



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

Isis Ferreira Batistela

**VARIAÇÃO TEMPORAL DA ESTRUTURA TRÓFICA PLANCTÔNICA EM
RESPOSTA À DINÂMICA DE MASSAS DE ÁGUA E NUTRIENTES NO
ENTORNO DE UMA ILHA COSTEIRA SUBTROPICAL**

Florianópolis

2023

Isis Ferreira Batistela

**VARIAÇÃO TEMPORAL DA ESTRUTURA TRÓFICA PLANCTÔNICA EM
RESPOSTA À DINÂMICA DE MASSAS DE ÁGUA E NUTRIENTES NO
ENTORNO DE UMA ILHA COSTEIRA SUBTROPICAL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Ecologia.

Orientador(a): Profa. Andrea Santarosa Freire, Dra.

Coorientador: Luís C. P. de Macedo Soares, Dr.

Florianópolis

2023

Batistela, Isis Ferreira

VARIAÇÃO TEMPORAL DA ESTRUTURA TRÓFICA PLANCTÔNICA EM
RESPOSTA À DINÂMICA DE MASSAS DE ÁGUA E NUTRIENTES NO ENTORNO DE
UMA ILHA COSTEIRA SUBTROPICAL / Isis Ferreira Batistela ;
orientadora, Andrea Santarosa Freire, coorientador, Luís Carlos
Pinto de Macedo Soares, 2023.

66 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-
Graduação em Ecologia, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Ecologia. 2. Zooplâncton. 3. Fitoplâncton. 4. El Niño. 5.
Reserva Marinha Biológica do Arvoredo. I. Freire, Andrea
Santarosa. II. Soares, Luís Carlos Pinto de Macedo. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Ecologia. IV. Título.

Isis Ferreira Batistela

**VARIAÇÃO TEMPORAL DA ESTRUTURA TRÓFICA PLANCTÔNICA EM
RESPOSTA À DINÂMICA DE MASSAS DE ÁGUA E NUTRIENTES NO ENTORNO
DE UMA ILHA COSTEIRA SUBTROPICAL**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 12 de setembro de 2023
pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof^ª. Mariana Guenther Soares, Dr^ª.

Universidade de Pernambuco

Aurea Luiza Lemes da Silva, Dr^ª.

Universidade Federal de Santa Catarina

Luís C. P. de Macedo Soares, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª. Andrea Santarosa Freire, Dr^ª.

Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado
adequado para obtenção do título de Mestra em Ecologia.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof^ª. Andrea Santarosa Freire, Dr^ª.

Orientadora

Florianópolis, 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais, Simone e Luis, por sempre acreditarem em mim e por todo o apoio que me foi dado.

Agradecimento especial à minha orientadora Andrea e meu coorientador Luís, pelas orientações, instruções, ajudas e palavras de conforto nos momentos de desespero; ao laboratório de Crustáceos e Plâncton e suas integrantes maravilhosas, vocês são o coração desse lab!

Agradeço também a UFSC, ao programa de Pós Graduação em Ecologia, por ter sido flexível em vários momentos e por ter levado em consideração diversas dificuldades que a minha turma enfrentou por conta da pandemia; e aos professores do PPGECO, pelas ótimas aulas, dedicação e paciência.

Ao pessoal do projeto AtlantECO, onde fui bolsista de extensão por quase um ano e trabalhei com educação ambiental, divulgação científica e expedições científicas. Apesar da correria para conciliar o mestrado com este projeto, ele foi essencial para minha formação e realização pessoal e profissional.

Aos meus colegas do grupo do mestrado “Ecocoleguinhas” Daniel, Jéssica, Joana, Sofia, Luiz, Luiza e Thais pela parceria e apoio nestes anos.

Aos meus parceiros de expedição para Ilha da Trindade, Fran, André e Gabriel, onde estávamos literalmente no mesmo barco, nos apoiando e nos dividindo entre as coletas do projeto e as nossas respectivas dissertações.

Às minhas roomies Beatriz e Joana, às minhas amigas e vizinhas Malu, Natasha e Beatriz R., e as minhas irmãs Paola e Naiade, que ouviram meus surtos e desabafos, assim como ouvi os delas. Sempre nos apoiando nas piores horas e nos divertindo nas melhores.

Ao CAPES/CNPq pela bolsa, que foi essencial para minha manutenção em Florianópolis.

Aos integrantes da banca, pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições na pré-banca e na banca.

E por fim, ao projeto MAARE e todos os seus integrantes, por ceder os dados para que este trabalho fosse possível e a PETROBRÁS, pelo financiamento. Muito já foi feito com o enorme banco de dados do projeto e aqui eu coloco mais um tijolinho para desvendarmos mais um pouco da nossa amada REBIO.

Lança o barco contra o mar

Venha o vento que houver

E se virar,

Nada

Rubel Brisolla. O Velho e o Mar.

RESUMO

A estrutura trófica de uma comunidade biológica pode ser definida como um sistema adaptativo complexo, onde produtores primários e consumidores se conectam e interagem por meio das suas relações alimentares. Estudos sobre a estrutura trófica planctônica permitem compreender o funcionamento dessas comunidades no espaço e no tempo. A hidrodinâmica e os nutrientes da água do mar são os responsáveis por alterar esta estrutura trófica, a qual afeta a transferência de energia para níveis tróficos superiores. De modo geral, em águas eutróficas predominam a teia trófica baseada em herbivoria e em águas oligotróficas, a microbiana. Este trabalho utiliza abundância e composição de grupos tróficos planctônicos em associação com dados físico-químicos, de verões e invernos de três anos consecutivos, com a finalidade de investigar a variação temporal e espacial na estrutura trófica planctônica na região da Reserva Marinha Biológica do Arvoredo, em Santa Catarina - Brasil. Os resultados indicaram que a estrutura herbívora foi predominante no ano de 2014, um ano de condições meteo-oceanográficas de acordo com os padrões climáticos históricos. A partir do inverno de 2015 constatou-se a influência do El Niño e a composição dos grupos tróficos foram variadas. A estrutura trófica no verão de 2015 possivelmente foi microbiana e no inverno de 2015, herbívora. No verão de 2016 foi multívora (provavelmente microbiana e herbívora) e o inverno de 2016 a estrutura provavelmente foi microbiana. Diante da complexidade e alternância da estrutura trófica, é necessário estender a série temporal na região, acompanhar a variabilidade do plâncton no atual cenário de mudanças climáticas e esclarecer quais as modificações na estrutura trófica planctônica podem ser atribuídas ao El Niño.

Palavras-chave: Zooplâncton. Fitoplâncton. El Niño. Reserva Marinha Biológica do Arvoredo.

ABSTRACT

The trophic structure of a biological community can be defined as a complex adaptive system, where primary producers and consumers connect and interact through their feeding relationships. Studies on the planktonic trophic structure allow us to understand the functioning of these communities through space and time. Hydrodynamics and seawater nutrients drive the changes in the planktonic trophic structure, affecting the transfer of energy to higher trophic levels. In general, in eutrophic waters, the herbivorous trophic structure is dominant, while in oligotrophic waters, the microbial prevails. This study uses abundance and composition of planktonic trophic groups in association with physical-chemical data, from summers and winters of three consecutive years, aiming to investigate the temporal and spatial variation in the planktonic trophic structure in the region of the Arvoredo Marine Biological Reserve in Santa Catarina - Brazil. The results indicated that the herbivorous structure dominated in 2014, a year of usual meteorological conditions according to historical patterns. From the winter of 2015 on, the influence of El Niño was set and the trophic groups composition varied. In 2015, microbial trophic structure probably prevailed during summer while during the winter it was herbivorous. In the summer of 2016, it was multivorous (probably microbial and herbivorous) and only in the winter of 2016 there was the indication of a microbial structure. Considering the complexity and shift of trophic structures, it is essential to extend the temporal sampling in the region, monitor plankton variability in the current scenario of climate change and address the role of the El Niño in the planktonic trophic structure variability.

Keywords: Zooplankton. Phytoplankton. El Niño. Arvoredo no-take Marine Protected Area.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da área de estudo do projeto MAArE. A área pontilhada corresponde à REBIO Arvoredo, os pontos em vermelho indicam as seis estações oceanográficas do presente estudo, as estações 2,10 e 14 são as costeiras e a 4, 16 e 22 são as dispostas sobre a isóbata de 50m. 27

Figura 2. Variação sazonal e interanual das variáveis físico-químicas no entorno da Rebio Arvoredo: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) (A), Salinidade (B), Oxigênio dissolvido (ml.L^{-1}) (C), Clorofila-a (mg.m^{-3}) (D), Ortofosfato (μM) (E), Silicato (μM) (F), Amônio (μM) (G), Nitrito++Nitrato (μM) (H), MSI - Material Inorgânico em Suspensão (mg.L^{-1}) (I), MSO - Material Orgânico em Suspensão (mg.L^{-1}) (J), COP - Carbono Orgânico Particulado ($\mu\text{g.L}^{-1}$) (K), NOP - Nitrogênio Orgânico Particulado ($\mu\text{g.L}^{-1}$) (L). A linha central representa a mediana, linha superior e inferior representam os valores máximo e mínimo. As letras representam a significância entre os cruzeiros. 35

Figura 3. Diagrama de temperatura (T) e Salinidade (S) das massas d'água superficiais em 2014, 2015 e 2016 no entorno da Rebio Arvoredo representados pelos tons de vermelho no verão e tons de azul no inverno. Os limites dos índices termohalinos das massas d'água estão indicados pelas linhas pretas continua, à esquerda a Água Subtropical de Plataforma (ASTP) onde o tracejado vermelho indica a diferença do índice termohalino entre verão ($T > 21^{\circ}\text{C}$, $33,5 \leq S < 35,3$) e inverno ($T > 14^{\circ}\text{C}$, $33,5 < S < 35,3$), à direita a Água da Pluma do Prata, cujo índice termohalinos é igual para verão e inverno ($T > 10^{\circ}\text{C}$, $S \leq 33,5$) as isopcnais estão em tracejados cinza claro. 37

Figura 4. Histogramas de abundância total subdividido nos grupos tróficos especificados na legenda para A) Mesozooplâncton sem Copépode (ind.m^{-3}), B) Copépode (ind.m^{-3}) e C) Microplâncton (ml.L^{-1}) 38

Figura 5. Análise Multifatorial (MFA) entre variáveis ambientais (temperatura, salinidade, profundidade da zona eufótica (ZEU), clorofila-a, amônio, oxigênio dissolvido, silicato, fosfato, nitrito + nitrato, MSI e os principais grupos tróficos do plâncton. A porcentagem de explicação do eixo 1 representa 28,06% e a do eixo 2, 16,41%. As cores diferenciam os grupos tróficos dos táxons mais relevantes do plâncton e os dados físico químicos (preto). 41

Figura 6: Rede tritrófica ponderada de coocorrência entre grupos tróficas em 3 níveis, em azul os produtores primários, em laranja os consumidores primários e em verde os consumidores secundários. A linha que liga um grupo trófico ao outro representa que houve ao menos uma ocorrência destes dois grupos no cruzeiro e a espessura das linhas representam a quantidade de ocorrências entre estes os dois grupos. 44

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Grupo trófico e referência bibliográfica dos grupos taxonômicos de mesozooplâncton incluindo Copépodes e microplâncton. 29
- Tabela 2** - Estado trófico da água -TRIX (Eutrófica: Eu; Mesotrófico : Meso e Oligotrófica: Oligo) (VOLLENWEIDER *et al.*, 1998) para o verão e inverno de 2014, 2015 e 2016, nas estações costeiras (2, 10 e 14) e na isóbata de 50m (4,16 e 22) na região da REBIO Arvoredo. 36
- Tabela 3** - Resultado do p da PerMANOVA pareada utilizando distância de Bray-Curtis a fim de comparar a guilda trófica entre dois fatores, são eles: Cruzeiro (S14, S15, S16, W14,W15,W16) e Local (costa, isóbata de 50m); Estado trófico da água (oligotrófica, mesotrófica, eutrófica) e Local; Cruzeiro e Estado trófico da água, Cruzeiros entre si. 39
- Tabela 4** - Comparação da PerMANOVA pareada de distâncias Bray-Curtis comparando a variação entre os grupos tróficos para cada grupo (mesozooplâncton, copépode e microplâncton) entre todos os cruzeiros par a par. 39

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	14
OBJETIVOS	18
Objetivo Geral	18
Objetivos Específicos	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
Capítulo único	22
1	22
2	25
2.1	25
2.2	26
2.3	27
2.4	28
2.4.1	28
2.4.2	30
2.4.3	33
2.4.4	34
3	35
3.1	35
3.1.1	35
3.1.2	36
3.1.3	37
3.2	38
3.2.1	38
3.1.2 Relação entre os grupos tróficos e as variáveis ambientais	40
3.1.3 Estrutura trófica	41
4	45
5	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
INFOGRÁFICO	52
APÊNDICE A	53

APÊNDICE B	53
APÊNDICE C	54
APÊNDICE D	54
TEXTO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

INTRODUÇÃO GERAL

A vida microscópica no oceano abriga relações alimentares complexas. Através de estudos sobre a estrutura trófica planctônica é possível compreender o funcionamento e a estrutura destas comunidades no espaço e no tempo (D’ALELIO *et al.*, 2015). A estrutura trófica de uma comunidade biológica pode ser definida como um sistema adaptativo complexo, no qual diversos componentes (e.g., produtores primários e consumidores) se conectam e interagem por meio das suas relações alimentares (LEVIN, 1999).

Geralmente, a estrutura trófica marinha é muito mais longa em comparação com a terrestre e possui muitos níveis antes de chegar em um organismo maior (DÉCIMA, 2022). O mesozooplâncton constitui um dos elos estruturadores da teia alimentar no ambiente marinho pois são considerados os principais mediadores do fluxo de energia e matéria e ocupam uma posição central entre diferentes níveis tróficos (STERNER, 2009). O mesozooplâncton é composto por animais com tamanhos variando de 200 μm até 2 mm, eles podem ser holoplanctônicos (passam a vida toda no plâncton) ou meroplanctônicos (passam as primeiras fases da vida no plâncton). O microplâncton (20-200 μm) e o nanoplâncton (2-20 μm) são os organismos autotróficos, heterotróficos ou mixotróficos, e o picoplâncton (0,2 -2 μm) compreende as bactérias autotróficas ou heterotróficas (LEGENDRE; RASSOULZADEGAN, 1995; SIEBURTH; SMETACEK; LENZ, 1978).

A estrutura trófica planctônica é diretamente influenciada por mudanças na disponibilidade de nutrientes e na hidrodinâmica marinha (GUENTHER *et al.*, 2008), devido ao curto ciclo de vida do plâncton, eles respondem e refletem rapidamente às mudanças ambientais de pequena escala e variações sazonais (BAIER, 2003; BEAUGRAND; REID, 2003; MACKAS *et al.*, 2005). Desse modo, como são os principais produtores primários e secundários da coluna d’água, mudanças em sua composição, abundância e biomassa modulam a transferência de energia para níveis tróficos mais elevados (D’ALELIO *et al.*, 2015) como peixes de importância comercial. A compreensão da estrutura e o funcionamento das comunidades planctônicas podem auxiliar na previsão de futuras respostas dos ecossistemas aquáticos às mudanças ambientais; podem ser utilizados como preditor da saúde do oceano e além disso, ajuda a quantificar diversos serviços ecossistêmicos (KIØRBOE, 1997; WORM *et al.*, 2006).

Eventos naturais como ventos, chuvas, descarga fluvial e correntes marinhas são alguns dos responsáveis por alterar o suprimento de nutrientes e assim, gerar mudanças no estado trófico da água (ACHA *et al.*, 2004; MANN; LAZIER, 2006). De forma simples, estado trófico significa o quão produtivo está o sistema (VOLLENWEIDER *et al.*, 1998). Existem diversos métodos para quantificar o estado trófico de um sistema, e, o TRIX é um método muito utilizado pela comunidade científica para a região costeira marinha, pois utiliza parâmetros que são comumente medidos em campo, como clorofila-a, fósforo, nitrogênio e saturação de oxigênio (VOLLENWEIDER *et al.*, 1998). Existem classes de trofia para definir desde um ambiente com pouco nutriente/pouco produtivo, até o extremo de produtividade, são elas: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico.

Alguns estudos indicam que em sistemas eutróficos, ou seja, rico em nutrientes, predominam organismos maiores do micoplâncton (AZAM *et al.*, 1983; GUENTHER *et al.*, 2008; KIØRBOE, 1993), pois a alta concentração de nitrato na zona eufótica (DUGDALE; GOERING, 1967), é utilizada prioritariamente por grandes células, como as diatomáceas (PRICE; COCHLAN; HARRISON, 1985). Desse modo, os principais consumidores destas diatomáceas são os herbívoros, formando uma estrutura trófica baseada em herbivoria (RYTHER, 1969).

Por outro lado, águas oligotróficas, ou seja, pobres em nutrientes, a produção primária é dominada por organismos do picoplâncton, ou seja, cianobactérias autotróficas (AZAM *et al.*, 1983; GUENTHER *et al.*, 2008; KIØRBOE, 1993). O nano e o picoplâncton são responsáveis por converter carbono orgânico dissolvido (COD) em particulado (COP), o disponibilizando para níveis tróficos superiores. Os flagelados (nanoplâncton heterotrófico) se alimentam do picoplâncton, e em seguida, os ciliados (micoplâncton heterotrófico) se alimentam tantos dos flagelados quanto do pico e do nano (POMEROY *et al.*, 2007) que, por sua vez, são predados pelo mesozooplâncton, grande parte carnívoro e detritívoro (MENEZES; DE MACEDO-SOARES; FREIRE, 2019). Uma das possíveis fontes de COD é liberada pelo próprio micoplâncton por meio de exsudação, perdas por dano celular ou lise (DAFNER & WANGERSKY, 2002). Esta complexa e longa estrutura trófica é conhecida como teia microbiana (AZAM *et al.*, 1983; POMEROY *et al.*, 2007; PORTER *et al.*, 1985). O “mixoplâncton” é uma classificação recente para organismos que possuem o duplo papel de predador e fotossintetizante e são considerados um dos principais participantes da teia microbiana (FLYNN *et al.*, 2019).

