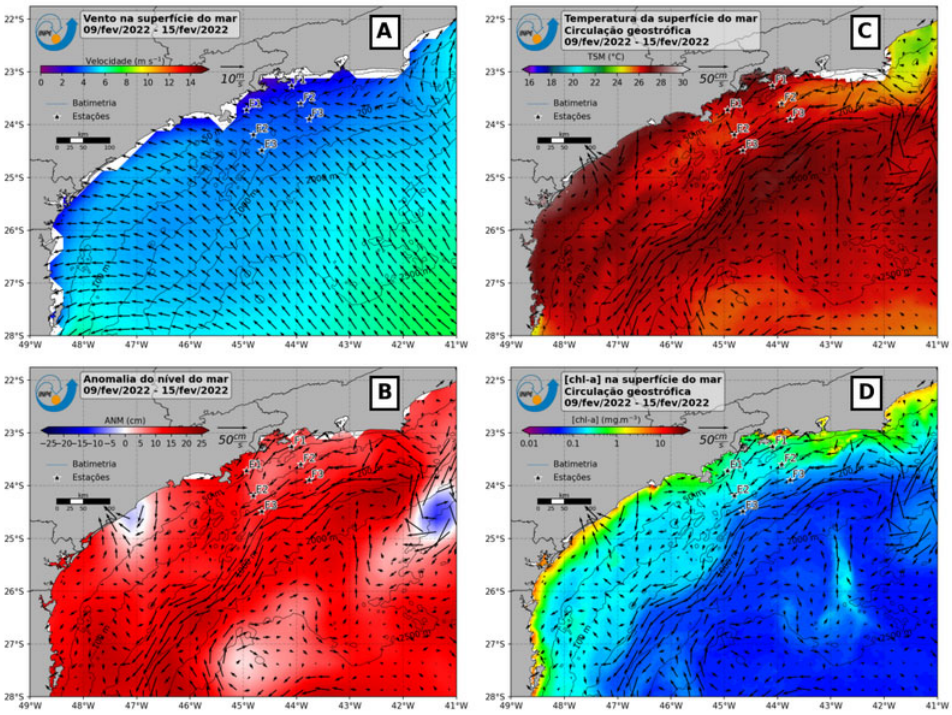


Anexo XI.3-19: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 26/01/2022 a 01/02/2022 na Bacia de Santos.*

