

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUANA MOCELIN DE CAMARGO

Distribuição de nutrientes inorgânicos dissolvidos e clorofila-*a* durante o verão austral no Arquipélago Shetland do Sul, Antártica Marítima

CENTRO DE ESTUDOS DO MAR
BIBLIOTECA

PONTAL DO PARANÁ

2012

LUANA MOCELIN DE CAMARGO

Distribuição de nutrientes inorgânicos dissolvidos e clorofila-*a* durante o verão austral no Arquipélago Shetland do Sul, Antártica Marítima

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de oceanógrafo pelo Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Dra. Eunice da Costa Machado.

CENTRO DE ESTUDOS DO MAR
BIBLIOTECA

PONTAL DO PARANÁ

2012

M 551.1601
C.172ob
2012
ex. 03

PV000593381

M 551.1601

CATALOGAÇÃO NA FONTE:
UFPR / SIBI - Biblioteca do Centro de Estudos do Mar

C172d Camargo, Luana Mocelin de
Distribuição de nutrientes inorgânicos dissolvidos e clorofila-*a* durante o verão austral no Arquipélago Shetland do Sul, Antártica Marítima. / Luana Mocelin de Camargo. – Pontal do Paraná, 2012.
58 f.; 29 cm.

Orientadora: Dra. Eunice da Costa Machado.

Monografia (graduação) - Curso de Oceanografia, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

1. Nutrientes inorgânicos dissolvidos. 2. Clorofila-*a*. 3. Ilhas Shetland do Sul.
I. Título. II. Eunice da Costa Machado. III. Universidade Federal do Paraná.

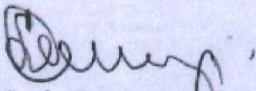
CDD 551.4601

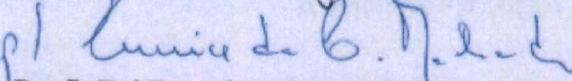
TERMO DE APROVAÇÃO

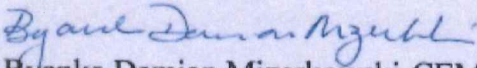
Luana Mocelin de Camargo

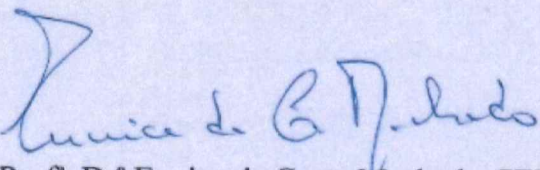
“Distribuição de nutrientes inorgânicos dissolvidos e clorofila-a no Arquipélago Shetland do Sul, Antártica Marítima (verões de 2010/2011 e 2011/2012)”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:


Prof. Dr. Luiz Mauro Mafra Júnior-CEM/UFPR


Prof.ª Dr.ª Franciane Maria Pellizzari-FAFIPAR


Dr.ª Byanka Damian Mizerkowski-CEM/UFPR


Prof.ª Dr.ª Eunice da Costa Machado-CEM/UFPR
Presidente

Pontal do Paraná, 07 de dezembro de 2012.

À MINHA FAMÍLIA, COM MUITO AMOR.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof. Dr. Eunice da Costa Machado, por todo o conhecimento acadêmico e pessoal adquirido nesses cinco anos de convivência. Obrigada por aumentar a cada dia minha paixão pela Oceanografia, em especial pela Oceanografia Química; pela oportunidade inesquecível de conhecer a Antártica e a o mundo dos pesquisadores; e, principalmente, por me ensinar educação e ética, valores que levarei para muito além das fronteiras oceanográficas.

A todos os professores que cruzaram meu caminho durante a vida, da educação infantil à graduação. Serei eternamente grata pela dedicação e espero proliferar por onde passar um pouco do que aprendi.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de estudar em uma instituição pública, de excelente qualidade.

Ao Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), pelo esforço conjunto de várias pessoas em prol da pesquisa.

À Marinha do Brasil, em especial ao Navio Polar Almirante Maximiano (H41) pelo apoio logístico ao projeto. A toda a tripulação do "Tio Max", com que tive quatro meses maravilhosos de convivência.

Ao Projeto "Biodiversidade, distribuição e histórico de vida de macroalgas e fungos algícolas associados ao monitoramento de indicadores abióticos, bioquímicos e microbiológicos na Península Antártica e arquipélagos adjacentes", coordenado pelo Prof. Dr. Pio Colepicolo, pela oportunidade de trabalhar em conjunto para um estudo tão relevante ao entendimento dos ecossistemas antárticos.

À Prof. Dr. Franciane Pellizari, por possibilitar a minha participação, através do Laboratório de Biogeoquímica/CEM, nessa experiência tão enriquecedora. Obrigada por todos os ensinamentos e colaborações com as amostragens.

Aos membros do projeto que auxiliaram no trabalho embarcado: Elzi, Cícero e Michelle. Em especial às meninas, que foram minha família durante os quatro meses que passei a bordo do "Tio Max". Obrigada por tudo!

Ao José Nunes, hidrógrafo da Marinha, por tornar possíveis as estações oceanográficas. Obrigada, Zé!

À Liciane Siqueira, por todo o aprendizado prático no Laboratório de Biogeoquímica Marinha e pela amizade de sempre!

A todos os "Chemical Brothers" que passaram pela Biogeoquímica nesses cinco anos e me ensinaram muita coisa. Em especial ao Fabian, por todas as

vezes que deixou seu trabalho pra atender minhas dúvidas; à Joana e à Laís, pela amizade e por trabalharem junto comigo nessa monografia, nas análises.

À Mirella, pela realização do mapa e por toda a amizade desses cinco anos. Obrigada por me salvar sempre, Mi!

Ao Eliandro, que me ajudou muitas vezes com as análises estatística e os gráficos. Obrigada pela paciência e dedicação, Eli!

Aos meus amigos, todos, por todos os momentos inesquecíveis que passamos juntos. Aos amigos pontalenses, por tudo que representou esses cinco anos de faculdade. Sem clichê, eu não teria conseguido sem vocês. Nunca esqueçam: "Somos mais do que mil, SOMOS UM".

Aos Desviados por Coriolis, minha turma maravilhosa! Muito sucesso pra todos, vocês merecem demais!

À minha família, em especial minha mãe, Celia, meu irmão, Leandro, meu pai, Neri, a nona Lila, o Kaio, os meus padrinhos, Rosa e José, a Fifa e os meus afilhadinhos amados, Eduardo e Matheus. Vocês acreditaram em mim até quando eu não acreditava. Obrigada por todo o apoio e por me ensinarem a ser como vocês! Amo muito!

*“Ela e o mar. Só poderia haver um encontro de
seus mistérios se um se entregasse ao outro.”*

Clarice Lispector

RESUMO

A região antártica é conhecida pelas altas concentrações de nutrientes e baixas concentrações de clorofila-*a*. Os nutrientes inorgânicos dissolvidos, que são o principal recurso limitante para o crescimento dos produtores primários na maioria dos oceanos, raramente atingem concentrações potencialmente limitantes no Oceano Austral. Concentrações elevadas de clorofila-*a*, no entanto, podem ser encontradas somente em regiões específicas de grande importância para a produtividade do ecossistema, localizadas principalmente próximo à costa. O intuito do estudo foi gerar uma base de dados da estrutura físico-química da coluna d'água como um arcabouço para o monitoramento da produtividade e da diversidade biológica antártica. Para tal, foram realizadas coletas de água em estações oceanográficas na zona costeira do Arquipélago Shetland do Sul, próximo às ilhas Deception, Rei George, Livingston, Elefante e Nelson, durante os verões de 2010/2011 e 2011/2012, para análise de nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrogenados, fosfato e sílica), clorofila-*a* e material particulado em suspensão. Salinidade, temperatura e oxigênio dissolvido foram mensurados por CTD. As concentrações de nutrientes foram altas em todas as estações investigadas, se comparadas com outras regiões de oceano aberto (concentrações médias: silicato $71 \pm 12 \mu\text{M}$; fosfato $2,2 \pm 0,2 \mu\text{M}$; e nitrogênio inorgânico total $17,6 \pm 7,4 \mu\text{M}$). A ilha vulcânica Deception destacou-se por apresentar os valores mais elevados, provavelmente pela influência da atividade geotermal, que além de promover trocas químicas entre a rocha e a água, pode aumentar a solubilidade dos nutrientes pelo aquecimento. A clorofila-*a* não apresentou concentrações elevadas nenhuma das estações estudadas (concentração média: $0,36 \pm 0,4 \mu\text{M}$). A ilha Livingston, no entanto, apresentou os maiores valores médios, provavelmente em decorrência das condições climáticas relativamente amenas comparado às outras áreas investigadas, que podem favorecer o desenvolvimento dos produtores primários. As condições físico-químicas encontradas foram similares às de outras em regiões polares onde, igualmente, não foram relatados blooms fitoplanctônicos. A concentração média de nitrogênio inorgânico dissolvido esteve entre as mais baixas e a de silicato entre as mais altas registradas na região antártica.

Palavras – chave: Nutrientes inorgânicos dissolvidos, clorofila-*a*, Ilhas Shetland do Sul.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1: DISTRIBUIÇÃO DE FOSFATO E NITRATO (A 50 METROS DE PROFUNDIDADE) NO OCEANO AUSTRAL. EM DESTAQUE A REGIÃO ONDE ESTÁ SITUADA A PENÍNSULA ANTÁRTICA. FONTE: WOCE HYDROGRAPHIC ATLAS.....5
- FIGURA 2: DISTRIBUIÇÃO DE SILICATO (A 50 METROS DE PROFUNDIDADE) E CLOROFILA-*a* DURANTE O VERÃO NO OCEANO AUSTRAL. EM DESTAQUE A REGIÃO ONDE ESTÁ SITUADA A PENÍNSULA ANTÁRTICA. FONTES: WOCE HYDROGRAPHIC ATLAS E NASA GES DISC, RESPECTIVAMENTE.....8
- FIGURA 3: LOCALIZAÇÃO DO ARQUIPÉLAGO SHETLAND DO SUL, ANTÁRTICA MARÍTIMA. ADAPTADO DE HALL, 2009.....12
- FIGURA 4: ESTAÇÕES AMOSTRAIS INVESTIGADAS NAS ILHAS ELEFANTE, REI GEORGE, NELSON, LIVINGSTON E DECEPTION, ARQUIPÉLAGO SHETLAND DO SUL.....13
- FIGURA 5: CONCENTRAÇÕES/VALORES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO, SALINIDADE, TEMPERATURA, MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO, CLOROFILA-A E NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS (FOSFATO, NITROGÊNIO INORGÂNICO DISSOLVIDO E SILICATO) NAS ESTAÇÕES AMOSTRAIS LOCALIZADAS NO ARQUIPÉLAGO SHETLAND DO SUL, ANTÁRTICA MARÍTIMA (VALORES MÉDIOS E DESVIO PADRÃO).....20
- FIGURA 6: DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE FOSFATO, CLOROFILA-A, NID, SILICATO E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO E DOS VALORES DE TEMPERATURA, SALINIDADE E OXIGÊNIO DISSOLVIDO NAS ESTAÇÕES "BYERS BAY" E "PRAIA DOS BÚLGAROS", PRÓXIMAS À ILHA LIVINGSTON.....43
- FIGURA 7: DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE FOSFATO, CLOROFILA-A, NID, SILICATO E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO E DOS VALORES DE TEMPERATURA, SALINIDADE E OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA ESTAÇÃO "PUNTA ELEFANTE", PRÓXIMA À ILHA LIVINGSTON.....44
- FIGURA 8: RAZÕES NID/PID E SID/NID NAS ESTAÇÕES INVESTIGADAS PRÓXIMAS À ILHA LIVINGSTON.....44
- FIGURA 9: DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE FOSFATO, CLOROFILA-A, NID, SILICATO E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO E DOS VALORES DE TEMPERATURA, SALINIDADE E OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA ESTAÇÃO "REFÚGIO CRULS", PRÓXIMA À ILHA NELSON.....45

FIGURA 10: RAZÕES NID/PID E SID/NID NA ESTAÇÃO INVESTIGADA PRÓXIMA À ILHA NELSON.....	45
FIGURA 11: DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE FOSFATO, CLOROFILA-A, NID, SILICATO E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO E DOS VALORES DE TEMPERATURA, SALINIDADE E OXIGÊNIO DISSOLVIDO NAS ESTAÇÕES "PUNTA TURRET" E "DUFFAYEL", PRÓXIMAS À ILHA REI GEORGE.....	46
FIGURA 12: DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE FOSFATO, CLOROFILA-A, NID, SILICATO E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO E DOS VALORES DE TEMPERATURA, SALINIDADE E OXIGÊNIO DISSOLVIDO NAS ESTAÇÕES "PUNTA PLAZA" E "PUNTA HENNEQUIN", PRÓXIMAS À ILHA REI GEORGE.....	47
FIGURA 13: RAZÕES NID/PID E SID/NID NAS ESTAÇÕES INVESTIGADAS PRÓXIMAS À ILHA GEORGE.....	48
FIGURA 14: DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE FOSFATO, CLOROFILA-A, NID, SILICATO E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO E DOS VALORES DE TEMPERATURA, SALINIDADE E OXIGÊNIO DISSOLVIDO NAS ESTAÇÕES "PONTA FOSSAT" E "STINKER POINT", PRÓXIMAS À ILHA ELEFANTE.....	49
FIGURA 15: RAZÕES NID/PID E SID/NID NAS ESTAÇÕES PRÓXIMAS À ILHA ELEFANTE.....	50
FIGURA 16: DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE FOSFATO, CLOROFILA-A, NID, SILICATO E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO E DOS VALORES DE TEMPERATURA, SALINIDADE E OXIGÊNIO DISSOLVIDO NAS ESTAÇÕES "PENDULUM COVE" E "WHALERS BAY", NO CONE DA ILHA DECEPTION.....	51
FIGURA 17: DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE FOSFATO, CLOROFILA-A, NID, SILICATO E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO E DOS VALORES DE TEMPERATURA, SALINIDADE E OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA ESTAÇÃO "TELEPHONE BAY", NO CONE DA ILHA DECEPTION.....	52
FIGURA 18: RAZÕES NID/PID E SID/NID NAS ESTAÇÕES PRÓXIMAS À ILHA DECEPTION.....	52
FIGURA 19: ATIVIDADE GEOTERMAL NOS SEDIMENTOS DAS FUMAROLAS EM "WHALERS BAY", ILHA DECEPTION.....	32
FIGURA 20: A) PINGUINEIRA DE MACARONI (<i>EUDYPTES CHRYSOLOPHUS</i>) LOCALIZADA EM "PONTA FOSSATI", ILHA ELEFANTE. B) COLÔNIA DE MAMÍFEROS MARINHOS EM "PUNTA ELEFANTE", ILHA LIVINGSTON.....	32
FIGURA 21: ALTA BIOMASSA DE MACROALGAS RODOFÍCEAS NA PENÍNSULA BYERS, ILHA LIVINGSTON.....	32

FIGURA 22: ANÁLISE DE COMPONENTE PRINCIPAL (PCA) CORRELACIONANDO AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA DE ÁGUA ÀS ESTAÇÕES AMOSTRAIS INVESTIGADAS NO ARQUIPÉLAGO SHETLAND DO SUL, DURANTE O VERÃO 2011/2012.....33

FIGURA 23: ANÁLISE DE COMPONENTE PRINCIPAL (PCA) CORRELACIONANDO OS NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS ÀS ESTAÇÕES AMOSTRAIS INVESTIGADAS NO ARQUIPÉLAGO SHETLAND DO SUL, DURANTE OS VERÕES 2010/2011 E 2011/2012.....34

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE ÁGUA (VALORES MÉDIOS) PRÓXIMO À ILHA LIVINGSTON (ENTRE PARÊNTESES DESVIO PADRÃO E ABAIXO AMPLITUDE DE VARIAÇÃO). *LIMITE DE DETECÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE CLOROFILA-A 0,1 µg/L (ND = NÃO DETECTADO).....40
- TABELA 2: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE ÁGUA (VALORES MÉDIOS) PRÓXIMO À ILHA NELSON (ENTRE PARÊNTESES DESVIO PADRÃO E ABAIXO AMPLITUDE DE VARIAÇÃO). *LIMITE DE DETECÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE CLOROFILA-A 0,1 µg/L (ND = NÃO DETECTADO).....40
- TABELA 3: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE ÁGUA (VALORES MÉDIOS) PRÓXIMO À REI GEORGE (ENTRE PARÊNTESES DESVIO PADRÃO E ABAIXO AMPLITUDE DE VARIAÇÃO). *LIMITE DE DETECÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE CLOROFILA-A 0,1 µg/L (ND = NÃO DETECTADO).....41
- TABELA 4: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE ÁGUA (VALORES MÉDIOS) PRÓXIMO À ILHA ELEFANTE (ENTRE PARÊNTESES DESVIO PADRÃO E ABAIXO AMPLITUDE DE VARIAÇÃO). *LIMITE DE DETECÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE CLOROFILA-A 0,1 µg/L (ND = NÃO DETECTADO; NA = NÃO ANALISADO).....41
- TABELA 5: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE ÁGUA (VALORES MÉDIOS) PRÓXIMO À ILHA DECEPTION (ENTRE PARÊNTESES DESVIO PADRÃO E ABAIXO AMPLITUDE DE VARIAÇÃO). *LIMITE DE DETECÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE CLOROFILA 0,1 µg/L (ND = NÃO DETECTADO).....42
- TABELA 6: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA COLUNA D'ÁGUA EM REGIÕES POLARES. ADAPTADO DE POLLERY (2005). *VALOR REFERENTE À CONCENTRAÇÃO DE NITRATO.....37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O PARADOXO ANTÁRTICO – HNLC.....	3
1.2 A RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	8
2 OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3 ÁREA DE ESTUDO	11
3.1 Ilha Livingston.....	14
3.2 Ilha Nelson.....	14
3.3 Ilha Rei George.....	14
3.4 Ilha Elefante.....	15
3.5 Ilha Deception.....	16
4 METODOLOGIA	17
4.1 Nutrientes inorgânicos dissolvidos.....	17
4.2 Clorofila-a.....	18
4.3 Material particulado em suspensão.....	18
5 RESULTADOS	19
5.1 ILHA LIVINGSTON.....	21
5.2 ILHA NELSON.....	21
5.3 ILHA REI GEORGE.....	22
5.4 ILHA ELEFANTE.....	23
5.5 ILHA DECEPTION.....	24
6 DISCUSSÃO	26

6.1 DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES E CLOROFILA-A NO ARQUIPÉLAGO SHETLAND DO SUL.....	26
6.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO OCEANO AUSTRAL.....	36
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	38
8 ANEXOS.....	40
9 REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

1.1 PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA E NUTRIENTES

A produtividade primária dos oceanos é primariamente controlada pela intensidade de luz, hidrografia e disponibilidade de nutrientes inorgânicos, principalmente nitrogênio na forma de nitrato ou amônio, fósforo como fosfato e sílica como silicato. No processo de fixação do CO₂, os nutrientes são convertidos em compostos orgânicos pelos organismos fotossintetizantes, sendo este o ponto de partida do fluxo de carbono na teia trófica (Libes, 1992). Nitrogênio e fósforo são utilizados por todos os grupos algais no metabolismo das células. Dentre as várias funções que exercem no organismo, pode-se destacar a formação das bases nitrogenadas dos ácidos nucleicos pelo nitrogênio e as moléculas de adenosina tri-fosfato (ATP) pelo fósforo. O silicato, por outro lado, é empregado apenas pelos produtores primários que utilizam silício na formação de frústulas, como diatomáceas e silicoflagelados.