Outro modelo de teia trófica bem conhecida é a multívora, onde tanto as vias microbianas quanto o pastoreio no fitoplâncton são importantes (LEGENDRE; RASSOULZADEGAN, 1995). Estudos recentes propuseram três novos modelos de teias tróficas planctônicas, “fitomicrobiana”, onde o microzooplâncton se alimentando de fitoplâncton é mais importante do que pastando bactérias; “polimicrobiana”, onde o microzooplâncton consome mais ou menos igualmente vários tipos de alimentos (HLAILI; NIQUIL; LEGENDRE, 2014) e a “multívora bacteriana” com alta produção bacteriana heterotrófica, menor produção primária e maior reciclagem e retenção do carbono (MEDDEB *et al.*, 2019).

Como no estudo de plâncton as relações tróficas entre consumidores e produtores são difíceis de visualizar (ARMENGOL *et al.*, 2019) uma forma de demonstra-la é utilizando dados de coocorrência e gerar “modelos de redes” (FREILICH *et al.*, 2018; D’ÁLELIO *et al.*, 2015). Redes baseadas em dados de coocorrência podem fornecer informações sobre os efeitos espaciais, ambientais e temporais, recrutamento e até certo ponto, interações bióticas (FREILICH *et al.*, 2018). A premissa da abordagem de coocorrência é que, se as espécies em uma comunidade estão interagindo umas com as outras, a abundância ou presença dessas espécies é afetada (FREILICH *et al.*, 2018). No entanto, estes dados não podem ser interpretados diretamente como relações alimentares, já que estas interações não foram definidas por observações diretas, manipulações experimentais (FREILICH *et al.*, 2018) ou análise genética.

Localizada na região subtropical da plataforma rasa da costa brasileira, a Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (REBIO Arvoredo) é cenário de uma dinâmica oceanográfica complexa devido aos encontros de águas quentes e tropicais com água frias, e a alternância dos ventos constantes de nordeste e intensos de sul, que influenciam as correntes, marés e ondas (FREIRE *et al.*, 2017). Nas proximidades da REBIO Arvoredo, o aporte local de água doce também altera as características da água do mar. No verão e no inverno, intrusões de massas d’água ricas em nutrientes tornam a região rica em recursos pesqueiros (FREIRE *et al.*, 2017). Um programa de monitoramento ambiental - o projeto MAARE - realizou amostragens pioneiras, de forma integrada, nos verões e invernos de 2014 a 2016 (<http://www.maare.ufsc.br/>). A caracterização físico-química (BORDIN *et al.*, 2019; OBATA, 2016), a análise geral da comunidade zooplanctônica (MAARE, 2017c; SILVEIRA, 2022) e de táxons específicos (GONÇALVES, 2018; MENEZES, 2019; TRANKER, 2021) mostraram uma grande

variabilidade entre verão e inverno. Obata (2016) analisou a distribuição espaço-temporal das massas d'água, material em suspensão e clorofila-a; Bordin (2019) investigou a dinâmica dos nutrientes e POM de acordo com a sazonalidade das massas de água; Menezes *et al* (2019) mostrou que a teia trófica entre copépodos e microplâncton diferiu entre o inverno de 2014 e verão de 2015; Silveira (2022) mostrou a diferença na teia trófica entre o verão e inverno em 2016, devido aos diferentes mecanismos de enriquecimento da coluna d'água;

Tendo em vista que os resultados do Projeto MAARÉ indicaram a variabilidade interanual do estado trófico da região (OBATA, 2016) e que isso pode provocar alterações na comunidade fitoplanctônica e nos grupos zooplanctônicos (MENEZES *et al.*, 2019), e conseqüentemente, na estrutura trófica da comunidade, o presente trabalho investigou a existência de variabilidade temporal (entre anos) e espacial (entre costa e isóbata de 50m) na estrutura trófica planctônica. Considerando que a abundância e riqueza na comunidade desde o micro até o mesozooplâncton são influenciadas pelas condições oceanográficas e que estas condições são diferentes no verão e no inverno e portanto, viabilizam teias tróficas diferentes, a hipótese deste trabalho é que em massas d'água quentes, salinas e com menor aporte de nutriente (verão, isóbata de 50m), a estrutura trófica seja microbiana, com microplâncton heterotrófico e mixotrófico de menor tamanho e carnívoros e detritívoros no mesozooplâncton. Em oposição, em massas d'águas frias e ricas em nutrientes (inverno, costa), a estrutura trófica seja herbívora, baseada preferencialmente em diatomáceas autotróficas de maior tamanho e mesozooplâncton herbívoro.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Investigar a existência de variabilidade na estrutura trófica planctônica entre os verões e invernos, entre três anos consecutivos, e entre costa e isóbata de 50m no entorno da REBIO Arvoredo a fim de compreender a influência de diferentes condições ambientais e hidrodinâmicas nesta estrutura.

Objetivos Específicos

- Avaliar a composição e abundância dos grupos tróficos planctônicos entre costa e isóbata de 50m, em diferentes níveis do estado trófico da água, e entre os anos de 2014 a 2016.
- Relacionar a composição e abundância temporal dos grupos tróficos do plâncton com as condições oceanográficas (ocorrência de massas de água com diferentes temperaturas, salinidade e nutrientes)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHA, E. M. *et al.* Marine fronts at the continental shelves of austral South America. **Journal of Marine Systems**, v. 44, n. 1–2, p. 83–105, jan. 2004.
- ARMENGOL, L. *et al.* Planktonic food web structure and trophic transfer efficiency along a productivity gradient in the tropical and subtropical Atlantic Ocean. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 2044, 14 fev. 2019.
- AZAM, F. *et al.* The Ecological Role of Water-Column Microbes in the Sea. **Marine Ecology Progress Series**, v. 10, p. 257–263, 1983.
- BAIER, C. T. Climate-induced variability in *Calanus marshallae* populations. **Journal of Plankton Research**, v. 25, n. 7, p. 771–782, 1 jul. 2003.
- BEAUGRAND, G.; REID, P. C. Long-term changes in phytoplankton, zooplankton and salmon related to climate: PLANKTON SALMON and CLIMATE CHANGE. **Global Change Biology**, v. 9, n. 6, p. 801–817, jun. 2003.
- BORDIN, L. H. *et al.* Nutrient and carbon dynamics under the water mass seasonality on the continental shelf at the South Brazil Bight. **Journal of Marine Systems**, v. 189, p. 22–35, jan. 2019.
- D’ALELIO, D. *et al.* The green-blue swing: plasticity of plankton food-webs in response to coastal oceanographic dynamics. **Marine Ecology**, v. 36, n. 4, p. 1155–1170, dez. 2015.
- DÉCIMA, M. Zooplankton trophic structure and ecosystem productivity. **Marine Ecology Progress Series**, v. 692, p. 23–42, 30 jun. 2022.
- DUGDALE, R. C.; GOERING, J. J. UPTAKE OF NEW AND REGENERATED FORMS OF NITROGEN IN PRIMARY PRODUCTIVITY1: UPTAKE OF NITROGEN IN PRIMARY PRODUCTIVITY. **Limnology and Oceanography**, v. 12, n. 2, p. 196–206, abr. 1967.
- FLYNN, K. J. *et al.* Mixotrophic protists and a new paradigm for marine ecology: where does plankton research go now? **Journal of Plankton Research**, v. 41, n. 4, p. 375–391, 2019.
- FREILICH, M. A. *et al.* Species co-occurrence networks: Can they reveal trophic and non-trophic interactions in ecological communities? **Ecology**, v. 99, n. 3, p. 690–699, mar. 2018.
- FREIRE, A. *et al.* **O ambiente oceanográfico. in: Monitoramento Ambiental da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo.** 1. ed. Campinas: Beringela: SEGAL B., FREIRE A.S., LINDNER A., KRAJEWSKI J.P., SOLDATELI M, 2017. v. 1
- GONÇALVES, G. **Análise da comunidade planctônica na região da REBIO do Arvoredo (~27.3°s, ~48.4°o), com ênfase em Chaetognatha em relação a estrutura oceanográfica da zona eufótica.** Monografia (Bacharel em Oceanografia)—Florianópolis: Universidade federal de Santa Catarina, 2018.

GUENTHER, M. *et al.* Plankton trophic structure and particulate organic carbon production during a coastal downwelling-upwelling cycle. **Marine Ecology Progress Series**, v. 363, p. 109–119, 15 jul. 2008.

HLAILI, A. S.; NIQUIL, N.; LEGENDRE, L. Planktonic food webs revisited: Reanalysis of results from the linear inverse approach. **Progress in Oceanography**, v. 120, p. 216–229, jan. 2014.

KIØRBOE, T. Turbulence, Phytoplankton Cell Size, and the Structure of Pelagic Food Webs. Em: **Advances in Marine Biology**. [s.l.] Elsevier, 1993. v. 29p. 1–72.

KIØRBOE, T. Population regulation and role of mesozooplankton in shaping marine pelagic food webs. **Hydrobiologia**, v. 363, p. 13–27, 1997.

LEGENDRE, L.; RASSOULZADEGAN, F. Plankton and nutrient dynamics in marine waters. **Ophelia**, v. 41, n. 1, p. 153–172, fev. 1995.

LEVIN, S. Fragile dominion: complexity and the commons. Perseus. **Reading, MA**, 1999.

MAARE. **Projeto de monitoramento Ambiental da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Entorno. Relatório Técnico Final- Volume 2: Parâmetros Oceanográficos: Análise de parâmetros ambientais da coluna d'água, plâncton e sedimentos.** Florianópolis/SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017c.

MACKAS, D. *et al.* Zooplankton distribution and dynamics in a North Pacific Eddy of coastal origin: II. Mechanisms of eddy colonization by and retention of offshore species. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 52, n. 7–8, p. 1011–1035, 2005.

MANN, K.; LAZIER, J. Dynamics of marine ecosystems. Biological-Physical interactions in the oceans. Malden, Ma. **Oxford, UK: Wiley-Blackwell**, v. 10, p. 9781118687901, 2006.

MEDDEB, M. *et al.* A new type of plankton food web functioning in coastal waters revealed by coupling Monte Carlo Markov chain linear inverse method and ecological network analysis. **Ecological Indicators**, v. 104, p. 67–85, set. 2019.

MENEZES, B. S. **Variação temporal de Copepoda (Crustacea) em torno da REBIO Arvoredo (27°11'-27°16'S e 48°19'-48°24'W): grupos funcionais, interação com o microplâncton e com a dinâmica das massas de água.** Tese de doutorado—Florianópolis: Universidade federal de Santa Catarina, 2019.

MENEZES, B. S.; DE MACEDO-SOARES, L. C. P.; FREIRE, A. S. Changes in the plankton community according to oceanographic variability in a shallow subtropical shelf: SW Atlantic. **Hydrobiologia**, v. 835, n. 1, p. 165–178, jun. 2019.

OBATA, C. S. S. **Análise da distribuição espaço-temporal das massas d'água, material em suspensão e clorofila-a na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e entorno – SC, Brasil.** Monografia—Florianópolis: Universidade federal de Santa Catarina, 2016.

POMEROY, L. *et al.* The Microbial Loop. **Oceanography**, v. 20, n. 2, p. 28–33, 1 jun. 2007.

PORTER, K. G. *et al.* Protozoa in Planktonic Food Webs 1, 2. **The Journal of protozoology**, v. 32, n. 3, p. 409–415, 1985.

PRICE, N.; COCHLAN, W.; HARRISON, P. Time course of uptake of inorganic and organic nitrogen by phytoplankton in the Strait of Georgia: comparison of frontal and stratified communities. **Marine Ecology Progress Series**, v. 27, p. 39–53, 1985.

RYTHER, J. H. Photosynthesis and Fish Production in the Sea: The production of organic matter and its conversion to higher forms of life vary throughout the world ocean. **Science**, v. 166, n. 3901, p. 72–76, 1969.

SIEBURTH, J. M.; SMETACEK, V.; LENZ, J. Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions 1. **Limnology and oceanography**, v. 23, n. 6, p. 1256–1263, 1978.

SILVEIRA, G. R. **Variação sazonal da estrutura trófica do plâncton em águas rasas subtropicais (REBIO Arvoredo)**. Trabalho de Conclusão de Curso—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.

STERNER, R. Role of zooplankton in aquatic ecosystems. Em: **Encyclopedia of inland waters**. [s.l.] Elsevier Inc., 2009. p. 678–688.

TRANKER, V. **O FITOPLÂNCTON NO ENTORNO DA RESERVA BIOLÓGICA MARINHA DO ARVOREDO, SANTA CATARINA**. Dissertação de mestrado—Florianópolis: Instituto Federal de Santa Catarina, 2021.

VOLLENWEIDER, R. A. *et al.* Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. **Environmetrics**, v. 9, n. 3, p. 329–357, maio 1998.

WORM, B. *et al.* Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. **Science**, v. 314, n. 5800, p. 787–790, 3 nov. 2006.

**VARIAÇÃO TEMPORAL DA ESTRUTURA TRÓFICA PLANCTÔNICA EM
RESPOSTA À DINÂMICA DE MASSAS DE ÁGUA E NUTRIENTES NO
ENTORNO DE UMA ILHA COSTEIRA SUBTROPICAL**

Isis F. Batistela¹, Luís C. P. de Macedo Soares¹, Andrea S. Freire¹

¹ Laboratório de Crustáceos e Plâncton, Departamento de Ecologia e Zoologia,
Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Santa Catarina,
Florianópolis, 88010-970, Santa Catarina, Brasil.

Formatado para submissão em Journal of Plankton Research

1 Introdução

A vida microscópica no oceano abriga relações alimentares complexas. Através de estudos sobre a estrutura trófica planctônica é possível compreender o funcionamento e a estrutura destas comunidades no espaço e no tempo (D’ALELIO *et al.*, 2015). A estrutura trófica de uma comunidade biológica pode ser definida como um sistema adaptativo complexo, no qual diversos componentes (e.g., produtores primários e consumidores) se conectam e interagem por meio das suas relações alimentares (LEVIN, 1999). Geralmente, a estrutura trófica marinha é muito mais longa em comparação com a terrestre e possui muitos níveis antes de chegar em um organismo maior, como um peixe ou uma baleia (DÉCIMA, 2022). O mesozoplâncton é composto por animais com tamanhos variando de 200 µm até 2 mm, o microplâncton (20-200 µm) e o nanoplâncton (2-20 µm) são os organismos autotróficos, heterotróficos ou mixotróficos, e o picoplâncton (0,2 -2 µm) compreende as bactérias autotróficas ou heterotróficas (LEGENDRE; RASSOULZADEGAN, 1995; SIEBURTH; SMETACEK; LENZ, 1978).

Eventos naturais como ventos, chuvas, descarga fluvial e correntes marinhas são alguns dos responsáveis por alterar o suprimento de nutrientes na água, modificando seu estado trófico (ACHA *et al.*, 2004; MANN; LAZIER, 2006) e conseqüentemente toda a estrutura trófica planctônica (GUENTHER *et al.*, 2008). Como o plâncton possui ciclo de vida curto, eles respondem e refletem rapidamente a mudanças ambientais de pequena

escala e variações sazonais (BAIER, 2003; BEAUGRAND; REID, 2003). Desse modo, como são os principais produtores primários e secundários da coluna d'água, mudanças em sua composição, abundância e biomassa modulam a transferência de energia para níveis tróficos mais elevados. A compreensão da estrutura e o funcionamento das comunidades planctônicas podem auxiliar na previsão de futuras respostas dos ecossistemas aquáticos às mudanças ambientais; podem ser utilizados como preditor da saúde do oceano e além disso, ajuda a quantificar diversos serviços ecossistêmicos (KIØRBOE, 1997; WORM *et al.*, 2006).

Alguns estudos indicam que em sistemas eutróficos, ou seja, rico em nutrientes, predominam organismos maiores do microplâncton (KIØRBOE, 1993; GUENTHER *et al.*, 2008; AZAM *et al.*, 1983), pois a alta concentração de nitrato na zona eufótica (DUGDALE; GOERING, 1967), é utilizada prioritariamente por grandes diatomáceas (PRICE; COCHLAN; HARRISON, 1985) de modo que seus principais consumidores são os herbívoros, formando uma teia trófica baseada em herbivoria (RYTHER, 1969). Já em águas oligotróficas, ou seja, pobres em nutrientes, a produção primária é dominada por organismos do picoplâncton (AZAM *et al.*, 1983; SHERR & SHERR, 1988). O nano e o picoplâncton são responsáveis por converter carbono orgânico dissolvido (COD) em particulado (COP), o disponibilizando para níveis tróficos superiores. Os flagelados se alimentam do picoplâncton, e os ciliados se alimentam tanto dos flagelados quanto do pico e do nanoplâncton (POMEROY *et al.*, 2007) que, por sua vez, são predados pelo mesozoplâncton, que é em grande parte carnívoro e detritívoro (MENEZES *et al.*, 2019). Esta complexa e longa teia trófica é conhecida como “microbiana” (AZAM *et al.*, 1983; POMEROY *et al.*, 2007; PORTER *et al.*, 1985). O “mixoplâncton” é uma classificação recente para organismos que possuem o duplo papel de predador e fotossintetizante e são considerados um dos principais componentes desta estrutura (FLYNN *et al.*, 2019).

Uma forma de demonstrar as relações tróficas no plâncton entre consumidores e produtores é utilizando dados de coocorrência e gerando “modelos de redes” (D'ÁLELIO *et al.*, 2015). Redes baseadas em dados de coocorrência podem fornecer informações sobre os efeitos espaciais, ambientais e temporais, recrutamento e até certo ponto, interações bióticas (FREILICH *et al.*, 2018).

Localizada na região subtropical da plataforma rasa da costa brasileira, a Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (REBIO Arvoredo) é cenário de uma dinâmica oceanográfica complexa devido aos encontros de águas quentes e tropicais com água

frias, e a alternância dos ventos constantes de nordeste e intensos de sul, que influenciam as correntes, marés e ondas (FREIRE *et al.*, 2017). Nas proximidades da REBIO Arvoredo, o aporte local de água doce também altera as características da água do mar. No verão e no inverno, intrusões de massas d'água ricas em nutrientes tornam a região rica em recursos pesqueiros (FREIRE *et al.*, 2017). O programa de monitoramento ambiental - o projeto MAARE - realizou amostragens pioneiras, de forma integrada, nos verões e invernos de 2014 a 2016 (<http://www.maare.ufsc.br/>). A caracterização físico-química (BORDIN *et al.*, 2019, OBATA, 2016), a análise geral da comunidade zooplanctônica (MAARE, 2017c; SILVEIRA, 2022) e de táxons específicos (GONÇALVES, 2018; MENEZES, 2019; TRANKER, 2021) mostraram uma grande variabilidade entre verão e inverno. Obata (2016) analisou a distribuição espaço-temporal das massas d'água, material em suspensão e clorofila-a; Bordin (2019) investigou a dinâmica dos nutrientes e POM de acordo com a sazonalidade das massas de água; Menezes (2019) mostrou que a teia trófica entre copépodes e microplâncton diferiu entre o inverno de 2014 e verão de 2015; Silveira (2022) mostrou a diferença na teia trófica entre o verão e inverno em 2016, devido aos diferentes mecanismos de enriquecimento da coluna d'água.