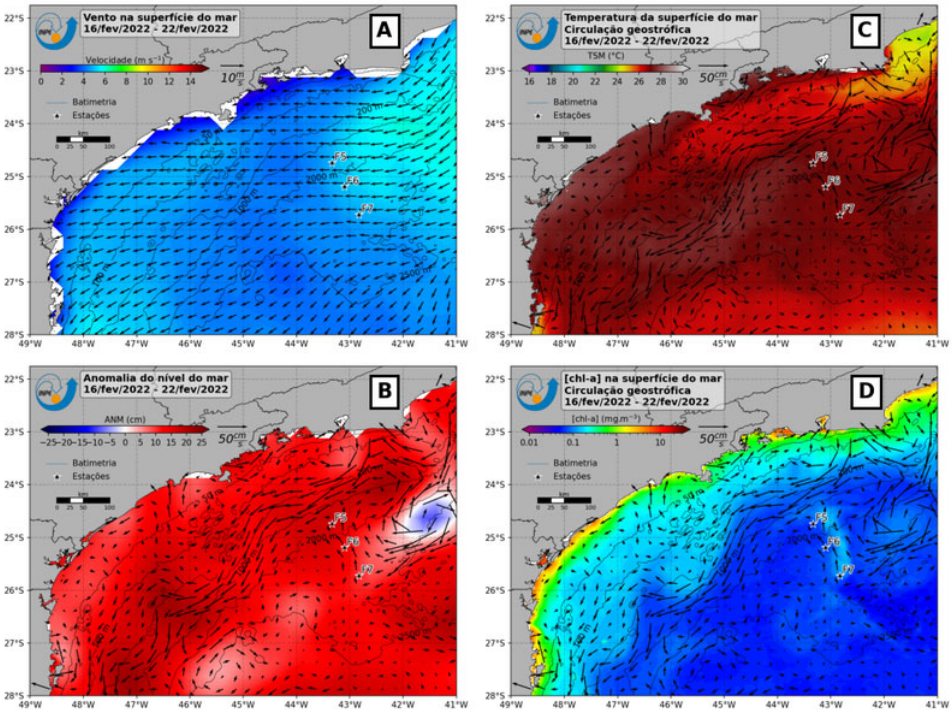


Anexo XI.3-20: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 02/02/2022 a 08/02/2022 na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

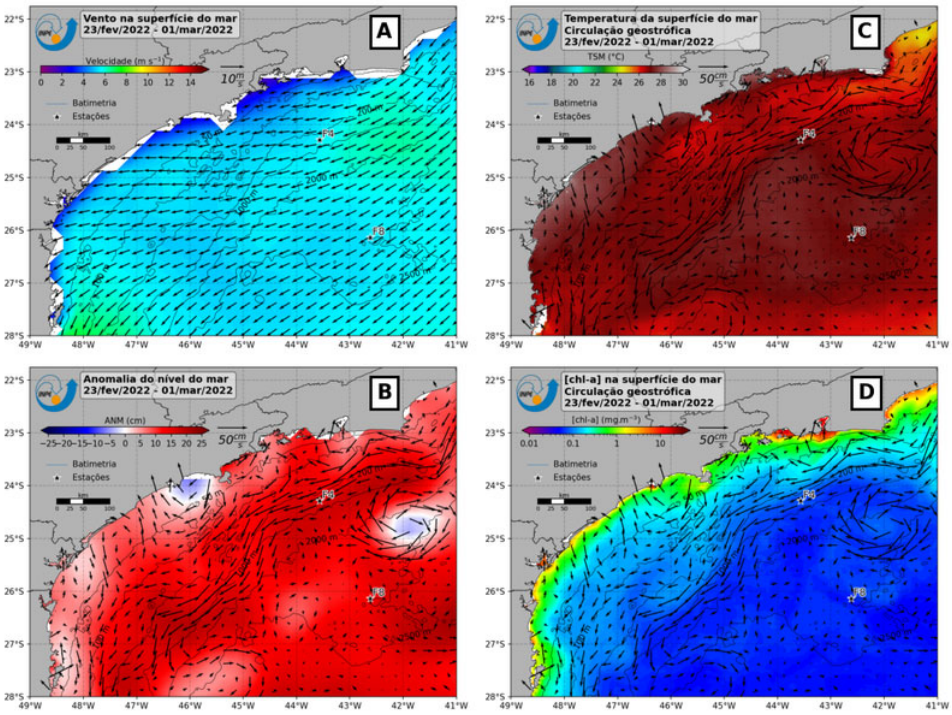


Anexo XI.3-21: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 09/02/2022 a 15/02/2022 na Bacia de Santos.*