O fitoplâncton, composto por organismos autotróficos unicelulares, representa uma fonte potencial de transferência de CO₂ atmosférico para os oceanos. Tendo isso em vista, o conhecimento da distribuição da produtividade primária em larga escala é necessário para entender o papel dos oceanos no ciclo global do carbono (Pollery, 2005). Mudanças nas concentrações de nutrientes podem afetar o crescimento das algas e modificar a composição de grupos fitoplanctônicos, alterando o fluxo de carbono na teia trófica e a energia disponível para sustentar os níveis superiores (Parsons *et al.*, 1984).

A zona eufótica é a região com maior demanda de nutrientes pelos organismos pela intensa disponibilidade de luz, essencial à fotossíntese. Os nutrientes são repassados pela teia trófica através de pastagem ou predação e retornam à forma inorgânica a partir da excreção e decomposição de organismos, e dissolução físico-química de carapaças silicosas. A bomba biológica dos oceanos – caracterizada pelo movimento vertical de organismos e pelotas fecais – é a principal responsável pelo transporte desses nutrientes da camada superficial para a termoclina e camadas profundas. Se os nutrientes não retornassem à zona eufótica, a produtividade biológica dos oceanos

certamente cairia drasticamente. Isso não acontece, pois, a partir de fenômenos de divergência e ressurgência, águas profundas emergem à superfície e trazem consigo grande quantidade de nutrientes (El-Sayed, 1985).

No Oceano Austral, vários processos atuam no transporte vertical de nutrientes para a camada superficial (como divergências de larga escala e ressurgências localizadas), responsáveis por estimular localmente a produtividade (El-Sayed, 1985). A disponibilidade de macronutrientes na zona eufótica da Antártica Marítima, entretanto, raramente atua como um fator limitante da produtividade primária na região, tanto na zona costeira quanto em oceano aberto (Maturana *et al.*, 1997; Pollery, 2005). O silicato, em especial, apresenta concentrações muito elevadas em águas antárticas, principalmente na zona costeira, proveniente do degelo, dos aportes terrestres em água de superfície e da presença da Água de Fundo Antártica, atingindo concentrações superiores a $90\mu\text{M}$ (Bastos & Braga, 2012). Segundo Smith *et al.* (2001), com base na produtividade, é possível separar a região Antártica em dois ambientes com características distintas: o oceano aberto (definido como a região ao sul da convergência antártica, com $36 \times 10^6 \text{ Km}^2$ (El-Sayed, 1968)), dependente do amônio como fonte de nitrogênio, considerado extremamente improdutivo (cerca de $16\text{g C/m}^2/\text{ano}$ (Holm-Hansen *et al.*, 1977), com variação sazonal baixa de produção fitoplantônica e baixa contribuição no fluxo de carbono; e, em contraste, as áreas próximas ao gelo, com $16,4 \times 10^{12} \text{ Km}^2$, altamente produtivas ($38\text{g C/m}^2/\text{ano}$), mas restritas em tempo e localização (Smith & Nelson, 1986). São regiões dependentes do nitrato como fonte de nitrogênio, caracterizadas por variações sazonais marcadas e que contribuem substancialmente para o fluxo biogênico na região. A produção primária nova (descrita por Eppley & Peterson (1979) como a produção baseada no nitrato e, posteriormente, disponível para exportação para o oceano profundo) gerada na Antártica é de $0,48 \times 10^{15} \text{ g C/ano}$, o que representa uma contribuição de cerca de 8% para a produtividade global (Smith *et al.*, 2001).

Os principais macronutrientes dissolvidos no oceano - nitrogênio e fósforo - têm uma importante relação, conhecida como razão N/P. A assimilação desses nutrientes pelos produtores primários segue a Razão de

Redfield (1963) 16N: 1P, considerada o limite crítico para interpretar a limitação da atividade fotossintética por nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) ou fósforo inorgânico dissolvido (PID). Essa razão, no entanto, pode variar entre as regiões de acordo com as características fisiológicas e a composição de espécies da comunidade planctônica. De maneira geral, a razão N:P é governada pela abundância relativa de espécies com distintas necessidades metabólicas. O Oceano Austral é prioritariamente composto por diatomáceas com relativamente baixa razão N:P (~11) e o restante dos produtores primários com alta razão (~20) (Weber & Deutsch, 2010). No entanto, as comunidades planctônicas específicas de cada região, como as diversas espécies de macroalgas encontradas nas ilhas investigadas nesse estudo, podem controlar a razão N:P e gerar padrões diferentes do esperado. Outra razão conhecida relaciona as proporções entre as concentrações de sílica inorgânica dissolvida (SiD) e NID incorporadas pelo fitoplâncton silicoso, conhecida como razão Si:N, referenciada em 1:1 (Brzezinski, 1985).

1.2 O PARADOXO ANTÁRTICO – HNLC

No Oceano Austral, a composição de nutrientes é diferente de todas as regiões do globo, inclusive do Ártico. A região é conhecida pelas altas concentrações de nutrientes e baixas concentrações de clorofila-*a* “high nutrients-low chlorophyll” (HNLC) (Jaques, 1989). Os nutrientes inorgânicos dissolvidos, que são o principal recurso limitante para o crescimento dos produtores primários na maioria dos oceanos, raramente atingem concentrações potencialmente críticas em águas antárticas. As fronteiras do Oceano Austral são regiões com estruturas hidrográficas bem marcadas e correspondem aos principais limites da distribuição de nutrientes, conforme exemplificado a seguir. A Convergência Subtropical, considerada o limite norte do Oceano Austral, coincide com um decréscimo abrupto nas concentrações de macronutrientes. Ao Sul da Frente Polar, as concentrações aumentam progressivamente (Smith & Nelson, 1990) (FIGURAS 1 e 2A).

Apesar das elevadas concentrações de nutrientes e da alta incidência de

luz durante o verão, a produtividade primária em águas antárticas é semelhante à de oceanos oligotróficos a mesotróficos (Campbell & Aarup, 1989), exceto durante “blooms” ocasionais de fitoplâncton que ocorrem mais frequentemente nas águas costeiras durante o verão e representam um aporte importante para a cadeia trófica (El-Sayed, 1971a) (FIGURA 2B).

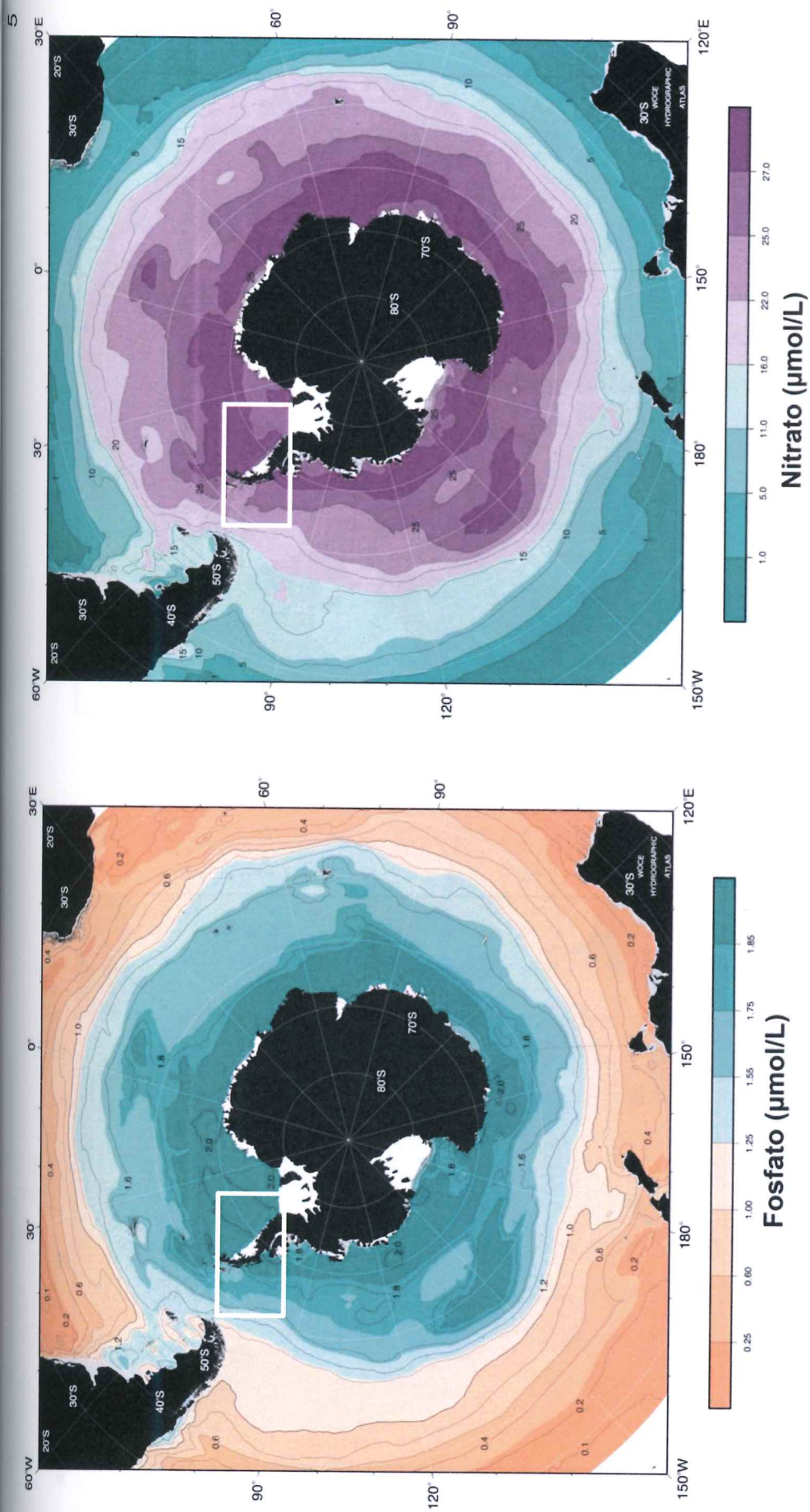


FIGURA 1: Distribuição de fosfato (A) e nitrato (B) a 50 metros de profundidade no Oceano Austral. Em destaque a região onde está situada a Península Antártica. Fonte: Woce Hydrographic Atlas.

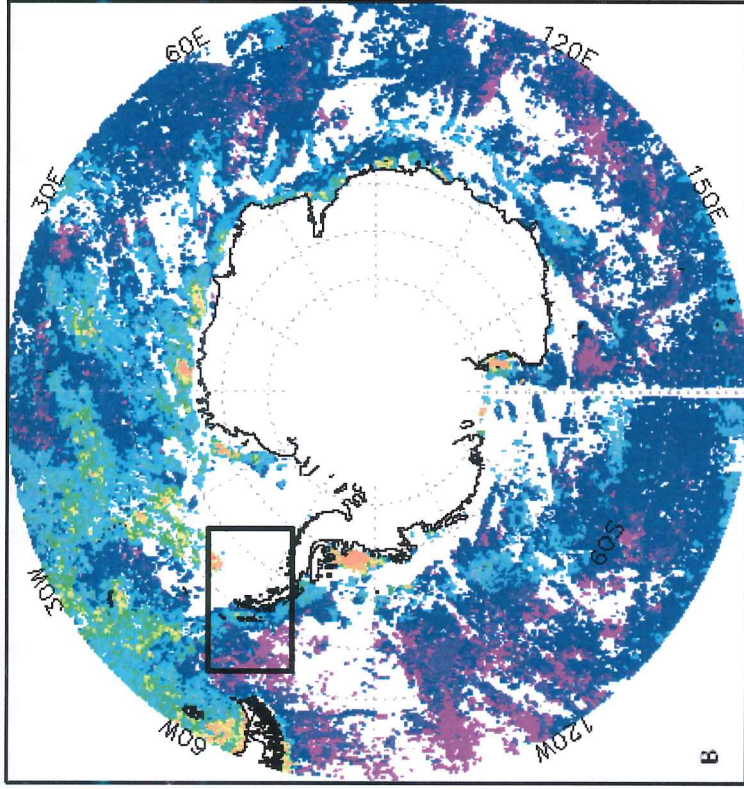
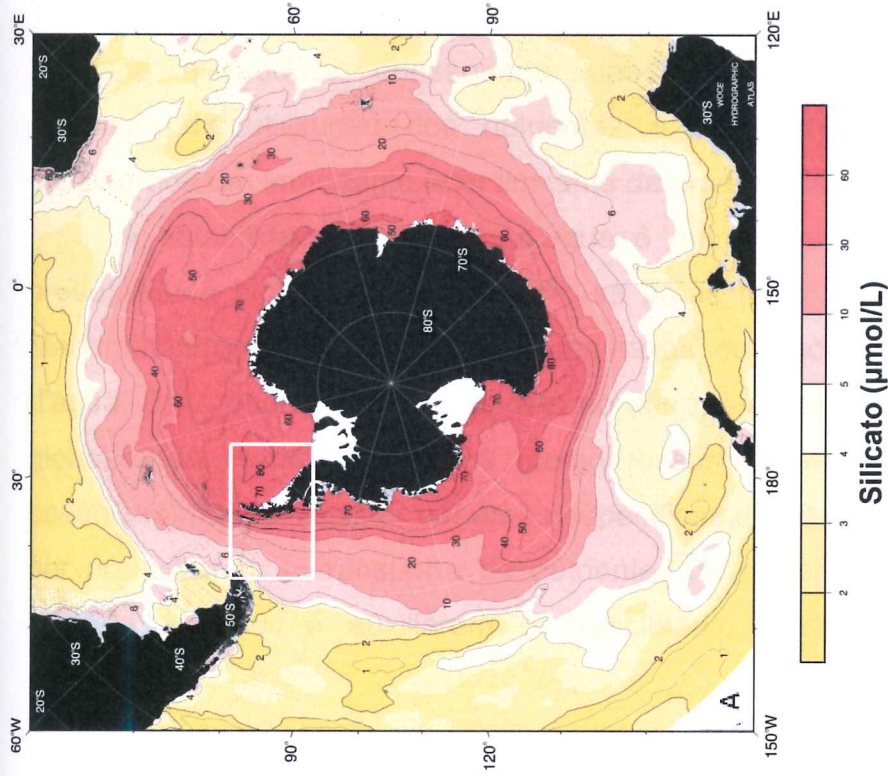


FIGURA 2: A) Distribuição de silicato (a 50 metros de profundidade). B) Distribuição de clorofila- α durante o verão no Oceano Austral. Em destaque a região onde está situada a Península Antártica. Fontes: Woce Hydrographic Atlas e Nasa Geospatial Science Center.

Existem várias hipóteses para explicar esse paradoxo antártico: El-Sayed (1987), em um estudo de revisão, sugeriu que o crescimento do fitoplâncton nessa região é controlado principalmente pelos fatores disponibilidade de luz, variação de temperatura, estabilidade da coluna d'água e pressão de pastagem. Para Korb *et al.* (2005), a disponibilidade de ferro é outro fator importante capaz de limitar a produtividade nessa região. Segundo a revisão elaborada por Baar & Boyd (1999), a produtividade primária no Oceano Austral é controlada pelo conjunto disponibilidade de luz, cobertura de gelo e ventos, disponibilidade de ferro e pastagem. A importância relativa dos fatores físicos, químicos e biológicos na co-limitação da produtividade em águas antárticas, entretanto, ainda não é totalmente compreendida e varia de acordo com a localização, o tempo e as condições meteorológicas (Lancelot *et al.*, 1993).

A variação de radiação solar entre o verão e o inverno antártico é extrema, o que influencia diretamente a biomassa fitoplanctônica e a produtividade primária na região. A incidência de luz na camada superficial do Oceano Austral é controlada pela intensidade e ângulo de incidência dos raios solares, superfície de reflexão, absorção por partículas em suspensão e, principalmente, pela presença de regiões congeladas e icebergs, que diminuem significativamente a penetração de luz na água superficial (El-Sayed, 1987). Tilzer *et al.* (1986) *apud* El-Sayed (1987) verificaram que a desaceleração da atividade metabólica, consequente das baixas temperaturas, diminui a eficiência de utilização dos nutrientes e da energia solar e pode ser considerada um importante fator limitante da produtividade primária.

A estabilidade da coluna d'água é outro fator capaz de controlar a produtividade biológica nos oceanos: as áreas mais produtivas na Antártica Marítima são associadas às menores taxas de trocas verticais na coluna d'água. Esse padrão é quase oposto ao que prevalece nas outras regiões do globo, onde fenômenos físicos (como ressurgências localizadas e frentes oceânicas) podem resultar em áreas específicas de alta produtividade primária por promoverem o transporte de nutrientes de profundidade médias para a camada superior e auxiliarem o crescimento fitoplanctônico. Em águas

antárticas isso não ocorre porque a turbulência está sempre presente e as concentrações de nutrientes são normalmente suficientes para suprir as necessidades metabólicas dos produtores primários. A radiação solar é o principal fator limitante. Desta forma, a estabilidade vertical da coluna d'água melhora o regime de luz para o fitoplâncton, por restringir a extensão vertical da mistura causada pelo vento, e pode aumentar as taxas de crescimento (Smith & Sakshaug, 1990).

A pastagem, como potencial limitante da produtividade biológica, pode ser explicada principalmente pela distribuição do krill (*Euphausia superba*), que constitui mais de metade da abundância do zooplâncton no Oceano Austral (Holdgate, 1967). Regiões com altas concentrações de krill, como o centro do Estreito de Bransfield, são marcadas por baixa biomassa fitoplantônica, devido à intensa pressão de pastagem. Segundo Weber *et al.* (1986), a variabilidade de concentração fitoplantônica no Oceano Austral está, pelo menos grande parte das vezes, relacionada ao krill.