Tendo em vista que os resultados do Projeto MAARE indicaram a variabilidade interanual do estado trófico da região (OBATA, 2016) e que isso pode provocar alterações na comunidade fitoplanctônica e nos grupos zooplanctônicos (MENEZES *et al.*, 2019), e conseqüentemente, na estrutura trófica da comunidade, o presente trabalho investigou a existência de variabilidade temporal (entre anos) e espacial (entre costa e isóbata de 50m) na estrutura trófica planctônica a fim de compreender a influência de diferentes condições ambientais e hidrodinâmicas nesta estrutura. Considerando que a abundância e riqueza na comunidade do micro e do mesozooplâncton são influenciadas pelas condições oceanográficas e que estas condições são diferentes no verão e no inverno e portanto, viabilizam estruturas tróficas diferentes, a hipótese deste trabalho é que em massas d'água quentes, salinas e com menor aporte de nutriente (verão, isóbata de 50m), a estrutura trófica predominante seja microbiana, com microplâncton heterotrófico e mixotrófico e carnívoros e detritívoros no mesozooplâncton. Por outro lado, espera-se que, em massas d'água frias e ricas em nutrientes (inverno, costa), a estrutura trófica seja herbívora, baseada preferencialmente em grandes diatomáceas autotróficas e mesozooplâncton herbívoro.

2 Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde à REBIO Arvoredo e região de entorno, localizada ao norte da Ilha de Santa Catarina, entre 27°11' – 27°16' S e 48°19' – 48°24' O. A REBIO Arvoredo corresponde a 17.800ha (171 Km²). O entorno é delimitado ao sul pela saída do Canal Norte da Ilha de Santa Catarina, a oeste pela Baía das Tijucas, e a leste pela isóbata de 50 m (Fig. 1).

As principais massas de água que atuam sobre a plataforma continental do estado de Santa Catarina são a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Tropical (AT), Água da Pluma do Prata (APP), Água Subtropical de Plataforma (ASTP) (MÖLLER JR *et al.*, 2008). Durante a primavera e verão, os ventos de nordeste, juntamente com o transporte de Ekman nas águas de superfície e a topografia da plataforma continental induzem a ressurgência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (RODRIGUES; LORENZZETTI, 2001), que tem um importante papel como fertilizadora da plataforma continental sul e sudeste brasileira e é caracterizada por alta salinidade, baixa temperatura e alta concentração de nutrientes. A Água Tropical (AT) é formada por meandros da Corrente do Brasil, é mais quente, possui alta salinidade e baixa concentração de nutrientes (AIDAR *et al.*, 1983; DEACON, 1933 apud MIRANDA, 1985; MOLLER Jr, 2008). No inverno, com a intensificação do vento sul, a região pode sofrer intrusão da pluma do Rio do Prata (APP), com menores salinidades e temperatura, e grande quantidade de matéria orgânica e nutrientes (principalmente fosfato e silicato). A mistura entre a APP, a AT e aportes continentais de menor escala, formam a ASTP (Água Subtropical de Plataforma) (PIOLA, 2005; PIOLA *et al.*, 2008). Como a REBIO Arvoredo é próxima a costa, aportes continentais locais, como o Rio Tijucas e o canal da Ilha de Santa Catarina, também interferem nas propriedades físicas, químicas e biológicas da água, principalmente durante intenso período de chuva (FREIRE *et al.*, 2017).

As condições oceanográficas regionais são fortemente reguladas pelo padrão do vento (CASTRO FILHO *et al.*, 2006; MAArE, 2017a) e as coletas para este estudo foram realizadas em condições climáticas típicas, com predominância de ventos de nordeste no verão e ventos de sul no inverno (MAArE, 2017c).

2.2 Trabalho de campo

As coletas de dados *in situ*, foram distribuídas em 6 estações de amostragem, durante verão e inverno de 2014, 2015 e 2016, totalizando 6 cruzeiros. Cada cruzeiro corresponde a um verão ou inverno e seu respectivo ano, esta denominação será utilizada em todo o trabalho. As estações de amostragem costeiras foram previamente denominadas no Projeto MAArE como 2, 10 e 14 e as estações dispostas sobre a isóbata de 50m são a 4, 16 e 22 conforme mostrado na Figura 1. Foram realizados perfis verticais da superfície ao fundo em todas as estações oceanográficas utilizando o disco de Secchi para estimar a Profundidade da Zona Eufótica (ZEU), CTD (*Seabird*®) para mensurar os dados de salinidade, condutividade, temperatura e profundidade, com um fluorímetro acoplado (*Wetlabs*®). Amostras de água superficial foram coletadas com garrafa de Van Dorn de 5L para determinação da concentração da clorofila-a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), material em suspensão total (MST) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e suas frações orgânicas (MSO) e inorgânicas (MSI), carbono orgânico particulado (COP) e nitrogênio total (NT) e análise quantitativa do microplâncton ($\text{cél}\cdot\text{L}^{-1}$). As amostras de água foram filtradas em bomba a vácuo na embarcação. Foram realizados arrastos verticais com rede de $20\mu\text{m}$ de malha para coletas qualitativas de microplâncton e arrastos horizontais de superfície com rede de $200\mu\text{m}$ de malha e fluxômetro acoplado para coletas de mesozoplâncton. As amostras foram imediatamente fixadas em solução de água do mar com formaldeído 4% tamponado com tetraborato de sódio e acondicionados em frascos plásticos. Os métodos utilizados em campo estão detalhados em MAArE, 2017a.

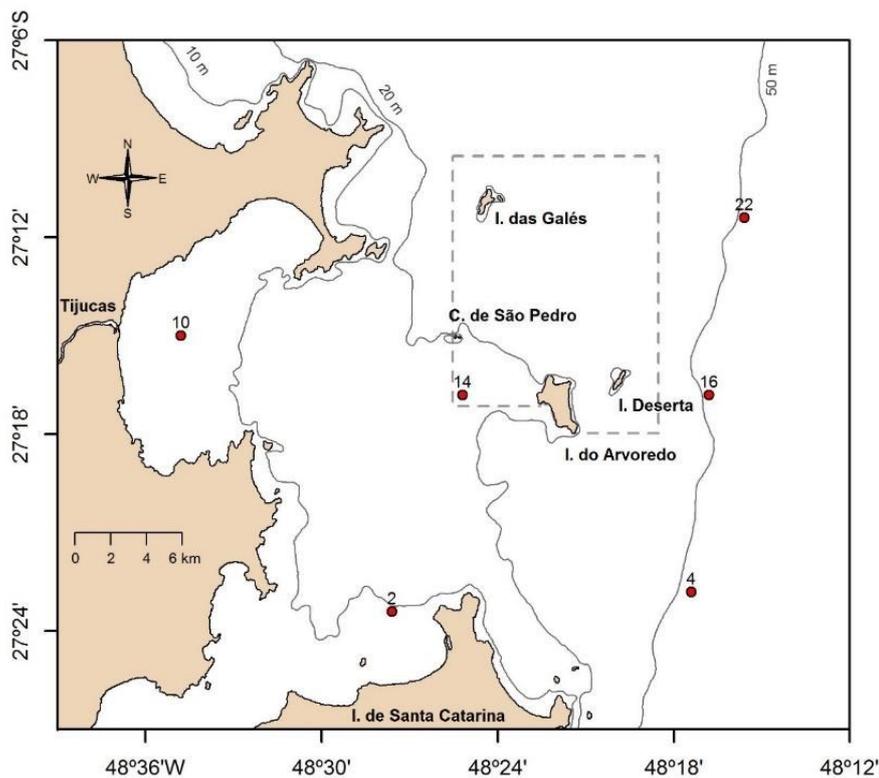


Figura 1. Mapa da área de estudo do projeto MAArE. A área pontilhada corresponde à REBIO Arvoredo, os pontos em vermelho indicam as seis estações oceanográficas do presente estudo, as estações 2, 10 e 14 são as costeiras e a 4, 16 e 22 são as dispostas sobre a isóbata de 50m.

2.3 Procedimentos laboratoriais

Os dados físico-químicos e grupos de zooplâncton foram processados em laboratório e cedidos pelo Projeto MAArE, copépodes por Agnelli, 2006 e Menezes, 2019 e microplâncton por Tranker, 2021.

Análise de parâmetros abióticos

As amostras de água foram utilizadas para determinação da concentração dos nutrientes dissolvidos (fosfato; silicato; nitrato e nitrito; amônio) determinados por técnica colorimétrica e absorvâncias lidas em espectrofotômetro (GRASSHOFF; EHRHARDT, M; KREMLING, K, 1983). Para análise do material em suspensão foi utilizado o método gravimétrico (APHA, 1985) a fim de obter as concentrações do MST (Material em Suspensão Total), MSI (Material em Suspensão Inorgânico) e MSO (Material em Suspensão Orgânico) (GRASSHOFF; EHRHARDT, M; KREMLING, K,

1983). A clorofila-a foi lida em espectrofotômetro, de acordo com a equação SCOR/UNESCO, 1966, este parâmetro é um proxy para biomassa fitoplanctônica e foi analisada junto com os nutrientes. O carbono orgânico particulado (COP) e o nitrogênio total (NT) foram analisados seguindo Wallner-Kersanach, 2010.

Mesozooplâncton

O processamento das amostras foi realizado segundo a metodologia de (BOLTOVSKOY, 1981). As amostras de zooplâncton foram subamostradas com o fracionador de Folsom (MCEWEN; JOHNSON; FOLSOM, 1954) entre 1/2 a 1/64, diluída em 1000ml, homogeneizada e analisada a partir de 10 ml de alíquota para separação de, no mínimo, 100 indivíduos, os quais foram identificados em microscópio estereoscópico e/ou microscópio. Copépodes foram identificados até o menor nível taxonômico possível e, organismos do mesozooplâncton foram identificados apenas em grandes grupos. Apenas os táxons mais relevantes (abundância relativa >4% em alguma estação de coleta), foram adicionados ao banco de dados deste trabalho, totalizando 30 grupos de mesozooplâncton e 16 famílias de copépodes. Como os copépodes representam mais de 90% da abundância total do mesozooplâncton e por estarem com uma resolução taxonômica mais refinada, eles foram analisados separadamente.

Microplâncton

A análise quali-quantitativa foi realizada após as amostras terem sido homogeneizadas e colocadas em câmaras de sedimentação. Para a contagem do microplâncton foi utilizado o método tradicional de Utermöhl, 1958. Sempre que possível os organismos microplanctônicos foram identificados em nível de gênero ou espécie. Os táxons mais relevantes (abundância relativa >4% em alguma estação de coleta), somaram 125 espécies de microplâncton, que foram divididas em 6 classes mais o nanoplâncton, que é uma categoria de tamanho com organismos < 20µm, que não foram identificados.

2.4 Processamento de dados e Análises estatísticas

2.4.1 Dados ambientais

O banco de dados utilizado neste trabalho será disponibilizado em base de dados

internacional (<https://www.pangaea.de/>).

A variação interanual, no verão e no inverno, para os parâmetros físico-químicos foi testada através de uma Análise de Variância Multivariada com permutações (PerMANOVA, ANDERSON, 2001) e visualizada através de gráficos de caixa (*Box and whisker plots*), os parâmetros são: temperatura (°C), salinidade, oxigênio dissolvido (ml.L⁻¹), clorofila-a (mg.m⁻³), ortofosfato (µM), silicato (µM), amônio (µM), nitrito+nitrato (µM), MSI - material inorgânico em suspensão (mg.L⁻¹), MSO - material orgânico em suspensão (mg.L⁻¹), COP - carbono orgânico particulado (µg.L⁻¹), NOP - nitrogênio orgânico particulado (µg.L⁻¹). Apesar do uso da PerMANOVA, as variáveis foram testadas individualmente, para se obter a variação de cada uma (ANDERSON, 2008). Quando a PerMANOVA detectou diferenças significativas entre os níveis, foi aplicado o teste pareado para verificar quais níveis diferiram. Os pacotes utilizados foram “Vegan” (OKSANEN *et al.*, 2019) e “ggpubr”. (KASSAMBARA, 2020)

Para determinação do estado trófico da água foi utilizado o índice de estado trófico - TRIX (VOLLENWEIDER *et al.*, 1998), baseado na combinação de clorofila-a (Chl-a), nutrientes e saturação de oxigênio.

$$TRIX = [\log(Chl-a \times OD\% \times N \times P) - (a)] / b$$

Onde:

Chl-a = concentração de clorofila-a (mg.m⁻³);

OD% = oxigênio dissolvido como desvio absoluto da saturação [%];

N = nitrogênio inorgânico dissolvido como N-(NO₃⁻² + NO₂⁻³ + NO₄⁺) [mg.L⁻¹];

P = fósforo inorgânico dissolvido como P-PO₄⁻³ [mg.L⁻¹];

a= subtração da soma entre os valores de logs máximo e mínimo multiplicado por 0,1

b= soma dos valores mínimos de cada log

Neste estudo, foram determinados: a = -0,6 e b = 0,72 e para melhor caracterizar a área, a e b são coeficientes usados para fixar o limite inferior do índice e a extensão da escala trófica de 0 a 10 unidades TRIX. todas as 22 estações de coleta superficiais do projeto MAArE na região entraram no cálculo. As classes TRIX são: ultra-oligotrófico (0 – 2), oligotrófico (2,01 – 4), mesotrófico (4,01 – 6), eutrófico (6,01 – 8) e hipereutrófico (8,01 – 10) (VOLLENWEIDER *et al.*, 1998).

Para a elaboração do diagrama de temperatura e salinidade (TS) foram utilizados os dados de temperatura e salinidade das seis estações de coleta realizadas nos três anos. Os índices termohalinos das massas d’água estão baseados em (MÖLLER *et al.*, 2008) e

o pacote utilizado foi o “oce” (KELLEY; KELLEY, 2018).

2.4.2 Grupos tróficos

Para demonstrar a abundância total de cada grupo trófico para mesozooplâncton sem copépode, e microplâncton foi feito um histograma de barras. A maior parte das famílias dos copépodes é descrita pela combinação de dois grupos tróficos, onívoro-herbívoro, onívoro-carnívoros e onívoros-detritívoros. Estes organismos possuem uma flexibilidade alimentar que os descreve como onívoro, mas na maior parte do tempo são preferencialmente herbívoros, carnívoros e detritívoros, respectivamente (BENEDETTI; GASPARINI; AYATA, 2016; BJÖRNBERG, 1981). Na tabela 1, está detalhado os grupos tróficos de todos os grupos taxonômicos do mesozooplâncton, das famílias de copépodes e das classes do microplâncton.

Tabela 1 - Grupo trófico e referência bibliográfica dos grupos taxonômicos de mesozooplâncton incluindo copépodes e microplâncton.

MESOOZOOPLÂNCION

Grupo Taxonômico	Grupo Trófico	Referência
Foraminifera	Onívoro	DELACA; KARL; LIPPS, 1981
Hydromedusae	Onívoro	COLIN <i>et al.</i> , 2005
Siphonophorae	Carnívoro	FARRELL, 2011
Polychaeta larva	Carnívoro	TOMMASI <i>et al.</i> , 2013
Polychaeta trocophora	Carnívoro	TOMMASI, 2013
Trochophora outras	Carnívoro	TOMMASI, 2013
Chaetognatha	Carnívoro	HARZSCH; MÜLLER, 2007; PEARRE; PEARRE, 1982
Bivalvia larva	Herbívoro	CHEN, 2012
Gastropoda larva	Herbívoro	CHEN, 2012
Heteropoda	Onívoro	BURRIDGE <i>et al.</i> , 2017
Pteropoda	Herbívoro	VAUGEOIS; DIAZ; CARLOTTI,

		2013
Ostracoda	Onívoro	CANNON, 1993
Cladocera	Onívoro	KORHOLA; RAUTIO, 2001
	Lecitotrófico	BLACHOWIAK-SAMOLYK <i>et al.</i> , 2007; EWERS-SAUCEDO;
Cirripedia nauplio		PAPPALARDO, 2019
Nauplio	Lecitotrófico	BOXSHALL, 2007
Copépode		
Temoridae	Onívoro-herbívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Scolecitrichidae	Onívoro-detritívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Pontellidae	Onívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Paracalanidae	Onívoro-herbívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Oncaeidae	Onívoro-detritívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Oithonidae	Onívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Miraciidae	Onívoro-herbívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Euterpinidae	Onívoro-herbívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Euchaetidae	Carnívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
	Onívoro-herbívoro/	
Eucalanidae	Carnívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Corycaeidae	Carnívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Clausocalanidae	Onívoro-herbívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Centropagidae	Onívoro-carnívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Candaciidae	Carnívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Calanidae	Onívoro-herbívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Acartiidae	Onívoro-herbívoro	BENEDETTI <i>et al.</i> , 2016
Stomatopoda		
pseudozoa	Carnívoro	CHEW <i>et al.</i> , 2012
Euphausiacea larva	Onívoro	JONES <i>et al.</i> , 1997
Luciferidae	Carnívoro	VEGA-PÉREZ <i>et al.</i> , 1996
Decapoda	outras	
larvas	Onívoro	JONES <i>et al.</i> , 1997

Protozoa Decapoda	Onívoro	JONES <i>et al.</i> , 1997
Brachyura zoea	Carnívoro	JONES <i>et al.</i> , 1997
Brachyura megalopa	Carnívoro	HARMS; ANGER, 1990
		DE TABARÉS, 2007; TOMMASI <i>et al.</i> , 2013
Bryozoa cifonauta	Onívoro	
Echinodermata larva	Onívoro	D'ÁLELIO, 2015
		VAUGEOIS; DIAZ; CARLOTTI, 2013
Fritillaridae	Onívoro	VAUGEOIS; DIAZ; CARLOTTI, 2013
Oikopleuridae	Onívoro	
Thaliacea Doliolidae	Herbívoro	D'ÁLELIO, 2015
Thaliacea Salpidae	Herbívoro	D'ÁLELIO, 2015
Actinopterygii ovos	Lecitotrófico	FARRELL, 2011
Actinopterygii larvas	Herbívoro	NANDY; MANDAL, 2020

MICROPLÂNCTON

Grupo taxonômico	Grupo Trófico	Referência
Cyanobacteria	Autotrófico	GÓMEZ-CARVAJAL; SÁNCHEZ-SUÁREZ; DÍAZ-RAMOS, 2002
Bacillariophyceae (diatomácea)	Autotrófico	OLENINA, 2006; SERRANITO <i>et al.</i> , 2019
Bacillariophyceae (diatomácea)	Mixotrófico	GASTINEAU <i>et al.</i> , 2014; NGHIEM XUAN <i>et al.</i> , 2020
Dinophyta (dinoflagelado)	Autotrófico	BARTON, 2013 BARTON <i>et al.</i> , 2013, 2013; CLOERN, 2018; LANGE, 2011;
Dinophyta (dinoflagelado)	Heterotrófico	LELES, 2015; SERRANITO <i>et al.</i> , 2019

Dinophyta		SEUTHE; ROKKAN IVERSEN;
(Dinoflagelado)	Mixotrófico	NARCY, 2011
Ebridea (ebridiano)	Mixotrófico	HARGRAVES, 2002
Ebridea (ebridiano)	Heterotrófico	OLENINA, 2006
Euglenophyta		
(euglenoficea)	Autotrófico	NOGUEIRA; FIGUEIRAS, 2005
Nanoplâncton	NA	NA
Dictyochales		
(silicoflagelado)	Autotrófico	SERRANITO <i>et al.</i> , 2019

A fim de investigar diferenças na composição e abundância dos grupos tróficos do mesozooplâncton, copépodes e microplâncton foram aplicados testes de hipóteses multivariadas (PERMANOVA) de dois fatores entre: cruzeiro (Verão 2014, Verão 2015, Verão 2016, Inverno 2014, Inverno 2015, Inverno 2016) e local (Costa, Isóbata 50m); estado trófico da água (Oligotrófico, Mesotrófico, Eutrófico) e local; cruzeiro e estado trófico da água. Adicionalmente, foi aplicado um teste unifatorial entre os cruzeiros. Em todas as análises foi utilizada a distância de Bray-Curtis (AIDAR *et al.*, 1983; ANDERSON, 2001). Nos casos em que detectou-se o resultado significativo pela PERMANOVA, foram realizados testes pareados entre os níveis investigados para os grupos tróficos do mesozooplâncton, copépodes e microplâncton. Os pacotes utilizados para esta análise foram “RVAideMemoire”(HERVÉ; HERVÉ, 2020) e “Vegan”(OKSANEN *et al.*, 2019).