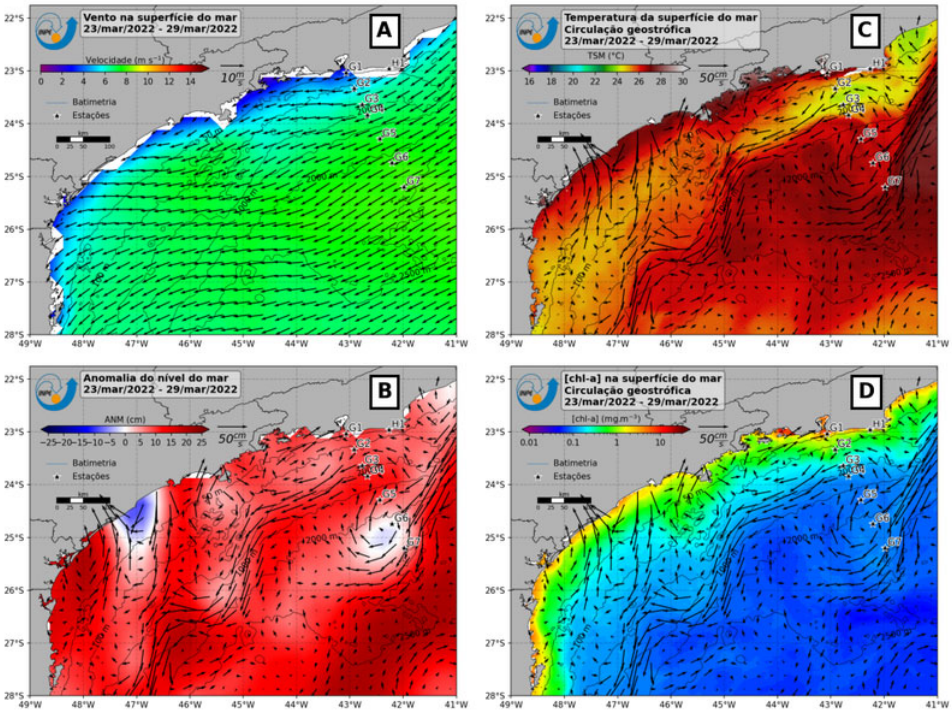


Anexo XI.3-22: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 16/02/2022 a 22/02/2022 na Bacia de Santos.*

PÚBLICA



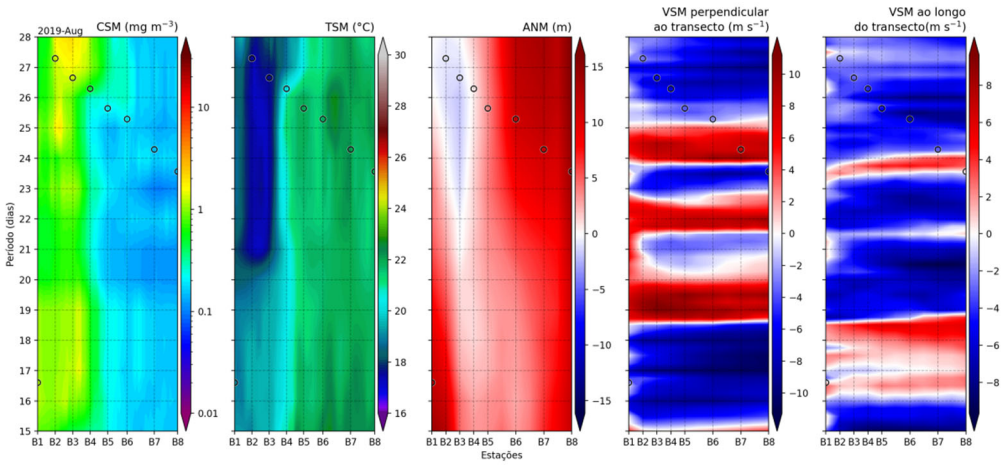
Anexo XI.3-23: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 23/02/2022 a 01/03/2022 na Bacia de Santos.*