O ferro, por sua vez, é considerado um micronutriente limitante na região porque, segundo estudos, as regiões de blooms fitoplanctônicos estão relacionadas normalmente a fontes naturais de ferro mineral (Korb *et al.*, 2005). De acordo com Buesseler & Boyd (2003) houve três experiências de enriquecimento de ferro no oceano austral, e todas causaram um aumento significativo da biomassa e diminuição do carbono inorgânico dissolvido e dos nutrientes. Este pode ser considerado outro indicativo de que a produção primária pode ser limitada por ferro na região.

1.2 A RELEVÂNCIA DO ESTUDO

O sistema meteoceanográfico da Antártica é considerado o principal regulador térmico do planeta, com capacidade de controlar as circulações atmosférica e oceânica globais. Por sua extrema sensibilidade às mudanças climáticas globais, é nesta região que percebemos primeiro as alterações que o planeta vem sofrendo. O desenvolvimento acelerado das atividades industriais, marcado pelo aumento progressivo das emissões de CO₂ e gases tóxicos,

aquecimento dos oceanos e variações bruscas de pH, têm afetado as condições ambientais em todo o mundo.

Neste contexto, o aumento da concentração de gases de efeito estufa e da temperatura no planeta, pode causar mudanças nas características físico-químicas dos oceanos e, conseqüentemente, atingir o desenvolvimento dos produtores primários e alterar a dinâmica da teia trófica.

O monitoramento dos parâmetros ambientais (salinidade, temperatura, pH e oxigênio dissolvido), dos níveis de clorofila-a e da distribuição de nutrientes inorgânicos dissolvidos na Antártica Marítima é importante para avaliar as condições atuais e detectar possíveis mudanças ambientais, que terão reflexo nos ecossistemas temperados e subtropicais do Hemisfério Sul. Com base nisso, este estudo foi desenvolvido com o intuito de compor uma base de dados para caracterizar a estrutura físico-química da água como um arcabouço para o monitoramento da diversidade biológica.

Além disso, este estudo contribui para o projeto de pesquisa "Biodiversidade, distribuição e histórico de vida de macroalgas e fungos algícolas associados ao monitoramento de indicadores abióticos, bioquímicos e microbiológicos na Península Antártica e arquipélagos adjacentes", desenvolvido com o objetivo de monitorar a biodiversidade, o histórico de vida e a distribuição das macroalgas e fungos algícolas presentes na Península Antártica e arquipélagos adjacentes e associá-los aos indicadores químicos, físicos e microbiológicos da água. O projeto faz parte do Programa Antártico Brasileiro – PROANTAR (Edital MCTI/CNPq - Nº 23/2009) e foi desenvolvido durante os verões austrais de 2010/2011 e 2011/2012.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a distribuição de nutrientes inorgânicos dissolvidos e clorofila -a em algumas ilhas do Arquipélago Shetland do Sul durante os verões austrais de 2010/2011 e 2011/2012.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I) Mensurar as concentrações de nitrato, nitrito, amônio, fosfato e silicato dissolvidos na água; determinar o material particulado em suspensão (MPS), temperatura, salinidade, teores de oxigênio dissolvido e clorofila-a.
- II) Relacionar a distribuição de nutrientes às concentrações de clorofila-a e às características físicas da água (temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e MPS).
- III) Verificar a variação espacial de nutrientes entre as regiões investigadas.
- IV) Averiguar a ocorrência eventual de áreas específicas limitadas por macronutrientes em água superficial.

3 ÁREA DE ESTUDO

A Antártica é conhecida como “o continente dos superlativos”, por ser o mais frio e úmido, com maiores velocidades de vento e maior altitude média do planeta (Hanson & Gordon, 1998). . O continente antártico se divide em duas partes: uma continental, mais fria e seca, e outra marítima mais úmida e dinâmica, e é cercado pelo Oceano Austral, formado pelo encontro de águas dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico. Como em outros ambientes polares, a disponibilidade de luz é alta apenas durante o verão. A biota antártica, que está concentrada, principalmente, ao redor dos continentes, nas ilhas e na costa, inclui várias espécies de mamíferos marinhos (baleias, focas, elefantes marinhos, lobos marinhos etc.), aves, peixes, macroalgas, musgos e líquens. Caracteristicamente, a teia alimentar é curta, com poucos níveis tróficos, baixa diversidade de espécies e grande número de indivíduos (elevada biomassa).

O Arquipélago das Shetland do Sul, localizado na Antártica Marítima, possui comprimento longitudinal de aproximadamente 500 km e está separado da Península Antártica pelo Estreito de Bransfield e da América do Sul pela Passagem do Drake (Bernsmuller, 2005) (FIGURA 3). Neste estudo, foram investigadas treze estações amostrais alocadas próximas às ilhas Rei George, Elefante, Deception, Livingston e Nelson, no Arquipélago Shetland do Sul, durante os verões austrais de 2010/2011 e 2011/2012 (Operações Antárticas Brasileiras - OPERANTAR XXIX e XXX, respectivamente) (FIGURA 4).

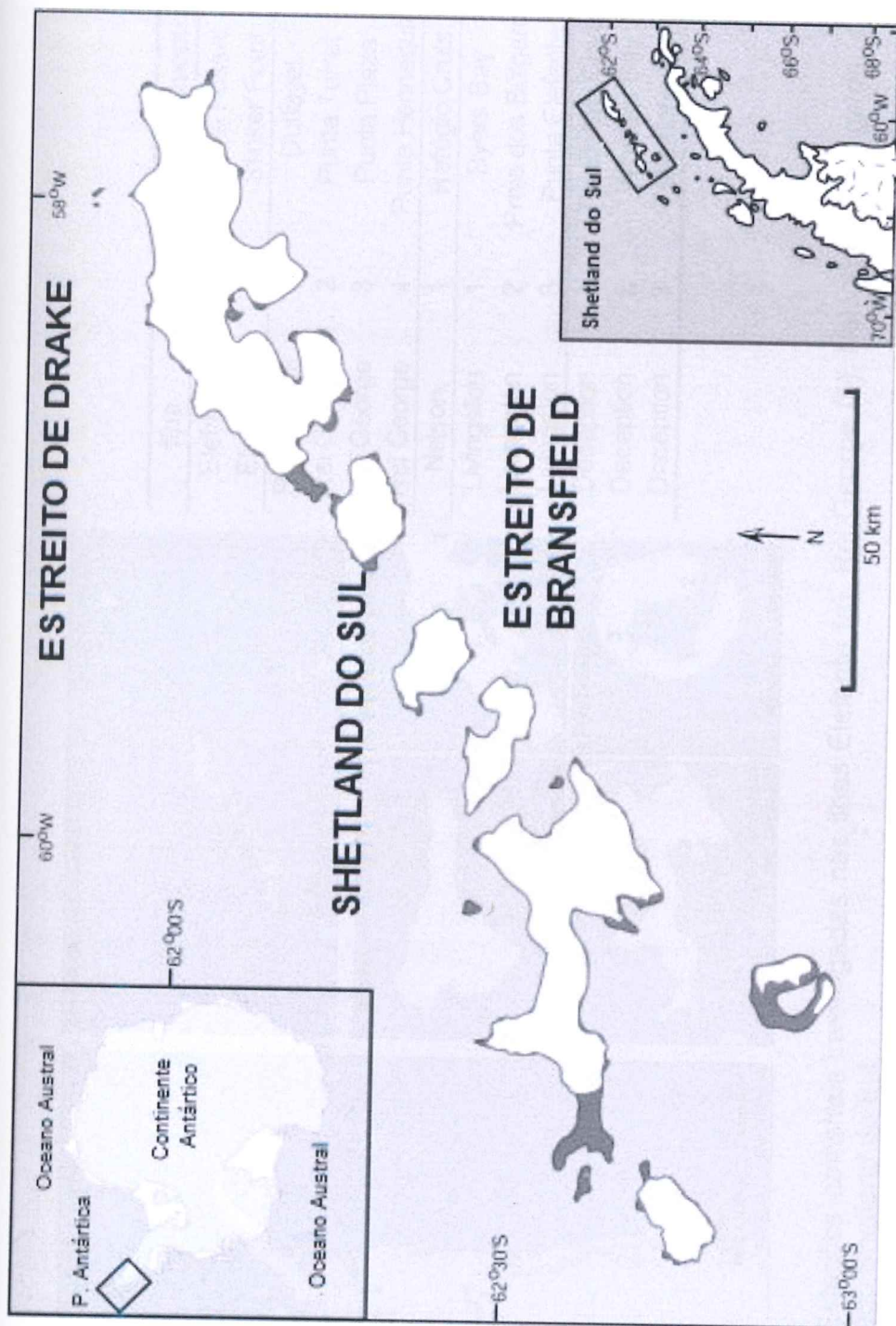
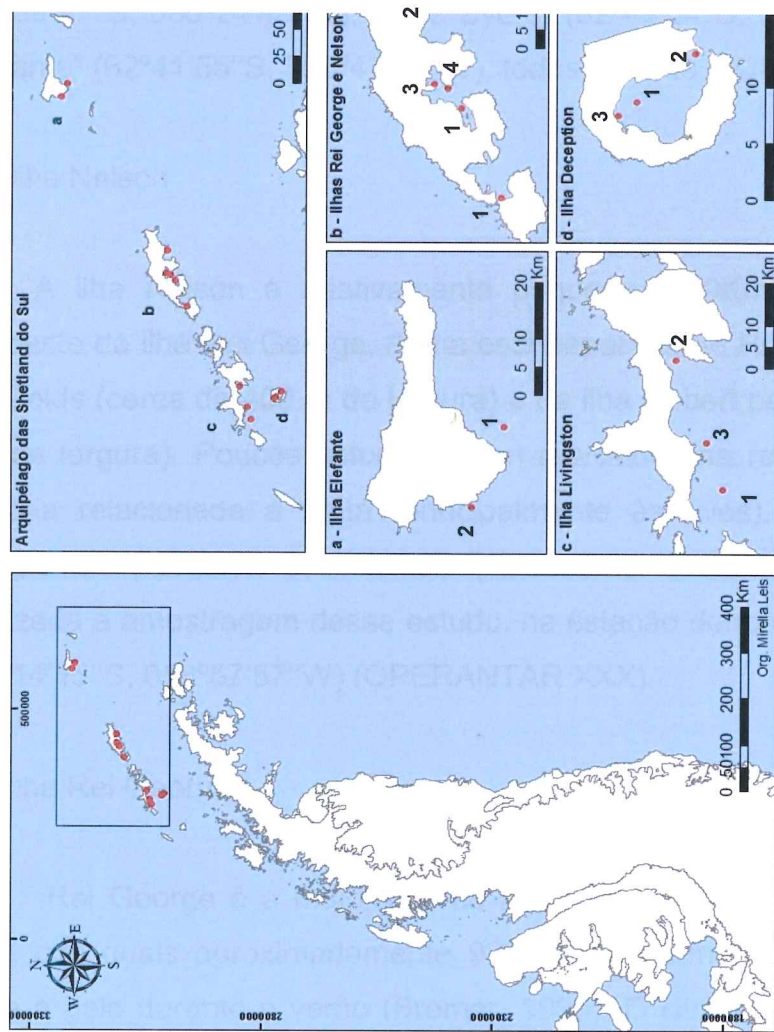


FIGURA 3: Localização do Arquipélago Shetland do Sul, Antártica Marítima. Adaptado de Hall, 2009. Acima e a esquerda o continente antártico e em destaque a região da Península Antártica. Abaixo e a direita a região da Península Antártica e em destaque o Arquipélago Shetland do Sul. Nesta figura explicativa não aparece a ilha Elefante, localizada ao norte do arquipélago.



Ilha	ID	Estação Amostral	Operação
Elefante	1	Ponta Fossat	OPERANTAR XXX
Elefante	2	Stinker Point	OPERANTAR XXIX
Rei George	1	Duffayel	OPERANTAR XXX
Rei George	2	Punta Turret	OPERANTAR XXX
Rei George	3	Punta Plaza	OPERANTAR XXX
Rei George	4	Punta Hennequin	OPERANTAR XXX
Nelson	1	Refúgio Cruis	OPERANTAR XXX
Livingston	1	Byers Bay	OPERANTAR XXX
Livingston	2	Praia dos Búgaros	OPERANTAR XXX
Livingston	3	Punta Elefante	OPERANTAR XXX
Deception	1	Pendulum Cove	OPERANTAR XXX
Deception	2	Whalers Bay	OPERANTAR XXIX
Deception	3	Telephone Bay	OPERANTAR XXX

FIGURA 4: Estações amostrais investigadas nas ilhas Elefante (a), Rei George (b), Nelson (b), Livingston (c) e Deception (d), Arquipélago Shetland do Sul.

3.1 Ilha Livingston

Livingston, a segunda maior ilha do Arquipélago Shetland do Sul, com 850 Km², é intensamente ocupada por glaciares. As condições climáticas são amenas, por causa da amplitude térmica relativamente pequena (explicada pelo tamponamento térmico do oceano durante o inverno e pela cobertura de gelo durante o verão) e da localização, na parte mais estreita do Oceano Austral (Temniskova–Topalova *et al.*, 1996).

A ilha é considerada um “hotspot” em termos de diversidade biológica na Antártica, com um número muito maior de espécies do que as regiões próximas, devido às condições ambientais e à proximidade da América do Sul. Além disso, é uma das regiões menos impactadas do arquipélago, por isso pode fornecer importantes dados de “background” (Quesada *et al.*, 2009).

Foram investigadas na ilha Livingston as estações “Praia dos Búlgaros” (62°38'47”S, 060°24'48”W), “Baía Byers” (62°43'04”S, 061°00'46”W) e “Punta Elefante” (62°41'55”S, 060°47'32”W), todas durante a OPERANTAR XXX.

3.2 Ilha Nelson

A ilha Nelson é relativamente pequena (200Km²) e fica localizada a sudoeste da ilha Rei George. A ilha está separada de Rei George pelo Estreito de Fields (cerca de 400 m de largura) e da ilha Robert pelo Estreito Nelson (10 km de largura). Poucos estudos foram realizados na região, sendo a grande maioria relacionada à biota (principalmente às aves). O Brasil possui um refúgio de pesquisa em Nelson (Astrônomo Cruls), próximo do qual foi realizada a amostragem desse estudo, na estação denominada “Refúgio Cruls” (62°14'45”S, 058°57'57”W) (OPERANTAR XXX).

3.3 Ilha Rei George

Rei George é a maior ilha do Arquipélago Shetland do Sul, com 1338 Km², dos quais aproximadamente 93% estão permanentemente cobertos de neve e gelo durante o verão (Bremer, 1998). O clima na região é regido pela passagem de sistemas ciclônicos, que transportam ar quente e úmido, ventos

fortes e intensa precipitação (Bintanja, 1995) e apresenta características tipicamente litorâneas: grande cobertura de nuvens, alta umidade relativa do ar e pequena variação de temperatura (Wen *et al.*, 1994).

A região ao redor da ilha recebe constante aporte de água doce, proveniente de córregos de degelo, chuva, neve e dos icebergs e blocos menores de gelo. A massa d'água superficial é pouco estratificada por sofrer influência das correntes do Estreito de Bransfield e do Mar de Weddell, dos ventos e, em alguns casos, das marés (Dewes, 2004). A ilha apresenta grande diversidade de vida marinha e costeira, abrigando várias espécies de aves (pinguins, skuas, petréis), mamíferos marinhos (elefantes marinhos, focas, lobos marinhos), peixes, algas, musgos e líquens (Bernsmuller, 2005).

Na região de Rei George, foram estudadas as estações "Punta Plaza" (62°05'02"S, 058°22'51"W), "Punta Hennequin" (62°07'18"S, 058°24'16"W) e "Punta Turret" (62°05'40"S, 057°58'55"W). Outra estação investigada fica próxima à Duffayel, uma pequena ilha localizada dentro da Baía do Almirantado, a estação "Duffayel" (62°09'01"S, 058°30'43"W). Todas as regiões foram investigadas durante a OPERANTAR XXX.

3.4 Ilha Elefante

A ilha Elefante está localizada ao norte do Arquipélago Shetland do Sul, entre as zonas frias do Mar de Weddell e temperada do Mar da Scotia, próxima a um centro semipermanente de baixa pressão. Uma das principais características da ilha é a presença de ventos fortes, com raros períodos de calmaria (O'Brien, 1974).

As características físico-oceanográficas da região que cerca a ilha Elefante são complexas porque há mistura de massas d'água e variedade de topografia do piso oceânico – de grandes áreas de plataforma continental a regiões pelágicas profundas. As águas ao redor da ilha são provenientes do Mar de Bellingshausen, do Estreito de Bransfield, do Mar de Wedell e do Estreito de Drake. Assim como as taxas de crescimento fitoplanctônico e a produtividade primária, as características físicoquímicas da água variam de acordo com a origem da massa d'água (Holm-Hansen *et al.*, 1997).

A área próxima à ilha Elefante é conhecida pela alta biomassa de krill (*Euphausia superba*), associada normalmente às elevadas taxas de produtividade primária na zona de mistura (Everson, 1983). Estudos indicam que essa alta produtividade deve estar relacionada a um sistema frontal localizado ao norte de Elefante (Witek *et al.*, 1988; Amos & Lavender, 1991).

As estações oceanográficas deste estudo foram realizadas em "Stinker Point" (61°13'30"S, 055°21'46"W) (OPERANTAR XXIX) e "Ponta Fossat" (61°16'01"S, 055°07'W) (OPERANTAR XXX).

3.5 Ilha Deception

Deception é um complexo vulcânico ativo com 9,8 x 5,7 km de caldeira e 160 metros de profundidade. A caldeira, chamada Port Foster, tem ligação com o oceano aberto através de um amplo canal (550 m de largura), por onde ocorre a troca de água e organismos e a entrada de embarcações (Smith *et al.*, 2003). Esta região difere-se das demais por duas razões principais: a natureza semi-fechada da bacia e a atividade geotermal (Lenn *et al.*, 2003). O vulcanismo e os processos geotermiais são importantes fontes de nutrientes na região, principalmente próximo à costa (Dykes, 2002).

Foram realizadas estações oceanográficas em "Telephone Bay" (62°55'11"S, 060°39'48"W) e "Whalers Bay" (62°59'15"S, 060°33'02"W) (OPERANTAR XXIX) e em "Pendulum Cove" (62°56'02"S, 060°38'12"W) (OPERANTAR XXX).

4 METODOLOGIA

Perfis verticais das variáveis físico-químicas da água nas estações investigadas foram elaborados a partir de amostras coletadas com o equipamento Rosette e CTD acoplado. As amostragens foram realizadas a cada dez metros de profundidade, da superfície até o fundo. Temperatura, salinidade e teores de oxigênio dissolvido (OD) foram mensurados por um equipamento CTD (“conductivity, temperature and depth”) acoplado a um sensor de OD. As amostras para a determinação de nutrientes inorgânicos dissolvidos foram fixadas com cloreto de mercúrio e analisadas posteriormente no Laboratório de Biogeoquímica do CEM/UFPR.