2.4.3 Relação entre os grupos tróficos e as variáveis ambientais

A Análise Multifatorial (MFA) (BORCARD *et al.*, 2018; ESCOFIER; PAGES, 1994) foi realizada utilizando duas matrizes: a matriz de abundância dos grupos tróficos dos táxons mais relevantes e a matriz com o conjunto de variáveis físico-químicas oceanográficas. Os grupos tróficos mais relevantes para mesozooplâncton são: carnívoros (Chaetognatha), onívoros (Oikopleuridae), herbívoros (Thaliacea e Cladocera); para os copépodes são os: onívoros-herbívoros, onívoro-carnívoros e onívoros-detritívoros, onívoros; e para o microplâncton: diatomáceas autotróficas, dinoflagelados

heterotróficos, diatomáceas mixotróficas, dinoflagelados mixotróficos, nanoplâncton.

As variáveis físico-químicas foram testadas em relação a colinearidade através da análise de Fator de Inflação de Variância (VIF). As variáveis que apresentaram VIF menor que dez foram mantidas na análise (Salinidade, Temperatura, Profundidade da zona eufótica – ZEU, Amônio, Clorofila-a, Silicato, Oxigênio dissolvido, Nitrito+nitrato, Fosfato, Material inorgânico em suspensão- MSI) e, as variáveis que apresentaram o valor do VIF maior que dez, foram retiradas da análise (Material orgânico em suspensão - MSO) (BORCARD *et al.*, 2018). Cada grupo trófico utilizado na análise foi exibido no gráfico da ordenação com as cores dos seus respectivos grupos taxonômicos.

2.4.4 Estrutura trófica

O modelo de rede é um recorte de um sistema complexo de interações, onde estas interações são representadas de forma simplificada. O modelo escolhido para demonstrar a estrutura trófica neste trabalho foi o modelo de rede tritrófico, o mais recomendado para o plâncton (EGILMEZ & MOROZOV, 2016). Para alimentar o modelo, utilizou-se uma matriz de coocorrência obtida a partir do cruzamento das ocorrências conjunta (ou não) dos grupos tróficos em cada estação oceanográfica amostrada (mínimo = 0, máximo = 6).

Os organismos foram divididos em três níveis, o microplâncton está no nível 1, na base da teia alimentar, onde estão os autotróficos, heterotróficos e mixotróficos. No nível 2 estão os consumidores primários herbívoros, onívoros e detritívoros e no nível 3 estão os carnívoros. Alguns grupos tróficos foram retirados da análise por conta da baixa abundância (<4%) (dinoflagelado autotrófico, ebridiano mixotrófico, euglenofícea autotrófico, ebridiano heterotrófico), ou por não entrarem na teia trófica como consumidores, como é o caso dos lecitotróficos.

Foram feitas duas tabelas de coocorrência, uma entre o nível 1 e o nível 2 e outra entre o nível 2 e o nível 3 a partir de rotina própria codificada em linguagem R (R CORE TEAM, 2022). Através do pacote “bipartite” (DORMANN *et al.*, 2009), foram gerados seis modelos de rede, uma por cruzeiro, pois verificou-se nos resultados que esta é maneira mais apropriada para entender a variação interanual no período estudado.

3 Resultados

3.1 Variáveis ambientais

3.1.1 Dados ambientais

A temperatura da água e a salinidade variaram significativamente durante o período de estudo (Fig. 2). A temperatura aumentou entre os verões (de 2014 para 2016) e diminuiu no inverno, enquanto que a salinidade diminuiu no verão e no inverno. A concentração de clorofila-*a* foi significativamente mais elevada, enquanto as concentrações de oxigênio dissolvido e os valores de silicato apresentaram uma tendência em aumentar durante o inverno, quando comparado com os valores observados no verão. O material orgânico em suspensão (MSO) apresentou valores muito elevados no ano de 2015, enquanto o COP (carbono orgânico particulado), NT (nitrogênio total) foram significativamente maiores em 2016. Fosfato e material inorgânico em suspensão - MSI) apresentaram pouca variação (fosfato) ou ausência de padrão (MSI) ao longo do período estudado (Fig. 2).

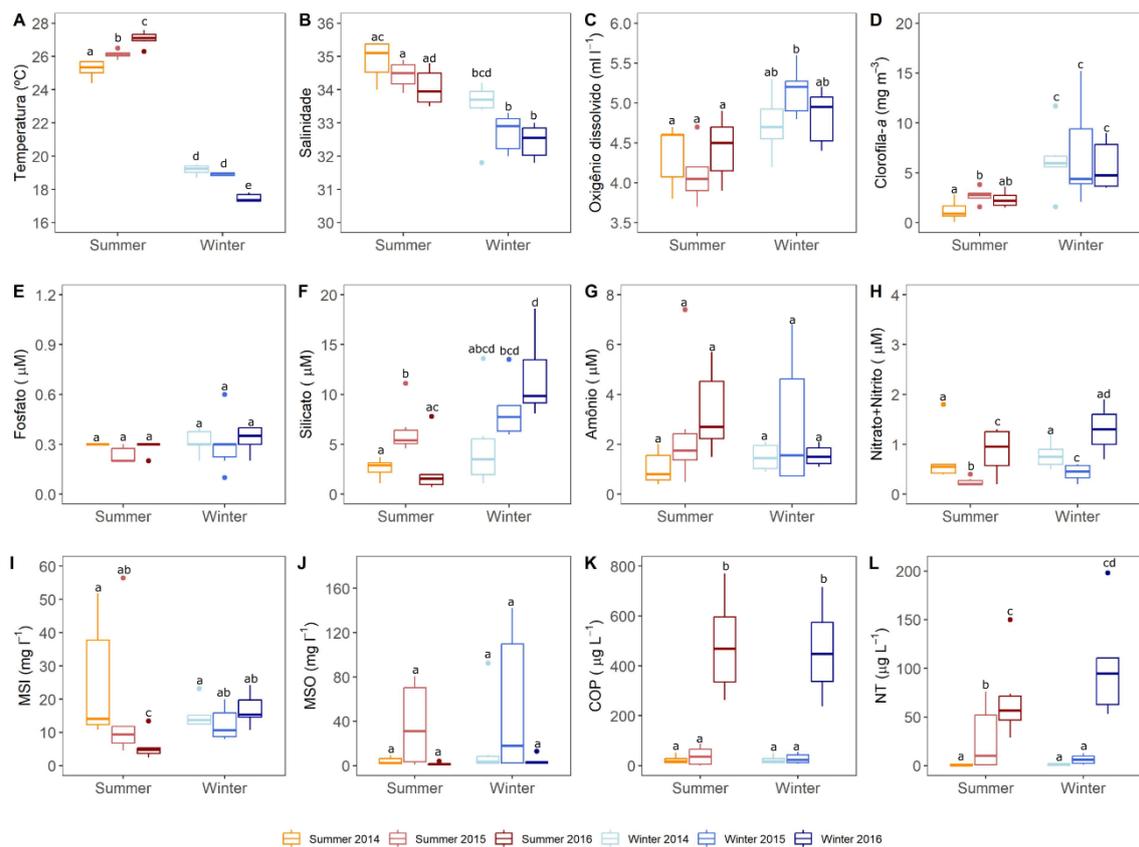


Figura 2. Variação sazonal e interanual das variáveis físico-químicas no entorno da Rebio Arvoredo: Temperatura (°C) (A), Salinidade (B), Oxigênio dissolvido (ml.L⁻¹) (C), Clorofila-a (mg.m⁻³) (D), Ortofosfato (µM) (E), Silicato (µM) (F), Amônio (µM) (G), Nitrito+Nitrato (µM) (H), MSI - Material Inorgânico em Suspensão (mg.L⁻¹) (I), MSO - Material Orgânico em Suspensão (mg.L⁻¹) (J), COP - Carbono Orgânico Particulado (µg.L⁻¹) (K), NOP - Nitrogênio Orgânico Particulado (µg.L⁻¹) (L). A linha central representa a mediana, linha superior e inferior representam os valores máximo e mínimo. As letras representam a significância entre os cruzeiros.

3.1.2 Estado trófico da água

A região costeira é principalmente eutrófica e a região da isóbata de 50m apresenta maior variabilidade no estado trófico da água. No verão e inverno, o estado trófico da água variou entre oligotrófico e eutrófico (Tabela 2). O verão de 2014 e inverno de 2015 obtiveram mais estações oceanográficas mesotróficas e uma oligotrófica devido aos menores valores de clorofila-a, ortofosfato e compostos nitrogenados (Fig. 2), porém nos outros cruzeiros a região como um todo foi quase toda eutrófica.

Tabela 2 - Estado trófico da água - TRIX (Eutrófica: Eu; Mesotrófico : Meso e Oligotrófica: Oligo) (VOLLENWEIDER *et al.*, 1998) para o verão e inverno de 2014, 2015 e 2016, nas estações costeiras (2,

10 e 14) e na isóbata de 50m (4,16 e 22) na região da REBIO Arvoredo.

Local	Estação de coleta	Verão			Inverno		
		2014	2015	2016	2014	2015	2016
Costeira	2	Meso	Eu	Eu	Eu	Eu	Eu
	10	Eu	Eu	Eu	Eu	Eu	Eu
	14	Meso	Eu	Eu	Eu	Eu	Eu
Isóbata 50 m	4	Oligo	Meso	Eu	Eu	Meso	Eu
	16	Meso	Eu	Meso	Eu	Meso	Eu
	22	Meso	Eu	Eu	Meso	Meso	Meso

3.1.3 Diagrama de Temperatura x Salinidade (TS)

Durante os verões de 2015 e 2016, a Água Subtropical de Plataforma (ASTP) dominou na região, entretanto, no ano de 2016, observou-se uma maior influência de águas continentais com baixa salinidade e alta temperatura (Fig. 3). No inverno, a ASTP predominou apenas em 2014 e nos anos seguintes receberam aporte de águas locais e remotas com baixa salinidade e baixa temperatura.

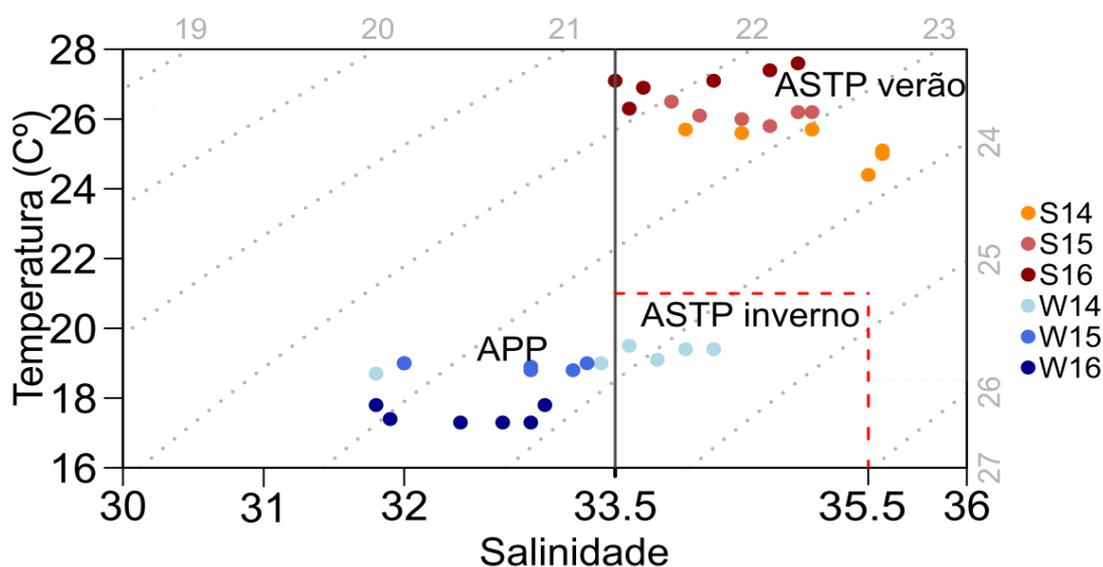


Figura 3. Diagrama TS das massas d'água superficiais em 2014, 2015 e 2016 no entorno da REBIO Arvoredo representados pelos tons de vermelho no verão e tons de azul no inverno. Os limites dos índices termohalinos das massas d'água estão indicados pelas linhas pretas contínua, à esquerda a Água Subtropical de Plataforma (ASTP) onde o tracejado vermelho indica a diferença do índice termohalino entre verão ($T > 21^{\circ}\text{C}$, $33,5 \leq S < 35,3$) e inverno ($T > 14^{\circ}\text{C}$, $33,5 < S < 35,3$), à direita a Água da Pluma do Prata, cujo índice termohalinos é igual para verão e inverno ($T > 10^{\circ}\text{C}$, $S \leq 33,5$) as isopcnais estão em tracejados cinza claro.

3.2 Variáveis biológicas

3.2.1 Grupos tróficos

Em relação ao mesozooplâncton, com exceção de copépodes que serão tratados separadamente, a média da abundância foi de $6.615 \pm 3.819 \text{ ind.m}^{-3}$. No verão, a abundância aumentou ao longo dos anos. Este padrão não foi seguido no inverno, em 2014 ocorreu a maior abundância e em 2015, a menor (Fig. 4a). Os organismos do mesozooplâncton mais abundantes de cada cruzeiro foram os herbívoros Salpidae no verão de 2014, as onívoras Oikopleuridae no verão de 2016 e inverno de 2015, e as onívoras Cladocera no verão de 2015 e invernos de 2014 e 2016 (apêndice A), ou seja, os onívoros do mesozooplâncton dominaram, exceto no verão de 2014.

A abundância média de copépodes em todos os cruzeiros foi de $47.406 (\pm 133.279) \text{ ind.m}^{-3}$, com grande variabilidade de valores e com tendência a diminuir ao longo dos anos no verão e inverno. Os copépodes com dieta onívora-herbívora foram mais abundantes na maioria dos cruzeiros (Fig. 4B), Acartiidae nos verões de 2014, 2015 e inverno de 2015; Temoridae no verão de 2016 e inverno de 2014, as onívoros Oithonidae foram mais abundantes apenas no inverno de 2016. Apesar da baixa abundância geral dos carnívoros Corycaeidae, eles foram importantes no verão de 2014 (Apêndice A).

O microplâncton apresentou um padrão quase oposto ao do mesozooplâncton e copépodes, enquanto estes obtiveram as maiores abundâncias em 2014, o microplâncton obteve as menores. Porém, no inverno de 2015, onde encontraram-se uma das menores abundâncias dos dois grupos, o microplâncton se sobressaiu (Fig. 2C). Os grupos mais abundantes foram as diatomáceas autotróficas na maioria dos cruzeiros, com exceção do verão de 2015, onde foram as diatomáceas mixotróficas e o inverno de 2016, com os dinoflagelados mixotróficos (Apêndice C). A abundância média microplanctônica foi $180.870 \pm 133.279 \text{ cél.L}^{-1}$.

