



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

RAFAEL HENRIQUE DE MOURA FALCÃO

**EFEITOS DA VARIABILIDADE AMBIENTAL NA ESTRUTURA, DIVERSIDADE E
BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA NA CONFLUÊNCIA BRASIL- MALVINAS (CBM)**

Recife

2022

RAFAEL HENRIQUE DE MOURA FALCÃO

EFEITOS DA VARIABILIDADE AMBIENTAL NA ESTRUTURA, DIVERSIDADE E BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA NA CONFLUÊNCIA BRASIL- MALVINAS (CBM)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Biológica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Augusto de Mendes Castro Melo.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha.

Recife

2022

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

F178e Falcão, Rafael Henrique de Moura.
Efeitos da variabilidade ambiental na estrutura, diversidade e
biomassa fitoplanctônica na confluência Brasil-Malvinas (CBM) / Rafael
Henrique de Moura Falcão. 2022.
94 f: il.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Augusto de Mendes Castro Melo.
Coorientadora: Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Recife, 2022.
Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. *Bacillariophyta*. 3. *Miozoa*. 4. Vórtices. 5. Oceano
Atlântico Sul. 6. Biomassa em carbono. I. Melo, Pedro Augusto de Mendes
Castro (Orientador). II. Cunha, Maria da Glória Gonçalves da Silva
(Coorientadora). III. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG / 2023 - 59

RAFAEL HENRIQUE DE MOURA FALCÃO

EFEITOS DA VARIABILIDADE AMBIENTAL NA ESTRUTURA, DIVERSIDADE E BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA NA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS (CBM)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia. Área de concentração: Oceanografia Biológica.

Aprovada em: 24 / 02 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Augusto Mendes de Castro Melo
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Márcio da Silva Souza
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dra. Gislayne Cristina Palmeira Borges
Universidade Federal de Pernambuco

Suplentes:

Profa. Dra. Eveline Pinheiro de Aquino – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro- Brasileira/UNILAB

Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa-
Departamento de Oceanografia/UFPE

Dedico a Deus, aos meus orientadores, à minha família, aos amigos que me auxiliaram nessa caminhada e aos futuros leitores.

AGRADECIMENTOS

Durante a realização do meu mestrado, muitas pessoas contribuíram para a minha formação pessoal e profissional. Nessa página deixo registrado em poucas palavras a minha gratidão. Primeiramente, a Universidade Federal de Pernambuco, em especial, ao Departamento de Oceanografia, sob a chefia do Prof. Dr. Jessor Fidelis, e ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia, na pessoa dos coordenadores Prof. Dr. Pedro Melo e Prof. Dr. José Souto, pelo suporte institucional, estrutural e técnico, que permitiram o desenvolvimento do estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Mestrado.

Ao Projeto Mephysto (Proantar: CNPq#442695/2018-7) pela coleta e disponibilidade do material analisado.

Aos membros da banca examinadora Prof. Márcio da Silva Souza que esteve presente durante os seminários internos, a Dra. Gislayne Borges por sempre sanar as minhas dúvidas, a Profa. Dra. Eveline Pinheiro e ao Prof. Dr. Fernando Feitosa que se disponibilizaram em me acompanhar nessa etapa final. Gratidão a todos! As suas contribuições são fundamentais para a publicação dos manuscritos.

Aos meus orientadores que me guiaram ao longo dessa jornada, sou fã deles, e os admiro pela pessoa e pesquisadores que são.

Ao meu querido orientador, Prof. Dr. Pedro Augusto Mendes de Castro Melo (Ori), pelos momentos de aprendizado e amizade, por todo apoio e paciência, principalmente nos momentos mais inconvenientes que pedi sua ajuda. Assim como pela confiança depositada para trabalhar com amostras tão importantes, ricas e encantadoras como as da CBM. Foi uma oportunidade incrível, Obrigadão!

À minha querida coorientadora, Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha que também sempre esteve presente nos momentos mais difíceis. E apoiou as minhas “criações”. Aprendi muito com a senhora. Muito obrigado pela sua confiança, pelo seu carinho e por sempre me incentivar ao longo dessa jornada. Gratidão!

Aos professores do Departamento de Oceanografia, que foram fundamentais na construção do conhecimento durante as disciplinas ministradas.

A todos que constituem a minha “Amazônia azul”, o Laboratório de Fitoplâncton, aos professores Prof. Dr. Pedro Augusto de Castro Melo, Profa. Dra. Maria da Glória, Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa e Prof. Dr. Marius

Muller; aos amigos de laboratório, Leonardo Cabanez, Marcella Guennes, Nayana Buarque, Laisa Madureira, Vinicius Padilha, Angélica Viana, Gabriel Bittencourt, Rafael Pestana, Rafael Luiz, Pedro Amorim e Erick Cunha. Todos os momentos de troca e convivência foram de grande importância para a construção do conhecimento e desenvolvimento pessoal. Em especial, a Marcella, que foi a minha fada-madrinha, que me conduziu aos orientadores.

Aos funcionários do DOCEAN que sempre me receberam tão bem, em especial, ao Nerlucyton pela atenção e resposta aos meus e-mails, Zinaldo Ferreira pelos momentos de alegre convivência e à Dona Edileuza (Dona Edi), sempre em alto astral, nos recebendo com muito carinho.

Ao doutorando Jamerson Freitas por sanar as minhas dúvidas e pelos momentos de convivência e descontração.

Aos meus colegas de disciplinas que sofremos juntos durante o período da pandemia e finalmente conseguimos. Obrigado galerinha! Foi uma honra ter feito parte da vida de vocês.

Aos meus irmãos científicos, Celina Valença, Cihelio Amoim e Vitor Ricardo, obrigado por tudo!

A minha mãe Gerda Falcão, a minha irmã Roberta Moura, e ao meu querido Théo Henrique, que estiveram comigo nos bastidores da vida. Sofremos e celebramos os melhores momentos juntos! Eu sou o resultado do excelente trabalho de vocês.

A Deus, por sempre fazer o impossível em minha vida e por proporcionar a realização do mestrado.

RESUMO

A Confluência Brasil-Malvinas (CBM) é formada pelo encontro entre duas correntes de características distintas, promovendo a formação de um ambiente diverso e com intensa atividade de vórtices de mesoescala. No presente estudo, foi testada a hipótese de que o bombeamento vórtical promove o aumento da biomassa fitoplanctônica na CBM, alterando a diversidade de espécies do fitoplâncton. As coletas foram realizadas em novembro de 2019, por arrastos verticais com rede de plâncton (20 µm) entre a superfície e a Profundidade de Máxima Clorofila (PMC) para análise qualitativa, e com o auxílio de garrafa de *Niskin* para análise quantitativa do fitoplâncton e nutrientes (Fosfato e Nitrito). Os valores de temperatura, salinidade e Oxigênio Dissolvido (OD) foram determinados *in situ*. As amostras qualitativas e quantitativas foram agrupadas em Corrente do Brasil (CB), Corrente das Malvinas (CM), Vórtice de Núcleo Quente (VQ) e Vórtice de Núcleo Frio (VF). A CB foi caracterizada por águas quentes, salinas e com menores concentrações de OD e fosfato, em condições opostas a CM. O VF (VQ) foi similar a CM (CB) de acordo com a composição de espécies e características ambientais. O filo Bacillariophyta foi o mais representativo em riqueza, a maior abundância das formas de vida Marinha Planctônica Nerítica e ou Oceanica, e organismos autotróficos. A ocorrência das espécies dulcícolas *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *Merismopedia tenuissima* e *Oocystis* sp. representam a influência do rio da Prata na área estudada. O filo Miozoa foi registrado como organismos Heterotróficos e Mixotróficos indicando a fagotrófia na região. Em contrapartida, as amostras quantitativas mostraram o aumento na diversidade de espécies nos vórtices. A densidade celular total foi reduzida no VQ (928×10^5 cel/L) e elevada no VF (93.213×10^5 cel/L). A densidade de diatomáceas foi predominante na CM, e os dinoflagelados na CB, VQ e VF. Além disso, houve a identificação de espécies indicadoras da PMC, CB, CM, VQ e regiões frias (CM e VF). Quanto a biomassa em carbono das espécies analisadas, as condições do vórtice frio promoveram as maiores biomassas em contraste com o VQ. A partir desses resultados, concluímos que o rio da Prata contribui para o aporte de espécies dulcícolas na região e que a diversidade fitoplanctônica é elevada pelas condições dos vórtices, onde o VQ reduz a densidade celular e biomassa em carbono dos organismos e o VF proporciona diferente resposta.

Palavras-chave: *Bacillariophyta*; *Miozoa*; vórtices; Oceano Atlântico Sul; biomassa em carbono.

ABSTRACT

The Brazil-Malvinas Confluence (BMC) is formed by the encounter between two currents with different characteristics, promoting the formation of a diverse environment with intense activity of mesoscale vortices. In the present study, we tested the hypothesis that vortical pumping promotes an increase in phytoplankton biomass in CBM, altering the diversity of phytoplankton species. The sampling were carried out in November 2019, by vertical drags with a plankton net (20 μm) between the surface and the Maximum Chlorophyll Depth (DCM) for qualitative analysis, and with the aid of a *Niskin* bottle for quantitative analysis of phytoplankton and nutrients (Phosphate and Nitrite). Temperature, salinity and Dissolved Oxygen (DO) values were determined in situ. The qualitative and quantitative samples were grouped into Brazil Current (BC), Mavinas Current (MC), Warm Core Eddy (WCE) and Cold Core Eddy (CCE). The CB was characterized by warm, saline waters with lower concentrations of DO and phosphate, in conditions opposite to CM. CCE (WCE) was similar to MC (BC) according to species composition and environmental characteristics. The Bacillariophyta phylum was the most representative in richness, the greatest abundance of Neritic and or Oceanic Planktonic Marine life forms, and autotrophic organisms. The occurrence of the freshwater species *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *Merismopedia tenuissima* and *Oocystis* sp. represent the influence of the La Plata river in the studied area. The phylum Miozoa was recorded as Heterotrophic and Mixotrophic organisms indicating phagotrophy in the region. In contrast, the quantitative samples showed an increase in species diversity in the vortices. Total cell density was reduced in WCE (928×10^5 cel/L) and increased in CCE ($93,213 \times 10^5$ cel/L). The density of diatoms was predominant in MC, and dinoflagellates in BC, WCE and CCE. In addition, there was the identification of indicator species of DCM, BC, MC, WCE and cold regions (MC and CCE). As for the carbon biomass of the analyzed species, the cold vortex conditions promoted the highest biomass in contrast to the WCE. From these results, we conclude that the La Plata river contributes to the contribution of freshwater species in the region and that the phytoplankton diversity is increased by the conditions of the vortices, where the WCE reduces the cellular density and carbon biomass of the organisms and the CCE provides different answer.

Keywords: *Bacillariophyta*; *Miozoa*; eddys; South Atlantic Ocean; biomass in carbon.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1 - FITOPLÂNCTON DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS: COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES, FORMAS DE VIDA E MODO TRÓFICO

- Figura 1 – Ilustrações dos seis pontos amostrais na Confluência Brasil-Malvinas: CB1, CB2, CM1 e CM2, e no vórtice de Núcleo Frio: VF1 e VF2..... 29
- Figura 2 – Cluster da análise de Bray-Curtis..... 35
- Figura 3 – Espécies identificadas na área de estudo (parte 1): a) *Eucampia antarctica* (Castracane) Mangin, (b) *Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg, (c) *Protoperidinium mite* (Pavillard) Balech, (d) *Tripos muelleri* Bory, (e) *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg, (f) *Planktoniella sol* (G.C.Wallich) Schütt, (g) *Tripos lineatus* (Ehrenberg) F.Gómez, (h) *Phalacroma rotundatum* (Claparède & Lachmann) Kofoid & J.R.Michener, (i) *Dinophysis acuminata* Claparède & Lachmann..... 36
- Figura 4 – Espécies identificadas na área de estudo (parte 2): (a) *Hemiaulus membranaceus* Cleve, (b) *Diplopsalis lenticula* Bergh, (c) *Trichodesmium thiebautii* Gomont ex Gomont, (d) *Membraneis cf. challengerii* (Grunow) Paddock, (e) *Corethron inerme* Karsten, (f) *Gymnodinium* sp., (g) *Tripos fusus* (Ehrenberg) F.Gómez..... 38
- Figura 5 – Espécies identificadas na área de estudo (parte 3): (a) *Protoperidinium steinii* (Jørgensen) Balech, (b) *Ptychodiscus noctiluca* Stein, (c) *Asterolampra marylandica* Ehrenberg, (d) *Fragilariopsis doliolus* (Wallich) Medlin & P.A.Sims, (e) *Oocystis* sp., (f) *AMerismopedia tenuissima* Lemmermann, (g) *Thalassiosira gravida* Cleve, (h) A- *Pseudo-nitzschia* cf. *delicatissima* (Cleve) Heiden, B- *Pseudo-nitzschia pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle, (i) *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (O.Müller) Simonsen..... 39
- Figura 6 – Espécies identificadas na área de estudo (parte 4): (a) A- *Cocconeis* cf. *diaphana* W.Smith, (b) *Phalacroma doryphorum*

	Stein, (c) <i>Phaeocystis</i> cf. <i>globosa</i> Scherffel, (d) <i>Rhizosolenia imbricata</i> var. <i>minuta</i> Brightwell, (e) <i>Fragilariopsis kerguelensis</i> (O'Meara) Hustedt, (f) <i>Porosira glacialis</i> (Grunow) Jørgensen, (g) <i>Dinophysis tripos</i> Gourret.....	39
Figura 7 –	Coexistência entre (C) <i>Phaeocystis</i> cf. <i>globosa</i> e diatomáceas. (A) <i>Chaetoceros</i> cf. <i>socialis</i> H.S.Lauder, (B) <i>Chaetoceros dicaeta</i> Ehrenberg.....	40
ARTIGO 2 - EFEITOS DA VARIABILIDADE AMBIENTAL NA ESTRUTURA, DIVERSIDADE E BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA NA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS (CBM)		
Figura 1 –	Distribuição dos pontos amostrais em cada região.....	50
Figura 2 –	Espécies Muito frequentes e Frequentes nas áreas estudadas. A- <i>Azadinium</i> sp., B- <i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) J.Schiller, C- <i>Oxytoxum graciles</i> Schiller, D- <i>Oxytoxum laticeps</i> J.Schiller, E- <i>Prorocentrum dentatum</i> F.Stein, F- <i>Karlodinium</i> sp., G e H- <i>Minidiscus</i> sp.....	58
Figura 3 –	Cluster de similaridade de Bray-Curtis.....	59
Figura 4 –	Densidade celular ($\times 10^5$ cel/L) por cada filo na superfície e PMC da Corrente do Brasil, Corrente das Malvinas, Vórtice Quente e Frio.....	60
Figura 5 –	Densidade dos filios por amostras, representada em percentual (%).....	61
Figura 6 –	Abundância relativa dos filios (%).....	63
Figura 7 –	Biomassa em Carbono (pgC.L^{-1}) das espécies Dominantes, Abundantes, Muito Frequentes e Frequentes na Confluência Brasil-Malvinas (CBM), Vórtice Frio (VF) e Vórtice Quente (VQ).....	64
Figura 8 –	Análise de Correspondência Canônica entre as espécies mais abundantes: <i>P. dentatum</i> (Pdent), <i>Karlodinium</i> sp. (Karl), <i>P. minimum</i> (Pmi), <i>Azadinium</i> sp (Aza)., <i>Pseudo-nitzschia</i> cf. <i>punges</i> (Psn), <i>C. pennatum</i> (Cpen), <i>Minidiscus</i> sp. (Minid), <i>T.</i>	

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1: FITOPLÂNCTON DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS: COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES, FORMAS DE VIDA E MODO TRÓFICO

Tabela 1 – Valores dos parâmetros ambientais e Índices ecológicos analisados em cada estação.....	31
Tabela 2 – Espécies fitoplanctônicas identificadas em cada estação – Corrente do Brasil (CB1 e CB2), Corrente das Malvinas (CM1 e CM2) e Vórtice de Núcleo Frio (VF1 e VF2) – e classificadas de acordo com a Frequência de Ocorrência em: MF- Muito frequente, F- Frequente, PF- Pouco Frequente, E- Esporádica; Forma de Vida: MPO- Marinha Planctônica Oceânica, MPN- Marinha Planctônica Nerítica, MPNO- Marinha Planctônica Nerítica e Oceânica, DP- Dulcícola Planctônica, MTN- Marinha Ticoplanctônica Nerítica e MPE- Marinha Perifítica; e de acordo com o Modo Trófico: A- Autotrófico, H- Heterotrófico e M- Mixotrófico. Asteriscos indicam espécies exclusivas de regiões frias (CM e VF).....	32
Tabela 3 – Espécies exclusivas e abundância relativa de cada região.....	37

ARTIGO 2: EFEITOS DA VARIABILIDADE AMBIENTAL NA ESTRUTURA, DIVERSIDADE E BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA NA CONFLUÊNCIA BRASIL- MALVINAS (CBM)

Tabela 1 – Parâmetros ambientais avaliados em cada estação analisada.....	53
Tabela 2 – Lista de espécies fitoplanctônicas identificadas com base na frequência de ocorrência (F.O) e abundância relativa.....	55
Tabela 3 – Lista de espécies indicadoras da PMC, Corrente do Brasil, Corrente das Malvinas e Regiões Frias (Corrente das Malvinas e Vórtice Frio) com percentual (%) e valor de significância da ind.Val (p).....	59
Tabela 4 – Densidade total ($\times 10^5$ cel/L) dos organismos presentes na CBM (CB e CM) e nos Vórtices quente (VQ) e Vórtice frio (VF) e frequência de ocorrência (F.O.). Os valores destacados em	

vermelho e negrito representam redução e aumento de densidade, respectivamente, em comparação a CBM.....

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Autotrófico
Az	<i>Azadinium</i> sp.
CB	Corrente do Brasil
CBM	Confluência Brasil-Malvinas
CCA	Análise de Correspondência Canônica
CM	Corrente das Malvinas
Cmar	<i>Coscinodiscus marginatus</i>
Cpen	<i>Corethron pennatum</i>
DP	Dulcícola Planctônica
E	Esporádico
F	Frequente
H	Heterotrófico
Karl	<i>Karlodinium</i> sp.
M	Mixotrófico
MF	Muito Frequente
Minid	<i>Minidiscus</i> sp.
MPE	Marinha Perifítica
MPN	Marinha Planctônica Nerítica
MPNO	Marinha Planctônica Nerítica e Oceânica
MPO	Marinha Planctônica Oceânica
MTN	Marinha Ticoplanctônica Nerítica
Ospec	<i>Octonaria speculum</i>
Pdent	<i>Prorocentrum dentatum</i>
PF	Pouco Frequente
Pmi	<i>Prorocentrum minimum</i>
Psn	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.
Rsem	<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>semispina</i> .
Tnitz	<i>Thalassionema nitzschioide</i>
Psol	<i>Planktoniella sol</i>
VF	Vórtice de Núcleo Frio
VQ	Vórtice de Núcleo Quente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	OBJETIVOS	22
2.1	OBJETIVO GERAL	22
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	23
4	ARTIGO 1: FITOPLÂNCTON DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS: COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES, FORMAS DE VIDA E MODO TRÓFICO.	24
4.1	ABSTRACT	25
4.2	RESUMO	25
4.3	INTRODUÇÃO	26
4.4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.4.1	Área de estudo	27
4.4.2	Coleta da comunidade fitoplanctônica	28
4.4.3	Classificação dos organismos e análise dos dados	28
4.5	RESULTADOS	30
4.5.1	Corrente do Brasil	35
4.5.2	Corrente das Malvinas	38
4.5.3	Vórtice de Núcleo Frio	40
4.6	DISCUSSÃO	41
4.7	CONCLUSÃO	44
5	ARTIGO 2: EFEITOS DA VARIABILIDADE AMBIENTAL NA ESTRUTURA, DIVERSIDADE E BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA NA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS (CBM).	45
5.1	ABSTRACT	46
5.2	RESUMO	46
5.3	INTRODUÇÃO	47
5.4	MATERIAIS E MÉTODOS	48
5.4.1	Descrição de área	48
5.4.2	Estratégia amostral	59
5.4.3	Variáveis ambientais	50

5.4.4	Comunidade fitoplanctônica	51
5.4.5	Análise de dados	52
5.5	RESULTADOS	52
5.5.1	Fatores abióticos	52
5.5.2	Comunidade fitoplanctônica	54
5.5.3	Densidade Celular, Abundância Relativa e Biomassa em Carbono	60
5.5.4	Efeito das variáveis ambientais sobre o fitoplâncton	64
5.6	DISCUSSÃO	65
5.7	CONCLUSÃO	70
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

Os organismos fitoplanctônicos são importantes produtores primários que alteram os ciclos biogeoquímicos dos oceanos por meio da atividade fotossintética (ZHANG, et al., 2020). Além de autotróficos, alguns componentes da comunidade fitoplanctônica exibem outros modos tróficos (Heterotrófico e Mixotrófico), que implicam na produtividade secundária (SOURNIA, 1978; REYNOLDS, 2006; PAUL & CHOUDHURY, 2014; STOECKER et al. 2016). A alternância desses modos é resultante das condições ambientais, como disponibilidade de nutrientes e presas (ZHOU et al., 2015; STOECKER et al., 2016).

Os organismos fitoplanctônicos exibem diferentes formas de vida que implicam no favorecimento de espécies em condições específicas, como alternativa para ambientes instáveis (MARGALEF, 1987; AQUINO et al., 2015). No ambiente marinho, o desenvolvimento fitoplanctônico é associado a pressão de predação por herbívoros e disponibilidade de nutrientes que alteram a diversidade de espécies. Adicionalmente, fatores físicos de meso-escala tem grande importância sobre o grupo, promovendo o enriquecimento de nutrientes e aumento da diversidade fitoplanctônica local, que em alguns casos são considerados “hotspots” (BARTON et al., 2010). No Atlântico Sul, a Confluência Brasil-Malvinas é uma região de alta diversidade fitoplanctônica (BARTON et al. 2010; CLAYTON et al., 2012).

A CBM é formada pelo encontro entre duas Correntes de características físico-químicas distintas, a Corrente do Brasil (CB) e a Corrente das Malvinas (CM) (FERNANDES & BRANDINI, 1999; SARACENO & PROVOST, 2012). Desse modo, o caráter tropical (CB) e de enriquecimento de nutrientes (CM) de cada corrente, sustenta o desenvolvimento das espécies subtropicais e subantárticas originalmente limitadas por esses aspectos, proporcionando condições necessárias para o seu desenvolvimento (GAYOSO & PODESTÁ, 1996; CRELIER & DAPONTE, 2004; GONÇALVES-ARAÚJO et al., 2012). A respectiva região é encontrada geralmente entre a faixa de latitude de 35°S - 40°S e recebe o aporte de águas continentais da Lagoa de Patos e do estuário do Rio da Prata (GORDON, 1989; ODEBRECHT & CASTELLO, 2001; GARCIA et al., 2004).

A CBM é reconhecida pela sua alta variabilidade ambiental em decorrência da atividade de feições de mesoescalas, como vórtices, meandros e filamentos que influenciam sobre a produtividade primária local (FERNANDES & BRANDINI, 1999; BARLOW et al., 2002; ANGEL-BENAVIDES et al., 2016). De acordo com a literatura, dois tipos de vórtices são principalmente encontrados nos oceanos, inclusive na CBM, sendo eles vórtices ciclônicos (núcleo frio) e anticiclônicos (núcleo quente) (ANGEL-BENAVIDES et al., 2016). Ambos promovem alterações sobre as propriedades químicas e biológicas local (DAI et al., 2020) e transportam diferentes organismos de origem específica para o mar aberto (HEYWOOD & PRIDDLE, 1987; SARMA et al., 2020).

De acordo com Angel-Benavides et al. (2016), os vórtices ciclônicos ressurgem águas profundas enriquecendo nutricionalmente a camada superficial, e aumentando a produtividade local. Nessas condições, os dinoflagelados tem o seu desenvolvimento favorecido (CORIA-MONTER et al., 2014). Em contrapartida, vórtices anticiclônicos são associados a reduções na produtividade primária (THOMPSON, PESANT & WAITE, 2007). Exceções foram verificadas por Chen et al. (2015) quando vórtices quentes elevaram as concentrações de clorofila *a* e abundância de cianobactérias, coccolitóforos e diatomáceas no Oceano Pacífico Ocidental. Geralmente, as cianobactérias são os organismos mais favorecidos por essas feições, em especial, o gênero *Trichodesmium* (JYOTHIBABU et al. 2017; CHINNADURAI et al., 2021).

Alguns estudos foram realizados nos vórtices ciclônicos e anticiclônicos da CBM considerando os efeitos na biomassa em clorofila *a* e produtividade da região (GARZOLLI & GARRAFFO, 1989; GARCIA et al., 2004; ANGEL-BENAVIDES et al., 2012; PEZZI et al., 2021). Em associação a isso, a biomassa em carbono é um método que permite avaliar a dinâmica fitoplanctônica e as relações tróficas no ambiente marinho (JAKOBSEN et al., 2015). Desse modo, lacunas sobre a composição taxonômica, diversidade, modo trófico e formas de vidas e biomassa em carbono das espécies ainda são existentes. Portanto, a respectiva dissertação propõe sanar as questões em aberto e testar a hipótese de que o bombeamento vórtical promove o aumento da biomassa fitoplanctônica na CBM, alterando a diversidade de espécies.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Verificar padrões de distribuição e diversidade da comunidade fitoplanctônica na região da confluência Brasil-Malvinas (CBM) e determinar os efeitos dos vórtices sobre essa comunidade.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever a estrutura da comunidade fitoplanctônica na região da CBM, em função da variação espacial e temporal.
- Identificar as formas de vida e modo tróficos dos organismos fitoplanctônicos.
- Comparar os descritores da comunidade fitoplanctônica entre as regiões da CBM, com e sem influência dos vórtices de mesoescala.
- Determinar quais fatores abióticos afetam a diversidade, abundância e biomassa em Carbono das principais espécies fitoplanctônicas na CBM.
- Verificar os efeitos das variáveis ambientais sobre o tamanho das células fitoplanctônicas das regiões amostradas a partir do biovolume celular das principais espécies.