4.1 Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos

A bordo do Navio Polar Almirante Maximiano (H41), as amostras foram coletadas em frascos de polipropileno escuros, previamente lavados três vezes com água do local. Em seguida, foram filtradas em filtros de microfibras de vidro (Whatman GF/C, 47mm de diâmetro), fixadas com cloreto de mercúrio 5,25 mg/L (0,3 ml/100 ml de amostra) e armazenadas em frascos de polipropileno. Em laboratório, as amostras foram analisadas segundo o método colorimétrico descrito por Grashoff *et al.* (1983) por espectrofotometria na região visível (UV-1601, Shimadzu). O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) foi obtido somando-se as concentrações dos nutrientes inorgânicos nitrogenados (nitrato, nitrito e amônio).

4.2 Clorofila-a

Para determinação da clorofila-a foram filtrados 200 mL de amostra em filtros de microfibras de vidro (Whatman GF/C, 47mm de diâmetro), os quais permaneceram congelados no navio, durante o trajeto ao Laboratório de Biogeoquímica Marinha/CEM e até o momento da análise. Aplicou-se o método fluorimétrico, em fluorômetro Turner Designs, modelo AU-10 após a extração com acetona 90%, conforme descrito por Strickland e Parsons (1972).

4.3 Material Particulado em Suspensão (MPS)

Foram filtrados, em média, 700 mL de amostra em filtros de microfibras de vidro (Whatman GF/C, 47mm de diâmetro), previamente lavados e pesados, para determinação do MPS. Os filtros permaneceram congelados desde a coleta até chegar ao Laboratório de Biogeoquímica Marinha/CEM e até o momento da análise, que consiste na determinação da diferença gravimétrica entre os filtros cheios (com amostra) e vazios, método descrito por Strickland & Parsons (1972) e realizado em balança analítica com precisão de 0,01 mg.

4.4 Tratamento dos Dados e Análises Estatísticas

Gráficos contendo valores médios de cada parâmetro analisado foram desenvolvidos no software R 2.13.1. Perfis da coluna d'água de todas as variáveis amostradas foram realizados no Microsoft Office Excel 2010. Análises de Componente Principal (PCA) foram realizadas no software R 2.13.1, para correlacionar as características físico-químicas de água às estações amostrais.

5 RESULTADOS

Nas estações investigadas durante a OPERANTAR XXIX (“Whalers Bay” e “Telephone Bay”, ilha Deception; e “Stinker Point”, ilha Elefante) foram analisados somente os nutrientes. Não foram amostrados salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido, material particulado em suspensão e clorofila-*a*, por problemas logísticos. Estas variáveis foram investigadas apenas durante a OPERANTAR XXX. Os valores/concentrações médios dos parâmetros analisados (nutrientes inorgânicos dissolvidos, salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido, material particulado em suspensão e clorofila-*a*) nas ilhas investigadas (Deception, Livingston, Nelson, Elefante e Rei George) estão apresentados em gráficos (FIGURA 5) e descritas individualmente a seguir.

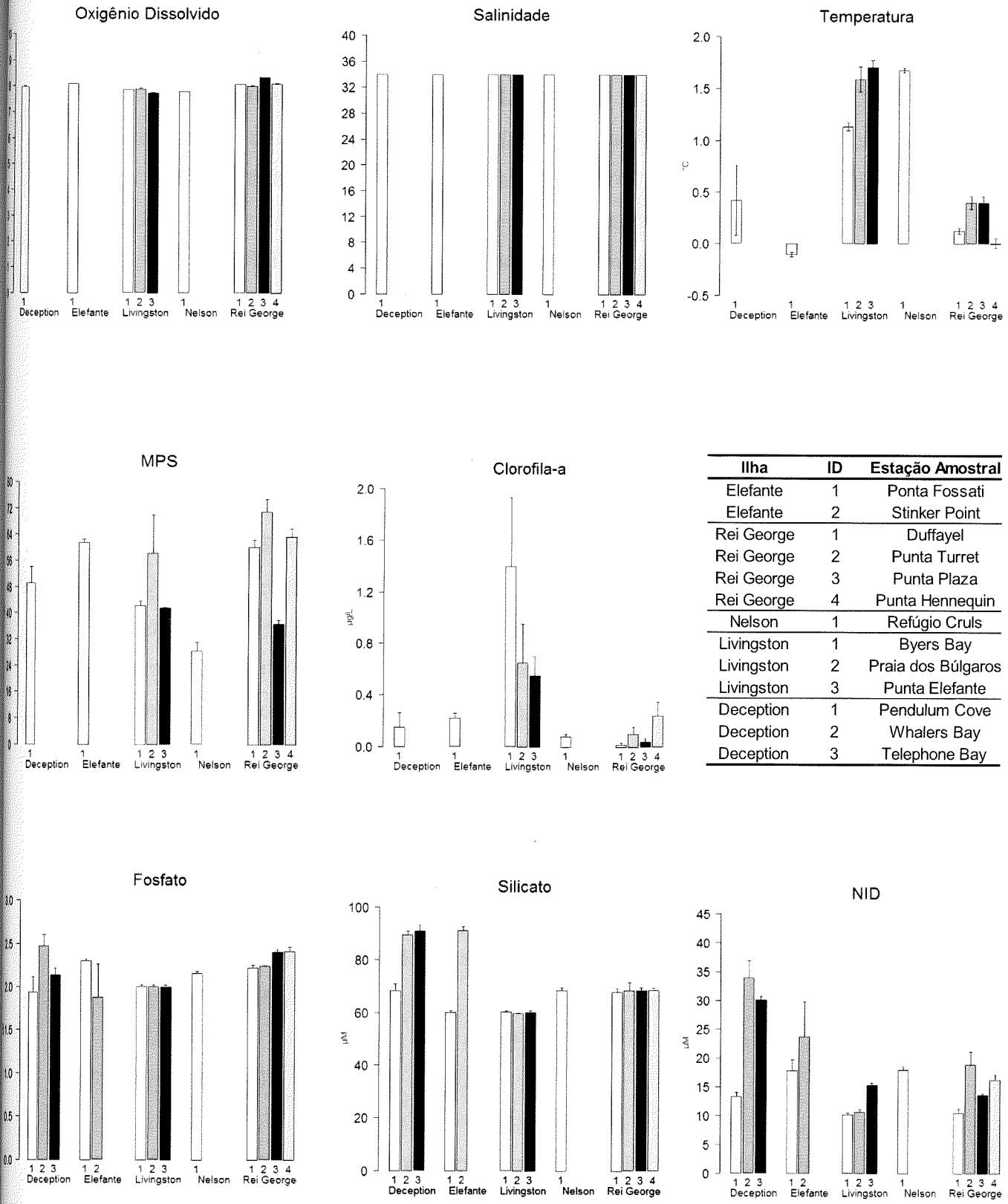


FIGURA 5: Concentrações/valores de oxigênio dissolvido, salinidade, temperatura, material particulado em suspensão, clorofila- α e nutrientes inorgânicos dissolvidos (fosfato, nitrogênio inorgânico dissolvido e silicato) nas estações amostrais localizadas no Arquipélago Shetland do Sul, Antártica Marítima (valores médios e desvio padrão).

5.1 ILHA LIVINGSTON

A temperatura da água na ilha Livingston variou de 1,05 a 1,95 °C. A salinidade foi homogênea (34) em todas as estações e os teores de oxigênio dissolvido apresentaram pouca variação, de 7,7 a 7,9 ml/L (TABELA 1; FIGURA 5). As concentrações de material particulado em suspensão variaram entre 38,5 a 47,7 mg/L e não apresentaram um padrão claro de distribuição vertical (FIGURAS 6 e 7). A clorofila-*a* variou de não detectado ($ND < 0,1$) a 2,7 $\mu\text{g/L}$, sendo as maiores concentrações detectadas em subsuperfície (10 a 20 metros de profundidade), onde há maior estabilidade da coluna d'água e não há limitação por luz, necessária ao metabolismo fotossintético (FIGURAS 6 e 7). Os teores médios de clorofila-*a* para as estações de Livingston foram os mais altos entre as ilhas investigadas (FIGURA 5). As concentrações de NID variaram entre 9,3 a 15,8 μM . Não foi verificado um gradiente vertical em nenhum dos pontos amostrais (FIGURAS 6 e 7), mas especialmente as concentrações mais elevadas de NID foram encontradas na estação "Punta Elefante" (FIGURA 5). O fosfato apresentou concentrações praticamente constantes em todas as estações e profundidades (1,9 a 2,0 μM), assim como o silicato (57,7 a 61,4 μM) (FIGURAS 6 E 7).

Todos os valores calculados para a razão N/P estão abaixo da Razão de Redfield 16:1, oscilando de 4,6 a 8,4. Dentre esses valores, os mais elevados são encontrados na estação "Punta Elefante". Os resultados das razões Si/N, por outro lado, estão acima da Razão de Brzezinski, de 1:1, variando de 3,6 a 6,4. Os valores menos elevados, nesse caso, também se destacam em "Punta Elefante" (FIGURA 8).

5.2 ILHA NELSON

A temperatura da água encontrada na estação "Refúgio Cruls" foi de 1,7 °C, a salinidade 34 e a concentração de oxigênio dissolvido 7,8 ml/L (TABELA 2; FIGURA 5). As concentrações de todos os nutrientes variaram pouco entre superfície e fundo (FIGURA 9). As concentrações de NID oscilaram de 16,3 a 19,6 μM , com um pequeno aumento a 10 metros de profundidade, e de fosfato de 2,1 a 2,2 μM . O silicato apresentou um decréscimo a 20 metros de

profundidade, com intervalo entre 64,5 (nesta profundidade) e 69,9 μM em todas as outras amostradas. A concentração média de MPS na ilha Nelson é a menor entre as regiões investigadas (FIGURA 5), oscilando de 24,3 a 34,8 mg/L, com as maiores concentrações associadas às maiores profundidades amostradas (30 e 40 metros) (FIGURA 9). A clorofila-a também apresentou baixos valores, não atingindo mais de 0,1 $\mu\text{g/L}$ (FIGURA 9).

Todos os valores da razão N/P nas estações investigadas na ilha Nelson estão abaixo da Razão de Redfield 16:1, na faixa de 7,4 a 9,2, sendo que o valor mais elevado corresponde ao máximo de NID (10 metros de profundidade). A razão Si/N variou de 3,6 a 4,2 e, portanto, todos os valores encontrados estão acima da Razão de Brzezinski, de 1:1. Os menores valores encontram-se a 10 e 20 metros, associados respectivamente ao máximo de NID e ao mínimo de silicato (FIGURA 10).

5.3 ILHA REI GEORGE

A temperatura da água na ilha Rei George oscilou de $-1,2^{\circ}\text{C}$ em “Punta Plaza” a $0,6^{\circ}\text{C}$ em “Punta Turret”. A salinidade foi homogênea em todas as estações (34) e os teores de oxigênio dissolvido foram, no geral, os mais elevados entre as ilhas estudadas, atingindo 8,4ml/L (TABELA 3; FIGURA 5). As concentrações de NID variaram de 9,5 a 22,1 μM . Os maiores valores foram detectados na estação “Punta Turret” e os menores em “Duffayel” (FIGURA 5). O fosfato variou pouco entre as estações e profundidades estudadas (2,1 a 2,8 μM) (FIGURAS 11 e 12) e o silicato, apesar de oscilar entre 62,9 a 80 μM , apresentou concentrações médias similares entre as estações (FIGURA 5). A estação “Punta Turret” foi a única a apresentar um gradiente vertical de distribuição de silicato bem marcado, com a maior concentração em água superficial e a menor a 40 metros de profundidade (FIGURA 11). Em “Duffayel” observa-se um máximo coincidente de fosfato, NID e material particulado em suspensão a 10 metros de profundidade (FIGURA 11). As concentrações de clorofila-a foram mais elevadas nas estações “Punta Plaza” e “Punta Hennequin”, onde atingiram valores máximos a 30 metros de profundidade, coincidentes com a maior concentração de NID e diminuição da concentração de material particulado em suspensão (FIGURAS 11 e 12). Os valores de MPS

oscilaram entre 23,3 e 78,5 mg/L; a estação "Punta Plaza" se diferenciou das demais por apresentar a menor média (36,6 mg/L). Entre as ilhas estudadas, a região de Rei George é a que apresenta as maiores concentrações médias de MPS (FIGURA 5).

Todos os valores da razão N/P nas estações investigadas na ilha Rei George estão abaixo da Razão de Redfield 16:1 e encontram-se na faixa de 2,4 a 8,8. Os maiores valores foram detectados em "Punta Turret" e "Punta Hennequin". A razão Si/N variou de 2,5 a 6,7. Todos os valores encontrados estão, portanto, acima da Razão de Brzezinski, de 1:1, e a estação que se destacou por apresentar os maiores valores foi a "Duffayel", devido às menores concentrações de NID (FIGURA 13).

5.4 ILHA ELEFANTE

A temperatura da água foi praticamente homogênea em todas as estações, com média de $-0,1^{\circ}\text{C}$, assim como a salinidade (34) e os teores de oxigênio dissolvido (8,1 ml/L) (TABELA 4; FIGURA 5). A concentração de fosfato variou de 0,4 a 2,3 μM , com destaque para a profundidade de 10 metros da estação "Stinker Point", que apresentou o menor valor, destoando das demais (FIGURA 14). As concentrações de NID variaram de 7,0 a 36,6 μM , com a menor média na estação "Ponta Fossat" (FIGURA 5). Assim como o fosfato, o NID apresentou a menor concentração a 10 metros de profundidade em "Stinker Point". Em "Ponta Fossat", as concentrações de nutrientes variaram de maneira inversa ao longo do perfil vertical da coluna d'água, com o pico de concentração de fosfato e NID nessa profundidade (FIGURA 14). A concentração média de silicato foi cerca de 35% maior na estação "Stinker Point" em relação à "Ponta Fossat" (FIGURA 5), com média de 91,3 μM na primeira e 60,5 μM na segunda. A concentração de silicato ao longo da coluna d'água não sofreu grande variação em nenhuma das estações. A concentração de material particulado em suspensão teve média de 61,6 mg/L, com pouca variação. A clorofila-a apresentou concentração máxima de 0,3 $\mu\text{g/L}$ em água superficial e a 40 metros de profundidade, coincidente com valores mínimos de NID e PID. (FIGURA 14).

Em apenas duas profundidades a razão N/P esteve acima da Razão de

Redfield 16:1, ambas na estação “Stinker Point”, na qual a média da razão é mais que o dobro de “Ponta Fossat”, atingindo o valor 27 a 10 metros de profundidade, relacionado à baixa concentração de fosfato. As razões Si/N foram superiores à Razão de Brzezinski, de 1:1 em todos os pontos, atingindo 13,5 em “Stinker Point” (FIGURA 15).

5.5 ILHA DECEPTION

A temperatura da água variou de $-1,2^{\circ}\text{C}$ a $1,2^{\circ}\text{C}$ entre as profundidades amostradas. A salinidade estava homogênea em todas as profundidades (34) e os teores de oxigênio dissolvido foram, em média, 8 ml/L (TABELA 5; FIGURA 5). As concentrações de NID variaram de 5,3 a $42,7\ \mu\text{M}$, sendo que as detectadas nas estações “Whalers Bay” e “Telephone Bay” no verão de 2010/2011 foram, no geral, 2,4 vezes maiores que as mensuradas na estação “Pendulum Cove”, nos mesmos dias do verão 2011/2012 (FIGURA 5). O fosfato apresentou concentrações de 1,4 a $2,7\ \mu\text{M}$, em todas as estações e profundidades estudadas (FIGURAS 16 e 17). O silicato variou de 62,9 a $95,6\ \mu\text{M}$ e as concentrações em “Telephone Bay” e “Whalers Bay” foram, em média, 25% mais elevadas que as encontradas em “Pendulum Cove” (FIGURA 5). A região de Deception apresenta as maiores médias de concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos entre as ilhas estudadas (FIGURA 5), sendo que os valores mais elevados foram registrados nas maiores profundidades (FIGURAS 16 e 17). O MPS variou de 38,3 a 82,5 mg/L, com a maior concentração na maior profundidade amostrada (130 metros). As concentrações de clorofila- α foram inferiores ao limite de detecção ($0,1\ \mu\text{g/L}$) na maioria das profundidades, com um pico a 10 metros de profundidade de $0,9\ \mu\text{g/L}$ (FIGURAS 16 e 17).

Todos os valores da razão N/P nas estações investigadas na Ilha Rei George estiveram abaixo da Razão de Redfield, de 16:1. Os valores encontrados nas estações “Whalers Bay” e “Telephone Bay” investigados no verão 2010/2011 são praticamente o dobro dos mensurados em “Pendulum Cove”, durante o verão 2011/2012. Para a razão Si/N, todos os resultados estiveram acima da Razão de Brzezinski 1:1 e, ao contrário da razão N/P, o valor medido na estação “Pendulum Cove” foi 45% maior do que o das outras

duas investigadas (FIGURA 18).

6 DISCUSSÃO

6.1 DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES E CLOROFILA-a NO ARQUIPÉLAGO SHETLAND DO SUL

Na região costeira das Ilhas Shetland do Sul, encontram-se as águas superficiais do estreito de Bransfield originadas no Mar de Bellingshausen, que entram em contato com a água proveniente do Mar de Weddell em direção a Península Antártica (Huntley *et al.*, 2001). As águas superficiais originadas no Mar de Bellingshausen são classificadas como águas superficiais antárticas e se estendem tipicamente até 200 metros de profundidade. Entretanto não são homogêneas, possuem diferenças de densidade acentuadas, que separam a parte do estreito com águas menos frias e menos salinas, próximo às Ilhas Shetland do Sul, e águas mais frias e mais salinas, próximo à Península Antártica (Zhou *et al.*, 2002). As águas superficiais antárticas com temperatura entre -1,8 e 1,0 °C e salinidade entre 33,5 e 34,5 são classificadas, por sua vez, como camada de mistura superficial. Apesar de algumas variações de sazonais de temperatura, que estão fora desse intervalo, todas as regiões investigadas neste estudo se enquadram nessa classificação (Meredith *et al.*, 2000).

As concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos encontradas nesse estudo foram altas e de clorofila-a baixas, como já reportado para esse ambiente. Goeyens *et al.* (1996), em um dos estudos mais completos sobre a disponibilidade de macronutrientes no Oceano Austral, caracterizou-o como o corpo d'água com maior estoque de nutrientes inorgânicos dissolvidos no mundo. Segundo o autor, com exceção de algumas raras regiões, os macronutrientes são apenas parcialmente removidos pelos produtores primários e o cenário geral é de uma absorção limitada, similar à encontrada em oceanos oligotróficos.

A ilha que se destaca por apresentar as maiores médias para todos os nutrientes é Deception. Verificaram-se, também, variações bem marcadas entre os anos de amostragem nessa região (verão 2010/2011 e 2011/2012). As estações investigadas em Deception na primeira expedição apresentaram concentrações de nutrientes mais elevadas do que as estudadas na segunda.

Deception difere das demais ilhas por mesclar características polares e vulcânicas (FIGURA 19). Desta forma, a atividade vulcânica, junto aos processos geotermiais, pode ter contribuído com as altas concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos (Dykes, 2002). A atividade geotermal, além de promover trocas químicas entre a rocha e a água, pode aumentar a solubilidade dos nutrientes pelo aquecimento (Sturz *et al.*, 2003). Os teores de sílica são alterados principalmente por processos geotermiais, enquanto o NID e o PID refletem mais intensamente o efeito de processos biológicos: decomposição da matéria orgânica e excrementos de aves e mamíferos na praia (Sturz *et al.*, 2003). As concentrações resultantes na região são resultado do balanço entre os diversos aportes e a remoção por processos geoquímicos e incorporação biológica. Apesar de não estar inclusa nos resultados deste estudo, foi mensurada a temperatura na camada superficial próxima à linha de costa, onde foram encontradas anomalias térmicas de até 6° C acima das temperaturas mensuradas no centro do cone e em outras regiões da península. Isso porque, a atividade geotermal, que se dá no sedimento, influencia consideravelmente essa região e, conseqüentemente, as concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos.

Além da influência dos processos de ressurgência, que atuam no transporte vertical de nutrientes para a camada superficial no Oceano Austral, as altas concentrações de NID e PID observadas em todas as estações estão provavelmente relacionadas às colônias de aves e mamíferos marinhos presentes em todo o arquipélago (FIGURA 20), que contribuem, principalmente, com aporte de amônio e fosfato a partir do guano. A concentração de nitrogênio no guano é de 8 a 16% e de fosfato de 8 a 12%, o que poderia explicar os altos valores de PID encontrados nas estações e as razões N:P abaixo da razão de Redfield 16N: 1P. A grande biomassa de organismos também gera matéria orgânica (M.O.), que sofre degradação e libera nutrientes na água. De acordo com Koike *et al.* (1986), mesmo havendo grandes concentrações de nutrientes novos nessa região, mais de 50% da produção primária pode ser atribuída à remineralização da M.O. Apesar das fontes abundantes de amônio nessa região, as concentrações encontradas não foram tão elevadas, pois os altos teores de OD oxidam-no rapidamente a nitrato (Libes, 1992). O silicato é abundante, mesmo nas ilhas em que não há

atividade vulcânica, proveniente, sobretudo, da Água de Fundo Antártica, dos aportes continentais e dos córregos de degelo. Essas regiões também apresentaram elevadas concentrações de MPS, que corroboram o aporte elevado de material biogênico proveniente das ilhas.

Os perfis verticais não seguiram um padrão definido. No entanto, o NID e o PID, na maioria das estações, apresentaram concentrações mais elevadas até 10 metros de profundidade, que podem ser explicadas pela hipótese desenvolvida por Gran (1931). Segundo o autor, o desenvolvimento dos produtores primários é retardado na região antártica pela mistura vertical causada por ventos intensos. Diferente do padrão esperado para os oceanos em geral, em que a turbulência favorece a sustentação do fitoplâncton na zona eufótica, na região austral os ventos são muito intensos e apenas após certa estabilização da coluna d'água (em maiores profundidades) formam-se os blooms e são consumidos os nutrientes, o que justifica as altas concentrações encontradas em superfície. Pode, também, haver a fotoinibição da atividade fitoplanctônica durante o verão nas camadas superficiais, diminuindo a absorção de nutrientes nos primeiros metros da coluna d'água.

A razão N/P pode auxiliar na identificação de regiões em que há uma potencial limitação da produtividade biológica por nitrogênio ou fósforo. No ambiente antártico, entretanto, diferente das regiões tropicais e subtropicais, essa razão deve ser analisada com cautela, pois normalmente representa excesso de um nutriente e em relação ao outro e raramente é capaz de apontar a limitação da produtividade. Apesar disso, ela pode ser utilizada para avaliar a distribuição dos principais grupos de produtores primários, que apresentam distintas necessidades fisiológicas.

Utilizando a teoria adotada por Weber & Deutsch (2010), de que o Oceano Austral é habitado por espécies de produtores primários com diferentes necessidades metabólicas, destacando-se diatomáceas com baixa razão N:P (~11) e o restante dos produtores primários com alta razão (~20), podemos inferir que nas ilhas Rei George, Nelson e Livingston é favorecido principalmente o desenvolvimento de diatomáceas. Em Deception, a estação "Pendulum Cove" apresentou razões N:P baixas, enquanto as estações "Telephone Bay" e "Whalers Bay" apresentaram razões média-altas. Essas duas últimas estações citadas foram investigadas no verão 2010/2011,

enquanto a primeira em 2011/2012. Estes resultados sugerem a ocorrência de variabilidade interanual na distribuição dos grupos de produtores primários, a qual é controlada, provavelmente, por fatores hidrológicos, biológicos ou por mudanças na atividade geotermal. Essa diferença também pode estar relacionada à variação espacial das condições físico-químicas da água. No entanto, pela natureza semi-fechada da bacia espera-se encontrar condições relativamente homogêneas dentro da caldeira Port Foster. Na ilha Elefante, onde as estações foram visitadas em anos diferentes, também foram verificadas variações: a região de "Ponta Fossat", estudada em 2011/2012, caracterizou-se por menores razões N:P (6 a 12), enquanto a estação "Stinker Point" apresentou razões mais elevadas, chegando a 30, seguindo o mesmo padrão encontrado em Deception. Em Elefante as variações podem ser explicadas também espacialmente, já que há influência de massas d'água com características físico-químicas diferentes.

Todos os valores encontrados para a razão Si/N, referida em 1:1 (Brzezinski, 1985), estão acima de 1, o que teoricamente indicaria uma potencial limitação da produtividade por nitrogênio. No entanto, as concentrações de NID são suficientemente elevadas, o que permite inferir que há um excesso de SiD em relação ao NID, pois o silicato é bastante abundante em águas antárticas. A razão Si/N também reflete as taxas de sedimentação e a dissolução da sílica biogênica na região e pode estar relacionada com a abundância e/ou dominância das diatomáceas nessa região (Lê Jehan & Treguer, 1983).

No Oceano Austral as concentrações de nutrientes não variam muito espacialmente. O parâmetro com maior variação é a clorofila-*a*, uma vez que blooms fitoplanctônicos locais podem elevar a produtividade biológica do ecossistema (Pollery, 2005). Segundo o trabalho de Hewes *et al.* (2009), elaborado a partir de 18 anos de amostragem e cerca de 2700 estações de coleta de dados hidrológicos e de fitoplâncton nos arredores das Ilhas Shetland do Sul, a profundidade da camada de mistura e a disponibilidade de ferro são os principais mecanismos que estabelecem a distribuição espacial e temporal da clorofila-*a* nessa região. Durante o verão, a pastagem também tem um grande impacto na população fitoplanctônica e pode ser um fator determinante para a produtividade primária. No estudo desenvolvido por Hewes *et al.* (2009),

a concentração de clorofila-*a* raramente excedeu 3 µg/L durante os 18 anos de amostragem. Por outro lado, Helbing *et al.* (1993) encontraram altas concentrações desse pigmento próximo à ilha Elefante. Os autores relacionam a elevada biomassa fitoplanctônica à estabilidade da coluna d'água gerada por um sistema frontal na região. O presente trabalho não corroborou com essa hipótese, pois as concentrações de clorofila-*a* foram baixas próximo à ilha Elefante (não excederam 0,3 µg/L). Em contrapartida, não houve relatos de sistema frontal que pudesse atuar como agente estabilizador durante os períodos investigados.

Dentre os valores de clorofila-*a* registrados nesse estudo destaca-se a ilha Livingston, que apresentou médias superiores às outras regiões investigadas, coincidente com os menores valores de nutrientes inorgânicos dissolvidos. Apesar da falta de dados sobre a disponibilidade de ferro e pastagem nesse estudo, pode-se relacionar esse resultado às características ambientais da região. Segundo o estudo desenvolvido por Quesada *et al.* (2009), a ilha Livingston, em especial a região terrestre e costeira da Península Byers, é apropriada para realizar estudos comparativos com toda a Antártica Marítima, por ser prístina, com pouca influência de atividades de pesquisa, diferente das outras ilhas situadas no arquipélago. No presente estudo, Livingston, e em especial a estação "Byers Bay" (localizada na região costeira da Península Byers), destacou-se por apresentar as menores concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos e as maiores concentrações de clorofila-*a*. Essa distinção pode ser explicada, provavelmente, pelas condições climáticas mais amenas, que favorecem a estabilidade da coluna d'água e o desenvolvimento dos produtores primários, além de serem responsáveis pela alta diversidade biológica na região, considerada um "hotspot" na Antártica Marítima, com uma quantidade de espécies elevada em relação aos ambientes próximos (FIGURA 21). A maior produtividade primária justifica as menores concentrações de nutrientes, que durante o verão refletem o consumo por produtores primários (Libes, 1992; Dam *et al.*, 1995; Steinberg *et al.*, 2002). Os teores de MPS nas estações da ilha Livingston também foram altos, o que reforça o acúmulo de material biogênico na água.

De acordo com os resultados de Pollery (2005), a produtividade primária

no estreito de Bransfield é maior na região das Ilhas Shetland do Sul, principalmente próximo à abertura da baía do Almirantado e tende a diminuir em direção a Península Antártica. Esse padrão não foi confirmado por esse estudo, pois as maiores concentrações de clorofila-a foram encontradas na região da ilha Livingston, mais próxima à Península Antártica do que Rei George.



FIGURA 19: Atividade geotermal nos sedimentos das fumarolas em “Whalers Bay”, ilha Deception.

A)



B)



FIGURA 20: **A)** Pinguineira de Macaroni (*Eudyptes chrysolophus*) localizada em “Punta Turret”, ilha Rei George. **B)** Colônia de mamíferos marinhos em “Punta Elefante”, ilha Livingston.



FIGURA 21: Alta biomassa de macroalgas rodofíceas na Península Byers, ilha Livingston.

Com o intuito de verificar, de forma integrada, correlações entre as variáveis físico-químicas investigadas e as estações investigadas, efetuou-se uma Análise de Componentes Principais (PCA), apresentada na FIGURA 22. A análise foi realizada com os dados da OPERANTAR XXX (verão 2011/2012), pois a intenção foi de relacionar todos os parâmetros analisados. Desta forma, não foram consideradas as estações “Whalers Bay” e “Telephone Bay”, em Deception, e “Stinker Point” em Elefante.

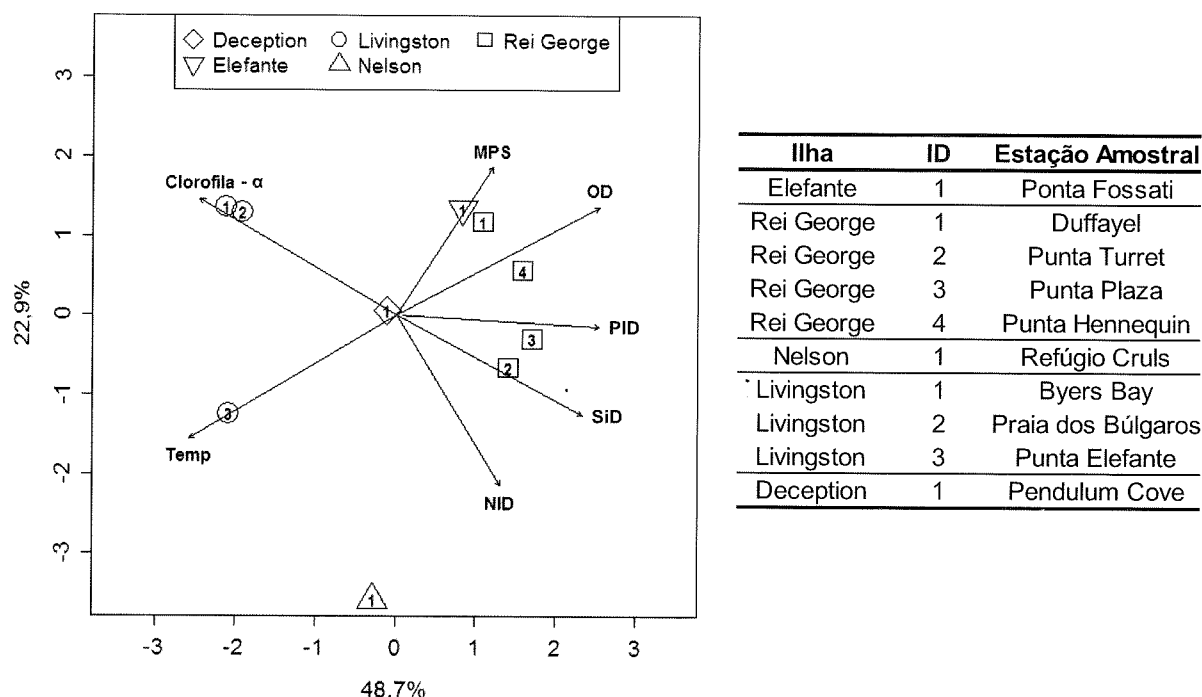


FIGURA 22: Análise de Componente Principal (PCA) correlacionando as características físico-química de água às estações amostrais investigadas no Arquipélago Shetland do Sul, durante o verão 2011/2012.

A análise demonstra que as estações com maiores concentrações de clorofila-a estão localizadas na Ilha Livingston, como descrito anteriormente, relacionadas ao consumo de nutrientes inorgânicos dissolvidos. Considerando-se os dados das duas campanhas amostrais, Deception destacou-se por apresentar as maiores concentrações médias de nutrientes inorgânicos dissolvidos. Na PCA, no entanto, foi utilizada apenas a estação “Pendulum Cove” (Deception), que não aparece bem correlacionada com nenhum parâmetro. O OD está inversamente correlacionado à temperatura, por ser melhor dissolvido em águas frias. A clorofila-a apresentou relação inversa com os macronutrientes, mais expressiva com a sílica dissolvida, o que pode

indicar o domínio de diatomáceas entre os componentes do fitoplâncton na região.

A estação "Ponta Fossat", ilha Elefante, onde está localizada uma grande pinguineira de macaroni (*Eudyptes chrysolophus*), está relacionada às maiores concentrações de MPS, provavelmente proveniente dos excretos de animais.

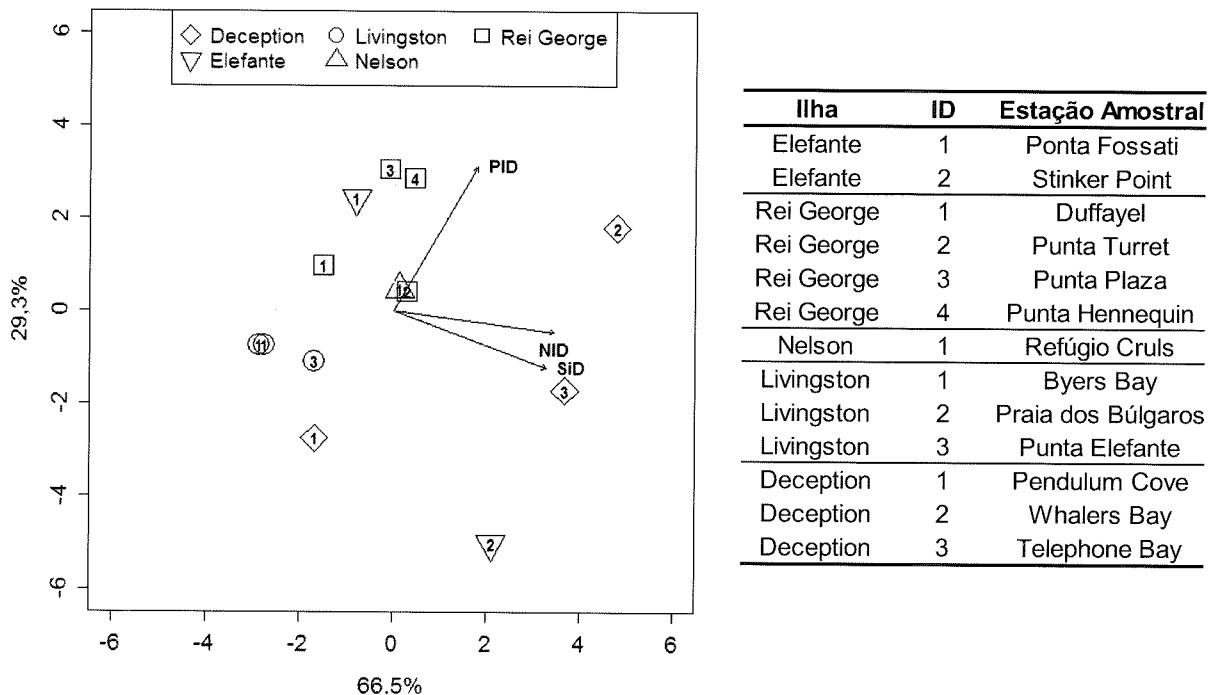


FIGURA 23: Análise de Componente Principal (PCA) correlacionando os nutrientes inorgânicos dissolvidos às estações amostrais investigadas no Arquipélago Shetland do Sul, durante os verões 2010/2011 e 2011/2012.

A PCA (FIGURA 23) relaciona as concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos às estações amostrais investigadas durante as operantares XXIX e XXX. Pode-se observar que as estações da ilha Livingston apresentaram as menores concentrações de todos os nutrientes, como explicado anteriormente. Rei George apresentou a maior correlação com o fosfato, em relação aos outros nutrientes, justificando as baixas razões N/P encontradas nessa região. As altas concentrações de fosfato em Rei George podem ser explicadas pelo constante aporte de água doce, proveniente de córregos de degelo, chuva, neve e dos icebergs e blocos menores de gelo, que provavelmente carregam consigo grande quantidade de PID. Brandini &

Rebello (2004), por outro lado, justificaram baixas concentrações de fosfato encontradas próximo a ilha Rei George pela diluição causada por esses aportes de água doce. Para confirmar o efeito dessas descargas no ambiente seria necessário avaliar as concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos nas águas dos córregos. As ilhas Elefante e Deception não possuem distribuição homogênea de nutrientes inorgânicos dissolvidos (FIGURA 23). Desta forma, pode-se concluir que as variações em menor escala espacial (entre as estações), para essas regiões, foram mais significativas do que as variações entre as ilhas. Como explicado anteriormente, nessas duas ilhas foram realizadas estações oceanográficas em anos diferentes, que podem ter originado variações interanuais. Além disso, a ilha Elefante é influenciada por várias massas d'água, que podem gerar características físico-químicas diversas.