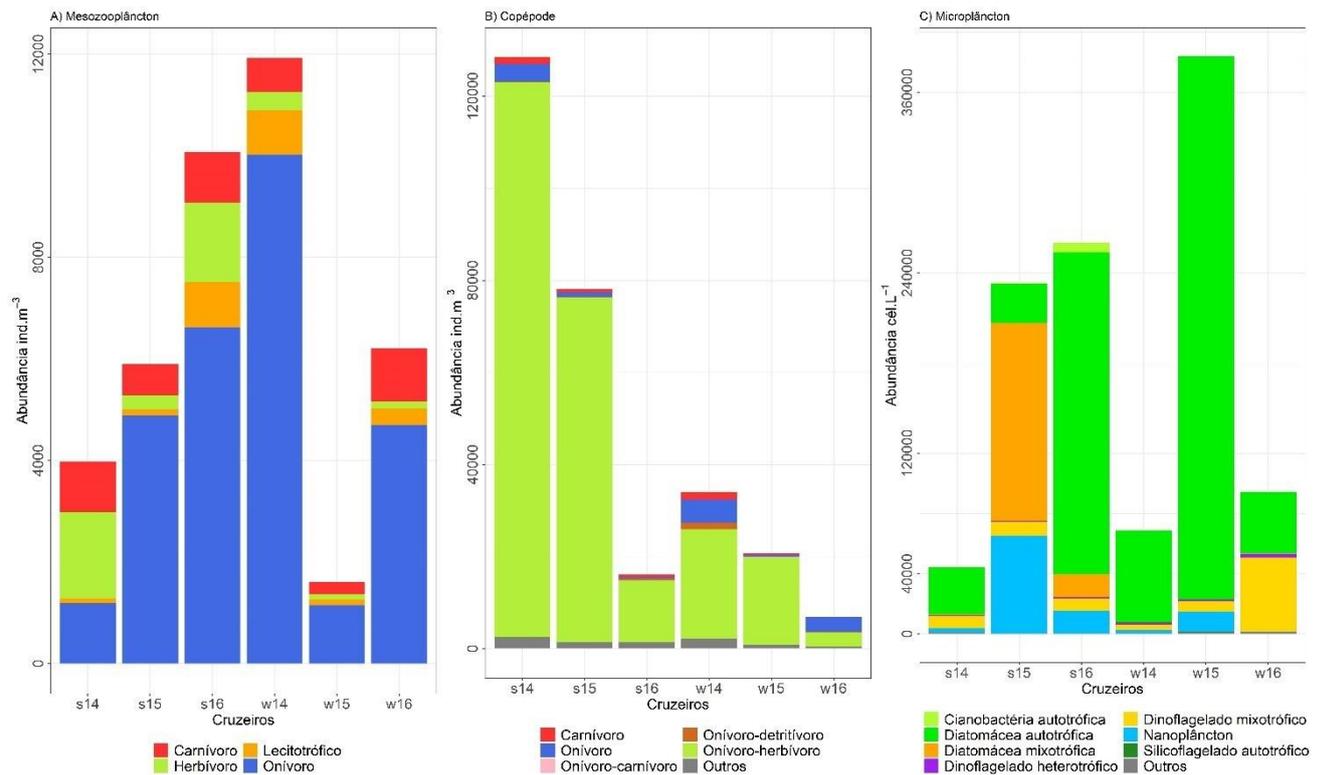


Figura 4. Histogramas de abundância total subdividido nos grupos tróficos especificados na legenda para A) Mesozooplâncton sem Copépode (ind.m⁻³), B) Copépode (ind.m⁻³) e C) Microplâncton (ml.L⁻¹).

Os resultados da PerMANOVA aplicada aos grupos tróficos de mesozooplâncton, copépodes e microplâncton foram significativos apenas entre os cruzeiros. Portanto, não há diferença nos grupos tróficos em relação ao estado trófico da água e/ou local (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultado da PerMANOVA global (valor de p) utilizando distância de Bray-Curtis a fim de comparar a guilda trófica entre dois fatores, são eles: Cruzeiro (S14, S15, S16, W14,W15,W16) e Local (costa, isóbata de 50m); Estado trófico da água (Oligotrófica, Mesotrófica, Eutrófica) e Local; Cruzeiro e Estado trófico da água, Cruzeiros entre si.

Grupo	Cruzeiro X Local	Estado trófico da água X Local	Cruzeiro X Estado trófico da água	Cruzeiro
Mesozooplâncton	p= 0.6515	p= 0.2267	p= 0.6302	p= 0.0065 **
Copépode	p= 0.5415	p= 0.2390	p= 0.9728	p= 0.0003 **
Microplâncton	p= 0.6576	p= 0.2368	p= 0.6252	p= 0.0067 **

P=0,05*

Tendo em vista o resultado anterior, na Tabela 4 é mostrado o resultado da PerMANOVA pareada para todos os possíveis pares de cruzeiros, em relação a variação dos grupos tróficos. Apesar de o mesozoplâncton ter sido significativo no teste anterior (Tabela 3), ele não foi significativo neste teste (Tabela 4), isso porque apesar de os dois serem PerMANOVAS, o teste anterior (Tabela 3), utiliza a variável cruzeiro como unifatorial, e este (Tabela 4) utiliza cada par de nível de interação, gerando mais detalhamento no resultado. Em relação aos copépodes, o teste foi significativo especialmente quando se comparou os cruzeiros com o inverno de 2016. Já o microplâncton foi significativo na maior parte das comparações, exceto entre alguns verões e invernos de 2014 e 2015, mostrando que no geral, a maior diferença entre os grupos tróficos ocorreu no ano de 2016, tanto para o copépode quanto para o microplâncton (Tabela 4).

Tabela 4 - Comparação da PerMANOVA pareada de distâncias Bray-Curtis comparando a variação entre os grupos tróficos para cada grupo (mesozoplâncton, copépode e microplâncton) entre todos os cruzeiros par a par.

Estação do ano	Cruzeiros	Mesozoplâncton	Copépode	Microplâncton
verão	s14 - s15	0.429	0.610	0.177
	s14 - s16	0.277	0.908	0.033*
	s15 - s16	0.277	0.610	0.049*
Inverno	w14-w15	0.260	0.240	0.372
	w14-w16	0.824	0.055	0.011*
	w15-w16	0.446	0.017*	0.012*
verão X Inverno	s14-w14	0.075	0.610	0.049*
	s14-w15	0.149	0.610	0.134
	s14-w16	0.075	0.021*	0.119
	s15-w14	0.075	0.058	0.009*
	s15-w15	0.404	0.781	0.016*
	s15-w16	0.202	0.017*	0.009*
	s16-w14	0.103	0.306	0.009*
	s16-w15	0.472	0.434	0.049*
	s16-w16	0.147	0.017*	0.009*

P:0,05*

3.1.2 Relação entre os grupos tróficos e as variáveis ambientais

O resultado da Análise Multifatorial (MFA) entre variáveis ambientais (temperatura, salinidade, profundidade da zona eufótica (ZEU), clorofila-a, amônio, oxigênio dissolvido, silicato, fosfato, nitrito + nitrato, MSI e os principais grupos tróficos do plâncton apresentou uma explicação total de 44%. A porcentagem de explicação do eixo 1 representa 28,06% e está positivamente relacionado com o verão e negativamente com o inverno. A porcentagem de explicação do eixo 2 (16,41%) separa uma condição de enriquecimento por fosfato e MSI no eixo positivo, em oposição ao enriquecimento por amônio (Fig. 5).

Em relação aos verões, o eixo 1 está relacionado positivamente com águas quentes e salinas e com maior transparência. Os verões de 2014 e 2015 (Fig. 4B) tem maior associação aos dinoflagelados mixotróficos, Oikopleuridae onívoros, copépodes e Thaliacea herbívoros, Chaetognatas e copépodes carnívoros. O verão de 2016 (Fig. 5B), está associado ao nanoplâncton, diatomácea mixotrófica e copépode onívoro-detritívoro. Maior riqueza de grupos tróficos ficou associada aos verões (Fig. 5).

Águas enriquecidas por nitrato, silicato, clorofila-a e altos teores de oxigênio dissolvido estão relacionados negativamente ao eixo 1, ou seja, aos invernos. Enquanto os invernos de 2014 e 2016 tem maior correlação com eixo 1 e com copépodes onívoros, onívoros-carnívoros, dinoflagelados heterotróficos, o inverno de 2015 teve suas estações mais ao sul correlacionadas com o lado negativo do eixo 2 e ao amônio e diatomáceas autotróficas (Apêndice D).

O lado positivo do eixo 2 indica uma situação de enriquecimento por fosfato e MSI na região, apesar de poucas estações ficarem associadas a este eixo (Apêndice D), os copépodes onívoros-herbívoros, grupo trófico mais abundantes no geral, se associaram. Copépodes onívoros-herbívoros e diatomáceas autotróficas, ficaram opostos no eixo 2, ou seja, são inversamente proporcionais.

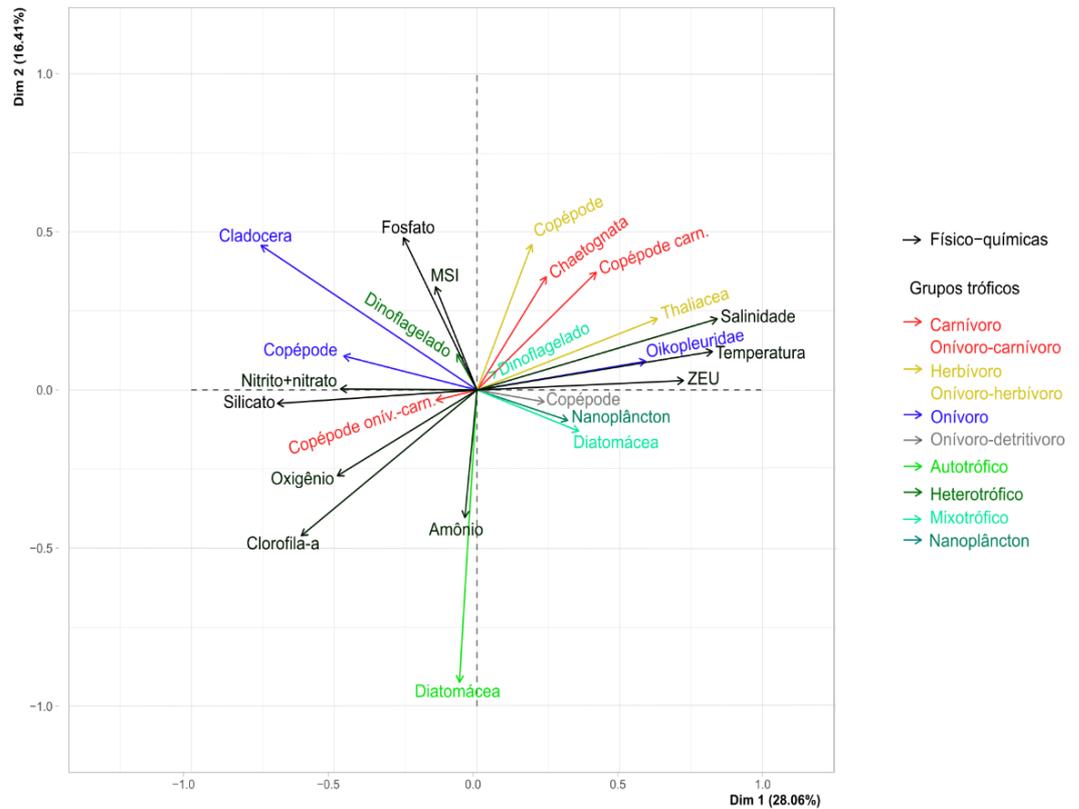


Figura 5. Análise Multifatorial (MFA) entre variáveis ambientais (temperatura, salinidade, profundidade da zona eufótica (ZEU), clorofila-a, amônio, oxigênio dissolvido, silicato, fosfato, nitrito + nitrato, MSI e os principais grupos tróficos do plâncton. A porcentagem de explicação do eixo 1 representa 28,06% e a do eixo 2, 16,41%. As cores diferenciam os grupos tróficos dos táxons mais relevantes do plâncton e os dados físico químicos (preto).

3.1.3 Estrutura trófica

Analisando a estrutura trófica (Fig. 6), é possível notar uma diferença quanto a coocorrência entre os verões e invernos. Em ambas estações, ela é suportada principalmente por diatomáceas autotróficas, dinoflagelados mixotróficos e apenas no verão, também por diatomáceas mixotróficas. A ocorrência do nanoplâncton flutua entre as duas estações. Os copépodes onívoros-herbívoros são os principais consumidores do microplâncton e, secundariamente, alguns grupos do mesozoplâncton, que em sua maioria são onívoros e alguns herbívoros. Os carnívoros de ambos os grupos estão presentes em baixa abundância na maior parte das vezes.

No verão de 2014, os copépodes onívoros-herbívoros, representados principalmente por Acartiidae e Temoridae e as herbívoras Salpidae foram muito abundantes (Fig. 4A e 4B), e podem ter sido a causa da baixa abundância de microplâncton (Fig. 4C). Os carnívoros Chaetognata e Corycaeidae também se sobressaíram (Apêndices A e B) aproveitando a alta disponibilidade de copépodes de tamanhos menores.

Em 2015, os copépodes onívoros-herbívoros também foram mais abundantes (Fig. 4B), principalmente Acartiidae e junto das onívoras Cladocera (Fig. 4A), se aproveitaram da grande oferta de diatomáceas e dinoflagelados mixotróficos, e nanoplâncton (Fig. 4C). Nesta estação houve maior participação dos heterotróficos. Os carnívoros foram pouco abundantes no geral, mas coocorreram com todos os consumidores primários (Fig. 6B).

No verão de 2016, houve a menor abundância de copépodes entre os verões (Fig. 4B), em contrapartida, houve grande riqueza de grupos tróficos e abundância de microplâncton principalmente mixotrófico (Fig. 4C). As onívoras Oikopleuridae e Cladocera e os carnívoros Chaetognatas se sobressaíram entre o mesozooplâncton (Apêndice A).

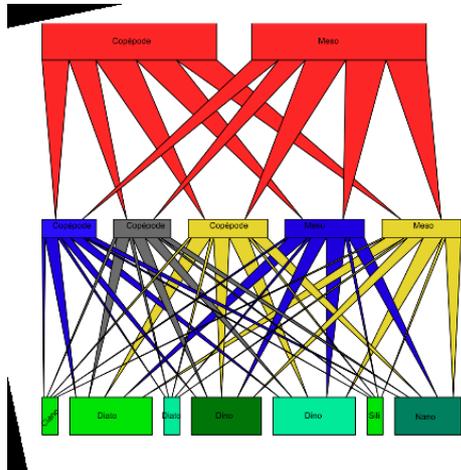
Enquanto a estrutura trófica planctônica dos verões parece ser semelhante entre si, as de inverno são bem diferentes (Fig. 6). No inverno de 2014, apesar da baixa abundância dos copépodes, os grupos tróficos se diversificaram e um novo grupo surgiu, os copépodes onívoros-carnívoros (Fig. 6). Esta riqueza de copépodes somada a alta abundância de Cladocera pode ter gerado um decréscimo na abundância do microplâncton (Fig. 4).

O inverno de 2015 foi marcante por uma maior abundância de microplâncton (Fig. 4C) e clorofila-a entre todos os cruzeiros (Fig. 2), além dos principais grupos, diatomáceas autotróficas e dinoflagelados mixotróficos, também apareceram silicoflagelados autotróficos, nanoplâncton e copépodes onívoros-carnívoros (Fig. 6). Porém, ocorreu uma das menores abundâncias de copépodes e mesozooplâncton, mas apesar disso, estes apresentaram grande riqueza de grupos tróficos (Fig. 4A e 4B).

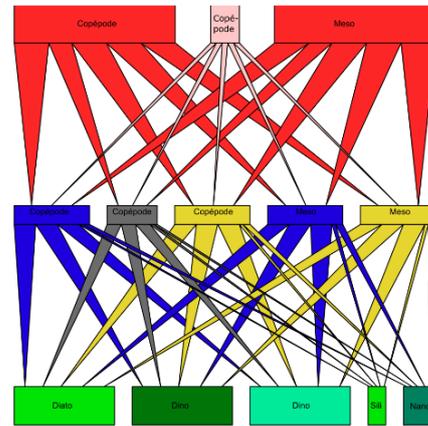
No inverno de 2016, o oposto ocorreu, mesmo com a alta produção de clorofila-a (Fig. 2), o microplâncton não foi abundante (Fig. 4C). No entanto, destaca-se os

dinoflagelados mixotróficos e as diatomáceas autotróficas que tiveram papel central na rede, sendo consumidos pelas onívoras Cladocera e copépodes onívoros e onívoros-herbívoros e estes, principalmente por carnívoros Chaetognatas (Fig. 6).

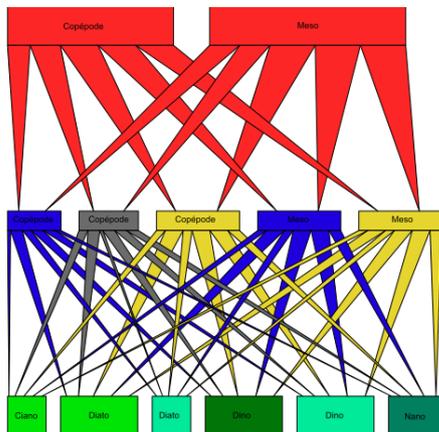
Verão de 2014 - S14



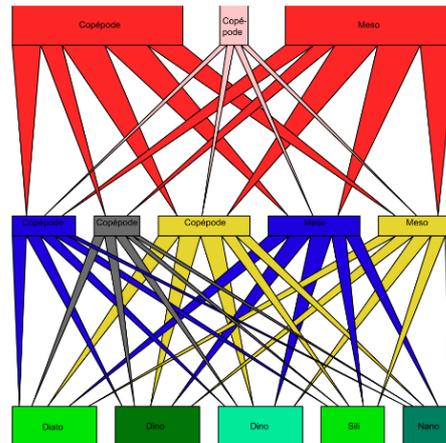
Inverno de 2014- W14



Verão de 2015 - S15



Inverno de 2015- W15



Verão de 2016 - S16

Inverno de 2016- W16

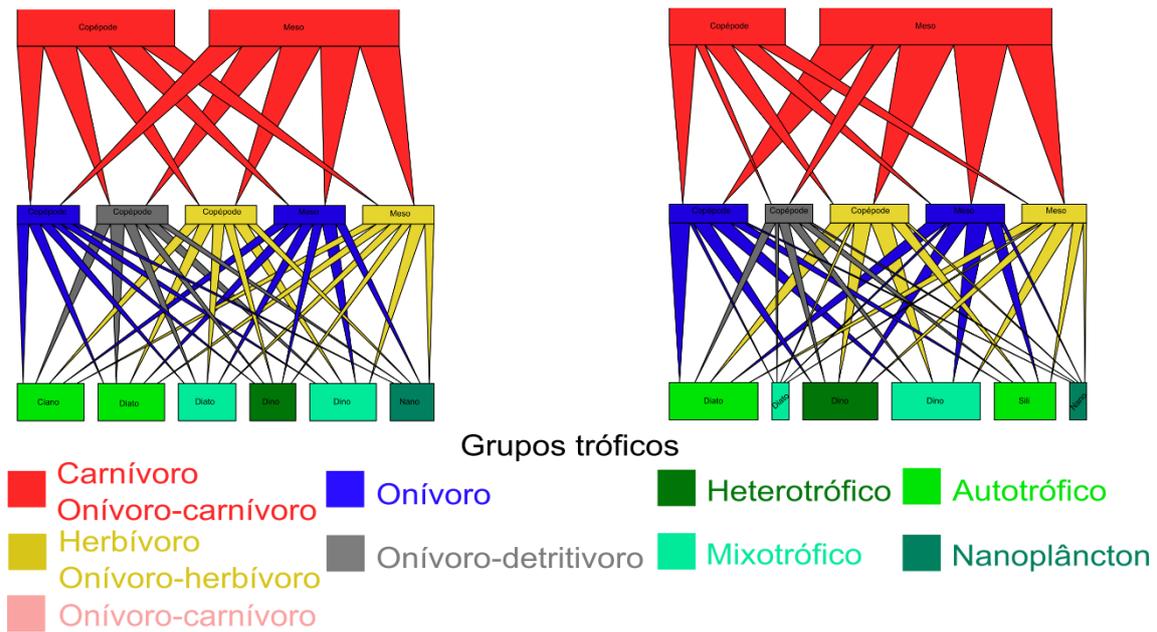


Figura 6: Modelo de rede tritrófico ponderado de coocorrência entre grupos tróficos divididos em 3 níveis. No primeiro nível estão os produtores primários; no segundo nível estão os consumidores primários e no terceiro nível estão os consumidores secundários. A linha que liga um grupo trófico ao outro representa que houve ao menos uma ocorrência destes dois grupos no cruzeiro e a espessura das linhas representam a quantidade de ocorrências entre estes os dois grupos.