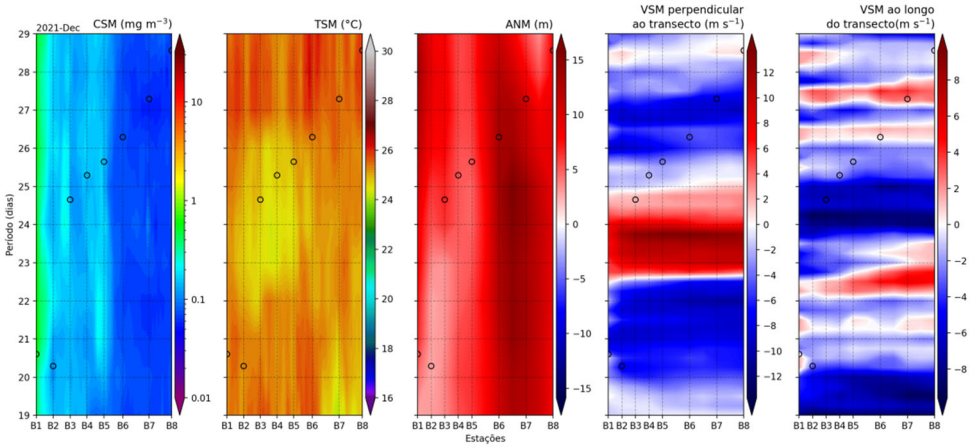
Anexo XI.3-24: *Composições semanais de VSM (A), ANM (B), TSM (C) e CSM (D) com corrente geostrófica para a semana do dia 23/03/2022 a 29/03/2022 na Bacia de Santos.*