6.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO OCEANO AUSTRAL

A Tabela 6 apresenta uma comparação dos resultados encontrados nesse estudo com outros trabalhos desenvolvidos em regiões polares. As maiores concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos registradas para o Oceano Austral (Goeyens *et al.*, 1996), em relação ao Subártico (Kudo *et al.*, 2005), corroboram com a afirmação de Goeyens *et al.* (1996) de que aquele é o maior reservatório de nutrientes do mundo.

As concentrações de nutrientes não diferem muito entre os estudos listados na Tabela 6. Pode-se destacar o silicato, que apresentou concentrações mais elevadas em zona costeira: Deception, Rei George e Arquipélago Shetland do Sul. As discrepâncias aparecem, sobretudo, nos dados de clorofila-*a*, pois são detectados "blooms" fitoplanctônicos no Mar de Bellingshausen e na caldeira Port Foster, ilha Deception. Segundo Sturtz *et al.* (2003), os valores de clorofila-*a* encontrados em Deception durante este bloom, registrado em novembro do ano 2000, são comparáveis aos valores máximos já encontrados para a Península Antártica (entre 30 e 40 $\mu\text{g/L}$). O registro de períodos de blooms fitoplanctônicos é importante para avaliar seu efeito sobre o aumento da produção biológica e do potencial de sequestro de carbono da região.

A razão N/P encontrada no presente estudo foi a menor entre todos os listados, mas equipara-se ao valor registrado para a mesma área por Iniarte *et al.* (2005). A Razão Si/N registrada no presente estudo, por outro lado, apresentou a maior média entre os estudos, relacionada às maiores concentrações de silicato e menores concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido.

TABELA 6: Características físico-químicas da coluna d'água em regiões polares. Adaptado de Pollery (2005).
*Valor referente à concentração de nitrato.

Região	T (°C)	Salinidade	NID (µM)	Fosfato (µM)	Silicato (µM)	Cl - α (µg/L)	N/P	Si/N
Oceano Sub - Ártico (Kudb <i>et. al.</i> , 2005)	-	-	17*	1,5	34	0,56	11,3	2
Oceano Austral (Goeyens, 1996)	-	-	25	1,7	55	0,4	15	2,2
Mar de Weddell (Pollery, 2005)	0,5 ± 0,8	34,3 ± 0,2	17 ± 5,3	1,3 ± 0,7	47 ± 0,4	0,4 ± 0,4	21 ± 19	3,1 ± 1,3
Mar de Bellingshausen (Pollery, 2005)	0,4 ± 0,7	33,8 ± 0,5	18 ± 3,3	1,6 ± 0,8	34 ± 10	5,5 ± 9,8	14 ± 5,5	1,9 ± 0,4
Estreito de Bransfield (Pollery, 2005)	0,1 ± 1,0	34,4 ± 0,1	23,1 ± 4,3	2,2 ± 0,9	53 ± 0,7	0,3 ± 0,3	14 ± 5,8	2,1 ± 0,3
Arquipélago Geórgia do Sul (Whitehouse, 1996)	1,3 ± 0,9	33,8 ± 0,1	21 ± 0,8	1,7 ± 0,2	32 ± 0,4	0,56 ± 0,3	12 ± 3,4	1,5 ± 1,1
Port Foster, Deception (Sturz <i>et. al.</i> , 2003)	-	-	21,6 ± 5,1	1,4 ± 0,2	72 ± 3	15 ± 2	15,4	3,3
Baía do Almirantado, Rei George (Lange, 2011)	0,5 ± 0,7	34,1 ± 0,5	23,2 ± 10,2	1,6 ± 0,3	59,5 ± 13,1	0,38 ± 0,19	14,5	2,6
Arquipélago Shetland do Sul (Harte <i>et. al.</i> , 2006)	0,4	34	26,1	1,9	-	0,45	9	-
Arquipélago Shetland do Sul Este Estudo	0,7 ± 0,7	34	17,6 ± 7,4	2,2 ± 0,2	71 ± 11,8	0,36 ± 0,4	8,1 ± 3,2	4,4 ± 1,1

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Os dados gerados nesse trabalho estão de acordo com outros desenvolvidos para a Antártica Marítima. As concentrações de nutrientes são elevadas e as concentrações de clorofila-a baixas, como reportado para o Oceano Austral. De acordo com os resultados, não ocorreram blooms fitoplanctônicos em nenhuma das estações investigadas nos períodos investigados. As concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos são alteradas pelo aporte de guano e matéria orgânica proveniente das ilhas e, no caso da ilha vulcânica Deception, pela atividade geotermal. São relevantes, também, as influências da água doce proveniente do degelo e da ressurgência da Água Antártica de Fundo, no aporte de nutrientes para a região.

Para o planejamento de futuros estudos relacionados à produtividade primária na região da Antártica Marítima, recomenda-se elaborar uma malha amostral mais detalhada, com maior número de estações oceanográficas, capaz de captar variações em diferentes escalas espaciais. Além disso, em um cenário de mudanças climáticas globais que certamente irá afetar a biodiversidade antártica, o monitoramento temporal da estrutura físico química da coluna d'água deve ser realizado nas mesmas estações a cada ano, para que seja possível distinguir com clareza variações espaciais e temporais dos parâmetros analisados.

Nesse trabalho não foi possível seguir esse planejamento amostral, pois as atividades da Operação Antártica Brasileira desenvolvidas a bordo de navios oceanográficos são realizadas apenas durante o verão austral (outubro a março), quando a região antártica permanece parcialmente livre de gelo e permite o tráfego de embarcações, e precisam atender a diversas demandas durante esse curto período, tanto dos projetos de pesquisa, quanto de atividades logísticas. Esse projeto, por abranger uma grande área da Antártica Marítima, necessita de vários dias para o deslocamento do navio entre as estações amostrais. Além disso, o clima na Antártica dificulta muito as atividades, já que são necessárias condições ideais de vento e visibilidade para que as tarefas sejam cumpridas.

Para avaliar possíveis limitações de produtividade por nutrientes neste ambiente é imprescindível a realização de um estudo interdisciplinar. No âmbito

da oceanografia física, seria necessário estudar o regime de ventos e correntes agindo nessa região e a profundidade da camada de mistura, para avaliar a turbulência apontada por diversos estudos como responsável por diminuir o metabolismo dos produtores primários e a eficiência da fotossíntese. Na própria oceanografia química, a análise de ferro dissolvido, um importante micronutriente, reportado por vários estudos como um dos responsáveis pela baixa produtividade primária em várias regiões antárticas durante o verão. Seria interessante, ainda, avaliar a demanda biológica por cada macronutriente dos principais grupos de produtores primários da região, como as diversas espécies de macroalgas. Tais estudos possibilitariam compreender melhor a distribuição dos macronutrientes e da clorofila-a na região.

8 ANEXOS

TABELA 1: Características físico-químicas de água (valores médios) próximo à ilha Livingston (entre parênteses desvio padrão e abaixo amplitude de variação). *Limite de detecção do método de análise de clorofila-a 0,1 µg/L (ND = Não detectado; NA = Não analisado).

Profundidade Metros	Temperatura °C	Salinidade	OD ml/L	MPS mg/L	Clorofila-a µg/L	NO2 µM	NO3 µM	NH4 µM	NID µM	Fosfato µM	Silicato µM	Razão N/P	Razão Si/N
0	1,6 (0,4) 1,2 - 2,0	34	7,8 (0,07) 7,7 - 7,9	43,6 (3,1) 41,8 - 47,2	0,4 (0,3) 0,1 - 0,7	0,6 (0,5) 0,2 - 1,2	7,6 (0,3) 7,3 - 7,9	4 (3,5) 1,5 - 8,0	11,3 (3,5) 9,3 - 15,7	2 (0,04) 2	60,4 (1) 59,3 - 61,4	5,8 (1,8) 4,6 - 7,9	5,2 (1,4) 3,2 - 6,5
10	1,5 (0,3) 1,2 - 1,8	34	7,8 (0,1) 7,7 - 8,0	42,2 (4,2) 41,8 - 46,8	1,1 (0,4) 0,7 - 1,5	0,3 (0,2) 0,2 - 0,5	8,3 (0,7) 7,5 - 8,7	4,2 (2,9) 2,3 - 7,5	12,5 (3,3) 10,1 - 16,2	2 (0,03) 1,9 - 2,0	59,6 (0,7) 59,0 - 60,4	6,2 (1,8) 5,1 - 8,4	4,8 (1,1) 3,7 - 5,8
20	1,5 (0,3) 1,1 - 1,8	34	7,8 (0,09) 7,7 - 7,9	45,3 (1,3) 44,3 - 46,2	1,2 (1,3) 0,3 - 2,7	0,3 (0,3) 0,2 - 0,5	7,9 (0,7) 7,3 - 8,7	3,6 (1,7) 2,7 - 5,5	11,6 (3,4) 10 - 14,3	2 (0,04) 2	60,3 (0,4) 59,8 - 60,4	5,8 (1) 5,0 - 6,9	5,2 (1) 4,2 - 6,0
30	1,4 (0,3) 1,0 - 1,7	34	7,9 (0,1) 7,7 - 8,0	45 (2,3) 44,5 - 46,1	0,5 (0,7) ND - 1,3	0,5 (0,7) 0,2 - 0,9	8,8 (0,07) 8,2 - 9,6	3,4 (2) 2,2 - 5,8	12,2 (1,9) 10,6 - 14,3	2 (0,02) 2	60,9 (0,5) 60,4 - 61,4	6,1 (1) 5,2 - 7,1	5,0 (0,8) 4,2 - 5,7
40	1,45	34	7,8	N. A.	ND	0,5	8,9	7	15,8	2	57,7	7,8	3,6

TABELA 2: Características físico-químicas de água (valores médios) próximo à ilha Nelson. *Limite de detecção do método de análise de clorofila-a 0,1 µg/L (ND = Não detectado).

Profundidade Metros	Temperatura °C	Salinidade	OD ml/L	MPS mg/L	Clorofila-a µg/L	NO2 µM	NO3 µM	NH4 µM	NID µM	Fosfato µM	Silicato µM	Razão N/P	Razão Si/N
0	1,6	34	7,8	23,9	ND	0,2	10,2	5,9	16,3	2,2	68,9	7,4	4,2
10	1,7	34	7,8	23,5	ND	0,3	11,4	7,9	19,6	2,1	69,6	9,2	3,6
20	1,7	34	7,8	24,6	0,1	0,2	10,6	7,3	18,1	2,1	64,5	8,5	3,6
30	1,7	34	7,8	34,8	ND	0,2	10,2	7,4	17,9	2,2	69,9	8,1	3,9
40	1,7	34	7,8	25,5	ND	0,2	10,3	7,3	17,8	2,2	69,9	8,0	3,9

TABELA 3: Características físico-químicas de água (valores médios) próximo à ilha Rei George (entre parênteses desvio padrão e abaixo amplitude de variação). *Limite de detecção do método de análise de clorofila 0,1 µg/L (ND = Não detectado).

Profundidade Metros	Temperatura °C	Salinidade	OD ml/L	MPS mg/L	Clorofila-a µg/L	NO2 µM	NO3 µM	NH4 µM	NID µM	Fosfato µM	Silicato µM	Razão N/P	Razão S/N
0	0,03 (0,8) -1,2 - -2,6	34	8,1 (0,2) 8 - 8,4	56,7 (11) 40,6 - 65,5	0,1 (0,1) ND - 0,26	0,34 (0,2) 0,18 - 0,64	7,9 (2) 5,8 - 10,1	4,7 (2,7) 3,6 - 8,2	13,0 (2,4) 9,6 - 15	2,4 (0,3) 2,1 - 2,8	70,8 (6,9) 64,3 - 80,6	5,5 (0,9) 4,5 - 6,7	5,5 (0,8) 4,8 - 6,7
10	-0,06 (0,7) -1,2 - -0,5	34	8,1 (0,2) 8 - 8,4	61,3 (15,3) 39,1 - 74,3	0,1 (0,04) ND - 0,13	0,1 (0,3) 0,19 - 0,89	8,0 (1,8) 6,3 - 10,2	8,8 (6,2) 2,8 - 17,5	17,3 (6,8) 13,2 - 27,4	2,4 (0,1) 2,3 - 2,5	67,0 (2,8) 63,3 - 70	4,5 (3,2) 5,4 - 12,1	4,2 (1) 2,6 - 4,8
20	-0,1 (0,6) -1 - -0,3	34	8,1 (0,1) 8 - 8,4	65,1 (21,9) 34,9 - 83,5	0,2 (0,1) ND - 0,31	0,4 (0,3) 0,16 - 0,76	8,1 (2) 6,5 - 10,6	5,8 (3,5) 2,8 - 10,4	14,5 (3,2) 10,4 - 17,4	2,3 (0,07) 2,2 - 2,3	66,7 (2,8) 64,3 - 70,3	6,7 (1,3) 4,8 - 7,5	4,8 (2,7) 3,8 - 6,2
30	-0,1 (0,6) -1 - -0,3	34	8,1 (0,1) 8 - 8,4	56,1 (17,2) 34,6 - 76,6	0,3 (0,5) ND - 1,12	0,4 (0,2) 0,15 - 0,64	8,1 (2) 6,1 - 10,3	7,1 (6) 2,5 - 15,7	20,6 (5,3) 9,6 - 22,2	2,4 (0,1) 2,2 - 2,5	68,8 (3,4) 63,8 - 70,8	6,5 (2) 4,3 - 8,9	4,9 (1,8) 3,2 - 7,4
40	-0,2 (0,6) -1 - -0,3	34	8,1 (0,1) 8 - 8,3	53,7 (13,8) 34 - 66,1	0,2 (0,3) ND - 0,63	0,4 (0,4) 0,17 - 0,99	8,1 (2,4) 5,6 - 11	6,0 (3,3) 3,1 - 9,5	14,3 (3,8) 9,7 - 19	2,3 (0,1) 2,2 - 2,5	67,8 (3,4) 62,9 - 70,5	6,2 (1,8) 4,3 - 8,5	5,0 (1,6) 3,3 - 7,1
50	0,03 -1 - -0,3	34	8,1 (0,007) 8,1	68,9 61	0,05 (0,06) ND - 0,1	0,2 (0,07) 0,19 - 0,29	6,0 (0,4) 5,8 - 6,3	5,9 (4,2) 2,9 - 8,8	12,1 (3,7) 9,5 - 14,8	2,3 (0,09) 2,2 - 2,3	69,4 (4,6) 66,2 - 72,7	5,3 (1,4) 4,3 - 6,3	6,1 (2,2) 4,5 - 7,6
70	0,01	34	8,09	61	ND	0,2	5,6	7,7	13,4	2,3	66,2	5,9	4,9
90	-0,1	34	8,08	56,9	ND	0,2	7,1	9,0	16,3	2,3	66,5	7,0	4,1
110	-0,2	34	8,07	60,1	ND	0,2	0,2	13,9	20,5	2,3	70,8	8,8	3,5
130	-0,2	34	8,05	59,9	ND	0,2	6,1	8,6	14,8	2,4	73,2	6,2	4,9

TABELA 4: Características físico-químicas de água (valores médios) próximo à ilha Elefante (entre parênteses desvio padrão e abaixo amplitude de variação). *Limite de detecção do método de análise de clorofila-a 0,1 µg/L (ND = Não detectado; NA = Não analisado).

Profundidade Metros	Temperatura °C	Salinidade	OD ml/L	MPS mg/L	Clorofila-a µg/L	NO2 µM	NO3 µM	NH4 µM	NID µM	Fosfato µM	Silicato µM	Razão N/P	Razão S/N
0	1,8	34	8,1	63,3	0,3	0,5 (0,1) 0,4 - 0,6	19 (15,4) 8,1 - 29,9	6,7 (1,8) 5,3 - 8,0	26,2 (13,7) 16,5 - 35,9	2,4 (0,1) 2,3 - 2,5	76,7 (21,7) 61,4 - 92,1	10,7 (5,2) 7 - 14,4	3,1 (0,8) 2,6 - 3,7
10	1,8	33,5	8,1	61,8	0,2	1,5 (1,9) 0,2 - 2,8	4,5 (3,6) 2,0 - 7,0	12,2 (7,9) 6,6 - 17,8	18,2 (9,6) 11,4 - 25	1,3 (1,3) 0,4 - 2,3	76,6 (23) 60,4 - 92,8	19,8 (12,6) 10,9 - 28,7	5,3 (4) 2,5 - 8,2
20	1,8	33,5	8,1	63,2	0,2	0,2 (0,7) 0,2 - 1,2	17,7 (9,6) 7,8 - 27,5	7,2 (0,6) 6,8 - 7,6	25,5 (15,2) 14,8 - 36,6	2,3 (0,02) 2,3	75,8 (22) 40,4 - 91,2	10,9 (6,6) 6,3 - 15,6	3,3 (1,1) 2,5 - 4,1
30	1,7	34	8,1	57,8	0,1	0,6 (0,4) 0,3 - 0,9	15,2 (9,6) 8,4 - 21,9	5,9 (1,2) 5,0 - 6,8	21,7 (8,8) 15,5 - 27,9	2,3 (0,05) 2,3	73,4 (17,6) 61 - 85,9	9,4 (2,6) 6,8 - 11,9	3,4 (0,5) 3,1 - 3,7
40	1,45	34	8,1	61,8	0,3	0,4 (0,2) 0,3 - 0,5	4,6 (5,8) 0,5 - 8,7	7,3 (1,8) 6,0 - 8,6	12,3 (7,4) 7,0 - 17,6	1,3 (1,3) 0,4 - 2,3	76,1 (26) 57,8 - 95,4	21,5 (7) 7,7 - 17,7	5,2 (7) 3,5 - 13,5

TABELA 5: Características físico-químicas de água (valores médios) próximo à ilha Deception (entre parênteses desvio padrão e abaixo amplitude de variação). *Limite de detecção do método de análise de clorofila-a 0,1 µg/L (ND = Não detectado).