4 Discussão

Os resultados contrariaram a hipótese inicial, visto que em 2014, onde houve o menor teor de nutrientes, a estrutura herbívora predominou, e em 2016 o microplâncton mixotrófico e copépodos herbívoros foram dominantes, sugerindo estrutura herbívora no inverno. Estas alterações estão relacionadas com as mudanças sazonais e interanuais na hidrodinâmica, variação de temperatura e disponibilidade de nutrientes, sugerindo a estrutura microbiana e multívora junto ao maior teor de nutrientes. A hipótese foi corroborada apenas em 2015, quando a ocorrência de onívoros e mixotróficos sugere a ocorrência da estrutura microbiana no verão e herbívoros e diatomáceas autotróficas.

A caracterização de padrões da estrutura trófica planctônica na região da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo nos verões e invernos mostraram cenários diferentes em 2014, 2015 e 2016. Houve uma transição da teia trófica em condição usual até uma condição mais extrema devido ao El Niño de 2015-2016, relatado como o mais forte desde 1997 (NOAA, 2015).

Em geral, na região da REBIO Arvoredo a massa d'água superficial predominante foi a Água Subtropical de Plataforma (ASTP) corroborando com Piola *et al.*, 2000, Moller *et al.*, (2008), Freire *et al.*, (2017), e Bordin *et al.*, (2019). O trabalho de Bordin *et al.* (2019), também avaliou o estado trófico para a região da REBIO a partir de 30m de profundidade, em locais afastados do Rio Tijucas (RT) e Canal Norte (CN) da Ilha de Santa Catarina, que foram caracterizados como mesotróficos e eutróficos.

Algumas situações no verão podem tornar a região mais rica em nutrientes, como a intrusão de águas de fundo como a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (BORDIN *et al.*, 2019) e quando há forte precipitação, gerando um aumento na drenagem de água dos rios para o mar, que combinados ventos do quadrante norte, espalham essas águas por toda a região (MAArE, 2017b). No inverno, a condição que pode tornar as águas eutrofizadas é a ação de fortes ventos do quadrante sul que trazem as águas da Pluma do Rio da Prata (BORDIN *et al.*, 2019), massa d'água costeira rica em nutrientes, principalmente silicato (BRAGA *et al.*, 2008), como ocorreu em 2016. O ano de 2014 foi marcado por períodos com menos chuva em relação à média histórica e a partir do inverno de 2015 os níveis de chuva acumulada se mantiveram acima da média (MAArE, 2017c).

A ausência de relação entre os grupos tróficos e o estado trófico da água pode ser decorrente da condição eutrófica dominante no sistema, de acordo com o índice utilizado, ao contrário de uma condição oligotrófica como era esperado na isóbata de 50m e visto por OBATA (2016) através do uso apenas da Clorofila-a como índice de estado trófico da água. Está sendo testado um método experimental para medir o estado trófico da água, “Índice TT” (POLIMENE *et al.*, 2023), através do cálculo da produção primária e da pastagem (POLIMENE *et al.*, 2023). Muitas vezes, apesar das altas concentrações de clorofila-a, os produtores primários não são palatáveis para o mesozooplâncton (MITRA, 2006; POLIMENE *et al.*, 2023). Se estes organismos pouco palatáveis forem dominantes, a maior parte do carbono fotossintetizado permanecerá nos baixos níveis tróficos da teia (CHISLOCK, 2013). Já a ausência de diferença estatística nos grupos tróficos entre costa e isóbata de 50m pode ter ocorrido pois a maior variação ocorre nas espécies, porém os grupos tróficos se mantêm com pouca ou nenhuma variação. No entanto, Menezes *et al.*, (2019) identificou que algumas espécies de copépodes carnívoros ficaram restritas à isóbata de 50m; e espécies herbívoras e filtradoras foram dominantes em condições mais produtivas, associadas às plumas fluviais na região costeira.

No verão de 2014, houve grande abundância de copépodes onívoros-herbívoros, herbívoros Salpidae, carnívoros Chaetognatha e diatomáceas autotróficas, caracterizando uma estrutura trófica herbívora (RYTHER, 1969). Esta estrutura é comum em sistemas eutróficos onde a maior parte do carbono orgânico particulado (COP) produzido é exportado via pastagem pelo mesozoplâncton, consumidor primário dominante (LEGENDRE; RASSOULZADEGAN, 1995). A exportação de carbono está diretamente relacionada à entrada e absorção de 'novos' nutrientes, principalmente nitrato para a zona eufótica (DUGDALE; GOERING, 1967) e esta forma de nitrogênio é utilizada principalmente por células maiores, como as diatomáceas (PRICE *et al.*, 1985; KIØRBOE, 1993). O valor discrepante de compostos nitrogenados (nitrito+nitrato em 2014 e amônio em 2015) próximo ao RT pode ter sido responsável pelo aumento da quantidade das diatomáceas e por isso Menezes *et al.*, (2019) identificou um aglomerado de *Acartia* nesta região, espécie oportunista que utiliza o recurso mais disponível (BENEDETTI *et al.*, 2016).

Este aglomerado ocorreu pontualmente no RT no verão de 2015, mas Menezes *et al.*, (2019) relatou a ocorrência da estrutura trófica microbiana na maior parte da região. Nossos resultados corroboram com este trabalho, visto que o alto teor de Matéria Orgânica em Suspensão (MSO) e a alta abundância de diatomáceas mixotróficas e nanoplâncton, ocorrem especialmente na teia microbiana. A matéria orgânica dissolvida no ambiente é convertida pelo nano e picoplâncton heterotrófico, em carbono orgânico particulado e disponibilizado para níveis tróficos superiores (AZAM *et al.*, 1983; POMEROY *et al.*, 2007; PORTER *et al.*, 1985), como os ciliados, que foram abundantes (MENEZES, 2019).

No verão de 2016, o mais quente entre os três verões, como possível consequência do El Niño (NOAA, 2015, 2023) as diatomáceas autotróficas e os copépodes onívoros-herbívoros, típicos da teia herbívora (RYTHER, 1969), foram a maioria. No entanto, houve forte presença de onívoros, carnívoros, lecitotróficos, diatomáceas e dinoflagelados mixotróficos, e segundo SILVEIRA, 2022; MENEZES *et al.*, 2019, ciliados, nanoplâncton e cianobactérias, frequentes na teia microbiana (LEGENDRE & RASSOULZADEGAN, 1995). A Água Central do Atlântico Sul (ACAS) dominou as camadas profundas e intermediárias de toda a região, transportando altos teores de fosfato, nitrato e silicato (BORDIN, 2019; FREIRE *et al.*, 2017). Apesar da água eutrófica favorecer a ocorrência da teia herbívora (RYTHER, 1969), neste tipo de sistema, a

atividade e abundância microbiana tornam-se mais elevadas, em comparação com sistemas oligotróficos (COTNER; BIDDANDA, 2002). Além disso, Trombetta *et al.*, 2020 compararam as teias tróficas planctônicas em 2015 e 2016 no Mar Mediterrâneo e associaram organismos de pequeno porte e o estabelecimento de cadeia alimentar microbiana, com as altas temperaturas influenciadas pelo El Niño. A temperatura é o principal fator que explica padrões de controle trófico no oceano (BOYCE *et al.*, 2015; FRANK; PETRIE; SHACKELL, 2007). Estes dois fatores podem ter influenciado a ocorrência da estrutura multívora, uma combinação entre a microbiana e a herbívora, onde ambas desempenham papéis significativos (LEGENDRE; RASSOULZADEGAN, 1995)

No inverno de 2014, a abundância do microplâncton, mesozooplâncton e ciliados (MENEZES *et al.*, 2019) foi baixa e a maioria das espécies de copépodes encontradas (MENEZES *et al.*, 2019) utilizam o fitoplâncton como um importante recurso alimentar (BENEDETTI *et al.*, 2016). Considerando a água eutrófica e uma maior participação de herbívoros e diatomáceas autotróficas, sugere-se que se estabeleceu uma estrutura trófica baseada em herbivoria (RYTHER, 1969).

No inverno de 2015, o Brasil começou a sentir os efeitos do forte El Niño que seguiria pelo próximo ano, o mês de julho apresentou volume de chuva três vezes acima da média climatológica para o mês no estado de Santa Catarina (CPTEC/INPE, 2022; METSUL, 2023). Por conta da maior precipitação, possivelmente houve um aumento na descarga de água fluvial para o mar, com baixa salinidade e temperatura e alto teor de nutrientes, favorecendo as diatomáceas autotrófica que apresentaram a maior abundância entre os anos. Os ciliados não foram avaliados para este cruzeiro, mas levando em conta a baixa abundância do nanoplâncton e de organismos mixo e heterotróficos, e o prevalecimento das diatomáceas autotróficas em uma água eutrófica e mesotrófica, sugere-se a ocorrência da estrutura trófica herbívora (RYTHER, 1969). Até o momento da coleta, os herbívoros consumidores ainda não tinham respondido a alta oferta de alimento, sugerindo que a floração de diatomáceas era recente (EHRlich; GAEDKE, 2020) no momento da coleta.

A influência marcante do El Niño no inverno de 2016 trouxe a Água da Pluma do Prata (APP), que costuma ocorrer somente até o Cabo de Santa Marta (PIOLA, 2005), para a região da REBIO Arvoredo. Suas características são águas com baixas temperaturas e salinidade, rica em silicato e material orgânico dissolvida e particulado (CIOTTI *et al.*, 1995; FONTES *et al.*, 2018), ou seja, eutrófica. A estrutura trófica foi

composta principalmente por dinoflagelados (heterotróficos e mixotróficos), diatomácea autotrófica, copéode onívoro, Oikopleuridae (onívoro) e Chaetognatha (carnívoro). O alta concentração de “clorofila-a” ocorreu em conjunto com abundância intermediária do microplâncton, sugerindo que a clorofila-a advém de outras fontes, como o bacterioplâncton. A importância destes organismos na APP foi destacada por Fontes et al. (2018) e Silveira (2022), sugerindo a ocorrência da estrutura trófica microbiana (AZAM *et al.*, 1983; POMEROY *et al.*, 2007; PORTER *et al.*, 1985).

A alternância entre estrutura trófica, herbívora, multívora ou microbiana, em uma escala sazonal, foi vista em uma pequena escala temporal, nas águas costeiras de Cabo Frio (23° 00' 57" S, 42° 00' 09" O), onde a geografia local combinada com a dinâmica de ventos e a hidrodinâmica favorecem a ressurgência da ACAS. Esta massa d'água possui temperaturas mais baixas e maiores teores de nitrato, favorecendo o aparecimento de microplâncton autotrófico de maior tamanho e copépodes herbívoros dominando como consumidores primários, caracterizando uma teia alimentar herbívora. Durante eventos de subsidência, quando a temperatura da água é mais elevada, prevalece a estrutura trófica microbiana, com dominância do fitoplâncton menor (pico e nano) e maior contribuição do bacterioplâncton e microzooplâncton (GUENTHER *et al.*, 2008). D'Álelio *et al.*, (2015) também observou no Mar Mediterrâneo a “fase azul”, condição de forte influência de águas oceânicas, com predomínio de pequenos flagelados, dinoflagelados heterotróficos e ciliados, caracterizando uma estrutura trófica microbiana. Já na “fase verde”, quando a maior influência é de águas costeiras ricas em nitrogênio e fósforo, predomina a teia alimentar herbívora com forte presença de diatomáceas grandes.

O presente trabalho acende um alerta para o que pode ocorrer em períodos de El Niño, evento que tem se tornado cada vez mais frequente. É necessário continuar realizando estudos na região a fim de estender a série temporal e esclarecer quais as modificações na estrutura trófica planctônica podem ser atribuídas exclusivamente ao El Niño. Se considerarmos que o ano 2014 foi normal para os padrões climáticos atuais (NASA, 2018; NOAA, 2023), 2015 foi uma transição e 2016 foi um ano afetado pelo El Niño; e que no ano de 2014, predominou a estrutura herbívora, então sugere-se que esta seria a estrutura usual na região, tanto no verão quanto no inverno, especialmente próximo à costa. São necessários mais estudos utilizando análises de redes de correlação representando potenciais interações entre grupos planctônicos em sistemas experimentais controlados, a fim de ajudar a elucidar os mecanismos de causa-efeito desencadeados por fenômenos

como altas ou baixas temperaturas e diferentes suprimentos de nutrientes a fim de formular previsões confiáveis sobre futuros cenários de mudança global (TROMBETTA *et al.*, 2020).

Dados sobre o plâncton foram identificadas como Variáveis Oceânicas Essenciais (EOVs) pelo Sistema Global de observação Oceânica (BAX *et al.*, 2019; CHIBA *et al.*, 2018; MILOSLAVICH *et al.*, 2018; MULLER-KARGER *et al.*, 2018) bem como Variáveis Climáticas Essenciais (ECVs) no GCOS (Sistema Global de Observação do Clima). Num cenário de mudanças climáticas, alterações na circulação oceânica afetarão o fornecimento de nutrientes para as águas superficiais modificando o ciclo biogeoquímico (D'ÁLELIO, 2015), a diversidade e a distribuição dos produtores primários e os aumentos nas temperaturas oceânicas modificarão suas taxas metabólicas e seu crescimento (BOPP *et al.*, 2013; THOMAS *et al.*, 2012). Estas mudanças nos produtores primários irão gerar uma reorganização na teia alimentar planctônica dos níveis superiores e na diversidade de grupos tróficos (D'ÁLELIO *et al.*, 2015).

5 Conclusão

Este trabalho complementa estudos anteriores realizados na região da REBIO Arvoredo, e conecta compartimentos (e.g. condições físicas, nutrientes e relações entre grupos tróficos do plâncton) avaliados até então isoladamente. No geral, os grupos tróficos planctônicos predominantes nos três anos foram os Onívoros no mesozoplâncton, Onívoro-herbívoros entre os copépodes e os autótrofos no microplâncton, sendo que os grupos tróficos ficaram mais associados à hidrodinâmica do que ao estado trófico da água ou distância da costa. Os verões foram caracterizados por grande diversidade de grupos tróficos. Já os invernos foram marcados pela grande diferença ocorrida na abundância e riqueza entre os três anos.

Foi relatada a dinâmica na mudança da estrutura trófica planctônica ao longo de três anos, onde 2014 foi um ano dentro dos padrões climáticos históricos em oposição a grande variabilidade decorrente do intenso El Niño que iniciou no inverno de 2015 e se estendeu até 2016. Portanto, conclui-se que a teia trófica na região da REBIO Arvoredo é variável e se alterna entre herbivoria (verão e inverno 2014, inverno 2015), sugere-se a ocorrência da teia microbiana (verão 2015, inverno 2016), podendo ocorrer ambas as teias

simultaneamente (multívora, verão 2016). Estudos realizados durante a ocorrência de eventos extremos como o El Niño, podem auxiliar no entendimento dos efeitos de diferentes cenários das mudanças climáticas no funcionamento da teia trófica marinha.

Devido a ausência do componente bacteriano na amostragem, a definição da estrutura como microbiana ficou limitada, mas a coocorrência dos grupos sugere diferentes estruturas tróficas em diferentes períodos do ano. Em 2014, onde houve o menor teor de nutriente, a estrutura herbívora predominou, e em 2016 junto ao maior teor de nutrientes, houve uma grande diversidade de grupos tróficos como microplâncton mixotrófico, heterotrófico e autotrófico, herbívoros e onívoros, sugerindo uma estrutura multívora especialmente no verão. A hipótese foi corroborada apenas em 2015, quando a ocorrência de onívoros e mixotróficos sugere a ocorrência da estrutura microbiana no verão e herbívora no inverno. Estas alterações estão relacionadas com as mudanças sazonais e interanuais na hidrodinâmica, variação de temperatura e disponibilidade de nutrientes do local.

A compreensão da base da teia trófica marinha pode embasar estudos sobre a transferência de energia para os próximos níveis. É necessário continuar realizando estudos na região a fim de estender a série temporal e assim, relacionar com mais precisão os impactos de eventos extremos na base da teia trófica marinha.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender a dinâmica trófica na natureza é um grande desafio. Considerando o pequeno tamanho do plâncton e a complexidade dos fatores que influenciam em sua abundância e composição, e conseqüentemente, em suas relações alimentares, estudos sistêmicos como os desenvolvidos aqui, são necessários e desafiadores. Este é o primeiro trabalho a apresentar a estrutura trófica planctônica e sua variação temporal na região da Reserva Marinha Biológica do Arvoredo, um arquipélago costeiro próximo a Ilha de Santa Catarina (Brasil).

Neste trabalho foram realizadas coletas nos invernos e verões por um período de 3 anos em 6 estações oceanográficas dispostas entre a costa e a isóbata de 50m na região da REBIO Arvoredo. Para as análises estatísticas foram utilizados os dados-físicos locais e composição dos grupos tróficos planctônicos. Os grupos tróficos planctônicos predominantes nos três anos foram os Onívoros no mesozooplâncton, Onívoro-herbívoros entre os copépodes e os autótrofos no microplâncton. Os grupos tróficos ficaram mais associados à hidrodinâmica do que ao estado trófico da água ou distância da costa. Os verões foram caracterizados por grande diversidade de grupos tróficos. Já os invernos foram marcados pela grande diferença ocorrida na abundância e riqueza entre os três anos.