3 ESTRURA DA DISSERTAÇÃO

Durante a realização do presente estudo, os objetivos e resultados obtidos proporcionaram o desenvolvimento de 2 artigos científicos. O primeiro foi submetido à Botanica Marina e o segundo será submetido à Hydrobiologia. Ao longo da dissertação os manuscritos seguem as normas da biblioteca central da UFPE.

ARTIGO 1 - “FITOPLÂNCTON DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS: COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES, FORMAS DE VIDA E MODO TRÓFICO.”

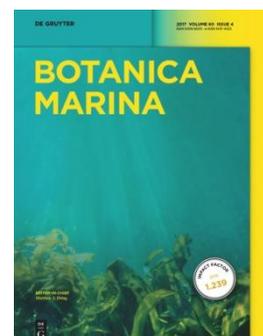
Este estudo avaliou a composição das espécies fitoplanctônicas na CBM e no Vórtice de Núcleo Quente (VQ), baseado nas formas de vida e modo trófico, contribuindo na compreensão da distribuição das espécies e importância ecológica da região, a partir de amostras qualitativas.

ARTIGO 2 - “EFEITOS DA VARIABILIDADE AMBIENTAL NA ESTRUTURA, DIVERSIDADE E BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA NA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS (CBM).”

Este estudo testou a hipótese de que o bombeamento vórtical promove o aumento da biomassa fitoplanctônica na CBM, alterando a diversidade de espécies, a partir de amostras quantitativas.

4- ARTIGO 1
FITOPLÂNCTON DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS: COMPOSIÇÃO
DE ESPÉCIES, FORMAS DE VIDA E MODO TRÓFICO.

Artigo submetido na Botanica



4- ARTIGO 1: FITOPLÂNCTON DA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS: COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES, FORMAS DE VIDA E MODO TRÓFICO.

4.1- ABSTRACT: The Brazil-Malvinas Confluence (BMC) is characterized by high environmental variability and represents a *hotspot* of phytoplankton biodiversity. The study identified the phytoplankton composition in the BMC and a Cold Core Eddy (CCE), considering the life forms and trophic modes of the species. Vertical hauls were performed between the maximum chlorophyll depth and the surface with a 20 µm mesh plankton net at six sampling points in the BMC (4) and CCE (2) during the austral spring (November 2019). Temperature and salinity were determined *in situ*. The Brazil Current (BC) and Malvinas Current (MC) in the BMC had different species composition, and the CCE had greater similarity with the latter. The Bacillariophyta phylum, autotrophic organisms, and marine planktonic oceanic and/or neritic life forms were predominant in the BMC and the CCE. In the phylum Miozoa, heterotrophic dinoflagellates were dominant in the BC and the CCE, while mixotrophic dinoflagellates dominated in the MC. A high diversity of species was confirmed in the region, mainly associated with marine planktonic oceanic and/or neritic species, and there was a predominance of autotrophic organisms. The predominance of mixotrophic and heterotrophic dinoflagellates was associated with specific regions. The CCE increased the species richness in the region.

Keywords: Brazilian current, Malvinas current, Dinoflagellates, La Plata river, Cold Core Eddy.

4.2- RESUMO: A Confluência Brasil-Malvinas (CBM) é caracterizada pela a alta variabilidade ambiental e um *hotspot* para a biodiversidade fitoplanctônica. O presente estudo objetivou identificar a composição do fitoplâncton na CBM e no Vórtice de Núcleo Frio (VF), considerando as formas de vida e modo trófico das espécies. Foram realizados arrastos verticais entre a profundidade de máxima clorofila e a superfície com rede de plâncton com abertura de malha de 20 µm em seis pontos amostrais na BMC (4) e no VF (2) durante a primavera austral (Novembro de 2019). Foi determinada a temperatura e a salinidade *in situ*. As regiões da CBM foram separadas em Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM) sendo essa similar ao VF. O filo Bacillariophyta, os organismos

autotróficos e as formas de vida Marinha Planctônica Oceânica e ou Nerítica foram predominantes na CBM e no VF. No filo Miozoa, os organismos heterotróficos foram dominantes na CB e VF, e os mixotróficos na CM. A alta diversidade de espécies foi confirmada na região principalmente associada às espécies Marinhas Planctônicas Oceânicas e ou Neríticas assim como houve o predomínio dos autotróficos. As condições ambientais do VF favoreceram a riqueza de espécies na região sendo presença dominante de dinoflagelados Mixotróficos e Heterotróficos associado a regiões específicas.

Palavras-Chave: Corrente do Brasil, Corrente das Malvinas, Dinoflagelados, Rio da Prata, Vórtice Frio.

4.3- INTRODUÇÃO

O fitoplâncton é a base da teia trófica marinha que contribui com cerca de 50% do oxigênio atmosférico, assim como na regulação do clima e funcionamento da bomba biológica de carbono (JEONG, 2007; ZAIIS et al., 2021). Apesar do termo “fitoplâncton” ser considerado sinônimo de organismos autotróficos, alguns constituintes (dinoflagelados) podem ser classificados de acordo com o modo trófico em heterotrófico e mixotrófico, que são importantes na produtividade primária e secundária (SOURNIA, 1978; REYNOLDS, 2006; PAUL & CHOUDHURY, 2014; STOECKER et al., 2016). Essa classificação implica no determinio da função desses organismos no ecossistema aquático assim como a sua posição na teia trófica (SCHNEIDER et al., 2020).

Além disso, os organismos fitoplanctônicos exibem diferentes formas de vida que facilitam a compreensão ecológica no ambiente marinho (AQUINO et al., 2015). Essa diversidade de espécies promove a estabilidade e funcionamento do ecossistema oceânico e ciclos biogeoquímicos (PTACNIK et al., 2008). Em geral, a elevada diversidade é associada aos fenômenos físicos (como advecção) que misturam organismos de diferentes habitats, resultando em “*hotspots*” de biodiversidade (BARTON et al., 2010).

No Atlântico Sul, a Confluência Brasil-Malvinas (CBM) é um exemplo de *hotspots* de biodiversidade fitoplanctônica (BARTON et al., 2010; CLAYTON et al., 2012). A região é formada pelo encontro entre a Corrente do Brasil (CB) e a Corrente das Malvinas (CM) que promove a mistura de espécies subtropicais e subantárticas (GAYOSO & PODESTÁ 1996; CRELIER & DAPONTE, 2004;

GONÇALVES-ARAÚJO et al., 2012). Além disso, é uma das regiões mais energéticas no Atlântico Sul (CHELTON et al., 1990), principalmente pela atividade de vórtices ciclônicos e anticiclônicos que são importantes na distribuição de organismos marinhos por longas distâncias, quando se desprendem da corrente originária; assim como no aumento da produtividade (vórtices ciclônicos) pela introdução de nutrientes na camada superficial (ANGEL-BENAVIDES et al., 2016; JAGADEESAN et al., 2019).

Diversos estudos sobre a comunidade fitoplanctônica foram realizados na CBM (GAYOSO & PODESTÁ, 1996; FERNANDES & BRANDINI 1999; OLGUÍN et al., 2006; GONÇALVES-ARAÚJO et al., 2012), no entanto, esses estudos não destacam o modo trófico específico das espécies ou formas de vida, que são fundamentais para a compreensão ecológica no ambiente. Da mesma forma, estudos sobre a composição e diversidade fitoplanctônica nos vórtices da CBM são escassos, com a maioria dos trabalhos tendo uma abordagem física sobre as concentrações de clorofila *a* (ANGEL-BENAVIDES et al., 2016; PEZZI et al., 2021). A partir desse panorama, o presente estudo identificou a composição das espécies fitoplanctônicas na CBM e no Vórtice de Núcleo Frio (VF), baseado nas formas de vida e modo trófico, contribuindo na compreensão da distribuição das espécies e importância ecológica na região.

4.4- MATERIAIS E MÉTODOS

4.4.1- Área de estudo

A Confluência Brasil-Malvinas (CBM) é formada a partir do encontro entre as águas quentes (acima de 26°C) provenientes da Corrente do Brasil (CB), que flui na direção Sudoeste, sobre o talude e plataforma, com as águas frias (menores que 7°C) da Corrente das Malvinas (CM), direcionadas ao Norte-Nordeste sobre a plataforma da Argentina (FERNANDES & BRANDINI, 1999; SARACENO & PROVOST, 2012). Essa mistura promove variações de salinidade na região, entre 33.6 a 36.0 (GORDON, 1989).

A região ocorre ao longo da plataforma da Argentina, geralmente entre a faixa de latitude de 35°S - 40°S (GORDON, 1989), eventualmente entre 46°S – 48°S (Fernandes & Brandini, 1999) e sofre influência dos ventos do NE, W-SW, respectivamente (ODEBRECHT & CASTELLO, 2001). Contudo, a sua localização (Norte – Sul) varia de acordo com a sazonalidade, onde ocorre o seu

deslocamento para o Sul no verão austral, em decorrência da aceleração no fluxo no giro subtropical e enfraquecimento do transporte da CM, sendo revertido ao norte durante o inverno austral, pelo enfraquecimento da CB (MATANO et al., 1993).

Uma das principais características da região é a formação de vórtices, meandros e filamentos (FERNANDES & BRANDINI, 1999). A intensa atividade dessas feições físicas de mesoescalas contribui na fertilidade de suas águas e permitem o aumento da produtividade primária local (BARLOW et al., 2002; ANGEL-BENAVIDES et al., 2016), assim como o aporte de nutrientes do estuário do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos (ODEBRECHT & CASTELLO, 2001; GARCIA et al., 2004), evidenciando uma das regiões mais produtivas do Atlântico Sul (BARLOW et al., 2002).

4.4.2- Coleta da comunidade fitoplanctônica

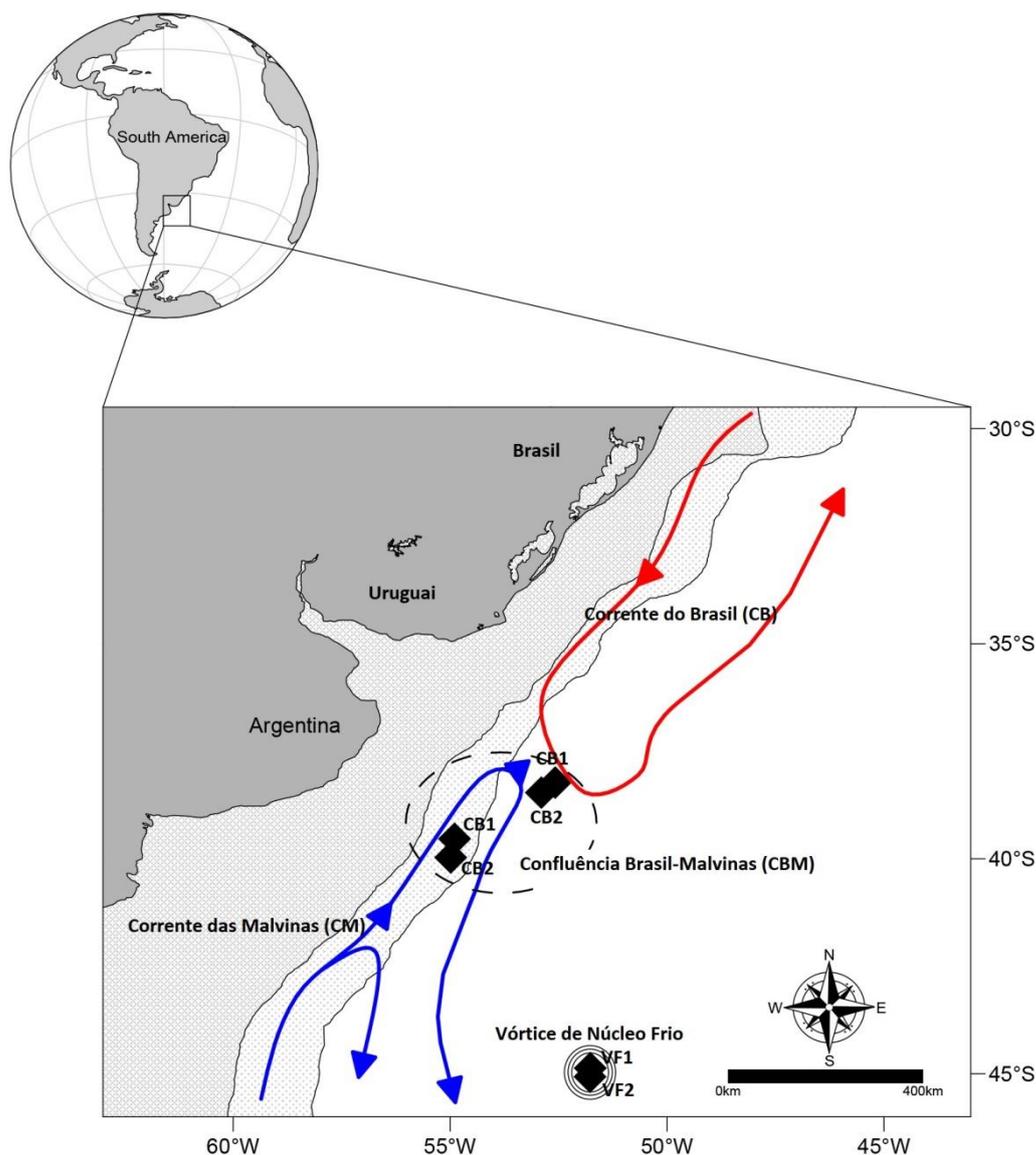
Uma rede de plâncton cônica (30 cm de diâmetro e 2 m de comprimento), com abertura de malha de 20 μ m, foi utilizada para realizar arrastos verticais integradores entre a Profundidade de Máxima Clorofila (PMC) e superfície, em seis pontos amostrais, 4 deles ao longo da CBM (CB1, CB2, CM1 e CM2) e 2 sob influência do Vórtice de Núcleo Frio (VF1 e VF2) (Figura 1 e Tabela 1), durante o período de primavera austral (Novembro de 2019). As amostras foram fixadas em solução de formaldeído neutralizado (4%) e utilizadas para as análises qualitativas. Em laboratório, as amostras foram analisadas em microscópio óptico (Zeiss: Primo Star) para a identificação dos organismos no máximo nível taxonômico por literatura especializada: Balech (1978), Bérard-Therriault et al. (1999), Chrétiennot-Dinet et al. (1990), Cupp (1943), Hoppenrath et al. (2009), Hustedt (1961-1966), Komárek and Anagnostidis (2005), Silva-Cunha & Eskinazi-Leça (1990), Tomas (1996) e Sournia (1967); e classificadas de acordo com Guiry & Guiry (2021). Quando necessário, foi aplicado o método de oxidação do material coletado (Carr et al. 1986) para visualização das ornamentações nas frústulas das diatomáceas.

4.4.3- Classificação dos organismos e análises dos dados

Os organismos identificados até o nível de espécie foram categorizados de acordo com as formas de vida em Marinha Ticoplanctônica Nerítica (MTN),

Marinha Planctônica Oceânica (MPO), Marinha Planctônica Nerítica (MPN), Marinha Perifítica (MPE), Dulcícola Planctônica (DP) e Marinha Planctônica Nerítica e Oceânica (MPNO), adicionalmente essas espécies foram categorizadas em modos tróficos em Autotrófico (A), Heterotrófico (H) e Mixotrófico (M) de acordo com Gury & Gury (2022), Jeong et al. (2010) e Naik et al.(2011).

Figura 1: Ilustrações dos seis pontos amostrais na Confluência Brasil-Malvinas: CB1, CB2, CM1 e CM2, e no vórtice de Núcleo Frio: VF1 e VF2.



Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

A riqueza de espécies foi determinada pelo número de taxa por amostra. A uniformidade (J') foi calculada com base em Pielou (1975), e a partir do Índice

de Diversidade Específica (H') (SHANNON, 1948), os pontos amostrais foram classificados como de Alta ($5|-2,5 \text{ bits.cel}^{-1}$), Baixa ($2,5|-1 \text{ bit.cel}^{-1}$) e Muito Baixa diversidade ($<1 \text{ bit.cel}^{-1}$) (MARGALEF, 1978). A abundância relativa dos organismos fitoplanctônicos foi estimada a partir de Lobo & Leighton (1986) e consequentemente classificados em: Dominante, Abundante e Rara. Por meio dos cálculos de frequência de ocorrência, os valores foram categorizados em: MF- muito frequente (acima de 70% de ocorrência), F- frequente (entre 70 e 40%), PF- pouco frequente (entre 40 e 20%) e E- esporádica (valores inferiores a 20%) (adaptado de MATEUCCI & COLMA, 1982). Por fim, uma análise de Cluster associada ao Índice de dissimilaridade de Bray-Curtis foi utilizada para agrupar a comunidade de acordo com os pontos amostrais no programa estatístico PRIMER 6 (Version 6.1.6). Previamente, os dados foram transformados em raiz quarta para a obtenção de uma distribuição normal sobre as espécies.

4.5- RESULTADOS

A comunidade fitoplanctônica foi representada por oitenta e três táxons, sendo o filo Bacillariophyta (52%) o mais representativo, seguido por: Miozoa (36%), Ochrophyta (5%), Cyanophyta (4%), Haptophyta (2%) e Chlorophyta (1%). Seis espécies (7%) foram consideradas muito frequentes (MF) sendo três diatomáceas penadas (*Fragilariopsis kerguelensis* (O'Meara) Hustedt, *Pseudonitzschia pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle. e *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky) (Figura 6-e, Figura 5-h.B), uma diatomácea cêntrica (*Leptocylindrus minimus* Gran), um dinoflagelado hetetrófico (*Diplopsalis lenticula* Bergh) (Figura 4-b), e um silicoflagelado (*Dictyocha fibula* Ehrenberg) (Tabela 2). O índice de diversidade na região, variou de $3,75 \text{ bits.cel}^{-1}$ (no ponto CB2) a $4,45 \text{ bits.cel}^{-1}$ (ponto CB1), sendo caracterizado como alta diversidade independente da massa d'água amostrada (Tabela 1).

Com base nas formas de vida identificadas, a maioria das espécies foi agregada como MPO (31% = 27spp.), MPN (25% = 21spp.) e MPNO (22% = 19spp.). Além dessas, 4% (3 spp.), 2% (2 spp.) e 1% (1 sp.), foram classificadas em MTN, DP e MPE, respectivamente. Nas regiões frias e menos salinas (CM e VF), houve a exclusividade das diatomáceas ticoplanctônicas neríticas *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, *Thalassiosira eccentrica* (Ehrenberg) Cleve e *Thalassiosira leptopus* (Grunow) Hasle &

G.Fryxell, assim como das espécies dulcícolas *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (O.Müller) Simonsen (Figura 5-i) e *Merismopedia tenuissima* Lemmermann (Figura 5-f.A). A diatomácea penada *Cocconeis* cf. *diaphana* W.Smith (Figura 6-a.A) foi a única espécie Marinha perifítica (MPE) (Tabela 2). Os organismos autotróficos (67%) foram dominantes na região, sendo representados por diatomáceas, cianobactérias, clorófitas, silicoflagelados e dinoflagelados. A população de dinoflagelados nas 3 áreas (CB, CM e VF) esteve representada principalmente por espécies heterotróficas e mixotróficas.

Tabela 1: Valores dos parâmetros ambientais e Índices ecológicos analisados em cada estação.

Parâmetros	Corrente do Brasil		Corrente das Malvinas		Vórtice de Núcleo Frio	
	CB1	CB2	CM1	CM2	VF1	VF2
Latitude	38°13'436' S	38°27'436' S	39°32'877' S	39°58'973' S	44°52'707" S	45°04'060" S
Longitude	52°34'361' W	52°53'460' W	54°23'460' W	54°59'702' W	051°46'273" W	051°28'846" W
Salinidade	35,59	35,65	34,09	34,07	34,62	34,27
Salinidade média	35,62		34,08		34,44	
Temperatura	15,64	15,51	6,39	6,34	9,6	7,89
Temperatura média	15,57		6,36		8,74	
Profundidade de máxima clorofila	10 m	21 m	34 m	33 m	40 m	45 m
Riqueza (S)	32	22	38	36	44	36
Equitabilidade (J')	0,8915	0,8424	0,8172	0,7953	0,7758	0,7376
Índice de diversidade específica: H'(log2)	4,458	3,757	4,289	4,112	4,235	3,814

Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

Tabela 2: Espécies fitoplantônicas identificadas em cada estação – Corrente do Brasil (CB1 e CB2), Corrente das Malvinas (CM1 e CM2) e Vórtice de Núcleo Frio (VF1 e VF2) – e classificadas de acordo com a Frequência de Ocorrência em: MF- Muito frequente, F- Frequente, PF- Pouco Frequente, E- Esporádica; Forma de Vida: MPO- Marinha Planctônica Oceânica, MPN- Marinha Planctônica Nerítica, MPNO- Marinha Planctônica Nerítica e Oceânica, DP- Dulcícola Planctônica, MTN- Marinha Ticoplanctônica Nerítica e MPE- Marinha Perifítica; e de acordo com o Modo Trófico: A- Autotrófico, H- Heterotrófico e M- Mixotrófico. Asteriscos indicam espécies exclusivas de regiões frias (CM e VF).

Táxons	Frequência de ocorrência	Forma de Vida	Modo Trófico	Pontos amostrais					
				CB1	CB2	CM1	CM2	VF1	VF2
BACILLARIOPHYTA									
<i>Asterolampra marylandica</i> Ehrenberg	F	MPO	A			*	*	*	*
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.Müller) Simonsen	PF	DP	A				*	*	
<i>Bacteriastrum delicatulum</i> Cleve	E	MOP	A						
<i>Bacteriastrum hyalinum</i> Lauder	E	MPN	A						
<i>Chaetoceros</i> cf. <i>socialis</i> H.S.Lauder	PF	MPN	A						
<i>Chaetoceros</i> sp.	E	-	A						
<i>Chaetoceros criophilus</i> Castracane	E	MPO	A						
<i>Chaetoceros dichaeta</i> Ehrenberg	PF	MPN	A						
<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow	E	MPN	A						
<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwell	E	MPO	A						
<i>Cocconeis</i> cf. <i>diaphana</i> W.Smith	E	MPE	A						
<i>Corethron inerme</i> Karsten	PF	MPO	A						
<i>Corethron pennatum</i> (Grunow) Ostenfeld	F	MPO	A			*	*	*	*
<i>Coscinodiscus centralis</i> Ehrenberg	E	MPO	A						
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg	F	MPNO	A						
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	F	MPN	A						
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	F	MPO	A			*	*	*	*
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin	E	MTN	A						
<i>Ditylum brightwellii</i> (T.West) Grunow	E	MPN	A						
<i>Eucampia antarctica</i> (Castracane) Mangin	PF	MPN	A						
<i>Fragilariopsis doliolus</i> (Wallich) Medlin & P.A.Sims	E	MPN	A						
<i>Fragilariopsis kerguelensis</i> (O'Meara) Hustedt	MF	MPO	A						
<i>Hemiaulus membranaceus</i> Cleve	PF	MPO	A						
<i>Hemiaulus sinensis</i> Greville	E	MPN	A						
<i>Leptocylindrus minimus</i> Gran	MF	MPN	A						
<i>Membraneis</i> cf. <i>challengeri</i> (Grunow) Paddock	PF	MPN	A			*			*
<i>Navicula</i> sp.	PF	-	A						
<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson) Ralfs	F	MPN	A			*	*	*	
<i>Planktoniella sol</i> (G.C.Wallich) Schütt	PF	MPO	A						
<i>Podosira</i> sp.	PF	-	A						
<i>Porosira glacialis</i> (Grunow) Jørgensen	PF	MPN	A						
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundström	F	MPO	A			*	*	*	*
<i>Proboscia</i> sp.	E	-	A						