Profundidade Metros	Temperatura °C	Salinidade	OD ml/L	MPS mg/L	Clorofila-a µg/L	NO2 µM	NO3 µM	NH4 µM	NID µM	Fosfato µM	Silicato µM	Razão N/P	Razão S/N
0	1,15	34	7,9	46,8	0,2	0,5 (0,3) 0,3 - 0,6	14,5 (14) 4,0 - 24,5	4,9 (2) 3,0 - 7,1	23,4 (10) 12 - 30,2	2,1 (0,5) 1,7 - 2,7	79,3 (20,3) 64,9 - 99,6	10,9 (3,8) 6,9 - 14,6	4,4 (1,5) 3,3 - 5,4
10	1,13	34	7,9	47,1	0,9	0,3	5,5	7,5	13,3	1,6	62,3	8,1	4,7
20	1,09	34	7,9	45,6	ND	0,5 (0,3) 0,3 - 0,7	15,3 (12,8) 5,5 - 24,4	11,5 (8,7) 4,5 - 17,6	27,3 (21,8) 5,3 - 42,7	2,1 (1) 1,4 - 2,7	78,6 (18,8) 65,2 - 91,9	12,1 (4,9) 8,7 - 15,6	3,8 (2,4) 2,1 - 5,5
30	1,09	34	7,9	48,5	ND	0,5	6,5	5,7	12,6	1,6	66,5	7,8	5,3
40	0,85	34	7,9	38,4	ND	1,3	6	6,2 (1) 5,5 - 6,8	20,2 (12) 5,5 - 28,7	1,9 (0,4) 1,6 - 2,2	64,5	10,4 (4) 7,5 - 13,6	5,5
70	0,06	34	8,1	38,3	ND	0,6 (0,1) 0,5 - 0,7	15,9 (12,7) 6,9 - 24,9	5,3 (1,2) 4,5 - 6,2	21,8 (14) 11,9 - 31,8	2,3 (0,1) 2,3 - 2,4	85,6 (5,9) 81,5 - 89,8	9,5 (6,5) 4,9 - 14,1	4,8 (2,9) 2,8 - 6,9
100	-0,8	34	8,1	46,2	ND	0,6 (0,1) 0,5 - 0,7	19,6 (9,7) 8,4 - 25,2	5,4 (0,3) 5,2 - 5,7	25,6 (9,9) 14,1 - 31,6	2,3 (0,3) 2 - 2,6	80 (11,9) 66,3 - 87,2	11,7 (5,4) 5,5 - 15,5	3,4 (1,1) 2,8 - 4,7
130	-1,21	34	8,1	82,5	ND	0,8 (0,1) 0,6 - 0,9	20 (10,3) 8 - 26,3	6 (3,2) 4,1 - 9,8	26,7 (7,2) 18,4 - 31,3	2,4 (0,2) 2,3 - 2,6	86,6 (9,9) 76 - 95,6	11,3 (3,7) 7 - 13,6	3,4 (0,7) 2,8 - 4,1

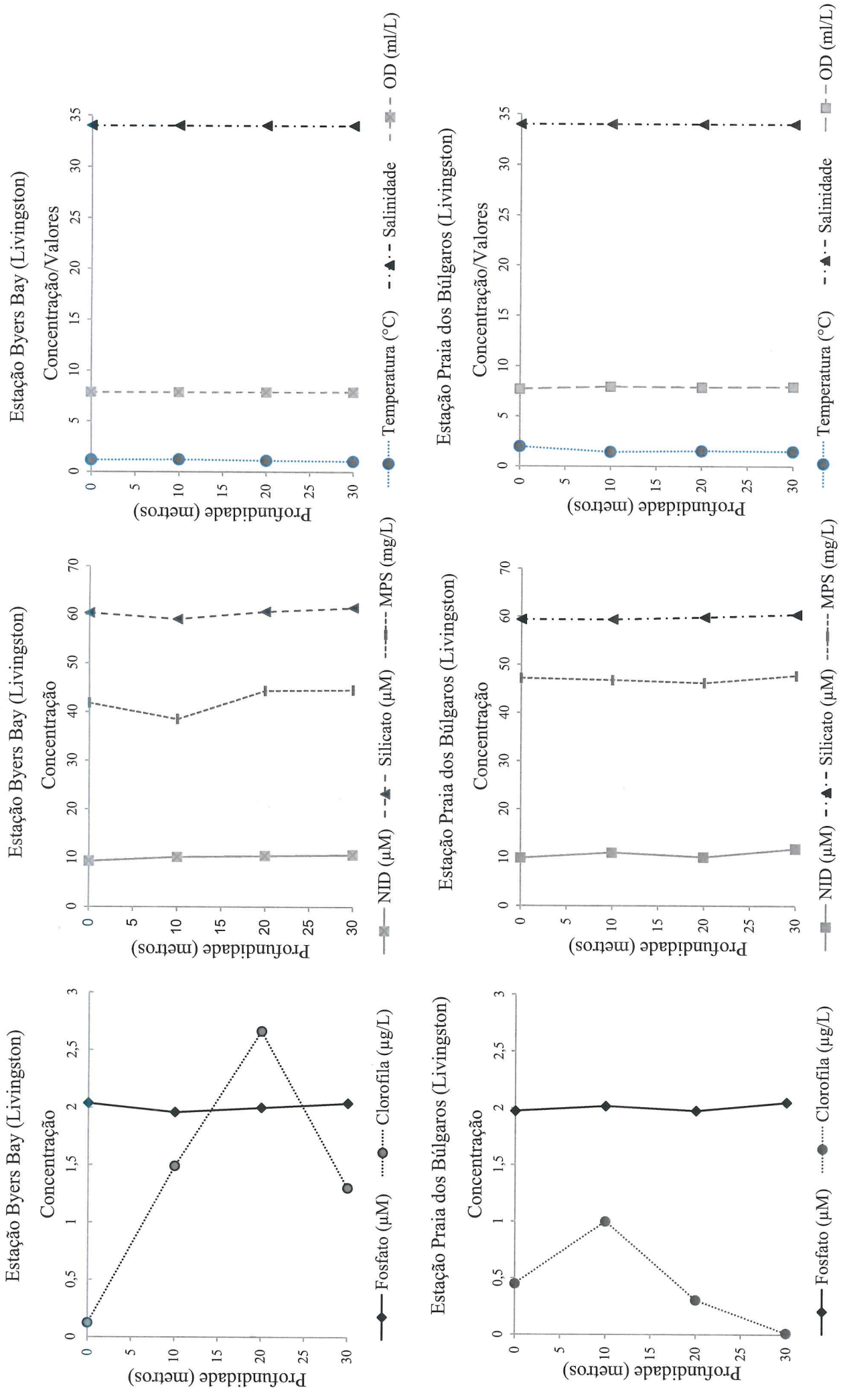


FIGURA 6: Distribuição das concentrações de fosfato, clorofila- α , NID, silicato e material particulado em suspensão e dos valores de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido nas estações "Byers Bay" e "Praia dos Búlgaros", próximas à ilha Livingston.

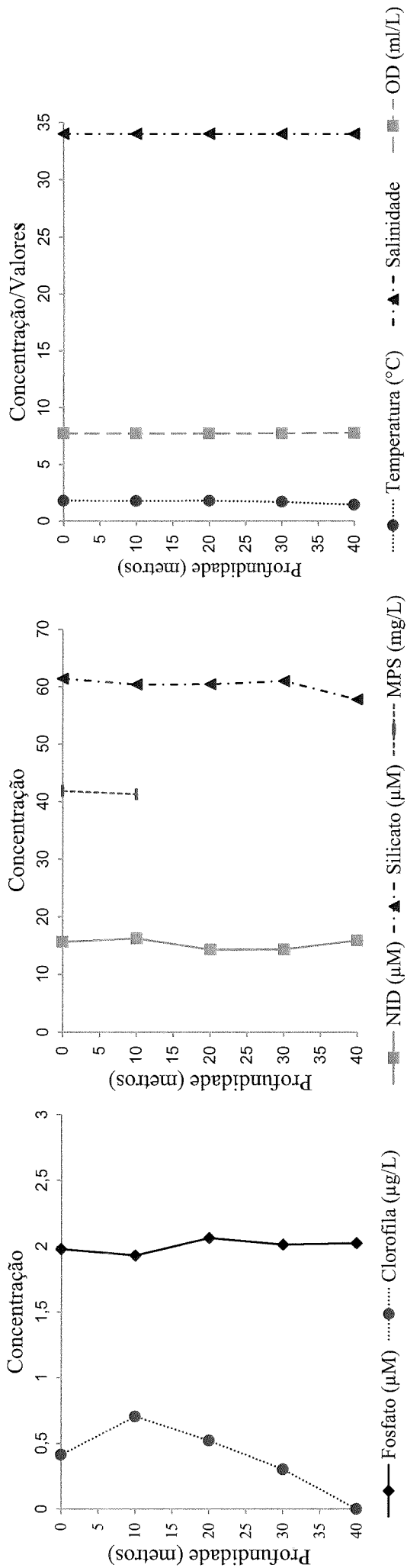


FIGURA 7: Distribuição das concentrações de fosfato, clorofila- α , NID, silicato e material particulado em suspensão e dos valores de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido na estação "Punta Elefante", próxima à ilha Livingston.

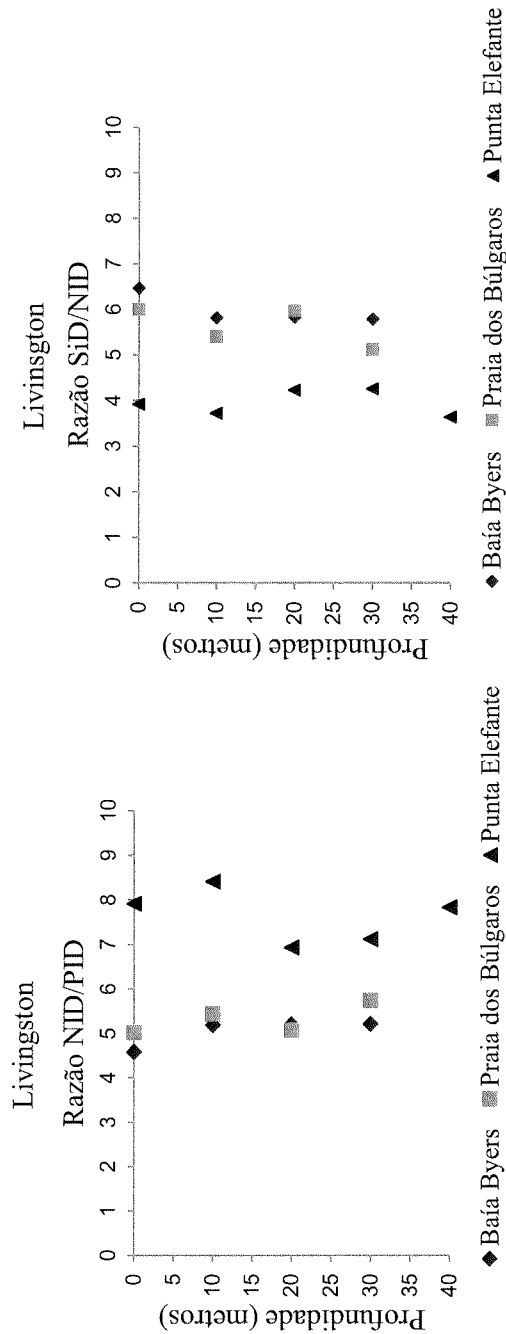


FIGURA 8: Razões NID/PID e SiD/NID nas estações investigadas na ilha Livingston.

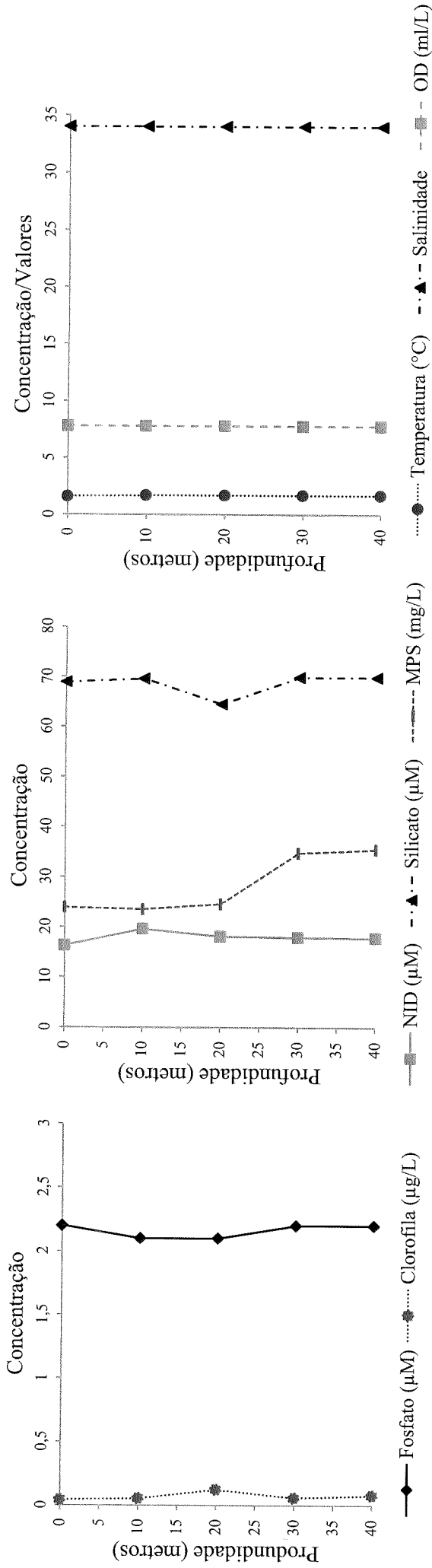


FIGURA 9: Distribuição das concentrações de fosfato, clorofila- α , NID, silicato e material particulado em suspensão e dos valores de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido na estação "Refúgio Cruis", próxima à ilha Nelson.

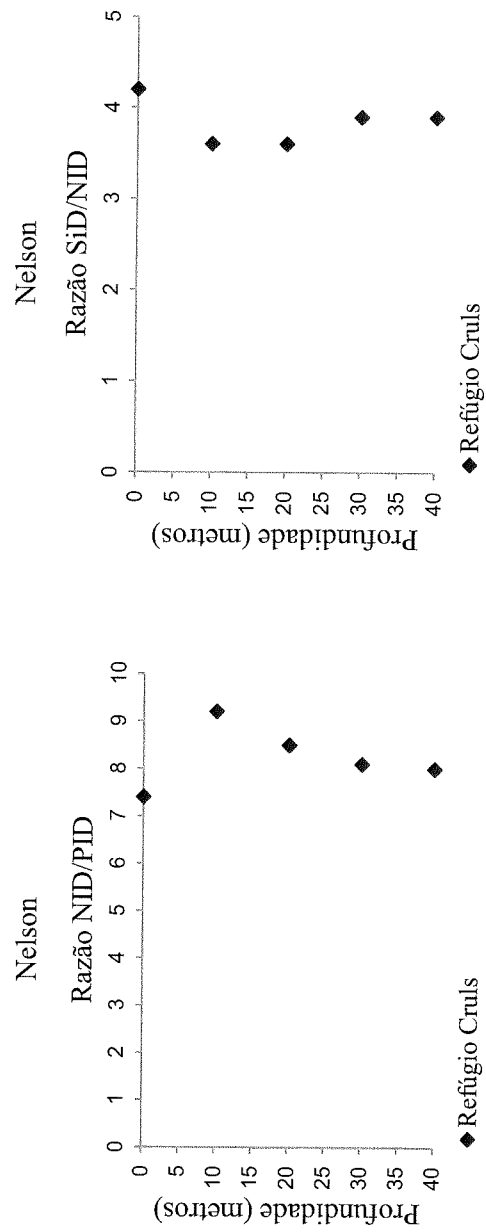


FIGURA 10: Razões NID/PID e SiD/NID na estação investigada na ilha Nelson.