A hipótese inicial sugeria que em massas d'água quentes, salinas e com menor aporte de nutriente (verão), a estrutura trófica seria microbiana, e em massas d'águas frias e ricas em nutrientes (inverno), a estrutura trófica seria herbívora. No entanto, os resultados contrariaram a hipótese inicial, visto que em 2014, onde houve o menor teor de nutrientes, a estrutura herbívora predominou. Por outro lado, no ano de 2016 foi encontrada uma estrutura trófica multívora (verão) e provavelmente microbiana (inverno) em condições de maior concentração de nutrientes. A hipótese foi corroborada apenas em 2015, onde sugerimos a ocorrência da estrutura microbiana no verão e herbívora no inverno.

As condições meteorológicas foram diferentes entre os 3 anos avaliados (2014 a 2016) evidenciando a complexidade regional. Geralmente, a região é influenciada pela Água Subtropical de Plataforma (ASTP), Rio Tijucas e Canal Norte da Ilha de Santa Catarina, elevados índices pluviométricos e alterações na hidrodinâmica interferem nas condições nutricionais da água e conseqüentemente, na abundância e composição planctônica. O ano de 2014 o foi considerado normal para os padrões climáticos atuais; a partir do

inverno de 2015, um El Niño influenciou a região, alterando o sistema. Considerando-se que em 2014, predominou estrutura herbívora, então sugere-se que esta seria a estrutura usual para a região, tanto no verão quanto no inverno, especialmente próximo à costa.

A compreensão da base da teia trófica marinha pode embasar estudos sobre ciclos biogeoquímicos marinhos; transferência de energia para os próximos níveis tróficos; e no entendimento dos efeitos das mudanças climáticas no funcionamento da teia trófica marinha, inclusive durante a ocorrência de eventos extremos como o El Niño. Nesse sentido, já existem esforços na continuação da amostragem na região a fim de constituir uma série temporal, tanto de organismos planctônicos quanto de parâmetros físico-químicos, para entender as flutuações naturais deste sistema, e as variações decorrentes das mudanças climáticas.

INFOGRÁFICO

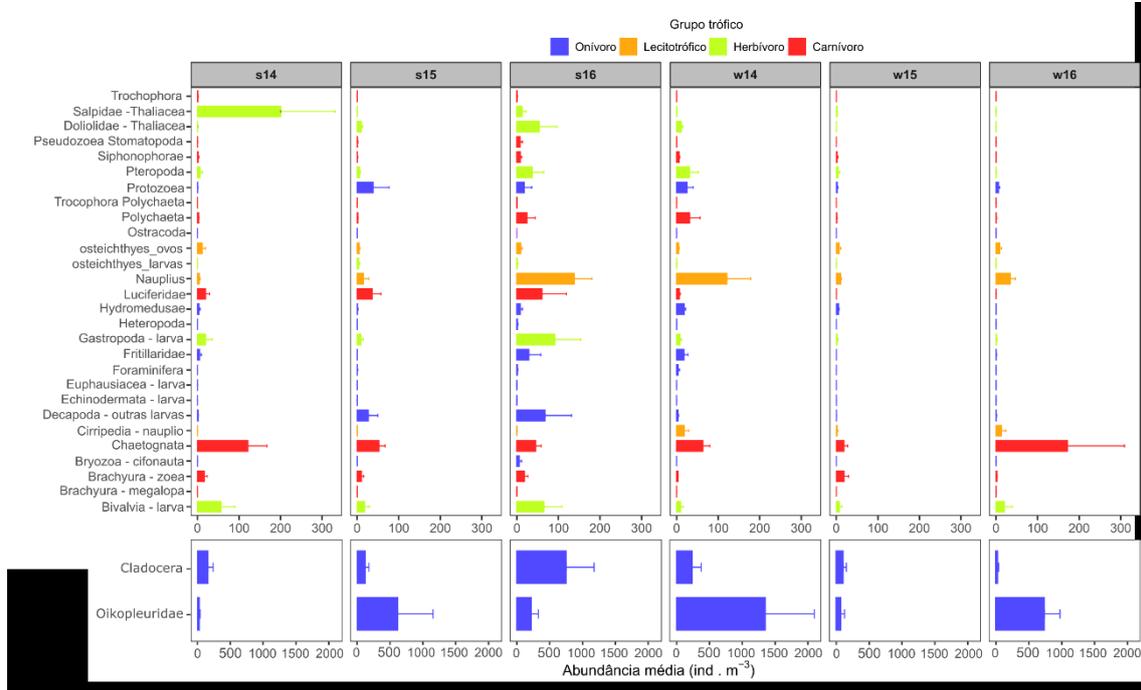
O infográfico a seguir resume as condições físico-químicas, a estrutura trófica e a presença de El Niño durante os 6 períodos amostrados na REBIO Arvoredo.



APÊNDICES

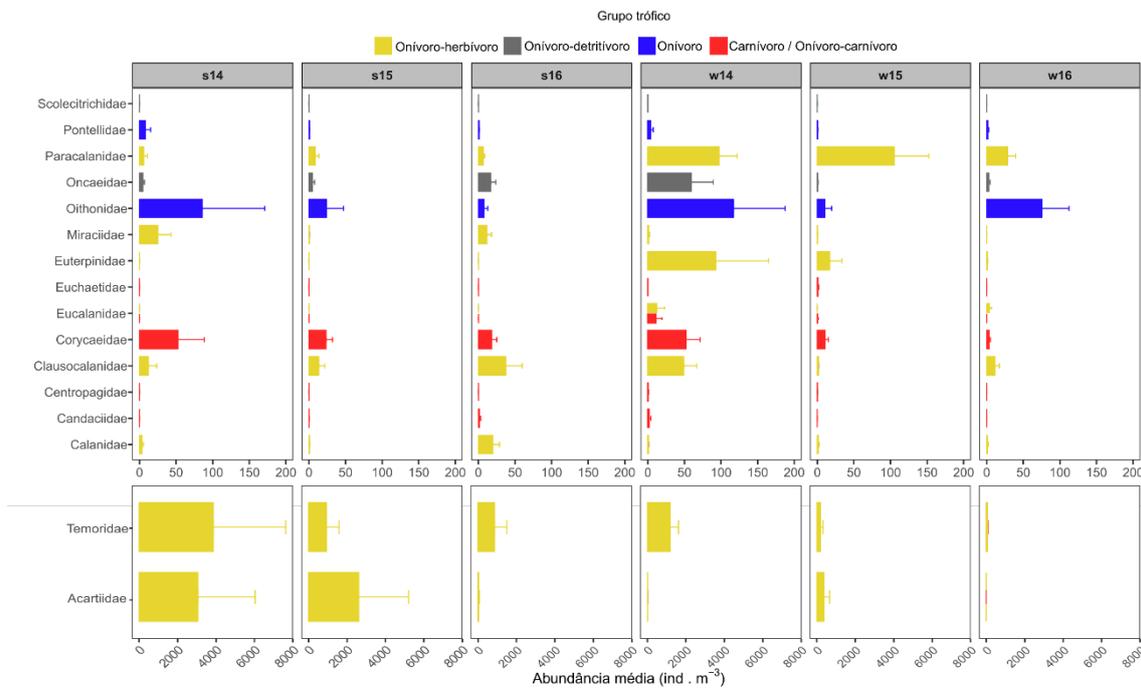
APÊNDICE A

Média e erro padrão dos grupos tróficos do mesozooplâncton por cruzeiro



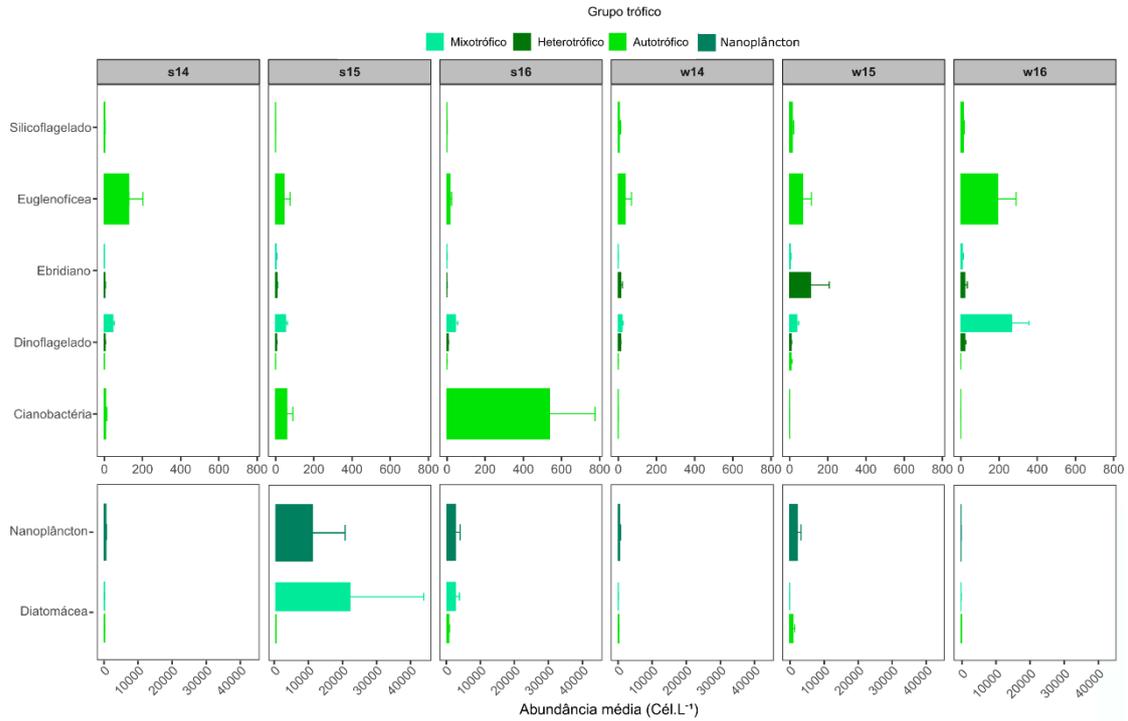
APÊNDICE B

Média e erro padrão dos grupos tróficos das famílias de copépodes por cruzeiro.



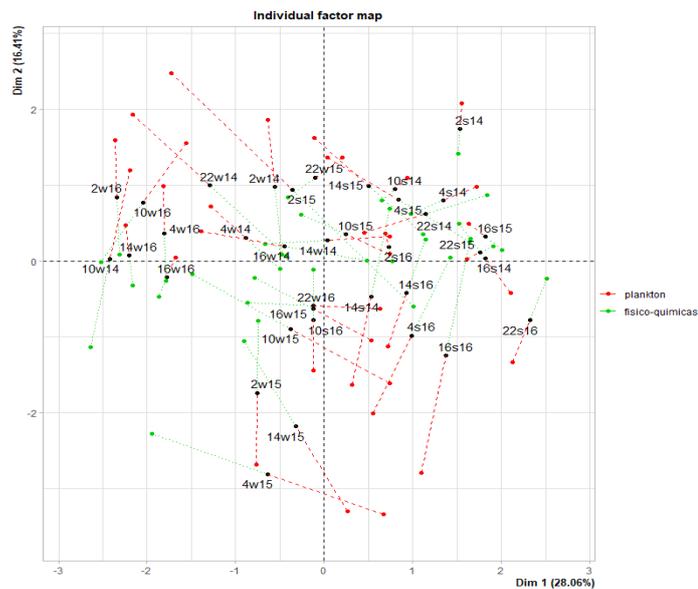
APÊNDICE C

Média e erro padrão dos grupos tróficos do microplâncton por cruzeiro.



APÊNDICE D

Individual factor map. Apresenta a posição das estações de coleta oceanográficas (pontos pretos) correlacionando os dados físico-químicos (tracejados em verde) e os grupos tróficos do plâncton (tracejados em vermelho) através de MFA (Análise Multifatorial). A porcentagem de explicação do eixo 1 representa 28,06% e a do eixo 2, 16,41%.



TEXTO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

A maior parte da vida nos oceanos é invisível. Ela é composta por pequenos organismos conhecidos como plâncton, que são animais (zooplâncton), microalgas, entre outros. Apesar do pequeno tamanho, eles produzem a maior parte do oxigênio que respiramos e são tão abundantes a ponto de serem a base da teia alimentar marinha. A quantidade, ocorrência e predominância de espécies de plâncton é afetada pelos nutrientes presentes no oceano. Alguns nutrientes são naturais, originários dos rios e oceanos, enquanto outros são lançados por nós nos rios e, conseqüentemente, chegam ao oceano. Além dos nutrientes, a dinâmica do oceano e o clima mudam no verão e no inverno e isto também afeta a vida do plâncton.

Neste trabalho nós estudamos a teia alimentar do plâncton no verão e inverno durante 3 anos (2014, 2015, 2016) na região da Reserva Marinha Biológica do Arvoredo, em Santa Catarina, com o objetivo de descobrir se as diferenças na dinâmica do oceano, climáticas e nutricionais entre os 3 anos afetaram estes grupos.

O ano de 2014 foi dentro dos padrões climáticos históricos e a teia alimentar planctônica apresentou uma estrutura conhecida como “herbívora”, na qual grandes microalgas serviram de alimento para o zooplâncton. Já o ano de 2015 foi considerado uma transição para um forte El Niño que ocorreu em 2016, este evento ocorre no Oceano Pacífico, mas afeta o mundo inteiro. No verão de 2015 surgiu um grupo de microalgas mixotróficas. Sua principal característica é que além da fotossíntese, ela pode consumir organismos menores e alguns nutrientes da água, participando da teia “microbiana”, esta estrutura é mais longa e pode transferir menos energia para os próximos níveis tróficos (plânctons e peixes maiores). O inverno de 2015 apresentou teia herbívora, assim como em 2014. Já em 2016 choveu muito e o verão foi mais quente e o inverno mais frio do que nos anos anteriores. Essa combinação de fatores pode ter influenciado a ocorrência da teia “multívora”, uma combinação entre a herbívora e microbiana. Já no inverno de 2016, que foi frio e chuvoso, águas do Rio da Prata chegaram até a região tornando a teia trófica microbiana. Os resultados encontrados poderão auxiliar no entendimento dos efeitos de diferentes cenários das mudanças climáticas no funcionamento do plâncton e da teia trófica marinha, e assim auxiliando a compreender os impactos de cada tipo de teia trófica nos próximos níveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHA, E. M. *et al.* Marine fronts at the continental shelves of austral South America. **Journal of Marine Systems**, v. 44, n. 1–2, p. 83–105, jan. 2004.

AGNELLI, F. B. **VARIAÇÃO ESPACIAL DA COMUNIDADE DE COPEPODA (CRUSTACEA) NA RESERVA BIOLÓGICA MARINHA DO ARVOREDO (REBIO ARVOREDO) E ENTORNO.** [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

AIDAR, E. *et al.* Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP. 1983.

ANDERSON, M. PERMANOVA+ for PRIMER: guide to software and statistical methods. **Primer-E Limited.**, 2008.

ANDERSON, M. J. Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression. **Canadian journal of fisheries and aquatic sciences**, v. 58, n. 3, p. 626–639, 2001.

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION). **Standard methods for the examination of water and wastewater.** [s.l.] Apha, 1985.

ARMENGOL, L. *et al.* Planktonic food web structure and trophic transfer efficiency along a productivity gradient in the tropical and subtropical Atlantic Ocean. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 2044, 14 fev. 2019.

AZAM, F. *et al.* The Ecological Role of Water-Column Microbes in the Sea. **Marine Ecology Progress Series**, v. 10, p. 257–263, 1983.

BAIER, C. T. Climate-induced variability in *Calanus marshallae* populations. **Journal of Plankton Research**, v. 25, n. 7, p. 771–782, 1 jul. 2003.

BARTON, A. D. *et al.* On the roles of cell size and trophic strategy in North Atlantic diatom and dinoflagellate communities. **Limnology and Oceanography**, v. 58, n. 1, p. 254–266, jan. 2013.

BAX, N. J. *et al.* A response to scientific and societal needs for marine biological observations. **Frontiers in Marine Science**, v. 6, p. 395, 2019.

BEAUGRAND, G.; REID, P. C. Long-term changes in phytoplankton, zooplankton and salmon related to climate: PLANKTON SALMON and CLIMATE CHANGE. **Global Change Biology**, v. 9, n. 6, p. 801–817, jun. 2003.

BENEDETTI, F.; GASPARINI, S.; AYATA, S.-D. Identifying copepod functional groups from species functional traits. **Journal of Plankton Research**, v. 38, n. 1, p. 159–166, jan. 2016.

BJÖRNBERG, T. Copepoda. Em: **Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino**. Mar del Plata, INIDEP: Boltovskoy, D., 1981. p. 587–679.

BLACHOWIAK-SAMOLYK, K. *et al.* Trophic structure of zooplankton in the Fram Strait in spring and autumn 2003. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 54, n. 23–26, p. 2716–2728, 2007.

BOLTOVSKOY, D. **Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino**. Mar del Plata, Argentina: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, 1981.

BOPP, L. *et al.* Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. **Biogeosciences**, v. 10, n. 10, p. 6225–6245, 2013.

BORCARD, D. *et al.* Community diversity. **Numerical Ecology with R**, p. 369–412, 2018.

BORDIN, L. H. *et al.* Nutrient and carbon dynamics under the water mass seasonality on the continental shelf at the South Brazil Bight. **Journal of Marine Systems**, v. 189, p. 22–35, jan. 2019.

BOXSHALL, G. **Planktotrophic versus lecithotrophic development in copepods**. . Em: AGU FALL MEETING ABSTRACTS. 2007.

BOYCE, D. G. *et al.* Spatial patterns and predictors of trophic control in marine ecosystems. **Ecology Letters**, v. 18, n. 10, p. 1001–1011, out. 2015.

BRAGA, E.S. *et al.* Nutrient distributions over the Southwestern South Atlantic continental shelf from Mar del Plata (Argentina) to Itajaí (Brazil): Winter–summer aspects. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1649–1661. 2008.

BURRIDGE, A. K. *et al.* Diversity and distribution of hyperiid amphipods along a latitudinal transect in the Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 158, p. 224–235, nov. 2017.