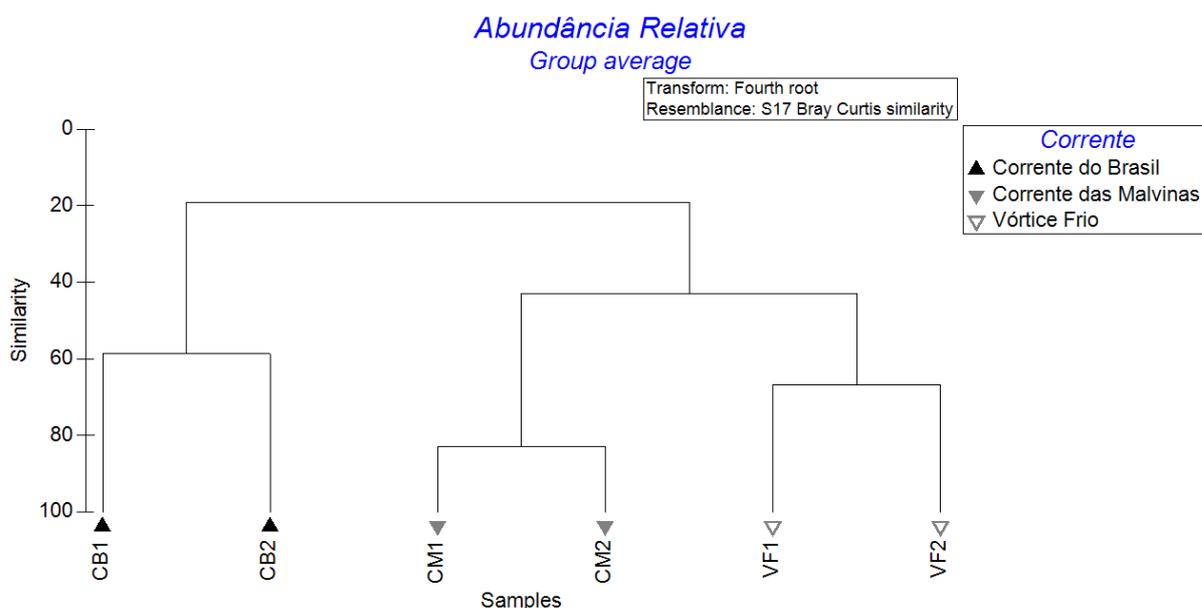
<i>Pseudo-nitzschia cf. delicatissima</i> (Cleve) Heiden	F	MPN	A		*	*	*	*
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle	MF	MPN	A					
<i>Rhizosolenia hebetata f. semispina</i> (Hensen) Gran	F	MPO	A		*		*	*
<i>Rhizosolenia imbricata var. minuta</i> Brightwell	F	MPN	A		*	*	*	*
<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell	E	MPO	A					
<i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grunow) Tempère & Peragallo	PF	MPO	A					
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky	MF	MPN	A					
<i>Thalassionema</i> sp.	PF	-	A					
<i>Thalassiosira angustilineata</i> (A.W.F.Schmidt) G.Fryxell & Hasle	PF	MPNO	A					
<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve	F	MTN	A		*	*	*	*
<i>Thalassiosira gravida</i> Cleve	PF	MPN	A					
<i>Thalassiosira leptopus</i> (Grunow) Hasle & G.Fryxell	PF	MTN	A		*		*	
<i>Thalassiothrix</i> sp.	E	-	A					
CHLOROPHYTA								
<i>Oocystis</i> sp.	E	-	A					
CYANOPHYTA								
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	E	DP	A					
<i>Oscillatoria</i> sp.	E	-	A					
<i>Trichodesmium thiebautii</i> Gomont ex Gomont	F	MPO	A					
HAPTOPHYTA								
<i>Emiliania huxleyi</i> (Lohmann) W.W.Hay & H.P.Mohler	PF	MPNO	A					
<i>Phaeocystis cf. globosa</i> Scherffel	PF	MPNO	A					
MIOZOA								
<i>Ceratocorys horrida</i> Stein	E	MPNO	A					
<i>Dinophysis acuminata</i> Claparède & Lachmann	E	MPNO	M					
<i>Dinophysis caudata</i> Kent	MF	MPNO	M					
<i>Dinophysis tripos</i> Gouret	E	MPNO	M					
<i>Diplopsalis lenticula</i> Bergh	E	MPO	H					
<i>Gonyaulax scrippsae</i> Kofoid	F	MPN	A		*	*	*	*
<i>Gymnodinium</i> sp.	PF	-	M					
<i>Ornithocercus magnificus</i> F.Stein	F	MPO	H					
<i>Oxytoxum laticeps</i> J.Schiller	F	MPNO	A					
<i>Phalacroma doryphorum</i> Stein	MF	MPNO	H					
<i>Phalacroma rotundatum</i> (Claparède & Lachmann) Kofoid & J.R.Michener	F	MPN	H		*	*	*	*
<i>Preperidinium meunieri</i> (Pavillard) Elbrächter	F	MPN	H					
<i>Protoperidinium</i> sp.	F	-	H		*			*
<i>Protoperidinium</i> sp. 1	F	-	H					
<i>Protoperidinium</i> sp. 2	PF	-	H					
<i>Protoperidinium brevipes</i> (Paulsen) Balech	E	MPO	H					

<i>Protoperidinium curvipes</i> (Ostenfeld) Balech	F	MPN	H						
<i>Protoperidinium divergens</i> (Ehrenberg) Balech	E	MPNO	H						
<i>Protoperidinium grande</i> (Kofoid) Balech	PF	MPO	H			*	*		
<i>Protoperidinium mite</i> (Pavillard) Balech	F	MPO	H						
<i>Protoperidinium oceanicum</i> (Vanhöffen) Balech	F	MPNO	H			*			*
<i>Protoperidinium oviforme</i> (Dangeard) Balech	E	MPN	H						
<i>Protoperidinium pellucidum</i> Bergh	E	MPO	H			*		*	
<i>Protoperidinium pyriforme</i> (Paulsen) Balech	PF	MPO	H						
<i>Protoperidinium steinii</i> (Jørgensen) Balech	E	MPNO	H						
<i>Protoperidinium subinermis</i> (Paulsen) A.R.Loeblich	E	MPNO	H			*			*
<i>Ptychodiscus noctiluca</i> Stein	PF	MPO	H?						
<i>Tripes fusus</i> (Ehrenberg) F.Gómez	E	MPO	M			*			*
<i>Tripes horridus</i> (Cleve) F.Gómez	PF	MPO	M						
<i>Tripes lineatus</i> (Ehrenberg) F.Gómez	PF	MPNO	M			*	*	*	*
<i>Tripes minutus</i> (Jørgensen) F.Gómez	MF	MOP	M						
<i>Tripes muelleri</i> Bory	PF	MPNO	M						
OCHROPHYTA									
<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg	MF	MPO	A						
Dictyochaceae	E	-	A						
<i>Octactis speculum</i> (Ehrenberg) F.H.Chang, J.M.Grieve & J.E.Sutherland	F	MPNO	A			*	*	*	
<i>Octactis octonaria</i> (Ehrenberg) Hovasse	PF	MPNO	A						

Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

A partir da análise de cluster as amostras das 3 áreas foram separadas, indicando uma clara diferenciação entre as regiões (Figura 2). O primeiro grupo foi formado pelos pontos CB1 e CB2, o segundo por CM1 e CM2 e o terceiro por VF1 e VF2. O primeiro grupo apresentou 20% de similaridade aos demais, em contrapartida, o segundo e terceiro grupo foram mais próximos (40% de similaridade). Desse modo, cada região apresentou uma composição de espécies e variáveis ambientais específicas.

Figura 2: Cluster da análise de Bray-Curtis.

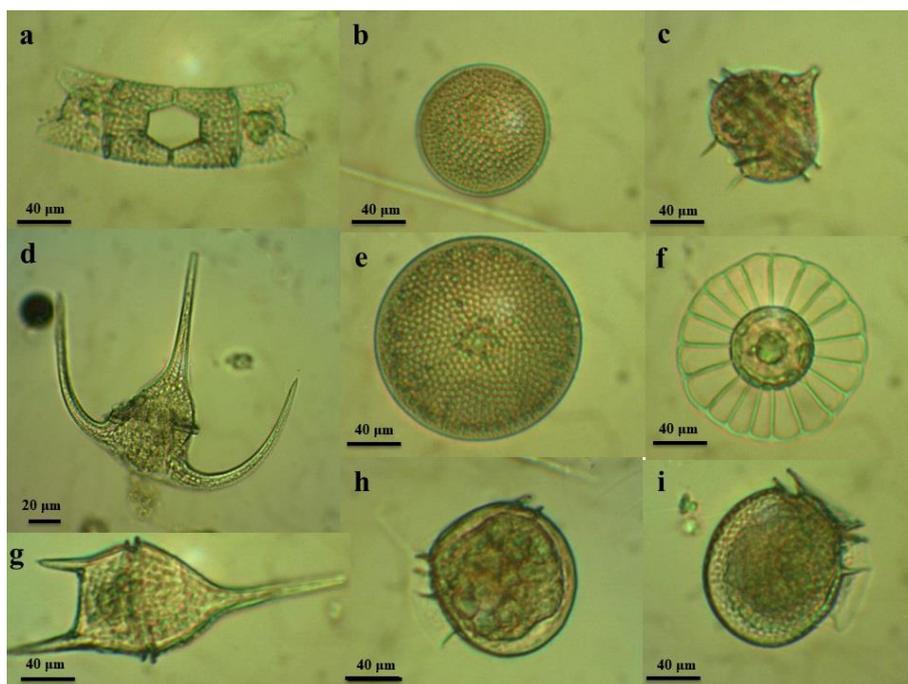


5.4.1- Corrente do Brasil

A corrente do Brasil foi representada pelos pontos CB1 e CB2, onde apresentou valores médios de temperatura e salinidade de 15,57 °C e 35,62, respectivamente (Tabela 1). O total de 37 espécies foi identificada nessa região, distribuídas entre os filos: Bacillariophyta (45%), Miozoa (39%), Cyanophyta (8%), Ochrophyta (5%) e Chlorophyta (3%) (Tabela 2). Desse total, dezenove espécies foram exclusivas nessa massa d'água, inclusive a única espécie do filo Chlorophyta (*Oocystis* sp.) (Figura 5-e, Tabela 2). Nessa área o dinoflagelado *Protoperidinium mite* (Pavillard) Balech (Figura 3-c), a cianobactéria *Trichodesmium thiebautii* Gomont ex Gomont (Figura 4-c) e a diatomácea *Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg (Figura 3-b) foram consideradas abundantes (Tabela 3).

Figura 3: Espécies identificadas na área de estudo (parte 1): a) *Eucampia antarctica* (Castracane) Mangin, (b) *Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg, (c) *Protoperidinium mite* (Pavillard) Balech, (d) *Tripos muelleri* Bory, (e) *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg, (f) *Planktoniella sol* (G.C.Wallich) Schütt, (g) *Tripos lineatus*

(Ehrenberg) F.Gómez, (h) *Phalacroma rotundatum* (Claparède & Lachmann) Kofoid & J.R.Michener, (i) *Dinophysis acuminata* Claparède & Lachmann.



Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

Os dinoflagelados heterotróficos (65%) foram predominantes dentre as espécies do filo Miozoa. Nessa região, foram identificados altos valores de diversidade específica que variou de 3,75 bits.cel⁻¹ (CB2) a 4,45 bits.cel⁻¹ (CB1) (Tabela 1). As formas de vida predominante foram: MPO (32% = 12 spp.), MPNO (30% = 11 spp.) e MPN (27% = 10 spp.), sendo constituídas principalmente por diatomáceas (MPO e MPN) e dinoflagelados (MPN). Apenas *C. cf. diaphana* foi classificada como MPE (Tabela 2).

Tabela 3: Espécies exclusivas e abundância relativa de cada região.

Regiões	Espécies exclusivas	Abundância Relativa
Corrente do Brasil	BACILLARIOPHYTA: <i>Bacteriastrum delicatulum</i> , <i>B. hyalinum</i> , <i>Chaetoceros lorenzianus</i> , <i>Cocconeis</i> cf. <i>diaphana</i> , <i>Fragilariopsis doliolus</i> , <i>Hemiaulus membranaceus</i> , <i>H. sinensis</i> , <i>Planktoniella sol</i> , <i>Thalassiosira angustilineata</i> , <i>Thalassionema frauenfeldii</i> , <i>Thalassiothrix</i> sp.	Pouco abundante: <i>P. mite</i> , <i>T. thiebautti</i> e <i>C. marginatus</i>
	CYANOPHYTA: <i>Oscillatoria</i> sp.	
	CHLOROPHYTA: <i>Oocystis</i> sp.	
	MIOZOA: <i>Ceratocorys horrida</i> , <i>Dinophysis caudata</i> , <i>Ornithocercus magnificus</i> , <i>Phalacroma doryphorum</i> , <i>Preperidinium meunieri</i>	Raras: 34 espécies
	OCHROPHYTA: <i>Octactis octonaria</i>	
Corrente das Malvinas	BACILLARIOPHYTA: <i>Chaetoceros</i> sp., <i>C. cf. socialis</i> , <i>Corethron inerme</i> , <i>C. dichaeta</i> , <i>C. peruvianus</i> , <i>Eucampia antarctica</i> , <i>Navicula</i> sp, <i>Porosira glacialis</i> , <i>Proboscia</i> sp., <i>Rhizosolenia setigera</i> , <i>Thalassiosira gravida</i> , <i>Thalassionema</i> sp.	Pouco abundante: <i>P. punges</i> , <i>P. cf. delicatissima</i> , <i>C. cf. socialis</i> e <i>P. cf. globosa</i>
	HAPTOPHYTA: <i>Phaeocystis</i> cf. <i>globosa</i> MIOZOA: <i>Gymnodinium</i> sp.	Raras: 41 espécies
Vórtice de Nucléo Frio	BACILLARIOPHYTA: <i>Chaetoceros criophilus</i> , <i>Coscinodiscus centralis</i> , <i>Cylindrotheca closterium</i> , <i>Podosira</i> sp., <i>Ditylum brightwellii</i>	Abundante: <i>P. noctiluca</i>
	CYANOPHYTA: <i>Merismopedia tenuissima</i> HAPTOPHYTA: <i>Emiliana huxleyi</i> MIOZOA: <i>Oxytoxum laticeps</i> , <i>Protoperidinium</i> sp. 2, <i>Protoperidinium</i> sp. 3, <i>P. brevipes</i> , <i>P. curvipes</i> , <i>P. pyriforme</i> , <i>Ptychodiscus noctiluca</i>	Pouco abundante: <i>C. pennatum</i> , <i>R. imbricata</i> var. <i>minuta</i> e <i>P. noctiluca</i> .
	OCHROPHYTA: Dictyochaceae	Raras: 50 espécies

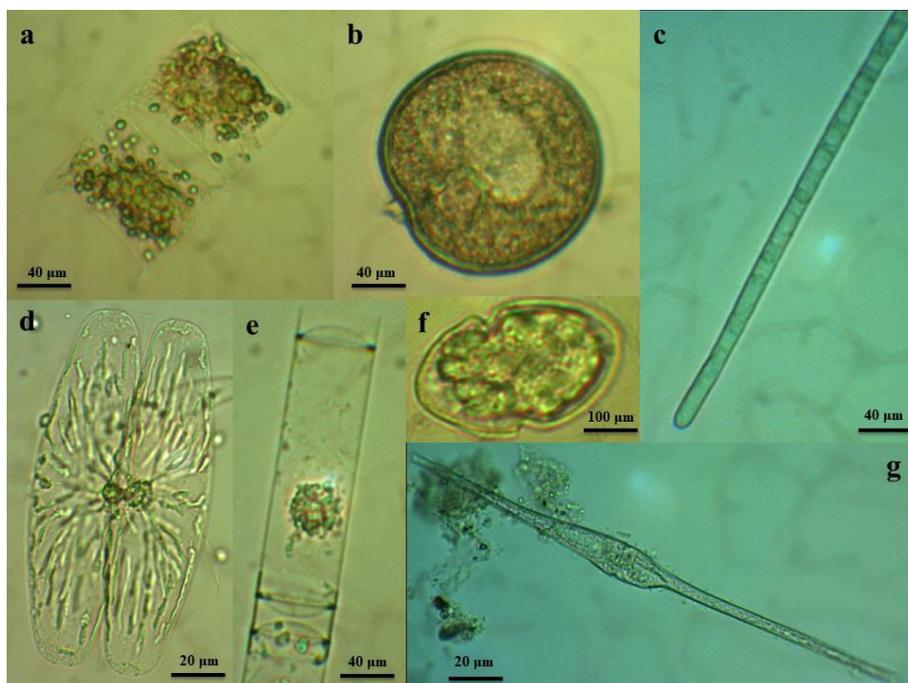
Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

4.5.2 – Corrente das Malvinas

Os pontos CM1 e CM2 representam a Corrente das Malvinas, caracterizada por uma temperatura média de 6,36 °C e salinidade média de 34,08 (Tabela 1). A riqueza de espécies foi de 45 táxons, com o predomínio do filo Bacillariophyta (62%), seguido por Miozoa (31%), Ochrophyta (5%) e Haptophyta (2%) (Tabela 2). Dentre as espécies identificadas, quatorze táxons foram restritos as condições ambientais (temperatura e salinidade) da região, e a comunidade foi representada por organismos pouco abundante e raro (Tabela 3). Quanto ao filo Miozoa, os dinoflagelados mixotróficos foram constituídos por três espécies, e apresentaram a maior contribuição de organismos (59%).

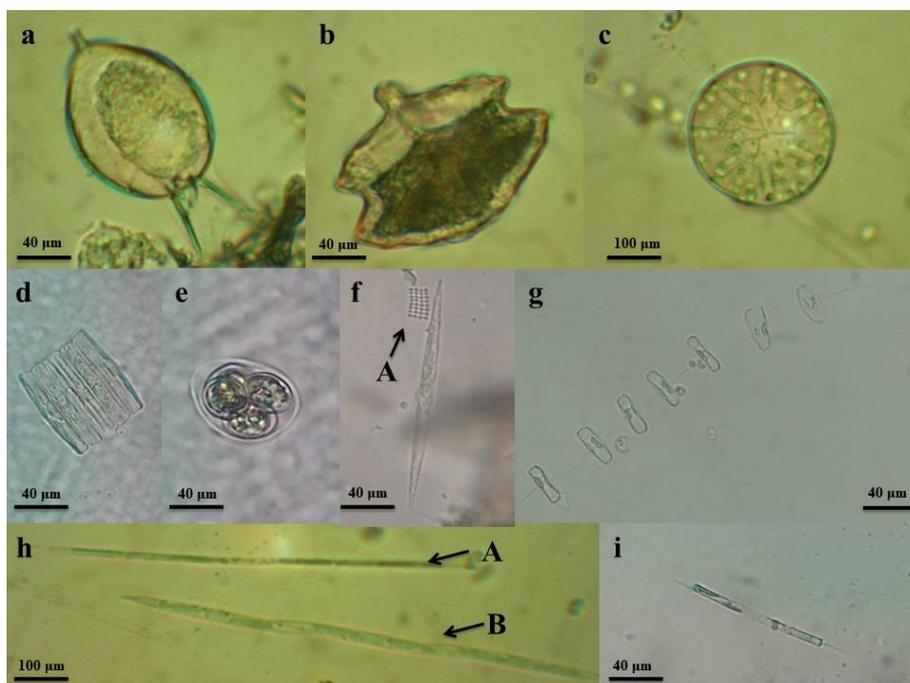
As formas de vida dominantes nessa região foram MPO (36% = 16 spp.) e MPN (32% = 14 spp.), seguidas por: MPNO (11% = 5 spp.), MTN (2% = 2 spp.) e DP (2% = 1 sp.). A diversidade de espécie foi alta, sendo 4,11 bits.cel⁻¹(CM1) e 4,28 bits.cel⁻¹(CM2) (Tabela 1).

Figura 4: Espécies identificadas na área de estudo (parte 2): (a) *Hemiaulus membranaceus* Cleve, (b) *Diplopsalis lenticula* Bergh, (c) *Trichodesmium thiebautii* Gomont ex Gomont, (d) *Membraneis* cf. *challengeri* (Grunow) Paddock, (e) *Corethron inerme* Karsten, (f) *Gymnodinium* sp., (g) *Tripos fusus* (Ehrenberg) F.Gómez.



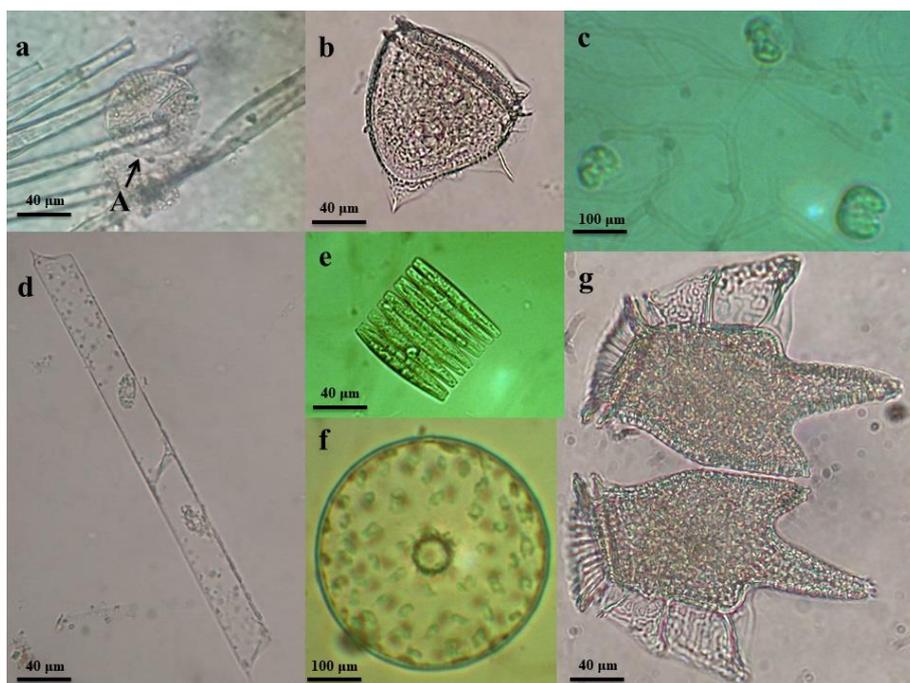
Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

Figura 5: Espécies identificadas na área de estudo (parte 3): (a) *Protoperidinium steinii* (Jørgensen) Balech, (b) *Ptychodiscus noctiluca* Stein, (c) *Asterolampra marylandica* Ehrenberg, (d) *Fragilariopsis doliolus* (Wallich) Medlin & P.A.Sims, (e) *Oocystis* sp., (f) *AMerismopedia tenuissima* Lemmermann, (g) *Thalassiosira gravida* Cleve, (h) A- *Pseudo-nitzschia* cf. *delicatissima* (Cleve) Heiden, B- *Pseudo-nitzschia pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle, (i) *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (O.Müller) Simonsen.



Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

Figura 6: Espécies identificadas na área de estudo (parte 4): (a) A-*Cocconeis* cf. *diaphana* W.Smith, (b) *Phalacroma doryphorum* Stein, (c) *Phaeocystis* cf. *globosa* Scherffel, (d) *Rhizosolenia imbricata* var. *minuta* Brightwell, (e) *Fragilariopsis kerguelensis* (O'Meara) Hustedt, (f) *Porosira glacialis* (Grunow) Jørgensen, (g) *Dinophysis tripos* Gourret.



Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

4.5.3 – Vórtice de Núcleo Frio

Os pontos VF1 e VF2 foram caracterizados como uma feição de mesoescala ciclônica, com águas de baixa temperatura ($8,74^{\circ}\text{C}$) e salinidade (34.44) (Tabela 1). Essa região apresentou a maior riqueza de espécies (53 spp.), distribuídas entre os filos Bacillariophyta (46% = 23 spp.), Miozoa (42% = 21 spp.), Ochrophyta (6% = 3 spp.), Cyanophyta (4% = 2 spp.) e Haptophyta (2% = 1 sp.) (Tabela 2). Dentre os organismos 53% (17%) constituem espécies exclusivas da CM (CB).

Os dinoflagelados heterotróficos foram os mais diversos e representativos (77%), com destaque para o atecado *Ptychodiscus noctiluca* Stein (Figura 5-b) exclusivo e abundante nessa região (Tabela 3). As espécies MPO (36% = 19 spp.) foram as mais representativas, seguida por MPN (22% = 12 spp.), MPNO (22% = 12 spp.), MTN (6% = 3 spp.) e DP (4% = 2 spp.). A diversidade específica alta, entre $3,81 \text{ bits.cel}^{-1}$ (VF2) e $4,23 \text{ bits.cel}^{-1}$ (VF1) (Tabela 1).

Figura 7: Coexistência entre (C) *Phaeocystis* cf. *globosa* e diatomáceas. (A) *Chaetoceros* cf. *socialis* H.S.Lauder, (B) *Chaetoceros* *dichaeta* Ehrenberg.



Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

4.6- DISCUSSÃO

A Confluência Brasil-Malvinas é um *hotspot* de biodiversidade fitoplanctônica no Atlântico sul (BARTON et al., 2010; CLAYTON et al., 2012), desse modo, os resultados qualitativos do fitoplâncton no presente estudo reforçam a sua alta diversidade, com índices acima de 3,75 bits.cel⁻¹ sendo o efeito da mistura entre comunidades de origem distintas que se beneficiam das novas condições resultantes do fornecimento de nutrientes da CM para o desenvolvimento das espécies tropicais (CB) originalmente limitadas por nutrientes, assim como a CB proporciona a estabilidade física necessária para o acúmulo de biomassa na CM por meio de intrusões (BRANDINI et al., 2000). A distribuição desses organismos ocorre em resposta a uma grande variedade e combinações de fatores físico-químicos, entretanto, podemos identificar o favorecimento de espécies tropicais em águas com elevada salinidade e temperatura, enquanto que a presença das espécies subantárticas é influenciada por massas d'água frias e menos salinas (CRELIER & DAPONTE, 2004).

De acordo com os estudos taxonômicos (SILVA-CUNHA & ESKINAZI-LEÇA, 1990; TOMAS, 1997, BALECH, 1998) as diatomáceas *Fragilariopsis doliolus* (Wallich) Medlin & P.A.Sims (Figura 5-d), *Hemiaulus membranaceus* Cleve (Figura 4.-a) e *Planktoniella sol* (G.C.Wallich) Schütt (Figure 3-f) e os dinoflagelados *Ceratocorys horrida* Stein, *Dinophysis caudata* Kent e *Phalacroma doryphorum* Stein (Figura 6-b) são considerados espécies tropicais. Esses organismos foram exclusivos nos pontos de elevada temperatura e salinidade (CB) do presente estudo. Da mesma forma, em condições opostas (CM e VF) houve a exclusividade de espécies subantárticas e temperadas, como as diatomáceas *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg, *Pseudo-nitzschia* cf. *delicatissima* (Cleve) Heiden (Figure 5-h.A); e *Thalassiosira gravida* Cleve (Figure 5-g); e os dinoflagelados *Phalacroma rotundatum* (Claparède & Lachmann) Kofoid & J.R.Michener (Figure 3-h), *Protoperidinium brevipes* (Paulsen) Balech,, *P. curvipes* (Ostenfeld) Balech, *Ptychodiscus noctiluca* e *Tripos lineatus* (Ehrenberg) F.Gómez (Figure 3-g).