PÚBLICA

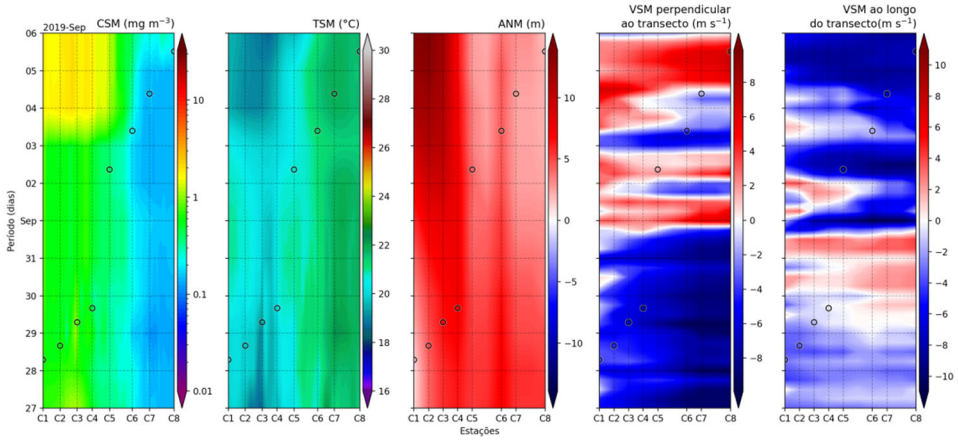
Anexo XI-4: Diagramas de Hovmoller



***Anexo XI.4-1**: Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto B, realizado entre os dias 15-28/08/2019.*

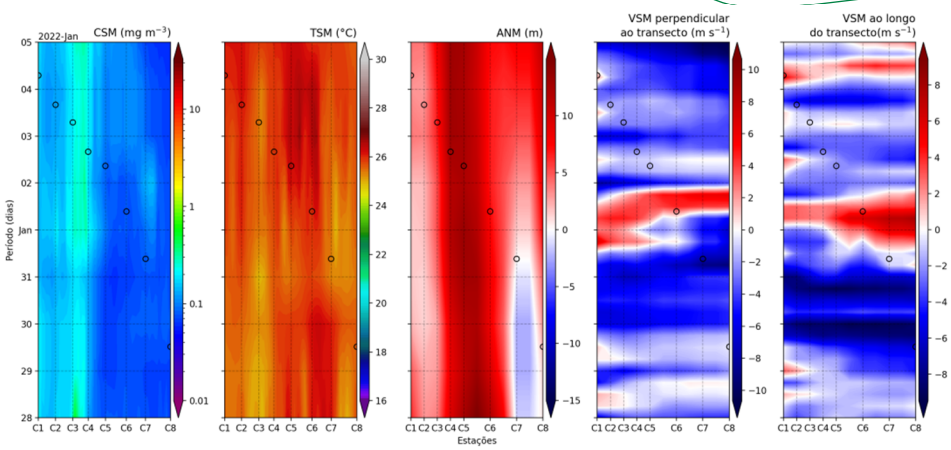


***Anexo XI.4-2:** Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto B, realizado entre os dias 19-29/12/2021.*

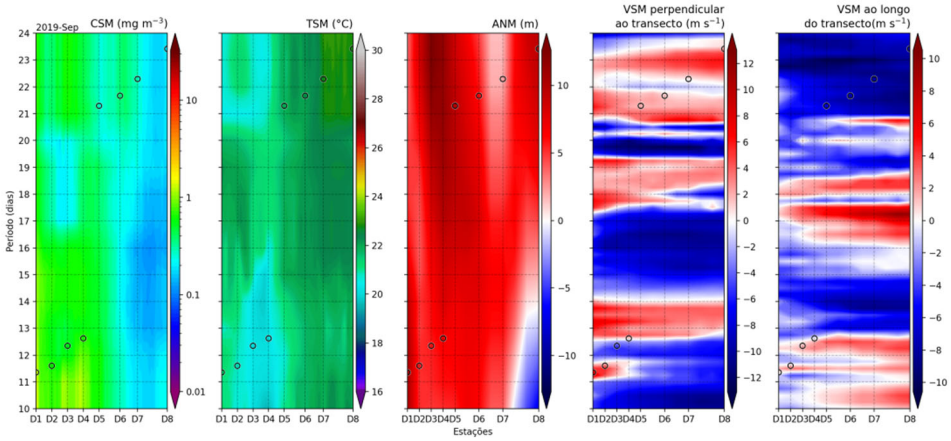


***Anexo XI.4-3:** Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto C, realizado entre os dias 27/08-06/09/2019.*

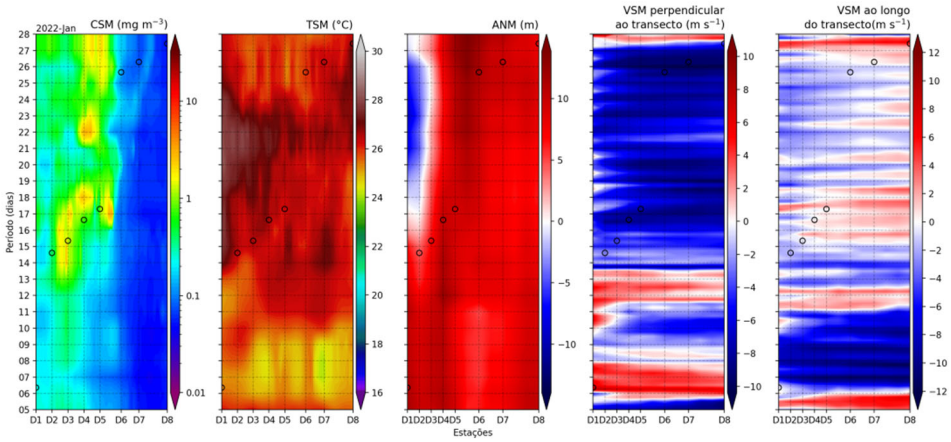
PÚBLICA



Anexo XI.4-4: *Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto C, realizado entre os dias 28/12/2021 e 05/01/2022.*