CASTRO FILHO, B. DE *et al.* Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). Em: **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil**. São Paulo, SP: EDUSP: Rossi -Wongtshowski, C.L.D., Madureira, L.S.P., 2006.

CHEN, M. The ecological significance of mesozooplankton feeding in marine planktonic food web. 2012.

CHEW, L. *et al.* Phytoplankton fuel the energy flow from zooplankton to small nekton in turbid mangrove waters. **Marine Ecology Progress Series**, v. 469, p. 7–24, 26 nov. 2012.

CHIBA, S. *et al.* Zooplankton monitoring to contribute towards addressing global biodiversity conservation challenges. **Journal of Plankton Research**, v. 40, n. 5, p. 509–518, 1 set. 2018.

CHISLOCK, M. F. Eutrophication: Causes, Consequences, and Controls in Aquatic Ecosystems. Nature Education Knowledge. 2013.

CIOTTI, Á. M. *et al.* Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. **Continental shelf research**, v. 15, n. 14, p. 1737–1756, 1995.

CLOERN, J. E. Why large cells dominate estuarine phytoplankton: Large cells dominate in estuaries. **Limnology and Oceanography**, v. 63, n. S1, p. S392–S409, mar. 2018.

COLIN, S. P. *et al.* Omnivory by the small cosmopolitan hydromedusa *Aglaura hemistoma*. **Limnology and Oceanography**, v. 50, n. 4, p. 1264–1268, 2005.

COTNER, J. B.; BIDDANDA, B. A. Small players, large role: microbial influence on biogeochemical processes in pelagic aquatic ecosystems. **Ecosystems**, v. 5, p. 105–121, 2002.

CPTEC/INPE. **MONITORAMENTO BRASIL- DADOS DE PRECIPITAÇÃO**. Disponível em: <<https://clima1.cptec.inpe.br/monitoramentobrasil/pt>>. Acesso em: 5 out. 2022.

D’ALELIO, D. *et al.* The green-blue swing: plasticity of plankton food-webs in response to coastal oceanographic dynamics. **Marine Ecology**, v. 36, n. 4, p. 1155–1170, dez. 2015.

DE TABARÉS, G. Á.-. LARVAS PLANCTÓNICAS DE LOFOFORADOS EN LA BAHÍA DE GAIRA, MAGDALENA, CARIBE COLOMBIANO. v. 36, 2007.

DÉCIMA, M. Zooplankton trophic structure and ecosystem productivity. **Marine Ecology Progress Series**, v. 692, p. 23–42, 30 jun. 2022.

DELACA, T. E.; KARL, D. M.; LIPPS, J. H. Direct use of dissolved organic carbon by agglutinated benthic foraminifera. **Nature**, v. 289, n. 5795, p. 287–289, jan. 1981.

DORMANN, C. F. *et al.* Indices, Graphs and Null Models: Analyzing Bipartite Ecological Networks. **The Open Ecology Journal**, v. 2, n. 1, p. 7–24, 27 fev. 2009.

DUGDALE, R.; GOERING, J. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity 1. **Limnology and oceanography**, v. 12, n. 2, p. 196–206, 1967.

EGILMEZ, H. I.; MOROZOV, A. YU. Tri-trophic Plankton Models Revised: Importance of Space, Food Web Structure and Functional Response Parametrisation. **Mathematical Modelling of Natural Phenomena**, v. 11, n. 4, p. 16–33, 2016.

EHRlich, E.; GAEDKE, U. Coupled changes in traits and biomasses cascading through a tritrophic plankton food web. 2020.

ESCOFIER, B.; PAGES, J. Multiple factor analysis (AFMULT package). **Computational statistics & data analysis**, v. 18, n. 1, p. 121–140, 1994.

EWERS-SAUCEDO, C.; PAPPALARDO, P. Testing adaptive hypotheses on the evolution of larval life history in acorn and stalked barnacles. **Ecology and evolution**, v.

9, n. 19, p. 11434–11447, 2019.

FARRELL, A. P. **Encyclopedia of fish physiology: from genome to environment.** [s.l.] Academic press, 2011.

FLYNN, K. J. *et al.* Mixotrophic protists and a new paradigm for marine ecology: where does plankton research go now? **Journal of Plankton Research**, v. 41, n. 4, p. 375–391, 2019.

FONTES, M. L. S. *et al.* Bacterioplankton abundance and biomass stimulated by water masses intrusions over the Southern Brazilian Shelf (between 25°57'S and 29°24'S). **Continental Shelf Research**, v. 164, p. 28–36, jul. 2018.

FRANK, K. T.; PETRIE, B.; SHACKELL, N. L. The ups and downs of trophic control in continental shelf ecosystems. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 5, p. 236–242, maio 2007.

FREILICH, M. A. *et al.* Species co-occurrence networks: Can they reveal trophic and non-trophic interactions in ecological communities? **Ecology**, v. 99, n. 3, p. 690–699, mar. 2018.

FREIRE, A. *et al.* **O ambiente oceanográfico. in: Monitoramento Ambiental da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo.** 1. ed. Campinas: Beringela: SEGAL B., FREIRE A.S., LINDNER A., KRAJEWSKI J.P., SOLDATELI M, 2017. v. 1

GASTINEAU, R. *et al.* Haslea ostrearia-like diatoms: Biodiversity out of the blue. Em: **Advances in botanical research.** [s.l.] Elsevier, 2014. v. 71p. 441–465.

GÓMEZ-CARVAJAL, E.; SÁNCHEZ-SUÁREZ, I. G.; DÍAZ-RAMOS, J. R. Fitoplancton de playa San Luis (Cumaná): composición y origen. v. 10, 2002.

GONÇALVES, G. **Análise da comunidade planctônica na região da REBIO do Arvoredo (~27.3°s, ~48.4°o), com ênfase em Chaetognatha em relação a estrutura oceanográfica da zona eufótica.** Monografia (Bacharel em Oceanografia)—Florianópolis: Universidade federal de Santa Catarina, 2018.

GRASSHOFF, F.; EHRHARDT, M; KREMLING, K. **Methods of Seawater Analysis.** 1983.

GUENTHER, M. *et al.* Plankton trophic structure and particulate organic carbon production during a coastal downwelling-upwelling cycle. **Marine Ecology Progress Series**, v. 363, p. 109–119, 15 jul. 2008.

HARGRAVES, P. E. The ebridian flagellates *Ebria* and *Hermesinum*. 2002.

HARMS, J.; ANGER, K. Effects of nutrition (herbivore vs. carnivore) on the energy budget of a brachyuran megalopa. **Thermochimica acta**, v. 172, p. 229–240, 1990.

HARZSCH, S.; MÜLLER, C. H. A new look at the ventral nerve centre of *Sagitta*: implications for the phylogenetic position of Chaetognatha (arrow worms) and the evolution of the bilaterian nervous system. **Frontiers in Zoology**, v. 4, n. 1, p. 14, 2007.

HERVÉ, M.; HERVÉ, M. M. Package 'RVAideMemoire'. See <https://CRAN.R-project.org/package=RVAideMemoire>, p. 0–9, 2020.

JONES, D. A. *et al.* The digestive physiology of herbivorous, omnivorous and carnivorous crustacean larvae: a review. **Aquaculture**, v. 155, n. 1–4, p. 285–295, set. 1997.

KASSAMBARA, A. ggpubr: 'ggplot2' based publication ready plots. R package version 0.4.0. 2020.

KIØRBOE, T. Turbulence, Phytoplankton Cell Size, and the Structure of Pelagic Food Webs. Em: **Advances in Marine Biology**. [s.l.] Elsevier, 1993. v. 29p. 1–72.

KIØRBOE, T. Population regulation and role of mesozooplankton in shaping marine pelagic food webs. **Hydrobiologia**, v. 363, p. 13–27, 1997.

KORHOLA, A.; RAUTIO, M. Cladocera and Other Branchiopod Crustaceans. Em: SMOL, J. P.; BIRKS, H. J. B.; LAST, W. M. (Eds.). **Tracking Environmental Change Using Lake Sediments**. Developments in Paleoenvironmental Research. Dordrecht: Springer Netherlands, 2001. v. 4p. 5–41.

LANGHE, P. K. O fitoplâncton da baía do Almirantado (Antártica): variações temporais e espaciais entre os anos de 2002 e 2008. **Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande**, 2011.

LEGENDRE, L.; RASSOULZADEGAN, F. Plankton and nutrient dynamics in marine waters. **Ophelia**, v. 41, n. 1, p. 153–172, fev. 1995.

LELES, S. G. **TROFODINÂMICA DO PLÂNCTON EM UM ESTUÁRIO EUTROFIZADO (BAÍA DE GUANABARA, RJ)**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2015.

LEVIN, S. Fragile dominion: complexity and the commons. Perseus. **Reading, MA**, 1999.

MAARE. **Projeto de monitoramento Ambiental da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Entorno. Relatório Técnico Final- Volume 2: Parâmetros Oceanográficos: Análise de parâmetros ambientais da coluna d'água, plâncton e sedimentos**. Florianópolis/SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017c.

MAARE. **Projeto de monitoramento Ambiental da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Entorno. Protocolos Técnicos- Volume 1: Parâmetros Oceanográficos**. Florianópolis/SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017a.

MAARE. **Projeto de monitoramento Ambiental da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Entorno. Relatório Técnico Final- Volume 1: Parâmetros Oceanográficos: Análise de séries temporais de equipamentos fixos (perfilador de correntes, marégrafo estação meteorológica)**. Florianópolis/SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017b.

MACKAS, D. *et al.* Zooplankton distribution and dynamics in a North Pacific Eddy of coastal origin: II. Mechanisms of eddy colonization by and retention of offshore species.

Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, v. 52, n. 7–8, p. 1011–1035, 2005.

MANN, K.; LAZIER, J. Dynamics of marine ecosystems. Biological-Physical interactions in the oceans. Malden, Ma. **Oxford, UK: Wiley-Blackwell**, v. 10, p. 9781118687901, 2006.

MCEWEN, G.; JOHNSON, M.; FOLSOM, T. R. A statistical analysis of the performance of the Folsom plankton sample splitter, based upon test observations. **Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie A**, v. 7, p. 502–527, 1954.

MENEZES, B. S. **Variação temporal de Copepoda (Crustacea) em torno da REBIO Arvoredo (27°11'-27°16'S e 48°19'-48°24'W): grupos funcionais, interação com o microplâncton e com a dinâmica das massas de água**. Tese de doutorado—Florianópolis: Universidade federal de Santa Catarina, 2019.

MENEZES, B. S.; DE MACEDO-SOARES, L. C. P.; FREIRE, A. S. Changes in the plankton community according to oceanographic variability in a shallow subtropical shelf: SW Atlantic. **Hydrobiologia**, v. 835, n. 1, p. 165–178, jun. 2019.

METSUL. **COMO FORAM OS INVERNOS EM ANOS DE EL NIÑO NESTE SÉCULO**. Disponível em: <<https://metsul.com/como-foram-os-invernos-em-anos-de-el-nino-neste-seculo/>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

MILOSLAVICH, P. *et al.* Essential ocean variables for global sustained observations of biodiversity and ecosystem changes. **Global Change Biology**, v. 24, n. 6, p. 2416–2433, 2018.

MIRANDA, L. B. D. Forma da correlação T-S de massas de água das regiões costeira e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 33, n. 2, p. 105–119, 1985.

MITRA, A. A multi-nutrient model for the description of stoichiometric modulation of predation in micro- and mesozooplankton. **Journal of Plankton Research**, v. 28, n. 6, p. 597–611, 1 jun. 2006.

MÖLLER JR, O. O. *et al.* The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. **Continental shelf research**, v. 28, n. 13, p. 1607–1624, 2008.

MÖLLER, O. O. *et al.* The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 13, p. 1607–1624, jul. 2008.

MULLER-KARGER, F. E. *et al.* Advancing marine biological observations and data requirements of the complementary essential ocean variables (EOVs) and essential biodiversity variables (EBVs) frameworks. **Frontiers in Marine Science**, p. 211, 2018.

NANDY, T.; MANDAL, S. Unravelling the spatio-temporal variation of zooplankton community from the river Matla in the Sundarbans Estuarine System, India. **Oceanologia**, v. 62, n. 3, p. 326–346, jul. 2020.

NASA. **The Oceanic Niño Index**. Disponível em: <<https://svs.gsfc.nasa.gov/30976>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

NGHIEM XUAN, R. *et al.* Design of an artificial culture medium to optimize *Haslea ostrearia* biomass and marennine production. **Algal Research**, v. 45, p. 101653, jan. 2020.

NOAA. **Strong El Niño sets the stage for 2015-2016 winter weather**. , 2015. Disponível em: <<https://www.noaa.gov/media-release/strong-el-ni-o-sets-stage-for-2015-2016-winter-weather>>

NOAA. **Cold & Warm Episodes by Season**. . Acesso em: 3 ago. 2023.

NOGUEIRA, E.; FIGUEIRAS, F. The microplankton succession in the Ría de Vigo revisited: species assemblages and the role of weather-induced, hydrodynamic variability. **Journal of Marine Systems**, v. 54, n. 1–4, p. 139–155, 2005.

OBATA, C. S. S. **Análise da distribuição espaço-temporal das massas d'água, material em suspensão e clorofila-a na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e entorno – SC, Brasil**. Monografia—Florianópolis: Universidade federal de Santa Catarina, 2016.

OKSANEN, J. *et al.* Package ‘vegan’. **Community ecology package, version**, v. 2, n. 9, 2019.

OLENINA, I. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea. 2006.

PEARRE, S.; PEARRE, J. Feeding by Chaetognatha: aspects of inter-and intra-specific predation. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 7, n. 1, p. 33–45, 1982.

PIOLA, A. R. *et al.* Subtropical Shelf Front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 105, n. C3, p. 6565–6578, 15 mar. 2000.

PIOLA, A. R. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 1, p. L01603, 2005.

PIOLA, A. R. *et al.* Variability of the subtropical shelf front off eastern South America: Winter 2003 and summer 2004. **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 13, p. 1639–1648, jul. 2008.

POLIMENE, L. *et al.* Should we reconsider how to assess eutrophication? **Journal of Plankton Research**, v. 45, n. 3, p. 413–420, 3 jun. 2023.

POMEROY, L. *et al.* The Microbial Loop. **Oceanography**, v. 20, n. 2, p. 28–33, 1 jun. 2007.

PORTER, K. G. *et al.* Protozoa in Planktonic Food Webs 1, 2. **The Journal of protozoology**, v. 32, n. 3, p. 409–415, 1985.

PRICE, N.; COCHLAN, W.; HARRISON, P. Time course of uptake of inorganic and organic nitrogen by phytoplankton in the Strait of Georgia: comparison of frontal and stratified communities. **Marine Ecology Progress Series**, v. 27, p. 39–53, 1985.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. ViennaR Foundation for Statistical Computing, 2022.

RODRIGUES, R. R.; LORENZZETTI, J. A. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling. **Continental Shelf Research**, v. 21, n. 4, p. 371–394, mar. 2001.

RYTHER, J. H. Photosynthesis and Fish Production in the Sea: The production of organic matter and its conversion to higher forms of life vary throughout the world ocean. **Science**, v. 166, n. 3901, p. 72–76, 1969.

SERRANITO, B. *et al.* Decadal shifts of coastal microphytoplankton communities in a semi-enclosed bay of NW Mediterranean Sea subjected to multiple stresses. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 224, p. 171–186, 2019.

SEUTHE, L.; ROKKAN IVERSEN, K.; NARCY, F. Microbial processes in a high-latitude fjord (Kongsfjorden, Svalbard): II. Ciliates and dinoflagellates. **Polar Biology**, v. 34, n. 5, p. 751–766, maio 2011.

SHERR, E.; SHERR, B. Role of microbes in pelagic food webs: A revised concept. **Limnology and Oceanography**, v. 33, n. 5, p. 1225–1227, set. 1988.

SILVEIRA, G. R. **Variação sazonal da estrutura trófica do plâncton em águas rasas subtropicais (REBIO Arvoredo)**. Trabalho de Conclusão de Curso—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.

THOMAS, M. K. *et al.* A Global Pattern of Thermal Adaptation in Marine Phytoplankton. **Science**, v. 338, n. 6110, p. 1085–1088, 23 nov. 2012.

TOMMASI, D. A. G. *et al.* The seasonal development of the zooplankton community in a British Columbia (Canada) fjord during two years with different spring bloom timing. **Marine Biology Research**, v. 9, n. 2, p. 129–144, fev. 2013.

TRANKER, V. **O FITOPLÂNCTON NO ENTORNO DA RESERVA BIOLÓGICA MARINHA DO ARVOREDO, SANTA CATARINA**. Dissertação de mestrado—Florianópolis: Instituto Federal de Santa Catarina, 2021.

TROMBETTA, T. *et al.* Marine Microbial Food Web Networks During Phytoplankton Bloom and Non-bloom Periods: Warming Favors Smaller Organism Interactions and Intensifies Trophic Cascade. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p. 502336, 23 out. 2020.

UNESCO, S. Determination of photosynthetic pigments in Seawater. **Rep. SCOR/UNESCO Working Group 17. Monographs on Oceanographic Methodology**, p. 1–69, 1966.

UTERMÖHL, H. Perfeccionamiento del metodo cuantitativo del fitoplancton. **Commun. Assoc. Int. Limnol. Theor. Appl**, v. 9, n. 1, p. 1–89, 1958.

VAUGEOIS, M.; DIAZ, F.; CARLOTTI, F. A Mechanistic Individual-Based Model of the Feeding Processes for *Oikopleura dioica*. **PLoS ONE**, v. 8, n. 11, p. e78255, 5 nov. 2013.

VEGA-PÉREZ, L. A. *et al.* Feeding of the planktonic shrimp *Lucifer faroni* Borradaile, 1915 (Crustacea: Decapoda) in the laboratory. **Revista brasileira de oceanografia**, v. 44, p. 01–08, 1996.

VOLLENWEIDER, R. A. *et al.* Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. **Environmetrics**, v. 9, n. 3, p. 329–357, maio 1998.

WALLNER-KERSANACH, M.; MACHADO, E. C. Amostragem e análise de carbono orgânico particulado (COP) e nitrogênio orgânico particulado (NOP). Em: **Manual de Análises em Oceanografia**. Rio Grande, Editora da FURG: Baumgarten MGZ, Wallner-Kersanach M, Niencheski LFH, 2010. p. 156-166.

WORM, B. *et al.* Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. **Science**, v. 314, n. 5800, p. 787–790, 3 nov. 2006.