A forma de vida dominante nas espécies identificadas na área de estudo foi MPO, MPN e MPNO. Segundo Mandiola et al. (2015) e Odebrecht & Castello (2001) a CBM é formada ao longo da plataforma Argentina e recebe influência das regiões oceânicas e neríticas circundantes (PIOLA et al., 2000) e estuarina

do rio da Prata principalmente durante o Outono e Inverno (ODEBRECHT & CASTELLO, 2001). Esses aspectos geográficos favoreceram as formas de vida predominantes, e a presença das espécies *A. granulata* var. *angustissima* e *M. tenuissima*, caracterizadas como dulcícolas planctônicas, indicam a influência do rio da Prata na região. Essas espécies já foram registradas em trabalhos anteriores realizados no rio da Prata (GÓMEZ et al., 2004; SATHICQ et al., 2014, 2015), com os filos Chlorophyta e Cyanophyta sendo mais representativos a montante (GÓMEZ et al., 2004). Apesar de dulcícolas essas espécies toleram variações extremas de salinidade ocorrendo com frequência em ambientes estuarinos (p.e. GÓMEZ et al., 2004; LICURSI et al., 2006; MARSHALL et al., 2006; SATHICQ et al., 2014; AQUINO et al., 2015; GOMES et al., 2021) tal característica pode justificar a ocorrência em áreas como a CBM.

Nossos resultados sugerem a maior diversidade e representatividade do filo Bacillariophyta na CBM, em ambas as correntes e no VF. De acordo com Carvalho et al. (2021), as diatomáceas são dominantes na CBM e a elevada diversidade desse grupo é resultado da maior variedade de formas de vida identificada (MTN, MPO, MNP, MPNO, FP e MPE), assim como verificado por Aquino et al., (2015), que atribui a este fator o domínio em um estuário tropical.

Enquanto nas regiões frias (CM e VF) houve a ocorrência do filo Haptophyta, sendo *Phaeocystis* cf. *globosa* Scherffel (Figure 6-c) exclusiva da CM e sua maior abundância associada a algumas diatomáceas (*Pseudo-nitzschia* sp. e *Chaetoceros* sp.). Em estudo realizado simultaneamente (dados não publicados), essa espécie apresentou uma concentração de $9,6 \times 10^6$ cel/L, esse valor foi equivalente ao observado na floração no Eastern English Channel (SEURONT et al., 2006). Geralmente essas florações co-ocorrem com diatomáceas (p.e. SEURONT et al., 2006; ASSMY & SMETACEK, 2009), e pode ser justificada pela disponibilidade de habitat, substâncias orgânicas e inorgânicas e substrato das colônias de *Phaeocystis* para a colonização dessas diatomáceas (SAZHIN et al., 2007). Ambos os filos são fundamentais na exportação de carbono atmosférico para os oceanos (CARVALHO et al., 2021) e no caso da *Phaeocystis*, de enxofre (SEURONT et al., 2006).

De acordo Sahoo and Kumar (2015), cerca de 80% dos dinoflagelados são de vida livre, marinha, planctônica ou bentônica. Além disso, são considerados como segundo produtor primário no ambiente marinho (GRAHAM

& WILCOX, 2000). Em nossos resultados o filo Miozoa foi o segundo grupo em riqueza de espécies na CBM, representado pelas formas de vida MPNO, MPO e MPN. Esses organismos desempenham atividade consumidora sobre organismos autotróficos, visto que, a maioria dos dinoflagelados (29 spp.) foram representados por organismos heterotróficos e mixotróficos. Esses modos tróficos são fundamentais nas teias alimentares marinhas, por meio da produção secundária, aumento da eficiência trófica e ciclagem de nutrientes (JEONG et al., 2010). Alguns estudos associam a dominância de dinoflagelados heterotróficos a baixas concentrações de nutrientes (DUARTE et al., 2000), como é o caso da CB. Em contrapartida, a maior diversidade no VF pode ser relacionado a presença de águas eutróficas que também favorecem o respectivo grupo (GOMÉZ & BOICENCO, 2004), pois aumentam as concentrações de presas autotrófica (DUARTE et al., 2000).

O predomínio dos mixotróficos dentre os dinoflagelados da CM pode ser explicado pelo caráter eutrófico da respectiva corrente, que fornece nutrientes para esses organismos e suas presas (BURKHOLDER et al., 2008). O mixotrófico *T. lineatus* foi o mais representativo na CM e pode ser associado às condições frias da corrente, segundo Balech (1978) é uma espécie típica de águas frias. A abundância do atecado *P. noctiluca* dentro do VF, pode ser explicado pela sua localização na região oceânica e temperaturas baixas nesse vórtice, visto que a espécie é MPO e de acordo com Balech (1987), a presença desse dinoflagelado em temperaturas acima de 14,5 °C é rara, assim como é pouco reconhecido sobre a plataforma continental, sendo considerado bioindicador de águas subantárticas.

A presença de *Trichodesmium thiebautti* nas estações com características físicas de CB, mostrou que essa cianobactéria diazotrófica na CBM tem preferência por condições ambientais similares a da corrente do Brasil. De acordo com Brandini (1988), as águas tropicais são fundamentais para o desenvolvimento de *Trichodesmium* no Oceano Atlântico Sudoeste. Diversos estudos registraram a presença dessa cianobactéria ao longo da costa brasileira, especialmente na região nordeste: Plataforma e egião oceânica (SILVA-CUNHA et al., 2019; MELO et al., 2021). Esses registros são datados desde Satô et al. (1963).

Além disso, *T. thiebautti* também foi encontrado dentro do VF. Tal fato chama atenção, pois a literatura considera os vórtices quentes propícios ao desenvolvimento desse gênero (p.e. JYOTHIBABU et al., 2017; CHINNADURAI et al., 2021). Em contrapartida, Olson et al. (2015) hipotetizaram que a presença de *Trichodesmium* em vórtices ciclônicos ocorre mediante aprisionamento das células pelo transporte convergente de Ekman. No entanto, esses trabalhos não identificaram os organismos a nível de espécie. Em associação a isso, sugerimos estudos que mostrem a relação entre vórtices ciclônicos e anticiclônicos sobre a composição e distribuição de *Trichodesmium* spp., pois durante o presente estudo, *T. thiebautti* esteve presente em condições de vórtices frios.

Em estudos realizados durante essa campanha oceanográfica (PEZZI et al., 2021), afirma que os vórtices anticiclônicos retêm propriedades da corrente de origem (CB). A partir dos nossos dados observamos relação entre o vórtice ciclônico e a Corrente das Malvinas, em resultado aos baixos valores de temperatura e salinidade, destaque para espécies tipicamente de regiões frias (42%) em ambas regiões e pela similaridade de Bray-Curtis.

4.7- CONCLUSÃO

A CBM é uma região de alta diversidade de espécies fitoplanctônicas, as quais apresentam várias formas de vida com o predomínio de organismos autotróficos, em especial o filo Bacillariophyta. O rio da Prata contribui para a presença de espécies dulcícolas nessa região. O domínio de dinoflagelados Mixotróficos e Heterotróficos podem contribuir na eficiência trófica da CBM. O VF apresentou uma composição de espécies similar aos organismos da Corrente das Malvinas. Desse modo, mais estudos são necessários para verificar relações entre a CB e um vórtice anticiclônico na composição de espécies.

REFERÊNCIAS

ANGEL-BENAVIDES, I. M.; PILO, G. S.; DIAS, F. B.; GARCIA, C. A. Influência de vórtices na concentração de clorofila da confluência Brasil–Malvinas: Mecanismos inferidos por sensoriamento remoto. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 20, n. 1, p. 10–20, 2016.

AQUINO, E. P.; BORGES, G. C. P.; HONORATO–DA–SILVA, M.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA-CUNHA, M. G. Phytoplankton in a tropical estuary, Northeast Brazil: composition and life forms. **Check List**, v. 11, n. 3, p. 1633–1633, 2015.

ASSMY, P.; SMETACEK, V. Algal Blooms. *In: Encyclopedia of Microbiology*. [s.l.] Elsevier, 2009. p. 27–41.

BALECH, E. **Los Dinoflagelados del Atlântico Sudoccidental**. Madrid: Instituto Español de Oceanografía, 1988.

BARLOW, R. G.; AIKEN, J.; HOLLIGAN, P. M.; CUMMINGS, D. G.; MARITORENA, S.; HOOKER, S. Phytoplankton pigment and absorption characteristics along meridional transects in the Atlantic Ocean. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 49, p. 637–660, 2002.

BARTON, A. D.; DUTKIEWICZ, S.; FLIERL, G.; BRAGG, J.; FOLLOWS, M. J. Patterns of Diversity in Marine Phytoplankton. **Science**, v. 327, p. 1509–11, 2010.

BÉRARD–THERRIault, L.; POULIN, M.; BOSSÉ, L. **Guide d'Identification du Phytoplankton Marin de L'Estuaire et du Golfe du Saint-Laurent: incluant également certains protozoaires**. [s.l.]: NRC Research Press, Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 1999.

BRANDINI, F. P. Phytoplankton composition and distribution in the southeastern Brazil in relation to the hydrographic regime (July/August 1982). **Ciência e Cultura**, v. 40, n. 4, p. 334–341, 1988.

BRANDINI, F. P.; BOLTOVSKOY, D.; PIOLA, A.; KOČMUR, S.; RÖTTGERS, R.; ABREU, P. C.; LOPES, R. M. Multiannual trends in fronts and distribution of nutrients and chlorophyll in the southwestern Atlantic (30–62°S). **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 47, n. 6, p. 1015–1033, 2000.

BURKHOLDER, J. M.; GILBERT, P. M.; SKELTON, H. M. Mixotrophy, a major mode of nutrition for harmful algal species in eutrophic waters. **Harmful Algae**, v. 8, n. 1, p. 77–93, 2008.

CARR, J. M.; HERGENRADER, G. I.; JUNIOR, N. H. T. A simple, inexpensive method for cleaning diatoms. **Transactions of the American Microscopical Society**, v. 105 n. 2, p. 152–157, 1986.

CARVALHO, A. C. O.; KERR, R.; MENDES, C. R. B.; AZEVEDO, J. L. L.; TAVANO, V. M. Phytoplankton strengthen CO₂ uptake in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 190, p. 102476, 2021.

CHELTON, D. B.; SCHLAX, M. G.; WITTER, D. L.; RICHMAN, J. G. Geosat altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 95, n. C10, p. 17877–17903, 1990.

CHINNADURAI, K.; JYOTHIBABU, R.; ARUNPANDI, N.; PANDIYARAJAN, R. S.; PARTHASARATHI, S.; SHOBA, S. Microplankton size structure induced by a warm–core eddy in the western Bay of Bengal: Role of *Trichodesmium* abundance. **Oceanologia**, v. 63, n. 3, p. 283–300, 2021.

CHRÉTIENNOT–DINET, M. J.; BILLARD, C.; SOURNIA, A. **Chlorarachniophycées, chlorophycées, chrysophycées, cryptophycées, euglénophycées, eustigmatophycées, prasinophycées, prymnésiofycées, rhodophycées et tribophycées**. [s.l.]: Editions du Centre national de la recherche scientifique, 1990.

CLAYTON, S.; DUTKIEWICZ, S.; JAHN, O.; FOLLOWS, M. J. Dispersal, eddies, and the diversity of marine phytoplankton. **Limnology and Oceanography: Fluids and Environments**, v. 3, n. 1, p. 182–197, 2013.

CRELIER, A. M.; DAPONTE, M. C. Chaetognatha of the Brazil–Malvinas (Falkland) confluence: distribution and associations. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 94, n. 4, p. 403–412, 2004.

CUPP, E. E. Marine Plankton Diatoms of the West Coast of North America. **Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography**, v. 5, n. 1, p. 238, 1943.

DUARTE, C. M.; AGUSTÍ, S.; GASOL, J. M.; VAQUÉ, D.; VAZQUEZ-DOMINGUEZ, E. Effect of nutrient supply on the biomass structure of planktonic communities: an experimental test on a Mediterranean coastal community. **Marine Ecology Progress Series**, v. 206, p. 87–95, 2000.

FERNANDES, L. F.; BRANDINI, F. P. Comunidades microplanctônicas no Oceano Atlântico Sul Ocidental: biomassa e distribuição em novembro de 1992. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 47, p. 189–205, 1999.

GARCIA, C. A. E; SARMA, Y. V. B.; MATA, M. M.; GARCIA, V. M. Chlorophyll variability and eddies in the Brazil–Malvinas Confluence region. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 51, n. 1–3, p. 159–172, 2004.

GAYOSO, A. M.; PODESTÁ, G. P. Surface hydrography and phytoplankton of the Brazil–Malvinas currents confluence. **Journal of Plankton Research**, v. 18, n. 6, p. 941–951, 1996.

GORDON, A. L. Brazil–Malvinas Confluence –1984. **Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers**, v. 36, n. 3, p. 359–384, 1989.

GOMES, A. L.; CUNHA, C. J.; LIMA, M. O.; SOUSA, E. B.; COSTA-TAVARES, V. B.; MARTINELLI-LEMOES, J. M. Biodiversity and interannual variation of cyanobacteria density in an estuary of the Brazilian Amazon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, 2021.

GÓMEZ, N.; HUALDE, P.R.; LICURSI, M.; BAUER, D. E. Spring phytoplankton of Río de la Plata: A temperate estuary of South America. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 61, p. 301–309, 2004.

GONÇALVES–ARAUJO, R.; SOUZA, M. S.; MENDES, C. R. B.; TAVANO, V. M.; POLLERY, R. C.; GARCIA, C. A. E. Brazil–Malvinas confluence: effects of environmental variability on phytoplankton community structure. **Journal of Plankton Research**, v. 34, n. 5, p. 399–415, 2012.

GÓMEZ, F.; BOICENCO, L. An annotated checklist of dinoflagellates in the Black Sea. **Hydrobiologia**, v. 517, n. 1, p. 43–59, 2004.

GRAHAM, L. E; WILCOX, L. W. **Algae**. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, Universidade de Michigan, 2000.

GRAN, H.H. Diatomeen. *In*: BRANDT, K.; APSTEIN, C. (Org.). **Nordisches Plankton - Botanischer Teil**. pp. 1–146, 1908.

HOPPENRATH, M.; ELBRÄCHTER, M.; DREBES, G. **Marine Phytoplankton. Selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt.** [s.l.]: Kleine Senckenberg–Reihe, 2009.

HUSTEDT, F. Die Kieselalgen Deutschlands, Osterreichs und der Schweiz mit Berücksichtigung der ubrigen Lander Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. **Kryptogamen–Flora**, p. 920, 1966.

JAGADEESAN, L.; KUMAR, G. S.; RAO, D. N.; SRINIVAS, T. N. R. Role of eddies in structuring the mesozooplankton composition in coastal waters of the western Bay of Bengal. **Ecological Indicators**, v. 105, p. 137–155, 2019.

JEONG, H. J.; YOO, Y. D.; KIM, J. S.; SEONG, K. A.; KANG, N. S.; KIM, T. H. Growth, feeding and ecological roles of the mixotrophic and heterotrophic dinoflagellates in marine planktonic food webs. **Ocean Science Journal**, v. 45, n. 2, p. 65–91, 2010.

JYOTHIBABU, R.; KARNAN, C.; JAGADEESAN, L.; ARUNPANDI, N.; PANDIARAJAN, R. S.; MURALEEDHARAN, K. R.; BALACHANDRAN, K. K. *Trichodesmium* blooms and warm–core ocean surface features in the Arabian Sea and the Bay of Bengal. **Marine Pollution Bulletin**, v. 121, n. 1–2, p. 201–215, 2017.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. *Cyanoprokaryota: Teil/2nd part: Oscillatoriales.* **Susswasserflora von Mitteleuropa**, v. 19, p. 1–759, 2005.

LICURSI, M.; SIERRA, M. V.; GÓMEZ, N. Diatom assemblages from a turbid coastal plain estuary: Río de la Plata (South America). **Journal of Marine Systems**, v. 62, n. 1–2, p. 35–45, 2006.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Revista Biología Marina**, v. 22, n. 1, p. 1–29, 1986.

MANDIOLA, M. A.; GIARDINO, G. V.; BASTIDA, J.; RODRÍGUEZ, D. H.; BASTIDA, R. O. Marine mammal occurrence in deep waters of the Brazil–Malvinas Confluence off Argentina during summer. **Mastozoología Neotropical**, v. 22, n. 2, p. 397–402, 2015.

MARGALEF, R. **Temporal succession and spatial heterogeneity in natural phytoplankton.** 1958.

MARSHALL, H. G.; LACOUTURE, R. V.; BUCHANAN, C.; JOHNSON, J. M. Phytoplankton assemblages associated with water quality and salinity regions in Chesapeake Bay, USA. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 69, n. 1, p. 10–18, 2006.

MATANO, R. P.; SCHLAX, M. G.; CHELTON, D. B. Seasonal variability in the southwestern Atlantic. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 98, n. C10, p. 18027–18035, 1993.

MATTEUCCI, S. D.; COLMA, A. **Metodología para el estudio de la vegetación.** [s.l.]: Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, Washington DC., 1982.

MELO, P. A. C.; OTSUKA, A.; GREGO, C. K. S.; ESKINAZI-LECA, E.; AQUINO, E. P.; FEITOSA, F. A. N.; FARIAS, G. B.; BORGES, G. C. P.; SILVA, K. H. F.; FERREIRA, L. C.; OLIVEIRA, M. G. T.; MULLER, M. N.; SILVA, N. B. A.; LACERDA, S. R.; CUNHA, M. G. G. S. Fitoplâncton Marinho Tropical. *In*: VIANA, D. L.; OLIVEIRA, J. E. L.; HAZIN, F. H. V.; SOUZA, M. A. C. (Org.). **Ciências do mar: dos oceanos do mundo ao nordeste do Brasil: bioecologia, pesca e aquicultura.** 1ed. Olinda: Via Design Publicações, v. 2, p. 42-65, 2021.

NAIK, R. K.; HEGDE, S.; ANIL, A. C. Dinoflagellate community structure from the stratified environment of the Bay of Bengal, with special emphasis on harmful algal bloom species. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 182, n. 1, p. 15–30, 2011.

ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. The Convergence Ecosystem in the Southwest Atlantic. *In*: SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (Org.). **Coastal Marine Ecosystems of Latin America.** Berlin, Heidelberg: Springer, 2001, p. 147–165.

OLGUÍN, H. F.; BOLTOVSKOY, D.; LANGE, C. B.; BRANDINI, F. Distribution of spring phytoplankton (mainly diatoms) in the upper 50 m of the Southwestern Atlantic Ocean (30–61°S). **Journal of Plankton Research**, v. 28, n. 12, p. 1107–1128, 2006.

OLSON, E. M.; MCGILLICUDDY, D. J.; FLIERL, G. R.; DAVIS, C. S.; DYHRMAN, S. T.; WATERBURY, J. B. Mesoscale eddies and *Trichodesmium* spp. distributions in the southwestern North Atlantic. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 120, n. 6, p. 4129–4150, 2015.

PAL, R.; CHOUDHURY, A. K. **An Introduction to Phytoplanktons: Diversity and Ecology**. New Delhi: Springer India, 2014.

PERAGALLO, H; PERAGALLO, M. **Diatomées marines de France et des districts maritimes voisins**. Grez-sur-Loing [France]: J. Tempère, 1897.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; SANTINI, M. F.; MILLER, A. J.; CARVALHO, J. T.; PARISE, C. K.; RUBERT, J. Oceanic eddy-induced modifications to air–sea heat and CO₂ fluxes in the Brazil–Malvinas Confluence. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 10648, 2021.

PIELOU, E.C. *Mathematical ecology*. Wiley, New York, 1967.

PIOLA, A. R; CAMPOS, E. J. D.; MÖLLER, O. O.; CHARO, M.; MARTINEZ, C. **Subtropical Shelf Front off eastern South America**. v. 105, n. C3, p. 6565–6578, 2000.

PTACNIK, R.; SOLIMINI, A. G.; ANDERSEN, T.; TAMMINEN, T.; BRETTUM, P.; LEPISTÖ, L.; REKOLAINEN, S. Diversity predicts stability and resource use efficiency in natural phytoplankton communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 13, p. 5134–5138, 2008.

REYNOLDS, C. S. **The Ecology of Phytoplankton**. [s.l.]: Cambridge University Press, 2006.

SAHOO, D.; KUMAR, S. *Xanthophyceae, Euglenophyceae and Dinophyceae*. **The Algae World**. Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015. p. 259–305.

SARACENO, M.; PROVOST, C. On eddy polarity distribution in the southwestern Atlantic. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 69, p. 62–69, 2012.

SATHICQ, M. B.; GÓMEZ, N.; ANDRINOLO, D.; SEDÁN, D.; DONADELLI, J. L. Temporal distribution of cyanobacteria in the coast of a shallow temperate

estuary (Río de la Plata): some implications for its monitoring. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 11, p. 7115–7125, 2014.

SATHICQ, M. B.; BAUER, D. E.; GÓMEZ, N. Influence of El Niño Southern Oscillation phenomenon on coastal phytoplankton in a mixohaline ecosystem on the southeastern of South America: Río de la Plata estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 98, n. 1, p. 26–33, 2015.

SATÔ, S.; PARANAGUÁ, M. N.; ESKINAZI, E. On the Mecanism of Red Tide of *Trichodesmium* in Recife Northeastern Brazil, with Some Considerations of the Relation to the Human Disease “Tamandaré Fever”. **Tropical Oceanography**, v. 5, n. 1, 1963.

SAZHIN, A. F.; ARTIGAS, L. F.; NEJSTGAARD, J. C.; FRISCHER, M. E. The colonization of two *Phaeocystis* species (*Prymnesiophyceae*) by pennate diatoms and other protists: a significant contribution to colony biomass. **Biogeochemistry**, v. 83, n. 1/3, p. 137–145, 2007.

SCHNEIDER, L. K.; ANESTIS, K.; MANSOUR, J.; ANSCHÜTZ, A. A.; GYPENS, N.; HANSEN, P. J.; STOLTE, W. A dataset on trophic modes of aquatic protists. **Biodiversity Data Journal**, v. 8, p. e56648, 2020.

SEURONT, L.; VINCENT, D.; MITCHELL, J. G. Biologically induced modification of seawater viscosity in the Eastern English Channel during a *Phaeocystis globosa* spring bloom. **Journal of Marine Systems**, v. 61, n. 3, p. 118–133, 2006.

SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **The Bell System Technical Journal**, v. 27, n. 3, p. 379–423, 1948.

SILVA–CUNHA, M. G. G.; ESKINAZI–LEÇA, E. Catálogo das diatomáceas (*Bacillariophyceae*) da plataforma continental de Pernambuco. Recife, SUDENE, 1990.

SILVA-CUNHA, M. G. G.; ESKINAZI-LEÇA, E.; BORGES, G. C. P.; SILVA, M. H.; AQUINO, E. P.; AMANCIO, F.C.; SANTIAGO, M. F.; FERREIRA, L. C.; LACERDA, S. R. Estrutura e distribuição espacial e temporal do fitoplâncton da Bacia de Sergipe e Sul de Alagoas. In: MOREIRA, D. L.; CARNEIRO, M. E. R.; SILVA, A. P.; SCHWAMBORN, R. (Org.). **Ambiente Pelágico da Bacia de**

Sergipe-Alagoas. 1ed.São Cristóvão, Sergipe: Editora UFS, v. 3, p. 250-305, 2019.

SOURNIA, A. **Phytoplankton Manual.** Unesco, Paris, 1978.

5- ARTIGO 2

**EFEITOS DA VARIABILIDADE AMBIENTAL NA ESTRUTURA,
DIVERSIDADE E BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA NA CONFLUÊNCIA
BRASIL- MALVINAS (CBM).**



Artigo será submetido na Hydrobiologia

5- ARTIGO 2: EFEITOS DA VARIABILIDADE AMBIENTAL NA ESTRUTURA, DIVERSIDADE E BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA NA CONFLUÊNCIA BRASIL-MALVINAS (CBM).

5.1- ABSTRACT: We tested the hypothesis that vortical pumping promotes an increase in phytoplankton biomass at the Brazil-Malvinas Confluence, negatively affecting species diversity. Phytoplankton and nutrients were collected with Niskin bottles at two depths (surface and Maximum Chlorophyll Point - PMC), in the areas without and with the influence of Cold Core Eddy (CCE) and Warm (WCE). Environmental variables were determined *in situ* with CTD. Four regions were separated based on environmental variables and phytoplanktonic species in Brazil Current (BC), Malvinas Current (MC), CCE and WCE. Species diversity was increased by eddies. The WCE conditions were different from the CCE that presented low values of temperature and salinity, and high cell density. The phylum Bacillariophyta was predominant in species richness in all regions and was responsible for the highest density in the MC, while the dinoflagellates were dominant in the BC and vortices. Therefore, eddies alter the structure, diversity and biomass of the phytoplankton community in BMC.

Keywords: Brazilian current, Malvinas current, Dinoflagellates, Cold Core Eddy, Warm Core Eddy.

5.2- RESUMO: Testamos a hipótese de que o bombeamento vortical promove o aumento da biomassa fitoplanctônica na Confluência Brasil-Malvinas, alterando a diversidade das espécies. O fitoplâncton e os nutrientes foram coletados com garrafas de Niskin em duas profundidades (superfície e Ponto de Máxima Clorofila - PMC), nas áreas sem e com influência de Vórtices de Núcleo Frio (VF) e Quente (VQ). As variáveis ambientais foram determinadas *in situ* com CTD. Quatro regiões foram separadas com base nas variáveis ambientais e espécies fitoplanctônicas em Corrente do Brasil (CB), Corrente das Malvinas (CM), VF e VQ. A diversidade de espécies foi elevada pelos vórtices. As condições do VQ foram diferentes do VF que apresentou baixos valores de temperatura e salinidade, e elevada densidade celular. O filo Bacillariophyta foi predominante em riqueza de espécies em todas as regiões e foi responsável pela maior densidade celular na CM, enquanto que os dinoflagelados foram dominantes na

CB e nos vórtices. Portanto, os vórtices alteram a estrutura, diversidade e biomassa da comunidade fitoplanctônica na CBM.

Palavras-Chave: Corrente do Brasil, Corrente das Malvinas, Dinoflagelados, Vórtice Frio, Vórtice Quente.

5.3- INTRODUÇÃO

A Confluência Brasil-Malvinas (CBM) é o encontro entre duas correntes de características físicas, químicas e biológicas distintas, que cria condições ambientais apropriadas para o desenvolvimento do fitoplâncton (ANGEL-BENAVIDES et al., 2016), quando ocorre o fornecimento de nutrientes da Corrente das Malvinas (CM) para o desenvolvimento de espécies limitadas por nutrientes provenientes da Corrente do Brasil (CB), e esta última, por sua vez, proporciona a estabilidade física necessária para o acúmulo de biomassa na CM por meio de intrusões (BRANDINI et al., 2000).