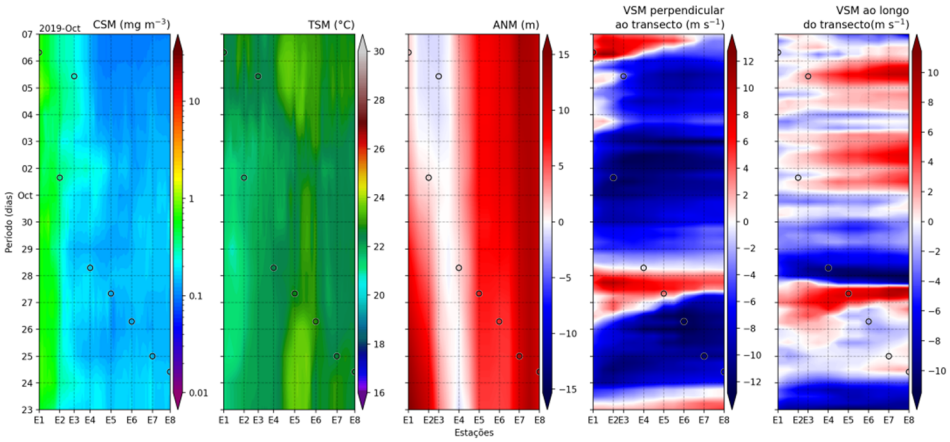


Anexo XI.4-4*: Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto D, realizado entre os dias 10-24/09/2019.*

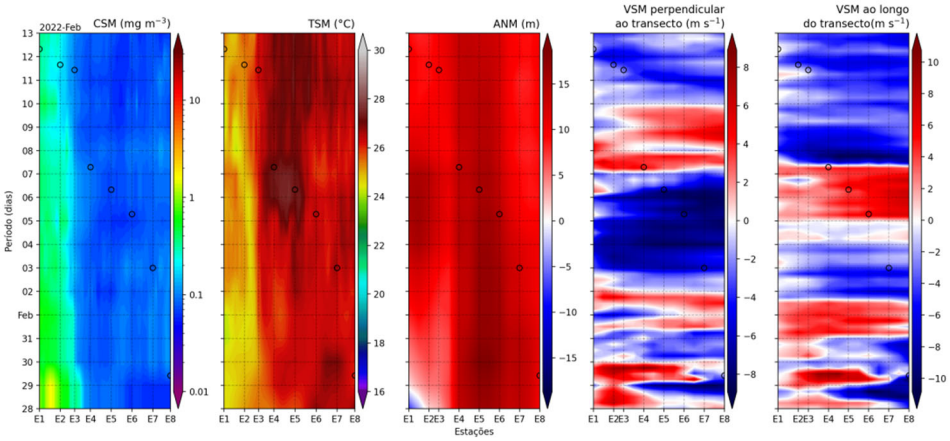


Anexo XI.4-5*: Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto D, realizado entre os dias 05-28/01/2022.*

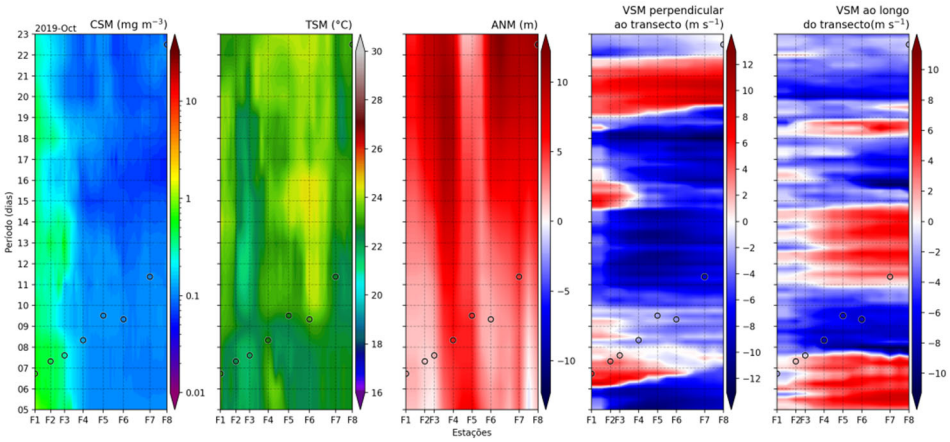
PÚBLICA



***Anexo XI.4-6**: Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto E, realizado entre os dias 23/09-07/10/2021.*

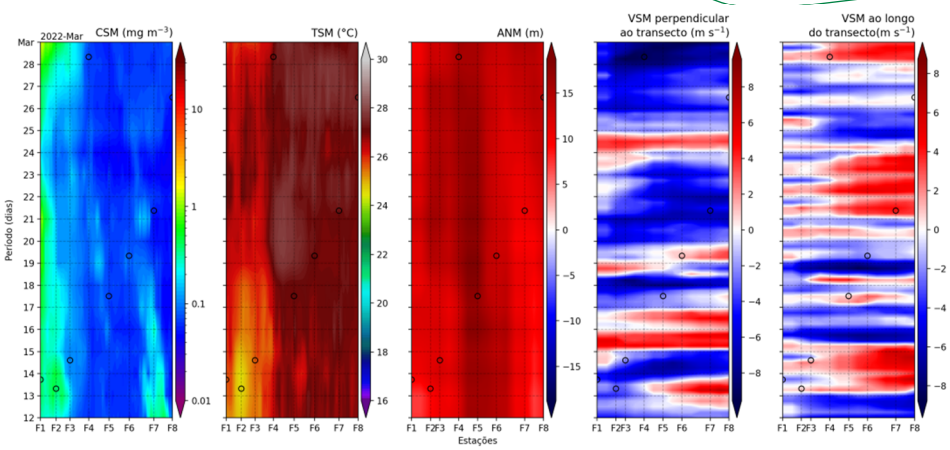


***Anexo XI.4-7**: Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto E, realizado entre os dias 28/01-13/02/2022.*

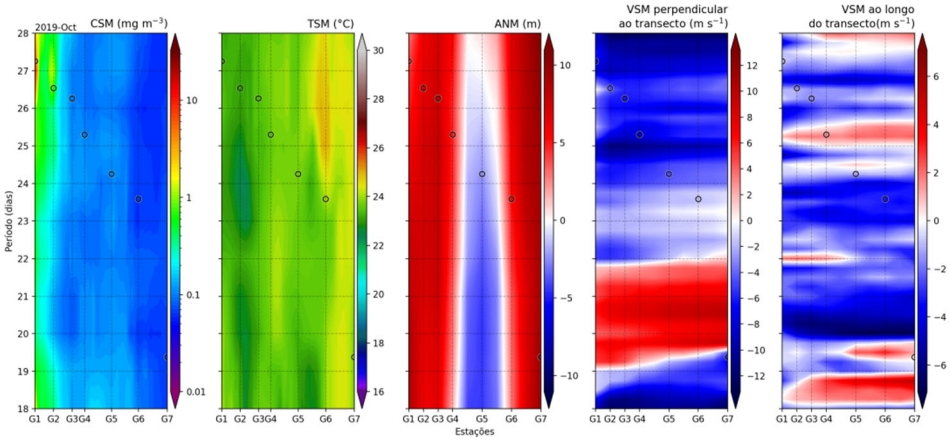


***Anexo XI.4-8**: Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto F, realizado entre os dias 05-23/10/2019.*

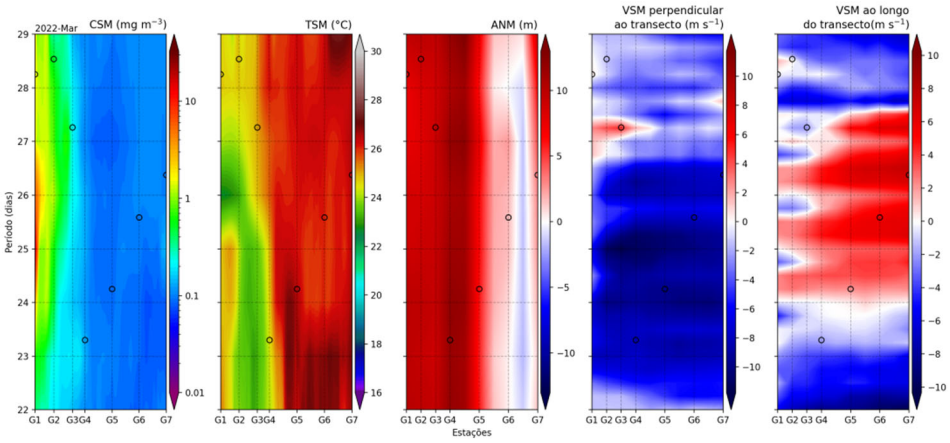
PÚBLICA



***Anexo XI.4-9**: Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto F, realizado entre os dias 12-28/03/2022.*

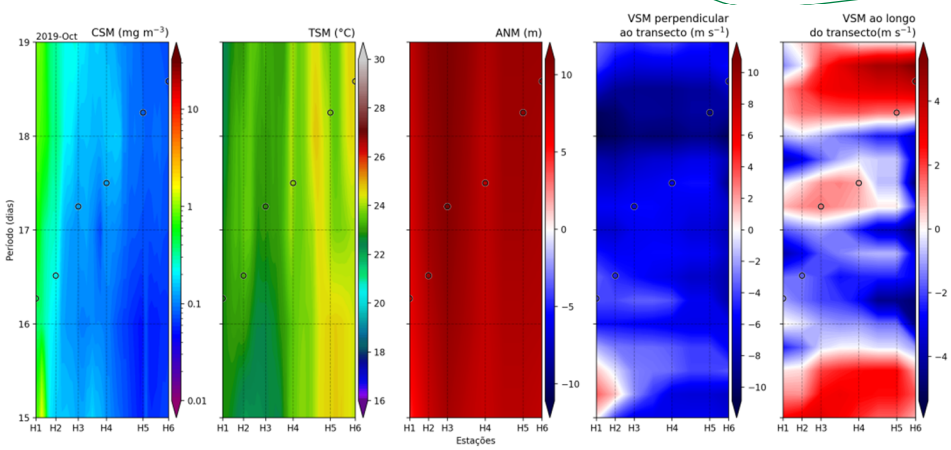