A região é uma importante fronteira biológica para os organismos fitoplanctônicos (GAYOSO & PODESTÁ, 1996), com a presença de espécies de origem subtropicais (e. g. *Thalassiosira. delicatula* e *Lauderia annulata* Cleve) e subantárticas (e. g. *Ceratium lineatum* (Ehrenberg) Cleve e *Corethron criophilum* Castracane) (GAYOSO & PODESTÁ, 1996; GONÇALVES-ARAÚJO et al., 2012). Sendo assim, a região apresenta uma das altas diversidades fitoplanctônicas do Oceano Atlântico, características de “hotspots”, sobretudo diatomáceas (CERMEÑO et al., 2008; BARTON et al., 2010), em vista da ampla variedade de feições hidrodinâmicas (espaciais e temporais), que permitem a formação de nichos, além das barreiras horizontais de mistura da água pelos vórtices de mesoescalas (D’OVIDIO et al., 2010).

Associado a isso, a CBM é uma das áreas oceânicas mais energéticas com instabilidade intensificada (CHELTON et al., 1990), em decorrência da atividade de vórtices e meandros relatados em diversos estudos (CAMPAGNA et al., 2006; CHELTON et al., 1990). De acordo com Karabashev & Evdoshenko (2018) a atividade de mesoescala na região ocorre pela interação entre as correntes, e influência do talude e do efeito de ilhas oceânicas sobre a CM. Desse modo, os vórtices ciclônicos aumentam a produtividade na região (ANGEL-BENAVIDES et al., 2016), assim como a influência da Pluma estuarina

do Rio da Prata (CARRETO et al., 2016), e o aumento que ocorre na primavera (ODEBRECHT & CASTELLO, 2001).

De maneira geral, a biogeoquímica e a produtividade primária nos oceanos são afetadas pela atividade dos vórtices (DAI et al., 2020; ZHANG et al., 2020; ZHAO et al., 2021). Em algumas regiões elevam em até três vezes as concentrações da produtividade local (CHEN et al., 2007), por meio da fertilização das águas em regiões limitadas por nutrientes, contribuindo para o desenvolvimento do fitoplâncton pelo aumento da exposição do fitoplâncton à luz (fator limitante) (KARABASHEV & EVDOSHENKO, 2018). Nesses casos, os vórtices interferem na disponibilidade de nutrientes que podem aumentar a biomassa fitoplanctônica, favorecendo o domínio de grupos ou espécies específicas, levando a uma redução na diversidade local (CHEN et al., 2007). Outros estudos mostram que dependendo das características dos vórtices, estes podem reduzir a produtividade primária das regiões pela redução nutricional dentro da feição (THOMPSON, PESANT & WAITE, 2007).

Por fim, os estudos na CBM avaliam a biomassa dos organismos por meio da clorofila *a* (GARCIA et al., 2004; ANGEL-BENAVIDES et al., 2016), dessa forma, são necessários estudos com enfoque na biomassa em carbono para a região, que são fundamentais para a compreensão sobre a bomba biológica de carbono nos ecossistemas marinhos e monitoramento do fitoplâncton (JAKOBSEN et al., 2015).

Diante deste panorama, o presente estudo verificou os padrões de distribuição e diversidade da comunidade fitoplanctônica durante a primavera na região da confluência Brasil-Malvinas (CBM) e determinou os efeitos dos vórtices sobre essa comunidade, a partir da hipótese de que o bombeamento vortical promove o aumento da biomassa fitoplanctônica na CBM, alterando a diversidade de espécies.

5.4- MATERIAIS E MÉTODOS

5.4.1- Descrição de área

No Oceano Atlântico Sul, ao longo da margem ocidental da bacia Argentina o encontro entre a Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM) forma uma forte frente térmica denominada como “Confluência Brasil-Malvinas”, geralmente, próximo à latitude 38° S (GORDON & GREENGROVE,

1986; GU et al., 2019). Essas correntes fluem em direções opostas, e convergem entre si, posteriormente, ambas são desviadas da margem continental e fluem para sudeste em forma de vórtices e meandros (GORDON, 1989; CHIESSI et al., 2007).

A Corrente do Brasil tem origem subtropical (TELESCA et al., 2018), é formada na latitude 10° S a partir da bifurcação da Corrente Sul equatorial, caracterizada por uma forte termoclina (até cerca de 500m de profundidade) (GARZOLI & GARRAFFO, 1989), águas quentes, salinas e com baixas concentrações de nutrientes e oxigênio, a qual é direcionada para sul (CHIESSI et al., 2007; ORÚE-ECHEVARRÍA et al., 2021). Essa corrente se encontra com a CM, que é um ramo da corrente circumpolar antártica, de características frias, rica em nutrientes (VALIADI et al., 2014; TELESCA et al., 2018; ORÚE-ECHEVARRÍA et al., 2021) e perfil vertical homogêneo (GARZOLI & GARRAFFO, 1989).

Nessa confluência, uma estrutura termohalina vertical complexa é formada pela intercalação de massas d'águas, com valores distintos de temperatura e salinidade (BIANCHI et al., 2002), promovendo variações na temperatura superficial (7 a 18 ° C) e salinidade (33,6 a 36,0) (GORDON, 1989). Além disso, a intensa atividade de vórtices assim como o aporte de nutrientes do estuário do Rio da Prata e da Lagoa de patos (ODEBRECHT & CASTELLO, 2001; GARCIA et al., 2004), contribuem para a fertilização das águas, e conseqüentemente com o aumento da produtividade primária local (BARLOW et al., 2002; ANGEL-BENAVIDES et al., 2016).

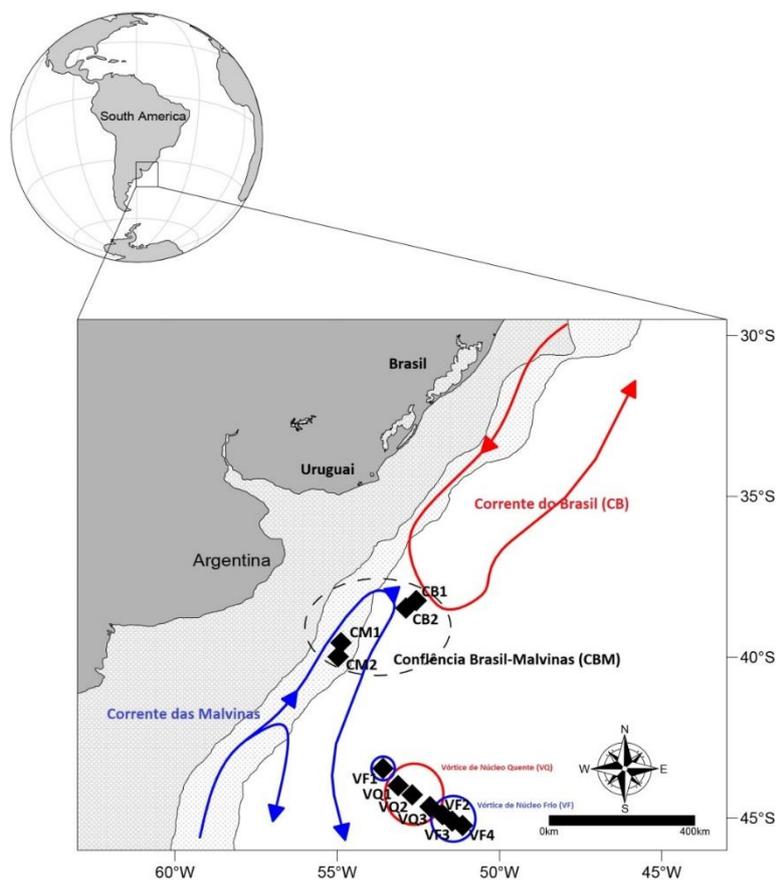
5.4.2- Estratégia amostral

O presente estudo foi desenvolvido a bordo do Navio Polar Almirante Maximiano. As coletas foram realizadas na confluência Brasil-Malvinas (faixa de latitude 38° S - 45° S), durante o período de primavera (Outubro de 2019). Um total de 11 estações amostrais (Tabela 1 e Figura 1) foi estabelecido *in situ* em duas áreas da CBM, a primeira sem a influência de vórtices e a segunda sob a influência destes.

Na primeira área, foram realizadas amostragens em 4 pontos de coleta (CB1, CB2, CM1 e CM2), enquanto na segunda área foram coletados em 7 pontos, sendo 3 destes em um vórtice de núcleo quente (VQ) (VQ1, VQ2 e VQ4),

e 4 em um vórtice de núcleo frio (VF) (VF1, VF2, VF3 e VF4). Para todas as estações, as amostragens foram realizadas em duas profundidades, na superfície (~2m) e na Profundidade de Máxima Clorofila (PMC).

Figura 1: Distribuição dos pontos amostrais em cada região.



Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão.

5.4.3- Variáveis ambientais

Os valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidade e condutividade (ms cm^{-1}) foram determinados por meio da perfilagem vertical com CTD. A transparência da água foi verificada *in situ* por meio do desaparecimento do disco de Secchi. Amostras de água coletadas com garrafas de Niskin foram utilizadas para as análises de nutrientes e oxigênio dissolvido (mg L^{-1}). As concentrações de oxigênio dissolvido foram determinadas pelo método de Winkler modificado (descrito em STRICKLAND & PARSONS, 1972). Os valores de nitrito foram obtidos pelo método de Strickland & Parsons (1972), e as concentrações de fosfato pelo método colorimétrico padrão de Grasshoff et al. (1983).

5.4.4- Comunidade fitoplanctônica

Em cada profundidade (superfície e PMC) a comunidade fitoplanctônica foi coletada em garrafas de Niskin. Após a coleta, dois litros de amostras foram concentradas em membranas de 5 μm (sem uso de bomba para não danificar as células fitoplanctônicas), e acondicionadas em frascos escuros (60 mL), com água filtrada (0,45 μm), e fixadas em lugol (2%). Em laboratório as amostras foram identificadas por literatura especializada (CUPP, 1943, HUSTEDT, 1961-1966; SOURNIA, 1967; BALECH, 1988; CHRÉTIENNOT-DINET et al., 1990; SILVA-CUNHA & ESKINAZI-LEÇA, 1990; TOMAS, 1996; BÉRARD-THERRIault et al., 1999; HOPPENRATH et al., 2009) e analisadas pela metodologia de Utermöhl (1958) para a determinação da densidade celular (Cel.L^{-1}) (FERRARIO et al., 1995), por meio da contagem de um transecto em câmaras de sedimentação de 50 mL, sob microscópio invertido Axiovert 40 C - Carl Zeiss em 450X (HASLE, 1978; EDLER, 1979).

O número de taxóons por amostras foi considerado como a riqueza. A abundância relativa dos organismos fitoplanctônicos foi estimada e classificada em: Dominante, Abundante e Raro (LOBO & LEIGHTON, 1986), assim como a Frequência de Ocorrência dos organismos em: MF- Muito Frequente (>70%), F- Frequente (70 - 40%), PF- Pouco Frequente (40 - 20%) e E- Esporádica (<20%) (adaptado de MATEUCCI & COLMA, 1982). De acordo com Pielou (1975) e Shannon (1948), a uniformidade (J') e o Índice de Diversidade Específica (H') foram calculados. Posteriormente, os pontos amostrais foram classificados em Alta (5 - 2,5 bits.cel^{-1}), Baixa (2,5 - 1 bit.cel^{-1}) e Muito Baixa diversidade (<1 bit.cel^{-1}) (MARGALEF, 1978).

Para o cálculo do biovolume celular ($\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$) foi utilizado as seis espécies mais representativas em abundância relativa (Dominante e Abundante) e frequência de ocorrência (Muito Frequente e Frequente) não formadoras de colônias, conforme as fórmulas específicas para cada forma geométrica, a partir das dimensões lineares (medições microscópicas) das espécies fitoplanctônicas (HILLEBRAND et al., 1999; SUN & LIU, 2003; VADRUCI; CABRINI & BASSET, 2007) e posteriormente convertidos em biomassa em carbono (pgC.L^{-1}). Vale ressaltar que vinte células de cada espécie na Corrente do Brasil (CB), Corrente

das Malvinas (CM) e Vórtice Frio (VF) foram medidas para a obtenção da média do biovolume celular ($\text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$) e biomassa.

5.4.5- Análise de dados

A riqueza de espécies foi transformada em raiz quarta e submetidas a uma análise de cluster com índice de dissimilaridade de Bray-Curtis no programa estatístico PRIMER 6 (Version 6.1.6). Uma ANOVA de um fator foi aplicada para testar diferenças entre os valores de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, nitrito, densidade, biomassa em carbono e tamanho celular. Os dados foram previamente testados quanto a normalidade e homocedasticidade no programa estatístico Sigmaplot. Além disso, uma Ind.Val (Indicator Value) foi realizada para selecionar as espécies indicadoras (profundidades e regiões), e uma Análise de Correspondência Canônica (ACC) foi gerada por meio das espécies dominantes e abundantes (ocorrência maior do que o valor médio dos indivíduos da amostra) em cada área e variáveis ambientais (temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, fosfato, nitrito). Todas as análises foram realizadas no R, utilizando o pacote Vegan.

5.5- RESULTADOS

5.5.1- Fatores abióticos

A corrente do Brasil foi caracterizada por elevados valores de temperatura e teores de salinidade (média de $15,91^{\circ}\text{C}$ e $35,00$) e baixa concentração de oxigênio dissolvido ($5,54$ a $5,60 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$) (Tabela 1). Em contrapartida, a corrente das Malvinas apresentou os menores valores de temperatura ($6,37^{\circ}\text{C}$) e salinidade ($34,08$) e elevadas concentrações de oxigênio dissolvido ($6,83$ a $6,97 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$). Essa corrente também apresentou os maiores teores de fosfato (acima de $0,95 \mu\text{mol L}^{-1}$) em comparação as regiões quentes (CB e VQ) (ANOVA; $p > 0,05$), especialmente na superfície. A PMC da CM também registrou teores elevados de nitrito ($0,26$ e $0,32 \mu\text{mol L}^{-1}$).

Tabela 1: Parâmetros ambientais avaliados em cada estação analisada.

Região	Corrente do Brasil				Corrente das Malvinas				Vórtice de Núcleo Frio								Vórtice de Núcleo quente					
Ponto	CB1		CB2		CM1		CM2		VF1		VF2		VF3		VF4		VQ1		VQ2		VQ3	
Profundidade	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	
Latitude	38°13'436' S		38°27'436' S		39°32'877' S		39°58'973' S		43°26'491' S		44°52'707' S		45°04'060' S		45°12'869' S		43°58'114' S		44°15'917' S		44°37'3 S	
Longitude	52°34'361' W		52°53'460' W		54°23'460' W		54°59'702' W		53°36'732' W		51°46'273' W		51°28'846' W		51°09'030' W		53°08'806' W		52°42'270' W		52°09'3 W	
Temperatura (°C)	16,83	15,64	15,66	15,51	6,67	6,11	6,79	5,9	9,71	9,48	9,71	9,49	8,02	7,77	9,94	10,28	14,19	14,19	14,11	14,11	11,77	
Salinidade	33,25	35,59	35,59	35,56	34,09	34,08	34,07	34,08	34,11	34,14	34,62	34,63	34,26	34,28	34,72	34,81	35,67	35,67	35,64	35,64	34,72	
Oxigênio Dissolvido (ml.L ⁻¹)	5,54	5,59	5,59	5,6	6,85	6,94	6,83	6,97	6,39	6,42	6,37	6,4	6,63	6,67	6,33	6,28	5,75	5,75	5,76	5,76	6,08	
Fosfato (µmol L ⁻¹)	0,309781	0,63603	0,645842	0,1853896	1,136442	0,957373	1,165878	1,163425	0,73415	0,8568	0,932843	1,379289	0,989262	0	0,670372	0,761133	0,173149	0,704714	0,689996	0,737697	0,6703	
Nitrito (µmol L ⁻¹)	0,2801096	0,234644	0,508474	0,2990536	0,2592712	0,2649544	0,225172	0,3255752	0,2554824	0,2081224	0,3217864	0,4865992	0,2801096	0,4013512	0,300948	0,3217864	0,2270664	0,2573768	0,2024392	0,1550792	0,23085	

Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

Entre os vórtices, a média dos valores de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido no VQ foram 13,68°C, 35,48 e 5,82 ml.L⁻¹, respectivamente. Em direção ao centro da feição houve o aumento de fosfato entre 0,68 µmol L⁻¹ (V4-SUP) e 0,73 µmol L⁻¹ (V4-PMC), e redução de nitrito em 0,20 µmol L⁻¹ (V4-SUP) e 0,15 µmol L⁻¹ (V4-PMC). Entretanto, o VF exibiu valores médios de temperatura e salinidade de 9,30°C e 34,45, respectivamente. Assim como a CM, esse vórtice apresentou concentrações de oxigênio dissolvido entre 6,28 e 6,67 ml.L⁻¹.

Por fim, a CB diferenciou da CM e VF, assim como o VQ foi distinto da CM, quanto aos valores de temperatura, oxigênio dissolvido e fosfato (ANOVA; p<0,05). A salinidade apresentou diferenças apenas entre a CB e CM, enquanto que os valores de nitrito não foram significativamente diferentes entre as regiões (ANOVA; p>0,05).

5.5.2- Comunidade fitoplanctônica

Foram identificados sessenta e dois táxons, com destaque para o filo Bacillariophyta (32 spp. = 52%), seguido por Miozoa (25 spp. = 40%), Ochrophyta (3 spp. = 5%) e Haptophyta (2 spp. = 3%) (Tabela 2). Dentre as espécies identificadas, apenas 13% foram consideradas muito frequentes (MF), as diatomáceas penadas *Fragilariopsis kerguelensis* (O'Meara) Hustedt, *Nitzschia longissima* (Brébisson) Ralfs e *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky; a cêntrica *Minidiscus* sp., e os dinoflagelados *Azadinium* sp., *Karlodinium* sp., *Prorocentrum dentatum* F.Stein e *Oxytoxum gracile* Schiller (Tabela 2 e Figura 2). A comunidade também foi constituída por espécies Frequentes (16%), Pouco frequentes (39%) e Esporádicas (32%).

Tabela 2: Lista de espécies fitoplanctônicas identificadas com base na frequência de ocorrência (F.O) e abundância relativa.

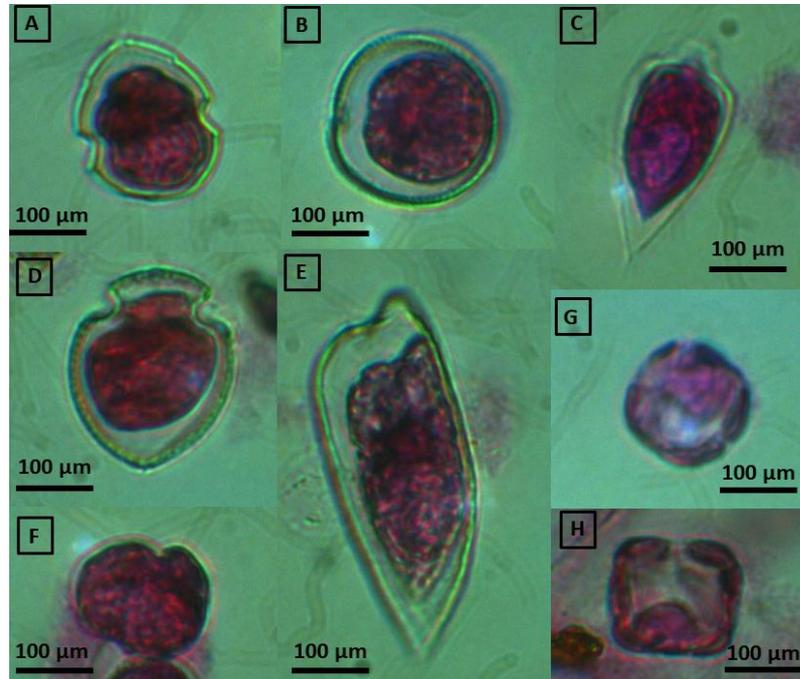
Espécies	F.O	CB1		CB2		CM1		CM2		VF1		VF2		VF3		VF4		VQ1		VQ2		VQ3
		SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP	PMC	SUP
<i>Asterolampra marylandica</i>	E							0.07	0.04													
<i>Asteromphalus sarcophagus</i>	PF		3.01	0.25	0.30																	
<i>Cerataulina pelagica</i>	E		0.11		0.24																	
<i>Chaetoceros dichæta</i>	PF					0.28	1.91	1.04	1.12			0.09					0.69					
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	PF					0.28	0.16		0.09					0.05								
<i>Corethron pennatum</i>	F					0.70	0.96	0.35	0.35	0.25	0.33	0.15	0.09	0.06		0.19					2.63	
<i>Coscinodiscus sp.</i>	PF		0.11			0.28		0.21	0.04			0.07									0.62	
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	PF			0.13							0.16						11.32				2.60	
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	PF						0.04				0.15		0.12									
<i>Ditylum brightwellii</i>	E																			0.31	1.30	
<i>Eucampia Antarctica</i>	E							0.42	0.22													
<i>Fragilariopsis kerguelensis</i>	MF		0.89			6.01	3.82	8.21	8.16		0.66	5.38	6.17	5.75	13.86	2.95	0.83	11.32	4.01		6.49	2.11
<i>Hemiaulus sinensis</i>	E	1.15			0.25																	
<i>Leptocylindrus minimus</i>	PF						0.40	0.28	0.13											0.62	1.30	
<i>Membraneis cf. challengerii</i>	PF					0.14	0.08	0.28	0.22													
<i>Minidiscus sp.</i>	MF	2.87	1.00	8.25	5.81	46.37	14.97	70.24	58.72	94.99	94.57	10.47	18.71	0.75	1.62	4.16	6.60	52.83	7.10	44.74	25.97	89.85
<i>Navicula sp.</i>	PF						0.08	1.46	0.91													
<i>Nitzschia longissima</i>	MF			0.13	0.06	1.68	1.35	2.92	3.32			0.37	0.28	0.12	0.05	1.01	0.28	1.89	0.62		1.30	
<i>Nitzschia sp.</i>	PF	1.15	2.23	1.00	2.30						0.49									0.93	1.30	
<i>Planktoniella sol</i>	PF																	7.55	1.23		2.60	
<i>Podosira sp.</i>	F					0.14						0.15	1.59	0.06	0.27	0.05	0.55		0.93		1.30	
<i>Porosira glacialis</i>	F					5.31	2.79		1.64		0.16	0.74	0.19	0.12	0.32	0.43	0.28					
<i>Proboscia alata</i>	E						0.12							0.05								
<i>Pseudo-nitzschia cf. pungen</i>	PF					31.01	57.64	6.95	21.20			0.19				0.83		0.62			1.30	

<i>Pseudo-nitzschia cf. delicatissima</i>	F	0.57	1.34				1.53	0.39		0.15	0.19	0.19	0.27	0.24	0.55							
<i>Rhizosolenia hebetata f. semispina</i>	E							0.50												5.26		
<i>Rhizosolenia imbricata var. minuta</i>	PF					0.24	0.13	0.50				0.31	0.05	0.05						5.26		
<i>Rhizosolenia setigera</i>	PF			0.14	0.12				0.07		0.31		0.05									
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	PF				0.16	0.90	0.39															
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	MF			0.12	0.56	0.32	0.56	0.09	0.50	0.16	0.74	0.75	0.19	0.43	0.41					5.26	1.30	0.42
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	E	0.11					0.04															
<i>Thalassiosira gravida</i>	F				0.56	1.18	0.91	0.50	0.16	1.84	1.78		1.08	1.30	3.85		3.70	5.26	5.19			
Total:		5.75	8.81	10.00	8.83	92.88	85.71	96.59	98.10	97.24	96.71	20.28	30.03	8.00	17.64	10.87	14.86	84.91	20.68	68.42	51.95	92.39
MIOZOA																						
<i>Amphisolenia globifera</i>	E																				0.31	
<i>Azadinium sp.</i>	MF	5.17		3.00	11.25		2.23		1.00	0.66	12.83	18.15	14.74	14.56	14.11	27.79	3.77	16.36	10.53	9.09	2.96	
<i>Corythodinium tessellatum</i>	E																				0.31	
<i>Gymnodinium sp.</i>	E					0.40																
<i>Gonyaulax scrippsae</i>	F				0.14	0.16	0.21	0.13		0.29	0.19	0.87	1.08	0.14	1.24							
<i>Karlodinium sp.</i>	MF	69.54	48.83	41.75	54.93		3.58		0.50	0.33	45.13	23.76	53.34	10.57	66.31	20.36		40.74	5.26	10.39		
<i>Oxytoxum graciles</i>	MF	0.57	21.07	0.75		1.26	1.11			8.26	10.48	5.87	35.06	3.48	9.90	5.66	12.65			2.60	1.90	
<i>Oxytoxum Laticeps</i>	F	5.17		0.13		1.26	0.08			3.39	3.37	6.50	4.21	0.58	6.05							
<i>Phalacroma rotundatum</i>	PF						0.21	0.04							0.14							
<i>Prorocentrum dentatum</i>	Mf	10.34	20.51	37.75	13.91				0.50	0.16	0.15	0.84	0.19	0.05	0.24	0.96	5.66	0.62	7.89	3.90	0.21	
<i>Prorocentrum minimum</i>	F	3.45		6.50	9.92		1.04			1.81	9.59	12.54	9.62	15.86	3.87	17.61		0.93		5.19	2.11	
<i>Protoperidinium bipes</i>	PF			0.13	0.30			1.53	0.04													
<i>Protoperidinium brevipes</i>	E							0.13														
<i>Protoperidinium divergens</i>	E						0.14				0.09											
<i>Protoperidinium mite</i>	E					0.04		0.09														
<i>Protoperidinium oceanicum</i>	E						0.07	0.04														
<i>Protoperidinium sp.</i>	F		0.45		0.06	1.96	0.64		0.47			0.09	0.37	0.05	0.19	0.28		1.54		1.30		
<i>Protoperidinium steinii</i>	E									0.16												
<i>Protoperidinium subinermis</i>	E														0.28							

<i>Scrippsiella trochoidea</i>	PF	0.11	0.36	1.26				0.47														
<i>Tripos fusus</i>	PF			0.14										0.05	0.14							
<i>Tripos horridum</i>	PF								0.25	0.16	0.07								2.63	0.42		
<i>Tripos lineatus</i>	PF			1.12	0.16	0.70	0.04												0.62	1.30		
<i>Tripos minutus</i>	PF												0.44	0.92	0.10	0.14						
<i>Tripos muelleri</i>	E														0.19							
Total:		94.25	90.97	90.00	90.74	7.12	9.43	2.85	1.47	2.26	3.29	79.72	69.69	91.94	82.36	89.08	84.87	15.09	74.07	26.32	33.77	7.61
HAPTOPHYTA																						
<i>Emiliana huxleyi</i>	E																				0.17	
<i>Phaeocystis antarctica</i>	PF						3.98		0.17												1.30	
Total:		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.98	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00
OCHROPHYTA																						
<i>Dictyocha fibula</i>	F	0.11		0.24		0.48	0.07		0.25			0.09	0.06		0.05	0.28		4.94	2.63	11.69		
<i>Octactis speculum</i>	PF			0.18		0.40	0.49	0.09	0.25			0.19							2.63	1.30		
<i>Octacys octonária</i>	E	0.11																			0.31	
Total:		0	0.22	0	0.42	0	0.88	0.56	0.09	0.50	0	0	0.28	0.06	0	0.05	0.28	0	5.25	5.26	12.99	0
Riqueza (S)		10	15	13	15	20	31	24	32	12	14	20	23	21	19	22	23	8	22	12	22	8
Riqueza (S) por região			24				45						38							30		
Equitabilidade (J')		0,50	0,52	0,53	0,53	0,52	0,49	0,40	0,40	0,12	0,12	0,60	0,66	0,52	0,63	0,41	0,66	0,74	0,65	0,78	0,83	0,23
Diversidade: H'(LOG2)		1,69	2,03	1,97	2,08	2,25	2,45	1,87	2,02	0,45	0,47	2,61	3,00	2,28	2,69	1,86	3,01	2,23	2,91	2,82	3,70	0,71

Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

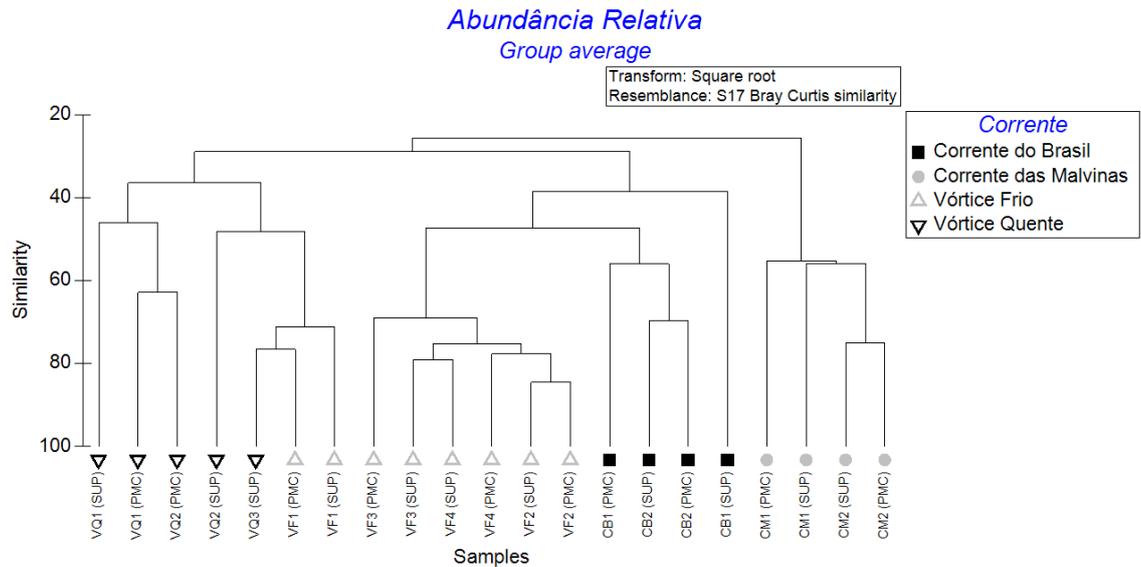
Figura 2: Espécies Muito frequentes e Frequentes nas áreas estudadas. A- *Azadinium* sp., B- *Prorocentrum minimum* (Pavillard) J.Schiller, C- *Oxytoxum graciles* Schiller, D- *Oxytoxum laticeps* J.Schiller, E- *Prorocentrum dentatum* F.Stein, F- *Karlodinium* sp., G e H- *Minidiscus* sp.



Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

As amostras foram separadas em quatro grupos (CB, CM, VQ e VF) conforme o cluster de similaridade de Bray-Curtis (Figura 3). Com base na riqueza de espécies, foi possível verificar que a CM se diferenciou das regiões CB (ANOVA; $p= 0,008$) e VQ (ANOVA; $p= 0,010$). Associado a isso, não foram verificadas diferenças quando comparado a CB com VQ (ANOVA; $p= 0,986$); CM e VF (ANOVA; $p= 0,113$) e entre os vórtices (ANOVA; $p= 0,366$). O Indicator Value (Ind.Val) identificou dezenove espécies indicadoras da PMC, CB, CM, VQ e regiões frias (Corrente das Malvinas e Vórtice de Núcleo Frio) (Tabela 3).

Figura 3: Cluster de similaridade de Bray-Curtis.



Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

A diversidade de espécies foi classificada como baixa na CB (entre 1,69 – 2,08 bits.cel⁻¹) e na CM (entre 1,87 e 2,45 bits.cel⁻¹). No entanto, valores mais elevados de diversidade foram verificados dentro dos vórtices, com exceção para alguns pontos distribuídos nas bordas das feições (Tabela 2).

Tabela 3: Lista de espécies indicadoras da PMC, Corrente do Brasil, Corrente das Malvinas e Regiões Frias (Corrente das Malvinas e Vórtice Frio) com percentual (%) e valor de significância da ind.Val (p).

Espécies	%	P	Indicação
<i>Dictyocha fibula</i>	79	0.045	PMC
<i>Protoperdinium</i> sp.	77	0.050	PMC
<i>Nitzschia</i> sp.	96	0.010	Corrente do Brasil
<i>Asteromphalus sarcophagus</i>	86	0.015	Corrente do Brasil
<i>Membraneis</i> cf. <i>challengeri</i>	100	0.005	Corrente das Malvinas
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	99	0.005	Corrente das Malvinas
<i>Chaetoceros dichaeta</i>	98	0.005	Corrente das Malvinas
<i>Tripes lineatus</i>	95	0.005	Corrente das Malvinas
<i>Nitzschia longissima</i>	93	0.020	Corrente das Malvinas
<i>Corethron pennatum</i>	93	0.005	Corrente das Malvinas
<i>Navicula</i> sp.	86	0.005	Corrente das Malvinas
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	86	0.005	Corrente das Malvinas
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	84	0.005	Corrente das Malvinas
<i>Leptocylindrus minimus</i>	81	0.015	Corrente das Malvinas
<i>Phalacroma rotundatum</i>	66	0.035	Corrente das Malvinas
<i>Planktoniella sol</i>	77	0.03	Vórtice Quente
<i>Fragilariopsis kerguelensis</i>	93	0.015	Regiões Frias

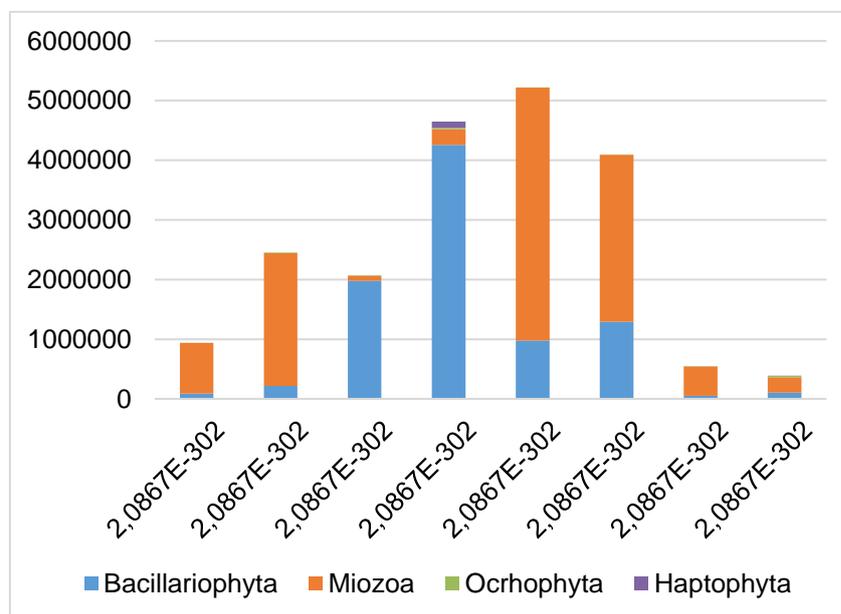
<i>Gonyaulax scrippsae</i>	91	0.010	Regiões Frias
<i>Porosira glacialis</i>	91	0.005	Regiões Frias

Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

5.5.3- Densidade Celular, Abundância Relativa e Biomassa em Carbono.

A densidade celular na área estudada variou de 928×10^5 cel/L (VQ) a 93.213×10^5 cel/L (VF). De acordo com os valores de densidade de cada filo por profundidade, os dinoflagelados foram mais representativos na CB e nos vórtices (superfície e PMC), e as diatomáceas na CM (superfície e PMC) (Figura 4 e 5). O filo Ochrophyta ocorreu na PMC do VQ, assim com, o filo Haptophyta foi exclusivo da PMC da CM. A densidade dos organismos foi reduzida significativamente no vórtice quente em comparação com a CBM (CB e CM) (ANOVA; $p < 0,02$) (Figura 2), e o vórtice frio apresentou os valores mais elevados, porém não foram observadas diferenças significativas (ANOVA; $p > 0,05$). Assim como, não foi significativo entre as superfícies e PMC's estudadas (ANOVA; $p > 0,05$).

Figura 4: Densidade celular ($\times 10^5$ cel/L) por cada filo na superfície e PMC da Corrente do Brasil, Corrente das Malvinas, Vórtice Quente e Frio.

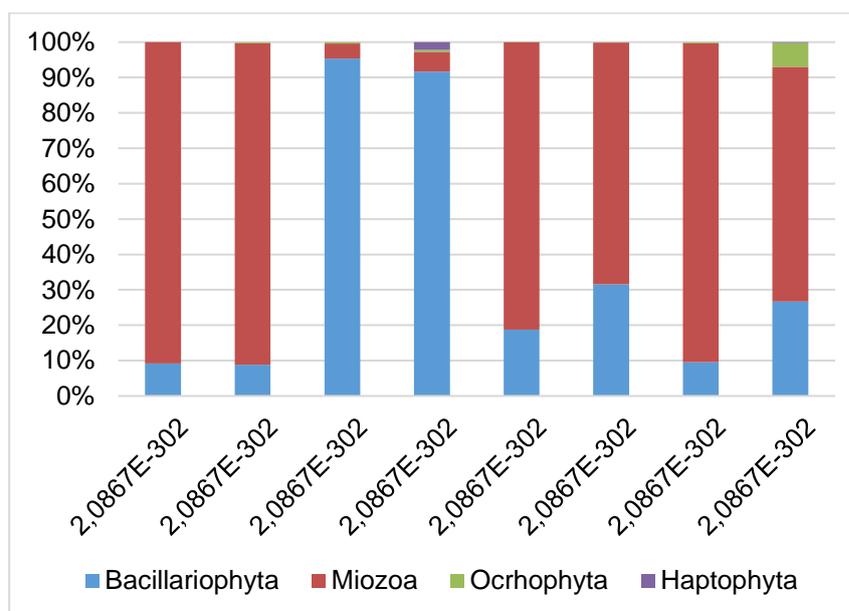


Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

Na Corrente do Brasil os maiores valores de densidade foram de *Karlodinium* sp. (17.377×10^5 cel/L), *P. dentatum* (7.065×10^5 cel/L), *P. minimum* (2.137×10^5 cel/L), *Azadinium* sp. (2.108×10^5 cel/L), *O. graciles* (1.886×10^5 cel/L) e *Minidiscus* sp. (1.694×10^5 cel/L). As diatomáceas *Minidiscus* sp. (29.630×10^5 cel/L); *Pseudo-*

nitzschia cf. pungens (Grunow ex Cleve) Hasle (21.765×10^5 cel/L) *F. kerguelensis* (4.293×10^5 cel/L) e *Porosira glacialis* (Grunow) Jørgensen (1.405×10^5 cel/L) em associação com a haptophyta *Phaeocystis cf. globosa* Scherffel (1.001×10^5 cel/L) apresentaram os maiores valores na CM.

Figura 5: Densidade dos filos por amostras, representada em percentual (%).



Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

No vórtice frio, *Minidiscus* sp. (14.170×10^5 cel/L) *Azadinium* sp. (13.246×10^5 cel/L), *O. graciles* (10.704×10^5 cel/L), *P. minimum* (8.962×10^5 cel/L) e *Karlodinium* sp. (1.78×10^8 cel/L) foram as espécies com os maiores valores de densidade celular, enquanto que *Minidiscus* sp. (4.938×10^5 cel/L) e *Karlodinium* sp. (1.366×10^5 cel/L) foram os mais representativos no vórtice quente.

Em comparação com a CBM (CB e CM), a densidade individual das espécies foi alterada. As condições do VF promoveram as maiores densidades celulares para *Azadinium* sp., *F. kerguelensis*, *Gonyaulax scrippsae* Kofoid, *O. laticeps*, *T. nitzschioides*, *Thalassiosira gravida* Cleve, *O. graciles* e *P. minimum*. enquanto que as condições do VQ foram favoráveis para *Azadinium* e *Dictyocha fíbula* Ehrenberg (Tabela 4).

A abundância relativa seguiu o mesmo padrão da densidade com maior abundância dos dinoflagelados na CB, VF e na PMC do VQ, e as diatomáceas na CM (Figura 6). Entretanto na superfície do VQ mesmo apresentando altas densidades de

dinoflagelados, as diatomáceas foram abundantes em consequência ao domínio de *Minidiscus* sp. (40×10^5 cel/L = 89,85%) na borda do vórtice.

Tabela 4: Densidade total ($\times 10^5$ cel/L) dos organismos presentes na CBM (CB e CM) e nos Vórtices quente (VQ) e Vórtice frio (VF) e frequência de ocorrência (F.O.). Os valores destacados em vermelho e negrito representam redução e aumento de densidade, respectivamente, em comparação a CBM.

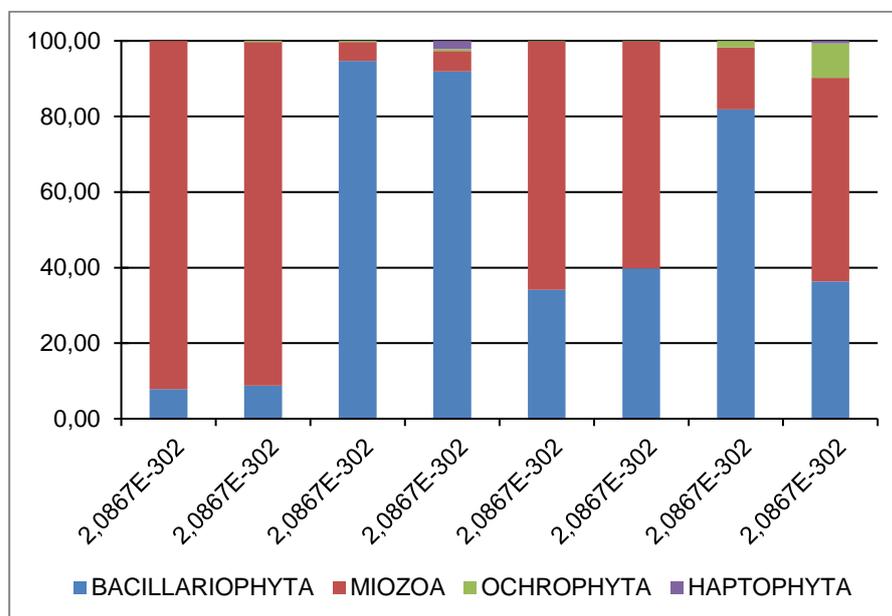
Espécies	F.O	CBM	VQ	VF
<i>Azadinium</i> sp.	MF	26	77	13246
<i>Chaetoceros dichæta</i>	PF	876	0	58
<i>Corethron pennatum</i>	F	404	10	106
<i>Dictyocha fíbula</i>	F	173	250	58
<i>Nitzschia</i> sp.	PF	646	39	29
<i>Fragilariopsis kerguelensis</i>	MF	4370	327	5381
<i>Gonyaulax scrippsae</i>	F	106	0	501
<i>Oxytoxum laticeps</i>	F	202	0	308
<i>Leptocylindrus minimus</i>	PF	164	29	0
<i>Minidiscus</i> sp.	MF	31324	4938	14170
<i>Nitzschia longissima</i>	MF	1607	39	327
<i>Phaeocystis antarctica</i>	PF	1001	10	0
<i>Porosira glacialis</i>	F	1405	0	308
<i>Prorocentrum dentatum</i>	MF	7065	116	29
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	PF	21765	116	29
<i>Pseudo-nitzschia</i> Sp.1	F	424	0	202
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	MF	231	5	347
<i>Thalassiosira gravida</i>	F	500	173	1174
<i>Tripos lineatus</i>	F	221	29	0
<i>Octactis speculum</i>	PF	212	19	29
<i>Oxytoxum graciles</i>	MF	2242	53	10704
<i>Prorocentrum minimum</i>	F	2387	164	8962
<i>Karlodinium</i> sp.	MF	18203	1366	3311

Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

O tamanho celular foi estimado apenas na CB, CM e VF, não sendo considerado o VQ pela baixa concentração de organismos Dominantes, Abundantes, Muito frequentes e Frequentes. O tamanho das células de *Karlodinium* sp.; *P. dentatum* e *O. graciles* foi significativamente maior na CM em relação a CB (ANOVA; $p < 0,05$). Esses organismos tiveram o tamanho celular reduzido no vórtice frio, semelhante ao tamanho celular da CB (ANOVA; $p > 0,05$). As células de *Azadinium* sp. foram significativamente menores no VF em comparação ao tamanho celular da CBM (ANOVA; $p < 0,05$). Em contrapartida, as células de *Minidiscus* sp. foram

significativamente maiores no VF em comparação aos organismos da CBM (ANOVA; $p < 0,05$).

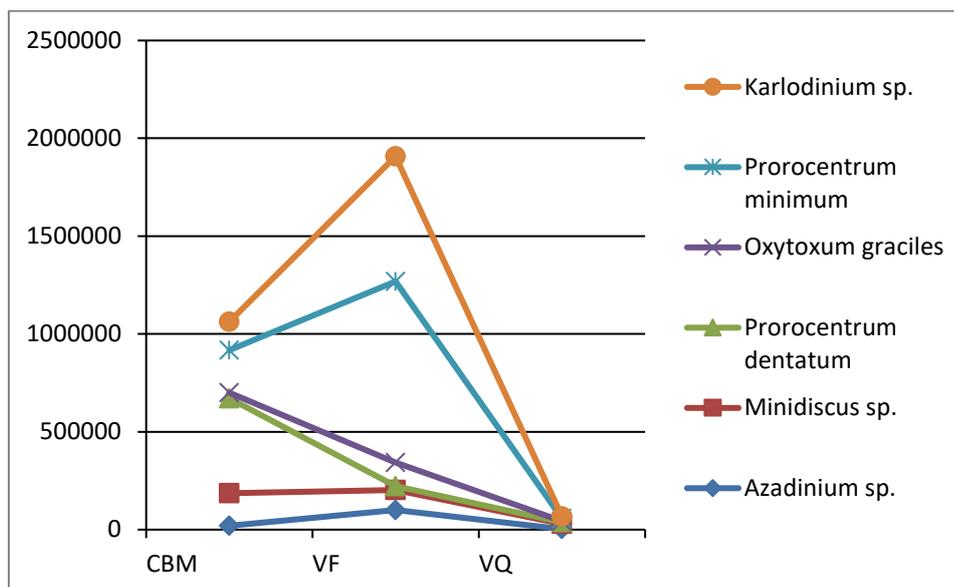
Figura 6: Abundância relativa dos filos (%).



Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

A biomassa em carbono das espécies mais representativas no VQ foi estimada pelo biovolume da CB, visto que as regiões são similares de acordo com o cluster de similaridade de Bray-Curtis. Além disso, a biomassa da CBM (CB e CM) foi utilizada como padrão de comparação para os efeitos dos vórtices. Desse modo, o vórtice quente apresentou os menores valores de biomassa dos organismos, com diferença significativa apenas para *Azadinium* sp. (2.691 pgC.L^{-1}) e *Prorocentrum dentatum* (7.920 pgC.L^{-1}) (ANOVA; $p < 0,05$). As condições do vórtice frio favoreceram alterações, com os maiores valores para as espécies *O. graciles* ($120.270 \text{ pgC.L}^{-1}$), *P. minimum* ($926.039 \text{ pgC.L}^{-1}$), *Karlodinium* sp. ($639.008 \text{ pgC.L}^{-1}$), sendo significativo para *Azadinium* sp. ($100.304 \text{ pgC.L}^{-1}$) (ANOVA; $p < 0,05$), e os menores valores para *Minidiscus* sp. (ANOVA; $p > 0,05$) e *P. dentatum* (ANOVA; $p < 0,05$). Desse modo, *Azadinium* sp. e *P. dentatum* tiveram a biomassa em carbono significativamente influenciada pelos vórtices (Figura 7).

Figura 7: Biomassa em Carbono (pgC.L^{-1}) das espécies Dominantes, Abundantes, Muito Frequentes e Frequentes na Confluência Brasil-Malvinas (CBM), Vórtice Frio (VF) e Vórtice Quente (VQ).



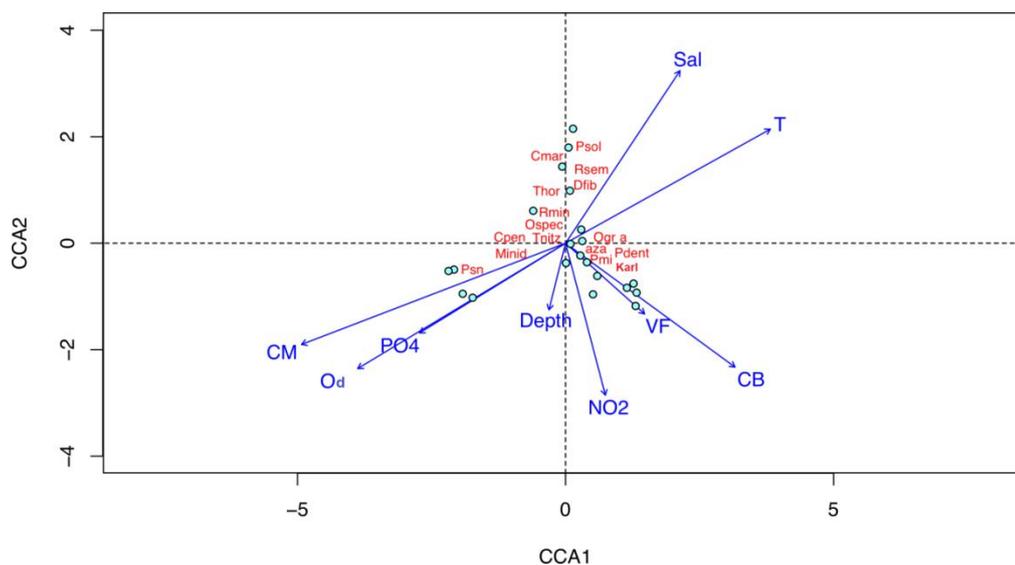
Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

5.5.4- Efeito das variáveis ambientais sobre o fitoplâncton

A análise de correspondência canônica explicou 64% dos fatores analisados. Na componente 1 a Corrente do Brasil (CB) e a Temperatura (T) foram diretamente relacionadas aos dinoflagelados *P. dentatum* (Pdent), *Karlodinium* sp. (Karl), *P. minimum* (Pmi), *Azadinium* sp (Aza). e inversamente relacionadas as espécies *Pseudo-nitzschia* cf. *punges* (Psn), *C. pennatum* (Cpen), *Minidiscus* sp. (Minid), *T. nitzschioide* (Tnitz) e *O. speculum* (Ospec) e aos fatores CM (Corrente das Malvinas), Oxigênio dissolvido (Od) e Fosfato (PO_4). Na componente 2 a salinidade (Sal) foi diretamente relacionada às espécies *P. sol*, *C. marginatus* (Cmar) e *R. hebetata* f. *semispina* (R. sem) (Figura 8).

Figura 8: Análise de Correspondência Canônica entre as espécies mais abundantes: *P. dentatum* (Pdent), *Karlodinium* sp. (Karl), *P. minimum* (Pmi), *Azadinium* sp (Aza), *Pseudo-nitzschia* cf. *punges* (Psn), *C. pennatum* (Cpen), *Minidiscus* sp. (Minid), *T. nitzschioide* (Tnitz) e *O. speculum* (Ospec), espécies *P. sol*, *C. marginatus* (Cmar) e *R. hebetata* f. *semispina* (R. sem), e os fatores ambientais: Salinidade (Sal), Temperatura (T),

Profundidade (Depth), Fosfato (PO₄), Nitrito (NO₂), Oxigênio Dissolvido (Od), Vórtice Frio (VF), Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM).