***Anexo XI.4-10**: Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto G, realizado entre os dias 18-23/10/2019.*

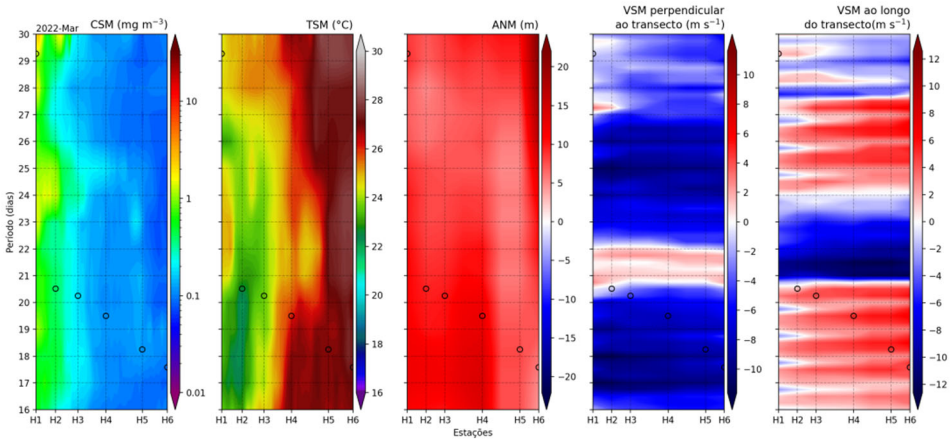


***Anexo XI.4-11**: Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto G, realizado entre os dias 22-29/03/2022.*

PÚBLICA



***Anexo XI.4-12**: Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto H, realizado entre os dias 15-19/10/2019.*



***Anexo XI.4-13**: Diagramas de Hovmoller para CSM, TSM, ANM, VSM perpendicular e ao longo do transecto H, realizado entre os dias 16-30/03/2022.*

PÚBLICA