Fonte: Rafael Henrique de Moura Falcão

5.6- DISCUSSÃO

O presente estudo mostrou o efeito dos vórtices sobre a comunidade fitoplanctônica na CBM. A literatura mostra que os vórtices promovem modificações na composição fitoplanctônica (CHEN et al., 2007). A formação de vórtices ciclônicos e anticiclônicos é conhecida na CBM (GARZOLLI & GARRAFFO, 1989; GARCIA et al., 2004; ANGEL-BENAVIDES et al., 2012; PEZZI et al., 2021), onde os vórtices quentes são formados pela ramificação da extensão sul da CB retendo propriedades físico-químicas dessa corrente (GARZOLLI & GARRAFFO, 1989; PEZZI et al., 2021). Os dados do presente estudo mostram o compartilhamento de espécies entre a CB e o VQ, com essas condições proporcionando a ocorrência de espécies tropicais como *P. sol* e *Corythodinium tessellatum* (BALECH, 1988, SOURNIA, 1968), ambas não identificadas na CBM (amostras da CB e CM).

Nos vórtices anticiclônicos os organismos fitoplanctônicos são aprisionados impedindo a captação de nutrientes provenientes de fontes externas, reduzindo a produtividade e concentrações de clorofila *a* da região (THOMPSON, PESANT & WAITE, 2007). Desse modo, observamos a redução da densidade celular total em 928×10^5 cel/L, principalmente do filo Bacillariophyta na superfície do VQ. Em águas mais quentes a ocorrência de colônias e células individuais de diatomáceas são reduzidas pelo aumento da estratificação e redução do aporte de nutrientes (KENITZ et al., 2020). Esses efeitos foram associados ao VQ que promoveu a redução na densidade

de diatomáceas individuais (*Minidiscus* sp., *N. longissima*) e coloniais (*Pseudo-nitzschia* cf. *pungens*, *T. nitzschioides*, *F. kerguelensis* e *T. rotula*).

Além disso, de acordo com Cotti-Rausch et al. (2016) a biomassa pode ser elevada na borda de vórtices anticiclônicos, quando esse interage com as bordas de vórtices ciclônicos. Em nosso desenho amostral, foi observada uma interação entre a superfície do VQ3 e a borda do vórtice ciclônico (VF2), causando um aumento de densidade total em comparação a superfície dos pontos centrais (VQ1 e VQ2). Esse aumento da biomassa foi verificado como resultado da mudança das condições ambientais, ou seja, a redução da temperatura e salinidade e aumento de oxigênio dissolvido no VQ3.

Diversos estudos apontam que os vórtices frios aumentam a produtividade e concentrações dos organismos fitoplanctônicos nos oceanos, influenciando a teia trófica marinha (BIBBY et al., 2008; BELKIN et al., 2022). No VF da região estudada, a densidade celular total foi elevada sendo equivalente a CBM (soma das densidades totais da CB e CM). As diatomáceas temperadas formadoras de colônias *T. nitzschioides*, *F. kerguelensis* e *T. gravida* foram estimuladas, sendo associado ao caráter frio e turbulento da feição. Geralmente, as diatomáceas formam colônias em situações turbulentas, aumento de nutrientes e predadores (KENITZ et al., 2020; DELL'AQUILA et al., 2017). Em Chen et al. (2007), a abundância de diatomáceas foi elevada pelo VF especialmente, as formas coloniais de *Chaetoceros*, *Thalassionema*, *Nitzschia* e *Bacteriastrum*.

No entanto, os dinoflagelados foram predominantes em densidade celular e abundância relativa, onde *Azadinium* sp., *G. scrippsae*, *O. laticeps*, *O. graciles* e *P. minimum* foram beneficiados pelas condições frias do VF atingindo maiores densidades em relação a CBM. O dinoflagelado autotrófico *O. laticeps* foi registrado pela primeira vez no Atlântico Sul em concentrações máximas de 400 cel/L nas regiões costeiras ao sul da Argentina por Fabro & Almadoz (2021). Durante o nosso estudo, a densidade celular foi elevada, variando de 215×10^5 cel/L (CBM) a 308×10^5 cel/L (VF fora da plataforma), demonstrando que as cargas de nutrientes em VF favorecem o desenvolvimento de espécies autotróficas como *O. laticeps* e *G. scrippsae* (NAIK, HEDGE & ANIL, 2011). Desse modo o aumento de presas autotróficas (diatomáceas e dinoflagelados) acabam por beneficiar as espécies heterotróficas e mixotróficas como *Azadinium* sp., *P. minimum* e *O. graciles* (HANSON et al., 2007; DUHAMEL et al., 2019; NAIK, HEDGE & ANIL, 2011;).

A maior densidade de dinoflagelados no VF confirma que esse tipo de feição suporta a maior abundância desses organismos que por apresentarem elevado valor nutricional beneficiam o zooplâncton e conseqüentemente toda a teia trófica marinha (WAITE et al., 2019; BELKIN et al., 2022). De acordo com Coria-Monter et al. (2014) a maior abundância de dinoflagelados em vórtices frios pode ser explicado pela migração desses organismos para regiões de maior disponibilidade de nutrientes ou pela herbivoria que diminui as populações de diatomáceas.

Os dinoflagelados também foram mais representativos na CB, com destaque para a maior densidade celular, frequência de ocorrência e abundância relativa de *Karlodinium* sp (17.377×10^5 cel/L) e *P. dentatum* (7.065×10^5 cel/L). Segundo Guo et al. (2016), florações de *P. dentatum* superiores a 10^6 cel/L foram quantificadas durante a primavera no estuário Changjiang e estão relacionadas a temperaturas elevadas (18-22 °C). A espécie é capaz de armazenar fosfato e dominar a comunidade fitoplanctônica durante as baixas concentrações desse nutriente (LI et al. 2011).

Foi registrado um domínio de *Karlodinium* sp. em águas com baixos valores de fosfato no sul do Brasil (ISLABÃO et al. 2017). De acordo com Zhuo et al. (2015) a atividade fagotrófica de *Karlodinium verneficum* controla a biomassa de *P. dentatum* e altera o domínio de ambos os organismos. Essas razões explicam a relação positiva na ACC entre *P. dentatum*, *Karlodinium* sp., a CB e os elevados valores de temperatura, enquanto que o aumento de fosfato e diminuição da temperatura na CM e nos vórtices contribuíram para a baixa abundância de *P. dentatum*.

Além disso, a atividade fagotrófica também pode ser deduzida pela maior abundância de *Karlodinium* sp. na PMC de vórtices quentes em comparação a mesma profundidade no vórtice frio, como destacado por Belkin et al. (2022). Esses autores sugerem a fagotrofia da espécie em consequência a limitação de fósforo. Associado a isso, o fosfato apresentou baixas concentrações no VQ. Em contrapartida, no VF *Karlodinium* sp. foi mais abundante na superfície, onde o fosfato foi elevado sugerindo atividade autotrófica confirmando a mixotrófia da espécie (LIN, LITAKER & SUNDA, 2016).

No Atlântico Sul, *A. sarchophagos* foi associado a regiões costeiras, mais quentes e salinas (GONÇALVES-ARAUJO et al., 2012; FERRONATO et al., 2021). Os nossos dados reforçam o caráter tropical da espécie (TOMAS, 1997) que é indicadora da CB dentro da CBM. Outra diatomácea encontrada principalmente em águas tropicais e subtropicais é *P. sol* (SILVA-CUNHA & ESKINAZI-LEÇA, 1990;

SILVA-CUNHA et al., 2019). Sua forma de vida oceânica e preferência por condições subtropicais do VQ a torna indicadora dessas condições. Em contrapartida, as espécies temperadas *C. dichaeta*, *C. peruvianus*, *P. rotundatum*, *T. frauenfeldii* e *T. lineatus* e polares *C. pennatum* e *M. cf. challengerii* (CUPP, 1943; TOMAS, 1997; BALECH, 1988) em associação a *L. minimus*, *Navicula* sp., *N. longissima* e *Pseudo-nitzschia* sp. foram indicadoras da CM. Desse modo, as características físico-químicas das regiões estudadas refletiram em modificações na composição fitoplanctônica e distribuição dessas espécies que apresentam diferentes limites de tolerância ambiental.

O filo Bacillariophyta foi predominante na Corrente das Malvinas (densidade celular e abundância relativa) em co-ocorrência com *Phaeocystis* cf. *globosa* na PMC. Alguns estudos mostram que as diatomáceas e *Phaeocystis* sp. são representativas nas regiões neríticas da CBM banhadas por águas frias e ricas em nutrientes, onde *Phaeocystis* sp. é beneficiada pelas mesmas condições em maiores profundidades como a PMC (GONÇALVES-ARAÚJO et al., 2012; GARCIA et al., 2008 e suas referências).

Um fato interessante em nossos resultados foi que entre as PMC's das regiões analisadas, o vórtice quente promoveu redução sobre a densidade de organismos. A PMC é uma camada de superfície, presente em todos os oceanos, e nos trópicos ela ocorre na base da zona eufótica (CULLEN, 1982). Essa camada dispõe de grandes concentrações de clorofila e espécies fitoplanctônicas, sendo de grande importância ecológica marinha, contribuindo na ciclagem de nutrientes e produção primária, visto que é responsável por até 58% da produtividade em ambientes oligotróficos (WESTON et al., 2005; LATASA et al., 2016; LEACH et al., 2017; DAI et al., 2020).

A PMC é influenciada de maneira oposta de acordo com o tipo de vórtice (CORNEC et al., 2021). Os efeitos dos vórtices de ressurgência (vórtices frios) são restritos a PMC, pelo aumento das concentrações de nutrientes (BIBBY et al., 2008; DAI et al., 2020), porém, os vórtices quentes aumentam a concentração de pigmentos (clorofila) nas células sem elevar a biomassa da comunidade a partir dos processos de fotoaclimação (CORNEC et al., 2021), como indicado pela baixa densidade no VQ do nosso estudo.

Os organismos menores que 20 µm foram os mais representativos em frequência de ocorrência e abundância, como *Azadinium* sp., *Minidiscus* sp., *P. dentatum*, *P. minimum* e *Karlodinium* sp. As florações de *Azadinium* sp. ($> \times 10^6$ cel

/L¹) são frequentes nas águas da Argentina e na Corrente das Malvinas e competem com as células de *Thalassiosira* (AKSELMAN & NEGRI, 2012). Diversos estudos demonstram que essa classe de tamanho é predominante em regiões oligotróficas e exibe baixa taxa de sedimentação, sendo o carbono remineralizado na zona eufótica (MARÑÓN, 2015). No entanto, a CBM é considerada um importante sumidouro de CO₂ atmosférico, potencializado pela influência da Corrente das Malvinas (GARCIA, 2004 e suas referências) que apresentou células maiores de *karlodinium* sp., *Prorocentrum dentatum* e *O. graciles*. As concentrações de CO₂ variam sobre a influência de vórtices (PEZZI et al., 2021).

De acordo com PEZZI et al. (2021) o VQ na CBM é fonte de CO₂ para atmosfera, e conseqüentemente promoveu a menor biomassa em carbono nos organismos do presente estudo. As regiões frias potencializam a absorção de carbono para os oceanos. Nessas condições, o VF proporcionou os maiores valores para os dinoflagelados, com exceção para a *P. dentatum* (influenciado pelas concentrações de fosfato) e a diatomácea *Minidiscus* sp. Desse modo, a nossa hipótese de aumento da biomassa em carbono foi confirmada para o vórtice frio.

Esses dados sugerem a maior contribuição em carbono por organismos menores que 20 µm, que representam baixa eficiência trófica da bomba biológica de carbono, pois as células pequenas tendem a reter uma maior concentração de carbono e são facilmente predadas, enquanto que células maiores são mais densas e menos palatáveis (MARÑÓN, 2015 e suas referências). Por fim, espécies maiores que 20 µm (como *P. glacialis*) apresentaram menores densidades nos vórtices, reforçando o predomínio das células menores. Assim como, o tamanho dos dinoflagelados foi reduzido em áreas de vórtice frio, enquanto que o inverso foi verificado para *Minidiscus* sp. podendo ser relacionado a absorção de sílica nessa região. Portanto, sugerimos mais estudos sobre os parâmetros físico-químicos que alteraram o tamanho celular das espécies na CBM e nos vórtices.

5.7- CONCLUSÃO

O presente estudo mostrou o efeito dos vórtices sobre a comunidade fitoplanctônica na CBM desenvolvendo o aumento da diversidade fitoplanctônica e da densidade celular dos dinoflagelados, assim como, alterações na biomassa em carbono das espécies mais representativas. A Corrente do Brasil e a Corrente das Malvinas foram similares ao vórtice quente e frio, respectivamente, quanto às

condições ambientais e comunidade fitoplanctônica. As diatomáceas foram mais representativas em densidade celular na Corrente das Malvinas. Dezenove espécies foram indicadoras da PMC, CB, CM, VQ e regiões frias (CB e VF). Os organismos <20 µm foram mais abundantes e dominantes nas regiões sugerindo sua contribuição para a biomassa em carbono.

REFERÊNCIAS

AKSELMAN, R; NEGRI, R. M. Blooms of *Azadinium* cf. *spinosum* Elbrächter et Tillmann (Dinophyceae) in northern shelf waters of Argentina, Southwestern Atlantic. **Harmful Algae**, v. 19, p. 30–38, 2012.

ANGEL–BENAVIDES, I. M.; PILO, G. S.; DIAS, F. B.; GARCIA, C. A. Influência de vórtices na concentração de clorofila da confluência Brasil–Malvinas: Mecanismos inferidos por sensoriamento remoto. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 20, n. 1, p. 10–20, 2016.

AQUINO, E. P.; BORGES, G. C.; HONORATO–DA–SILVA, M.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA–CUNHA, M. G. Phytoplankton in a tropical estuary, Northeast Brazil: composition and life forms. **Check List**, v. 11, n. 3, p. 1633–1633, 2015.

BALECH, E. **Los Dinoflagelados del Atlântico Sudoccidental**. Madrid: Instituto Español de Oceanografía, 1988.

BARLOW, R. G.; AIKEN, J.; HOLLIGAN, P. M.; CUMMINGS, D. G.; MARITORENA, S.; HOOKER, S. Phytoplankton pigment and absorption characteristics along meridional transects in the Atlantic Ocean. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 49, p. 637–660, 2002.

BARTON, A. D.; DUTKIEWICZ, S.; FLIERL, G.; BRAGG, J.; FOLLOWS, M. J. Patterns of diversity in marine phytoplankton. **Science**, v. 327, n. 5972, p. 1509–1511, 2010.

BELKIN, N.; GUY-HAIM, T.; RUBIN-BLUM, M.; LAZAR, A.; SISMA-VENTURA, G.; KIKO, R.; RAHAV, E. Influence of cyclonic and anti–cyclonic eddies on plankton biomass, activity and diversity in the southeastern Mediterranean Sea. **Ocean Science Discussions**, p. 1–56, 2022.

BIANCHI, A. A.; PIOLA, A. R.; COLLINO, G. J. Evidence of double diffusion in the Brazil–Malvinas Confluence. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 49, n. 1, p. 41–52, 2002.

BIBBY, T. S.; GORBUNOV, M. Y.; WYMAN, K. W.; FALKOWSKI, P. G. Photosynthetic community responses to upwelling in mesoscale eddies in the subtropical North Atlantic and Pacific Oceans. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 55, n. 10–13, p. 1310–1320, 2008.

BRANDINI, F. P.; BOLTOVSKOY, D.; PIOLA, A.; KOČMUR, S.; RÖTTGERS, R.; ABREU, P. C.; LOPES, R. M. Multiannual trends in fronts and distribution of nutrients and chlorophyll in the southwestern Atlantic (30–62 S). **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 47, n. 6, p. 1015–1033, 2000.

CALLIARI, D.; BRUGNOLI, E.; FERRARI, G.; VIZZIANO, D. Phytoplankton distribution and production along a wide environmental gradient in the South–West Atlantic off Uruguay. **Hydrobiologia**, v. 620, n. 1, p. 47–61, 2009.

CAMPAGNA, C.; PIOLA, A. R.; MARIN, M. R.; LEWIS, M.; FERNÁNDEZ, T. Southern elephant seal trajectories, fronts and eddies in the Brazil/Malvinas Confluence. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 53, n. 12, p. 1907–1924, 2006.

CARRETO, J. I.; MONTOYA, N. G.; CARIGNAN, M. O.; AKSELMAN, R.; ACHA, E. M.; DERISIO, C. Environmental and biological factors controlling the spring phytoplankton bloom at the Patagonian shelf–break front–degraded fucoxanthin pigments and the importance of microzooplankton grazing. **Progress in Oceanography**, v. 146, p. 1–21, 2016.

CERMEÑO, P.; DUTKIEWICZ, S.; HARRIS, R. P.; FOLLOWS, M.; SCHOFIELD, O.; FALKOWSKI, P. G. The role of nutricline depth in regulating the ocean carbon cycle. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 51, p. 20344–20349, 2008.

CHELTON, D. B.; SCHLAX, M. G.; WITTER, D. L.; RICHMAN, J. G. Geosat altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 95, n. C10, p. 17877–17903, 1990.

CHEN, Y. L. L.; CHEN, H. Y.; LIN, I. I.; LEE, M. A.; CHANG, J. Effects of cold eddy on phytoplankton production and assemblages in Luzon Strait bordering the South China Sea. **Journal of oceanography**, v. 63, n. 4, p. 671–683, 2007.

CHIESSI, C. M.; ULRICH, S.; MULITZA, S.; PÄTZOLD, J.; WEFER, G. Signature of the Brazil–Malvinas Confluence (Argentine Basin) in the isotopic composition of planktonic foraminifera from surface sediments. **Marine Micropaleontology**, v. 64, n. 1–2, p. 52–66, 2007.

CORIA-MONTER, E.; MONREAL-GÓMEZ, M. A.; SALAS-DE-LEÓN, D. A.; ALDECO-RAMÍREZ, J.; MERINO-IBARRA, M. Differential distribution of diatoms and dinoflagellates in a cyclonic eddy confined in the Bay of La Paz, Gulf of California. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 119, n. 9, p. 6258–6268, 2014.

COTTI-RAUSCH, B. E.; LOMAS, M. W.; LACHENMYER, E. M.; GOLDMAN, E. A.; BELL, D. W.; GOLDBERG, S. R.; RICHARDSON, T. L. Mesoscale and sub-mesoscale variability in phytoplankton community composition in the Sargasso Sea. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 110, p. 106–122, 2016.

CHRÉTIENNOT–DINET, M. J.; BILLARD, C.; SOURNIA, A. **Chlorarachniophycées, chlorophycées, chrysophycées, cryptophycées, euglénophycées, eustigmatophycées, prasinophycées, prymnésiofycées, rhodophycées et tribophycées**. [s.l.]: Editions du Centre national de la recherche scientifique, 1990.

CULLEN, J. J. The Deep Chlorophyll Maximum: Comparing Vertical Profiles of Chlorophyll a. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 39, n. 5, p. 791–803, 1982.

CUPP, E. E. Marine Plankton Diatoms of the West Coast of North America. **Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography**. v. 5, n. 1, p. 238, 1943.

DAI, S.; ZHAO, Y. F.; LIU, H. J.; HU, Z. Y.; ZHENG, S.; ZHU, M. L.; GUO, S. J.; SUN, X. X. The effects of a warm–core eddy on chlorophyll a distribution and phytoplankton community structure in the northern South China Sea in spring 2017. **Journal of Marine Systems**, v. 210, p. 103396, 2020.

D'OVIDIO, F.; DE MONTE, S.; ALVAIN, S.; DANDONNEAU, Y.; LÉVY, M. Fluid dynamical niches of phytoplankton types. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 43, p. 18366–18370, 2010.

DUHAMEL, S.; KIM, E.; SPRUNG, B.; ANDERSON, O. R. Small pigmented eukaryotes play a major role in carbon cycling in the P-depleted western subtropical North Atlantic, which may be supported by mixotrophy. **Limnology and Oceanography**, v. 64, n. 6, p. 2424–2440, 2019.

EDLER, L. Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea: phytoplankton and chlorophyll. **Baltic Marine Biologist**, v. 5, p. 1–38, 1979.

ESTRADA, M.; MARRASÉ, C.; LATASA, M.; BERDALET, E.; DELGADO, M.; RIERA, T. Variability of deep chlorophyll maximum characteristics in the Northwestern Mediterranean. **Marine Ecology Progress Series**, p. 289–300, 1993.

FABRO, E.; ALMANDOZ, G. O. Field observations on rare or unnoticed dinoflagellates from the Argentine Sea. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, v. 56, n. 2, 2021.

FEELY, R. A.; SABINE, C. L.; TAKAHASHI, T.; WANNINKHOF, R. Uptake And Storage Of Carbon Dioxide In The Ocean: The Global CO₂ Survey. **Oceanography Washington Dc Oceanography Society**, v. 14, n. 4, p. 18–32, 2001.

FERRARIO, M.; SAR, E.; SALA, S. Metodología básica para el estudio del fitoplancton com especial referencia a las diatomáceas. pp. 1–24. *In*: ALVEAR, M. FERRARIO, E. C.; OLIVEIRA-FILHO, E. S. (Org.). **Manual de Métodos ficológicos**. Universidad de Concepcion, Concepcion, 1995.

FERRONATO, C.; GUINDER, V. A.; CHIDICHIMO, M. P.; LÓPEZ-ABBATE, C.; AMODEO, M. Zonation of protistan plankton in a productive area of the Patagonian shelf: Potential implications for the anchovy distribution. **Food Webs**, v. 29, p. e00211, 2021.

GARCIA, C. A.; SARMA, Y. V. B.; MATA, M. M.; GARCIA, V. M. Chlorophyll variability and eddies in the Brazil–Malvinas Confluence region. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 51, n. 1–3, p. 159–172, 2004.

GARZOLI, S. L.; GARRAFFO, Z. Transports, frontal motions and eddies at the Brazil–Malvinas Currents Confluence. **Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers**, v. 36, n. 5, p. 681–703, 1989.

GAYOSO, A. M.; PODESTÁ, G. P. Surface hydrography and phytoplankton of the Brazil–Malvinas currents confluence. **Journal of Plankton Research**, v. 18, n. 6, p. 941–951, 1996.

GONÇALVES–ARAUJO, R.; DE SOUZA, M. S.; MENDES, C. R. B.; TAVANO, V. M.; POLLERY, R. C.; GARCIA, C. A. E. Brazil–Malvinas confluence: effects of environmental variability on phytoplankton community structure. **Journal of Plankton Research**, v. 34, n. 5, p. 399–415, 2012.

GORDON, A. L. Brazil–Malvinas Confluence –1984. **Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers**, v. 36, n. 3, p. 359–384, 1989.

GU, F.; CHIESSI, C. M.; ZONNEVELD, K. A.; BEHLING, H. Shifts of the Brazil–Falklands/Malvinas Confluence in the western South Atlantic during the latest Pleistocene–Holocene inferred from dinoflagellate cysts. **Palynology**, v. 43, n. 3, p. 483–493, 2019.

GUO, S.; SUN, J.; ZHAO, Q.; FENG, Y.; HUANG, D.; LIU, S. Sinking rates of phytoplankton in the Changjiang (Yangtze River) estuary: A comparative study between *Prorocentrum dentatum* and *Skeletonema dornanii* bloom. **Journal of Marine Systems**, v. 154, p. 5–14, 2016.

HASLE, G.R. **The inverted–microscope methods - Phytoplankton manual**, p. 88–96, 1978.

HILLEBRAND, H.; DÜRSELEN, C. D.; KIRSCHTEL, D.; POLLINGHER, U.; ZOHARY, T. Biovolume Calculation for Pelagic and Benthic Microalgae. **Journal of Phycology**, v. 35, n. 2, p. 403–424, 1999.

HOPPENRATH, M.; ELBRÄCHTER, M.; DREBES, G. **Marine Phytoplankton. Selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt**. [s.l.]: Kleine Senckenberg–Reihe, 2009.

HUSTEDT, F. Die Kieselalgen Deutschlands, Osterreichs und der Schweiz mit Berucksichtigung der ubrigen Lander Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. **Kryptogamen-Flora**, p. 920, 1966.

KARABASHEV, G. S.; EVDOSHENKO, M. A. Narrowband shortwave minima of multispectral reflectance as indication of algal blooms associated with the mesoscale variability in the Brazil-Malvinas Confluence. **Oceanologia**, v. 60, n. 4, p. 527-543, 2018.

KENITZ, K. M.; ORENSTEIN, E. C.; ROBERTS, P. L.; FRANKS, P. J.; JAFFE, J. S.; CARTER, M. L.; BARTON, A. D. Environmental drivers of population variability in colony-forming marine diatoms. **Limnology and Oceanography**, v. 65, n. 10, p. 2515-2528, 2020.

LATASA, M.; CABELLO, A. M.; MORÁN, X. A. G.; MASSANA, R.; SCHAREK, R. Distribution of phytoplankton groups within the deep chlorophyll maximum. **Limnology and Oceanography**, v. 62, n. 2, p. 665-685, 2016.

LEACH, T. H.; BEISNER, B. E.; CAREY, C. C.; PERNICA, P.; ROSE, K. C.; HUOT, Y.; VERBURG, P. Patterns and drivers of deep chlorophyll maxima structure in 100 lakes: The relative importance of light and thermal stratification. **Limnology and Oceanography**, v. 63, n. 2, p. 628-646, 2017.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la zona central de Chile. **Revista Biología Marina**, v. 22, n. 1, p. 1-29, 1986.

MARGALEF, R. **Temporal succession and spatial heterogeneity in natural phytoplankton**. 1958.

MATTEUCCI, S. D.; COLMA, A. **Metodología para el estudio de la vegetación**. [s.l.]: Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, Washington DC., 1982.

ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. The Convergence Ecosystem in the Southwest Atlantic. In: SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (Org.). **Coastal Marine Ecosystems of Latin America**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2001, p. 147-165.

ORÚE–ECHEVARRÍA, D. PELEGRÍ, J. L.; ALONSO-GONZÁLEZ, I. J.; BENÍTEZ-BARRIOS, V. M.; EMELIANOV, M.; GARCÍA-OLIVARES, A.; VIDAL, M. A view of the Brazil–Malvinas confluence, March 2015. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 172, p. 103533, 2021.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; SANTINI, M. F.; MILLER, A. J.; CARVALHO, J. T.; PARISE, C. K.; RUBERT, J. Oceanic eddy–induced modifications to air–sea heat and CO₂ fluxes in the Brazil–Malvinas Confluence. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 10648, 2021.

PIELOU, E. C. **Mathematical Ecology**. Wiley, New York, 1967.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2019. <https://www.R-project.org/>

SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **The Bell System Technical Journal**, v. 27, n. 3, p. 379–423, 1948.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A practical handbook of seawater analysis. 2 Ed. **Bulletin Fisheries Research Board of Canada**, v. 167, p. 1–211, 1972.

SUN, J.; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, v. 25, n. 11, p. 1331–1346, 2003.

TELESCA, L., PIERINI, J. O., LOVALLO, M., & SANTAMARÍA–DEL–ANGEL, E. Spatio–temporal variability in the Brazil–Malvinas Confluence Zone (BMCZ), based on spectroradiometric MODIS–AQUA chlorophyll–a observations. **Oceanologia**, v. 60, n. 1, p. 76–85, 2018

UTERMÖHL, H. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton–methodik: Mit 1 Tabelle und 15 abbildungen im Text und auf 1 Tafel. **Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen**, v. 9, n. 1, p. 1–38, 1958.

VADRUCCI, M. R.; CABRINI, M.; BASSET, A. Biovolume determination of phytoplankton guilds in transitional water ecosystems of Mediterranean Ecoregion. **Transitional Waters Bulletin**, v. 1, n. 2, p. 83–102–102, 2007.

VALIADI, M.; PAINTER, S. C.; ALLEN, J. T.; BALCH, W. M.; IGLESIAS–RODRIGUEZ, M. D. Molecular detection of bioluminescent dinoflagellates in surface waters of the Patagonian shelf during early austral summer 2008. **PLoS One**, v. 9, n. 6, p. e98849, 2014.

WESTON, K.; FERNAND, L.; MILLS, D.K.; DELAHUNTY, R.; BROWN, J. Primary production in the deep chlorophyll maximum of the central North Sea. **Journal of Plankton Research**, v. 27, n. 9, p. 909–922, 2005.

ZHANG, Y.; KIEFT, B.; HOBSON, B. W.; RYAN, J. P.; BARONE, B.; PRESTON, C. M.; SCHOLIN, C. A. Autonomous tracking and sampling of the deep chlorophyll maximum layer in an open–ocean eddy by a long–range autonomous underwater vehicle. **Journal of Oceanic Engineering**, v. 45, n. 4, p. 1308–1321, 2019.

ZHAO, D.; XU, Y.; ZHANG, X.; HUANG, C. Global chlorophyll distribution induced by mesoscale eddies. **Remote Sensing of Environment**, v. 254, p. 112245, 2021.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Confluência Brasil-Malvinas (CBM) é uma região no Atlântico Sul ao longo da plataforma Argentina, formada pelo encontro entre uma corrente de origem tropical (Corrente do Brasil) e uma corrente subantártica (Corrente das Malvinas). Desse modo, a ocorrência das espécies é influenciada por limites de temperatura, salinidade e concentrações de nutrientes, que no presente estudo foram utilizados fosfato e nitrito.

A caracterização da comunidade fitoplanctônica forneceu informações sobre as formas de vida, modo trófico e origem das espécies nas áreas estudadas. Os organismos Marinhos Planctônicos Neríticos e/ou Oceânicos foram predominantes nas áreas estudadas, além disso, as espécies Dulcícolas Planctônicas como *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* e *Merismopedia tenuissima* representam a influência do rio da Prata, quando a pluma estuarina é intensificada sobre a plataforma contribuindo para a ocorrência dessas espécies na CBM. Além disso, a espécie Marinha Perifítica *Cocconeis* cf. *diaphana* indica a influência da plataforma que ressuspendem espécies para a coluna d'água.

Os modos tróficos identificados mostraram que os organismos autotróficos como as diatomáceas são predominantes, entretanto, as populações de dinoflagelados foram representadas, principalmente, por organismos heterotróficos (CB e VF) e mixotróficos (CM) em resposta as concentrações de nutrientes nas áreas estudadas.

A ocorrência de vórtices na CBM é frequentemente registrada na literatura, entretanto, esses estudos avaliaram os seus efeitos sobre a biomassa em clorofila *a* e sobre as características físico-químicas das regiões. Nesse estudo, os efeitos dessas feições (núcleo quente e frio) foram avaliados sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica e biomassa em carbono dos organismos predominantes.

Desse modo, as condições dos vórtices promoveram a abundância de dinoflagelados e aumento da diversidade fitoplanctônica. As condições do vórtice frio aumentaram a densidade celular dos organismos, com destaque para diatomáceas formadoras de colônias e algumas espécies de dinoflagelados, enquanto que, as condições opostas do VQ reduziram a densidade celular fitoplanctônica.

O predomínio de organismos menores que 20 μm , indicam sua maior contribuição para a captação de carbono atmosférico na região, onde as condições

de meso-escala aumentaram o domínio dessa classe de tamanho e reduziram células maiores, como *Porosira glacialis*. Em comparação com a biomassa da CBM, o vórtice quente reduz a captação de carbono, enquanto que as condições do vórtice frio foram favoráveis para elevada biomassa dos organismos estudados.

Portanto, concluímos que a CBM é uma área de alta diversidade fitoplanctônica que é elevada pelas condições das feições de meso-escala. Além disso, a biomassa em carbono dos organismos é elevada pelas condições ambientais do vórtice frio.

REFERÊNCIAS

- AKSELMAN, R.; NEGRI, R. M. Blooms of *Azadinium* cf. *spinosum* Elbrächter et Tillmann (Dinophyceae) in northern shelf waters of Argentina, Southwestern Atlantic. **Harmful Algae**, v. 19, p. 30–38, 2012.
- ANGEL–BENAVIDES, I. M.; PILO, G. S.; DIAS, F. B.; GARCIA, C. A. Influência de vórtices na concentração de clorofila da confluência Brasil–Malvinas: Mecanismos inferidos por sensoriamento remoto. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 20, n. 1, p. 10–20, 2016.
- AQUINO, E. P.; BORGES, G. C.; HONORATO–DA–SILVA, M.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA–CUNHA, M. G. Phytoplankton in a tropical estuary, Northeast Brazil: composition and life forms. **Check List**, v. 11, n. 3, p. 1633–1633, 2015.
- ASSMY, P.; SMETACEK, V. Algal Blooms. *In*: **Encyclopedia of Microbiology**. [s.l.] Elsevier, 2009. p. 27–41.
- BALECH, E. **Los Dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental**. Madrid: Instituto Español de Oceanografía, 1988.
- BARLOW, R. G.; AIKEN, J.; HOLLIGAN, P. M.; CUMMINGS, D. G.; MARITORENA, S.; HOOKER, S. Phytoplankton pigment and absorption characteristics along meridional transects in the Atlantic Ocean. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 49, p. 637–660, 2002.
- BARTON, A. D.; DUTKIEWICZ, S.; FLIERL, G.; BRAGG, J.; FOLLOWS, M. J. Patterns of diversity in marine phytoplankton. **Science**, v. 327, n. 5972, p. 1509–1511, 2010.
- BELKIN, N.; GUY-HAIM, T.; RUBIN-BLUM, M.; LAZAR, A.; SISMA-VENTURA, G.; KIKO, R.; RAHAV, E. Influence of cyclonic and anti-cyclonic eddies on plankton biomass, activity and diversity in the southeastern Mediterranean Sea. **Ocean Science Discussions**, p. 1–56, 2022.
- BÉRARD–TERRIAULT, L.; POULIN, M.; BOSSÉ, L. **Guide d'Identification du Phytoplankton Marin de L'Estuaire et du Golfe du Saint-Laurent: incluant également certains protozoaires**. [s.l.]: NRC Research Press, Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 1999.
- BIANCHI, A. A.; PIOLA, A. R.; COLLINO, G. J. Evidence of double diffusion in the Brazil–Malvinas Confluence. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 49, n. 1, p. 41–52, 2002.
- BRANDINI, F. P. Phytoplankton composition and distribution in the southeastern Brazil in relation to the hydrographic regime (July/August 1982). **Ciência e Cultura**, v. 40, n. 4, p. 334–341, 1988.

BRANDINI, F. P.; BOLTOVSKOY, D.; PIOLA, A.; KOCMUR, S.; RÖTTGERS, R.; ABREU, P. C.; LOPES, R. M. Multiannual trends in fronts and distribution of nutrients and chlorophyll in the southwestern Atlantic (30–62 S). **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 47, n. 6, p. 1015–1033, 2000.

BURKHOLDER, J. M.; GILBERT, P. M.; SKELTON, H. M. Mixotrophy, a major mode of nutrition for harmful algal species in eutrophic waters. **Harmful Algae**, v. 8, n. 1, p. 77–93, 2008.

CALLIARI, D.; BRUGNOLI, E.; FERRARI, G.; VIZZIANO, D. Phytoplankton distribution and production along a wide environmental gradient in the South–West Atlantic off Uruguay. **Hydrobiologia**, v. 620, n. 1, p. 47–61, 2009.

CAMPAGNA, C.; PIOLA, A. R.; MARIN, M. R.; LEWIS, M.; FERNÁNDEZ, T. Southern elephant seal trajectories, fronts and eddies in the Brazil/Malvinas Confluence. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 53, n. 12, p. 1907–1924, 2006.

CARR, J. M.; HERGENRADER, G. I.; JUNIOR, N. H. T. A simple, inexpensive method for cleaning diatoms. **Transactions of the American Microscopical Society**, v. 105 n. 2, p. 152–157, 1986.

CARRETO, J. I.; MONTOYA, N. G.; CARIGNAN, M. O.; AKSELMAN, R.; ACHA, E. M.; DERISIO, C. Environmental and biological factors controlling the spring phytoplankton bloom at the Patagonian shelf–break front–degraded fucoxanthin pigments and the importance of microzooplankton grazing. **Progress in Oceanography**, v. 146, p. 1–21, 2016.

CARVALHO, A. C. O.; KERR, R.; MENDES, C. R. B.; AZEVEDO, J. L. L.; TAVANO, V. M. Phytoplankton strengthen CO₂ uptake in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 190, p. 102476, 2021.

CERMEÑO, P.; DUTKIEWICZ, S.; HARRIS, R. P.; FOLLOWS, M.; SCHOFIELD, O.; FALKOWSKI, P. G. The role of nutricline depth in regulating the ocean carbon cycle. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 51, p. 20344–20349, 2008.

CHELTON, D. B.; SCHLAX, M. G.; WITTER, D. L.; RICHMAN, J. G. Geosat altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 95, n. C10, p. 17877–17903, 1990.

CHEN, Y. L. L.; CHEN, H. Y.; LIN, I. I.; LEE, M. A.; CHANG, J. Effects of cold eddy on phytoplankton production and assemblages in Luzon Strait bordering the South China Sea. **Journal of oceanography**, v. 63, n. 4, p. 671–683, 2007.

CHIESSI, C. M.; ULRICH, S.; MULITZA, S.; PÄTZOLD, J.; WEFER, G. Signature of the Brazil–Malvinas Confluence (Argentine Basin) in the isotopic composition of planktonic foraminifera from surface sediments. **Marine Micropaleontology**, v. 64, n. 1–2, p. 52–66, 2007.

CHINNADURAI, K.; RETNAMMA, J.; NAGARATHINAM, A.; SUBRAMANIAN, P. R.; SINGARAM, P.; SHOBA, S. Microplankton size structure induced by a warm-core eddy in the western Bay of Bengal: Role of *Trichodesmium* abundance. **Oceanologia**, v. 63, n. 3, p. 283–300, 2021.

CHRÉTIENNOT–DINET, M. J.; BILLARD, C.; SOURNIA, A. **Chlorarachniophycées, chlorophycées, chrysophycées, cryptophycées, euglénophycées, eustigmatophycées, prasinophycées, prymnésiofycées, rhodophycées et tribophycées**. [s.l.]: Editions du Centre national de la recherche scientifique, 1990.

CLAYTON, S.; DUTKIEWICZ, S.; JAHN, O.; FOLLOWS, M. J. Dispersal, eddies, and the diversity of marine phytoplankton. **Limnology and Oceanography: Fluids and Environments**, v. 3, n. 1, p. 182–197, 2013.

CORIA-MONTER, E.; MONREAL-GÓMEZ, M. A.; SALAS-DE-LEÓN, D. A.; ALDECO-RAMÍREZ, J.; MERINO-IBARRA, M. Differential distribution of diatoms and dinoflagellates in a cyclonic eddy confined in the Bay of La Paz, Gulf of California. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 119, n. 9, p. 6258–6268, 2014.

COTTI–RAUSCH, B. E.; LOMAS, M. W.; LACHENMYER, E. M.; GOLDMAN, E. A.; BELL, D. W.; GOLDBERG, S. R.; RICHARDSON, T. L. Mesoscale and sub-mesoscale variability in phytoplankton community composition in the Sargasso Sea. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 110, p. 106–122, 2016.

CRELIER, A. M.; DAPONTE, M. C. Chaetognatha of the Brazil–Malvinas (Falkland) confluence: distribution and associations. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 94, n. 4, p. 403–412, 2004.

CULLEN, J. J. The Deep Chlorophyll Maximum: Comparing Vertical Profiles of Chlorophyll a. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 39, n. 5, p. 791–803, 1982.

CUPP, E. E. Marine Plankton Diatoms of the West Coast of North America. **Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography**. v. 5, n. 1, p. 238, 1943.

DAI, S.; ZHAO, Y. F.; LIU, H. J.; HU, Z. Y.; ZHENG, S.; ZHU, M. L.; GUO, S. J.; SUN, X. X. The effects of a warm-core eddy on chlorophyll a distribution and phytoplankton community structure in the northern South China Sea in spring 2017. **Journal of Marine Systems**, v. 210, p. 103396, 2020.

D’OVIDIO, F.; DE MONTE, S.; ALVAIN, S.; DANDONNEAU, Y.; LÉVY, M. Fluid dynamical niches of phytoplankton types. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 43, p. 18366–18370, 2010.

DUARTE, C. M.; AGUSTÍ, S.; GASOL, J. M.; VAQUÉ, D.; VAZQUEZ-DOMINGUEZ, E. Effect of nutrient supply on the biomass structure of planktonic communities: an experimental test on a Mediterranean coastal community. **Marine Ecology Progress Series**, v. 206, p. 87–95, 2000.

DUHAMEL, S.; KIM, E.; SPRUNG, B.; ANDERSON, O. R. Small pigmented eukaryotes play a major role in carbon cycling in the P-depleted western subtropical North Atlantic, which may be supported by mixotrophy. **Limnology and Oceanography**, v. 64, n. 6, p. 2424–2440, 2019.

EDLER, L. Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea: phytoplankton and chlorophyll. **Baltic Marine Biologist**, v. 5, p. 1–38, 1979.

ESTRADA, M.; MARRASÉ, C.; LATASA, M.; BERDALET, E.; DELGADO, M.; RIERA, T. Variability of deep chlorophyll maximum characteristics in the Northwestern Mediterranean. **Marine Ecology Progress Series**, p. 289–300, 1993.

FABRO, E.; ALMANDOZ, G. O. Field observations on rare or unnoticed dinoflagellates from the Argentine Sea. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, v. 56, n. 2, 2021.

FEELY, R. A.; SABINE, C. L.; TAKAHASHI, T.; WANNINKHOF, R. Uptake And Storage Of Carbon Dioxide In The Ocean: The Global CO₂ Survey. **Oceanography Washington Dc Oceanography Society**, v. 14, n. 4, p. 18–32, 2001.

FERNANDES, L. F.; BRANDINI, F. P. Comunidades microplanctônicas no Oceano Atlântico Sul Ocidental: biomassa e distribuição em novembro de 1992. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 47, p. 189–205, 1999.

FERRARIO, M.; SAR, E.; SALA, S. Metodología básica para el estudio del fitoplancton com especial referencia a las diatomáceas. pp. 1–24. *In*: ALVEAR, M. FERRARIO, E. C.; OLIVEIRA-FILHO, E. S. (Org.). **Manual de Métodos ficológicos**. Universidad de Concepcion, Concepcion, 1995.

FERRONATO, C.; GUINDER, V. A.; CHIDICHIMO, M. P.; LÓPEZ–ABBATE, C.; AMODEO, M. Zonation of protistan plankton in a productive area of the Patagonian shelf: Potential implications for the anchovy distribution. **Food Webs**, v. 29, p. e00211, 2021.

GARCIA, C. A.; SARMA, Y. V. B.; MATA, M. M.; GARCIA, V. M. Chlorophyll variability and eddies in the Brazil–Malvinas Confluence region. **Deep Sea Research Part II. Topical Studies in Oceanography**, v. 51, n. 1–3, p. 159–172, 2004.

GARZOLI, S. L.; GARRAFFO, Z. Transports, frontal motions and eddies at the Brazil–Malvinas Currents Confluence. **Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers**, v. 36, n. 5, p. 681–703, 1989.

GAYOSO, A. M.; PODESTÁ, G. P. Surface hydrography and phytoplankton of the Brazil–Malvinas currents confluence. **Journal of Plankton Research**, v. 18, n. 6, p. 941–951, 1996.

GOMES, A. L.; CUNHA, C. J.; LIMA, M. O.; SOUSA, E. B.; COSTA-TAVARES, V. B.; MARTINELLI-LEMOS, J. M. Biodiversity and interannual variation of cyanobacteria

density in an estuary of the Brazilian Amazon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, 2021.

GÓMEZ, N.; HUALDE, P.R.; LICURSI, M.; BAUER, D. E. Spring phytoplankton of Río de la Plata: A temperate estuary of South America. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 61, p. 301–309, 2004.

GONÇALVES–ARAUJO, R.; DE SOUZA, M. S.; MENDES, C. R. B.; TAVANO, V. M.; POLLERY, R. C.; GARCIA, C. A. E. Brazil–Malvinas confluence: effects of environmental variability on phytoplankton community structure. **Journal of Plankton Research**, v. 34, n. 5, p. 399–415, 2012.

GORDON, A. L. Brazil–Malvinas Confluence –1984. **Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers**, v. 36, n. 3, p. 359–384, 1989.

GRAHAM, L. E.; WILCOX, L. W. **Algae**. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, Universidade de Michigan, 2000.

GU, F.; CHIESSI, C. M.; ZONNEVELD, K. A.; BEHLING, H. Shifts of the Brazil–Falklands/Malvinas Confluence in the western South Atlantic during the latest Pleistocene–Holocene inferred from dinoflagellate cysts. **Palynology**, v. 43, n. 3, p. 483–493, 2019.

GUO, S.; SUN, J.; ZHAO, Q.; FENG, Y.; HUANG, D.; LIU, S. Sinking rates of phytoplankton in the Changjiang (Yangtze River) estuary: A comparative study between *Prorocentrum dentatum* and *Skeletonema dornanii* bloom. **Journal of Marine Systems**, v. 154, p. 5–14, 2016.

HASLE, G.R. **The inverted–microscope methods - Phytoplankton manual**, p. 88–96, 1978.

HILLEBRAND, H.; DÜRSELEN, C. D.; KIRSCHTEL, D.; POLLINGHER, U.; ZOHARY, T. Biovolume Calculation for Pelagic and Benthic Microalgae. **Journal of Phycology**, v. 35, n. 2, p. 403–424, 1999.

HOPPENRATH, M.; ELBRÄCHTER, M.; DREBES, G. **Marine Phytoplankton. Selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt**. [s.l.]: Kleine Senckenberg–Reihe, 2009.

HUSTEDT, F. Die Kieselalgen Deutschlands, Osterreichs und der Schweiz mit Berücksichtigung der ubrigen Lander Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. **Kryptogamen–Flora**, p. 920, 1966.

JAKOBSEN, H. H.; CARSTENSEN, J.; HARRISON, P. J.; ZINGONE, A. Estimating time series phytoplankton carbon biomass: Inter-lab comparison of species identification and comparison of volume-to-carbon scaling ratios. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 162, p. 143–150, 2015.

JYOTHIBABU, R.; KARNAN, C.; JAGADEESAN, L.; ARUNPANDI, N.; PANDIARAJAN, R. S.; MURALEEDHARAN, K. R.; BALACHANDRAN, K. K. *Trichodesmium* blooms and warm-core ocean surface features in the Arabian Sea and the Bay of Bengal. **Marine Pollution Bulletin**, v. 121, n. 1–2, p. 201–215, 2017.

KARABASHEV, G. S.; EVDOSHENKO, M. A. Narrowband shortwave minima of multispectral reflectance as indication of algal blooms associated with the mesoscale variability in the Brazil–Malvinas Confluence. **Oceanologia**, v. 60, n. 4, p. 527–543, 2018.

KENITZ, K. M.; ORENSTEIN, E. C.; ROBERTS, P. L.; FRANKS, P. J.; JAFFE, J. S.; CARTER, M. L.; BARTON, A. D. Environmental drivers of population variability in colony-forming marine diatoms. **Limnology and Oceanography**, v. 65, n. 10, p. 2515–2528, 2020.

LATASA, M.; CABELLO, A. M.; MORÁN, X. A. G.; MASSANA, R.; SCHAREK, R. Distribution of phytoplankton groups within the deep chlorophyll maximum. **Limnology and Oceanography**, v. 62, n. 2, p. 665–685, 2016.

LEACH, T. H.; BEISNER, B. E.; CAREY, C. C.; PERNICA, P.; ROSE, K. C.; HUOT, Y.; VERBURG, P. Patterns and drivers of deep chlorophyll maxima structure in 100 lakes: The relative importance of light and thermal stratification. **Limnology and Oceanography**, v. 63, n. 2, p. 628–646, 2017.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la zona central de Chile. **Revista Biología Marina**, v. 22, n. 1, p. 1–29, 1986.

MARGALEF, R. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. **Oceanologica acta**, v. 1, n. 4, p. 493–509, 1978.

MARGALEF, R. **Temporal succession and spatial heterogeneity in natural phytoplankton**. 1958.

MATTEUCCI, S. D.; COLMA, A. **Metodología para el estudio de la vegetación**. [s.l.]: Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, Washington DC., 1982.

ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. The Convergence Ecosystem in the Southwest Atlantic. In: SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (Org.). **Coastal Marine Ecosystems of Latin America**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2001, p. 147–165.

ORÚE–ECHEVARRÍA, D. PELEGRÍ, J. L.; ALONSO-GONZÁLEZ, I. J.; BENÍTEZ-BARRIOS, V. M.; EMELIANOV, M.; GARCÍA-OLIVARES, A.; VIDAL, M. A view of the Brazil–Malvinas confluence, March 2015. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 172, p. 103533, 2021.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; SANTINI, M. F.; MILLER, A. J.; CARVALHO, J. T.; PARISE, C. K.; RUBERT, J. Oceanic eddy-induced modifications to air–sea heat and

CO₂ fluxes in the Brazil–Malvinas Confluence. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 10648, 2021.

PIELOU, E. C. **Mathematical Ecology**. Wiley, New York, 1967.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2019. <https://www.R-project.org/>

SARACENO, M.; PROVOST, C. On eddy polarity distribution in the southwestern Atlantic. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 69, p. 62–69, 2012.

SARMA, V. V. S. S.; RAJULA, G. R.; DURGADEVI, D. S. L.; KUMAR, G. S.; LOGANATHAN, J. Influence of eddies on phytoplankton composition in the Bay of Bengal. **Continental Shelf Research**, v. 208, p. 104241, 2020.

SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **The Bell System Technical Journal**, v. 27, n. 3, p. 379–423, 1948.

SOURNIA, A. **Phytoplankton Manual**. Unesco, Paris, 1978.

STOECKER, D. K.; HANSEN, P. J.; CARON, D. A.; MITRA, A. Mixotrophy in the marine plankton. **Annual Review of Marine Science**, v. 9, p. 311–335, 2017.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A practical handbook of seawater analysis. 2 Ed. **Bulletin Fisheries Research Board of Canada**, v. 167, p. 1–211, 1972.

SUN, J.; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, v. 25, n. 11, p. 1331–1346, 2003.

TELESCA, L., PIERINI, J. O., LOVALLO, M., & SANTAMARÍA–DEL–ANGEL, E. Spatio–temporal variability in the Brazil–Malvinas Confluence Zone (BMCZ), based on spectroradiometric MODIS–AQUA chlorophyll–a observations. **Oceanologia**, v. 60, n. 1, p. 76–85, 2018

UTERMÖHL, H. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton–methodik: Mit 1 Tabelle und 15 abbildungen im Text und auf 1 Tafel. **Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen**, v. 9, n. 1, p. 1–38, 1958.

VADRUCCI, M. R.; CABRINI, M.; BASSET, A. Biovolume determination of phytoplankton guilds in transitional water ecosystems of Mediterranean Ecoregion. **Transitional Waters Bulletin**, v. 1, n. 2, p. 83–102–102, 2007.

VALIADI, M.; PAINTER, S. C.; ALLEN, J. T.; BALCH, W. M.; IGLESIAS–RODRIGUEZ, M. D. Molecular detection of bioluminescent dinoflagellates in surface waters of the Patagonian shelf during early austral summer 2008. **PLoS One**, v. 9, n. 6, p. e98849, 2014.

WESTON, K.; FERNAND, L.; MILLS, D.K.; DELAHUNTY, R.; BROWN, J. Primary production in the deep chlorophyll maximum of the central North Sea. **Journal of Plankton Research**, v. 27, n. 9, p. 909–922, 2005.

ZHANG, Y. et al. Autonomous tracking and sampling of the deep chlorophyll maximum layer in an open-ocean eddy by a long-range autonomous underwater vehicle. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 45, n. 4, p. 1308-1321, 2019

ZHAO, D.; XU, Y.; ZHANG, X.; HUANG, C. Global chlorophyll distribution induced by mesoscale eddies. **Remote Sensing of Environment**, v. 254, p. 112245, 2021.