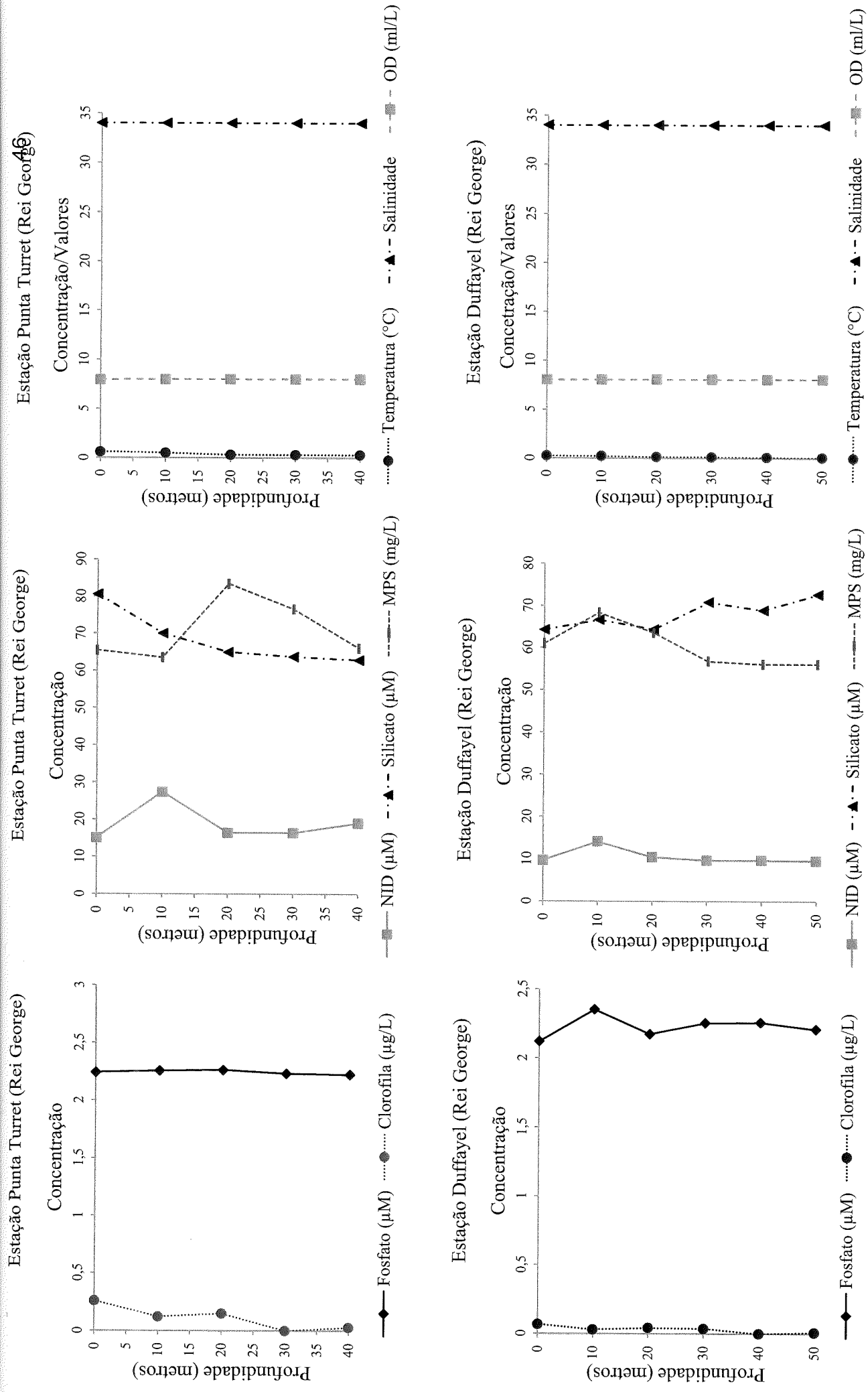
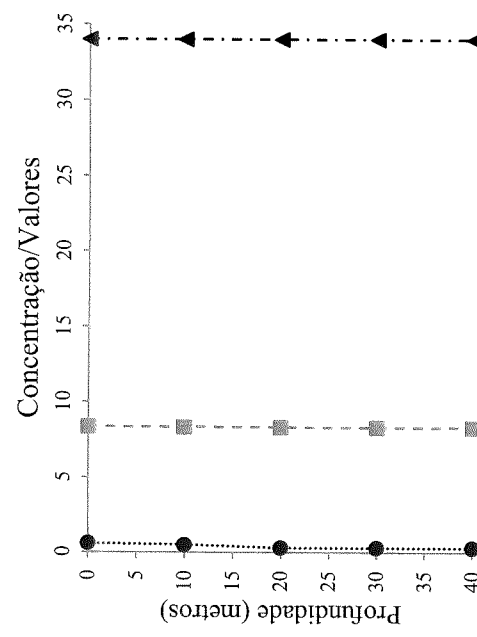
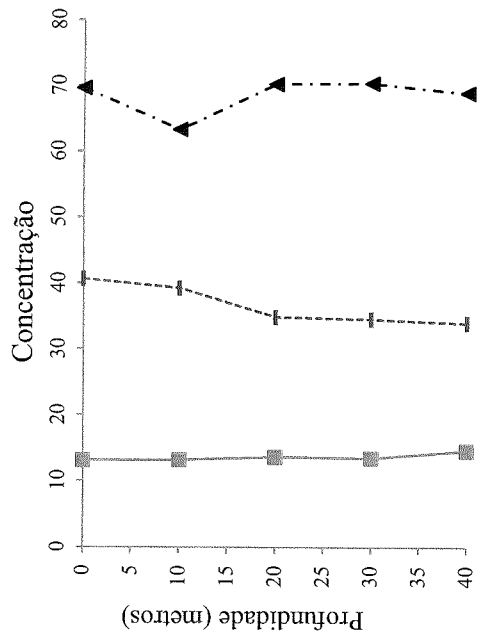
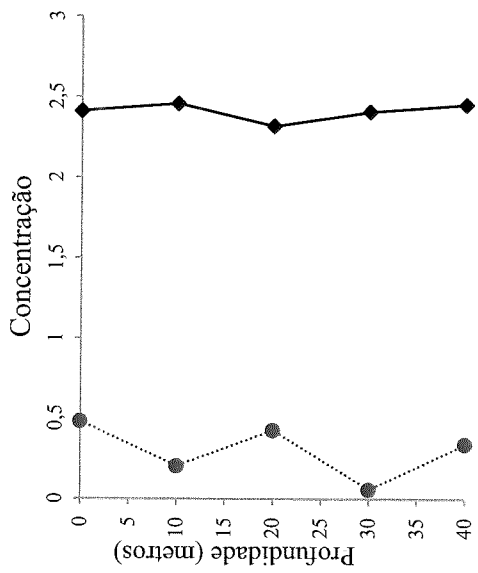


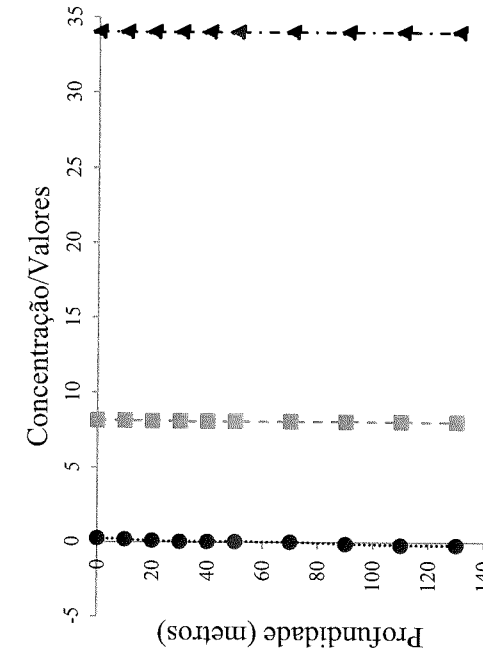
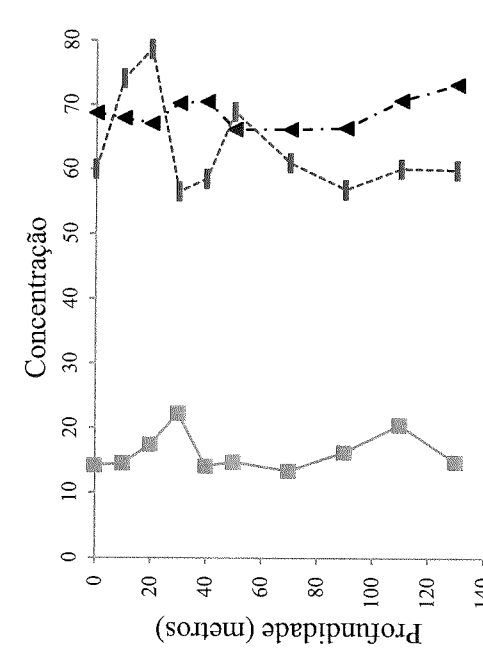
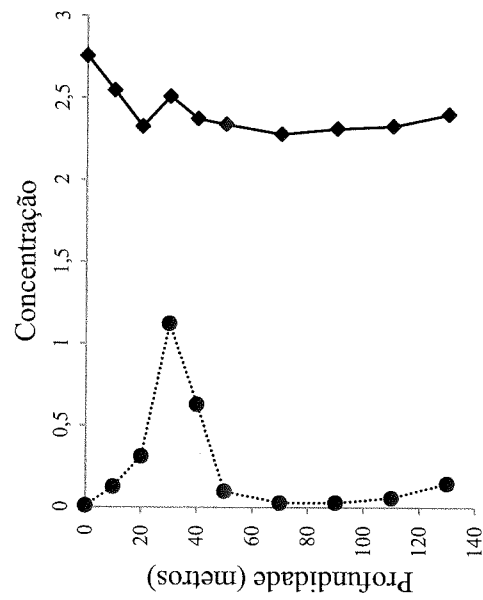
FIGURA 11: Distribuição das concentrações de fosfato, clorofila- α , NID, silicato e material particulado em suspensão e dos valores de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido nas estações "Punta Turret" e "Duffayel", próximas à ilha Rei George.



—●— Fosfato (µM) ●..... Clorofila (µg/L)

—■— NID (µM) -·-·- Silicato (µM) - - - MPS (mg/L)

.....●..... Temperatura (°C) -·-·- Salinidade -■- OD (ml/L)



—●— Fosfato (µM) ●..... Clorofila (µg/L)

—■— NID (µM) -·-·- Silicato (µM) - - - MPS (mg/L)

.....●..... Temperatura (°C) -·-·- Salinidade -■- OD (ml/L)

FIGURA 12: Distribuição das concentrações de fosfato, clorofila-a, NID, silicato e material particulado em suspensão e dos valores de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido nas estações "Punta Plaza" e "Punta Hennequin", próximas à ilha Rei George.

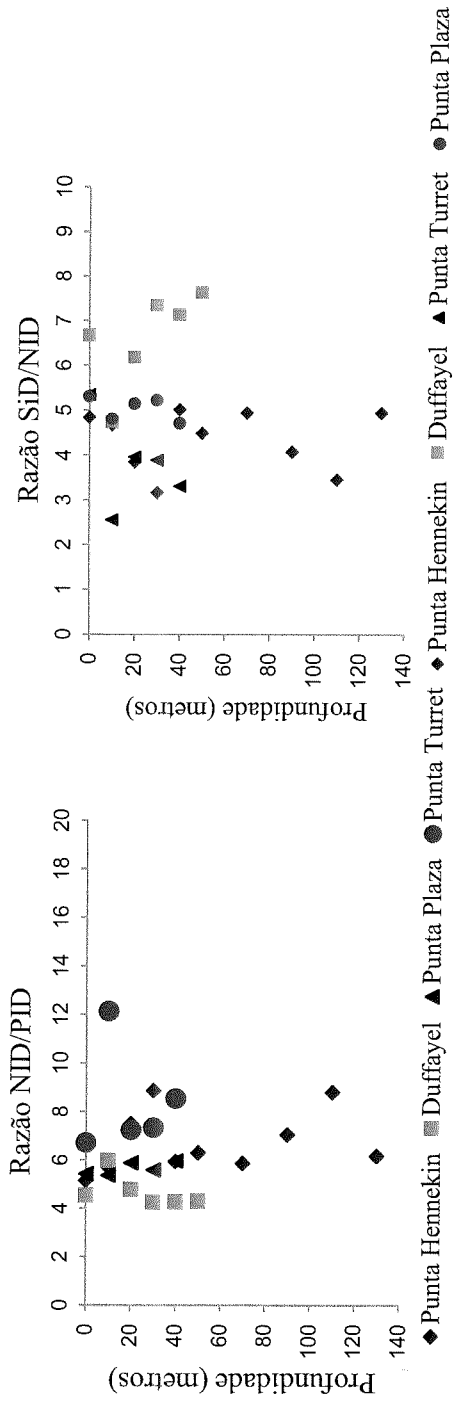


FIGURA 13: Razões NID/PID e SiD/NID nas estações investigadas na ilha Rei George.

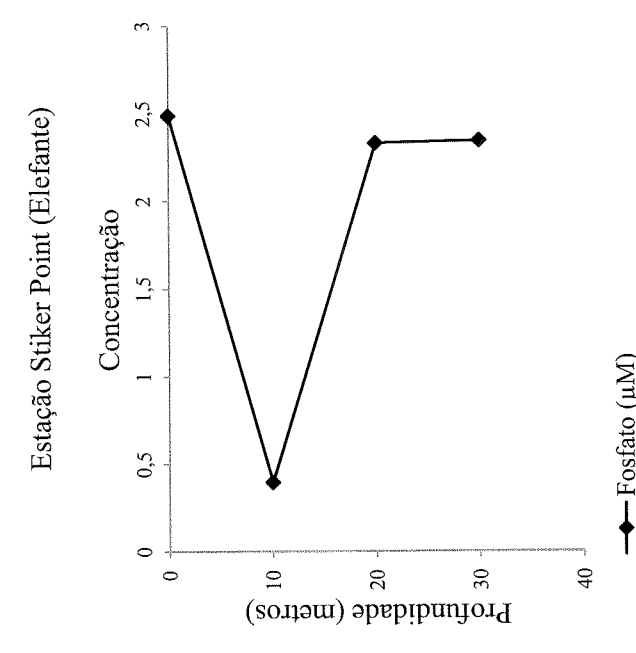
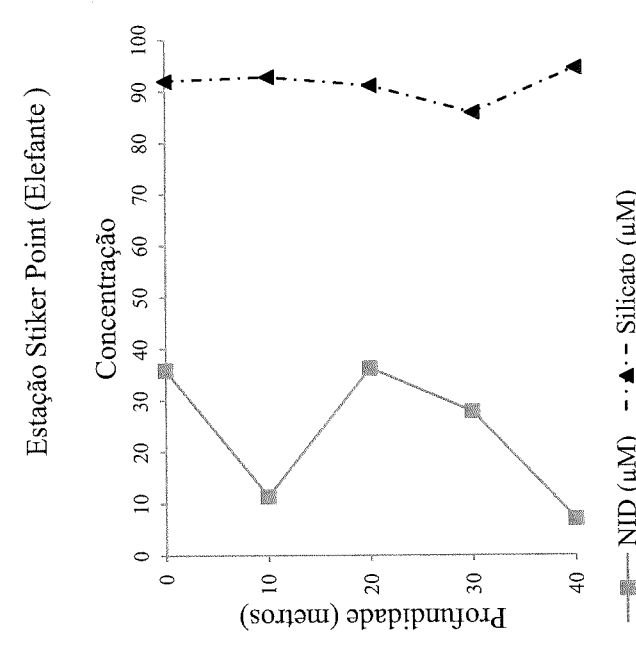
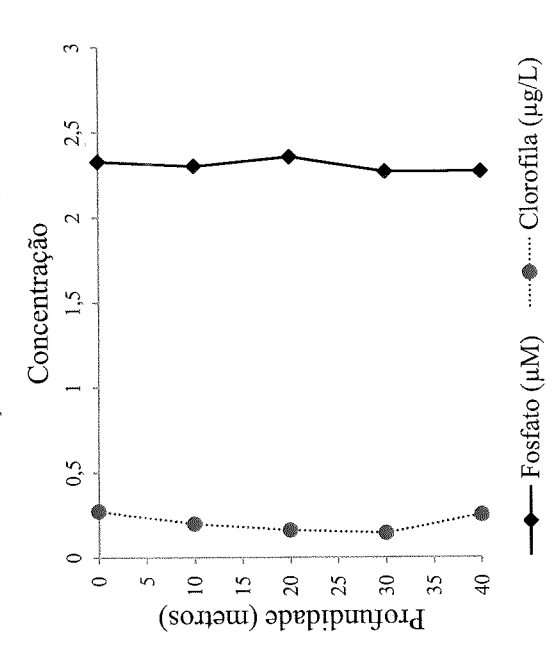
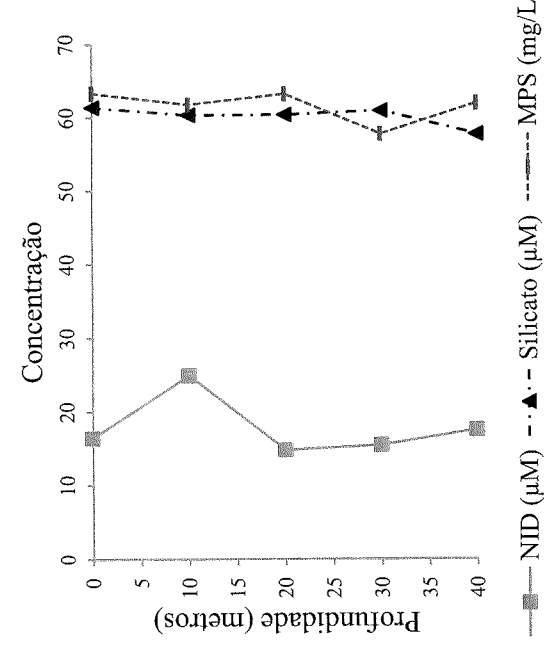
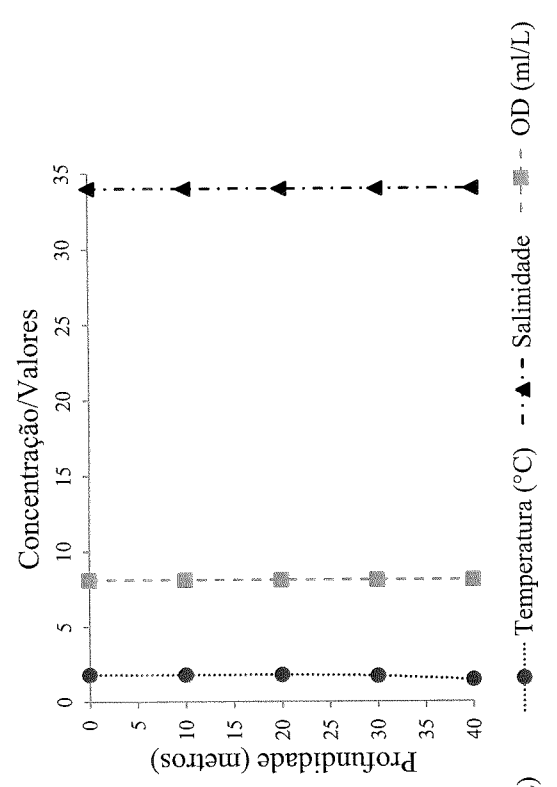


FIGURA 14: Distribuição das concentrações de fosfato, clorofila- α , NID, silicato e material particulado em suspensão em suspensão e dos valores de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido nas estações "Ponta Fossati" e "Stiker Point", próximas à ilha Elefante.

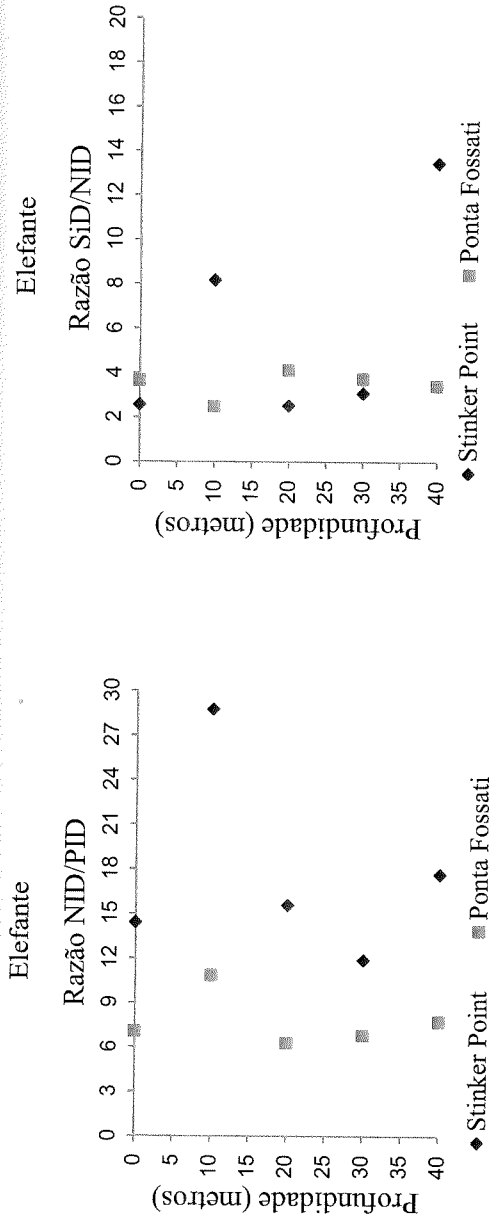
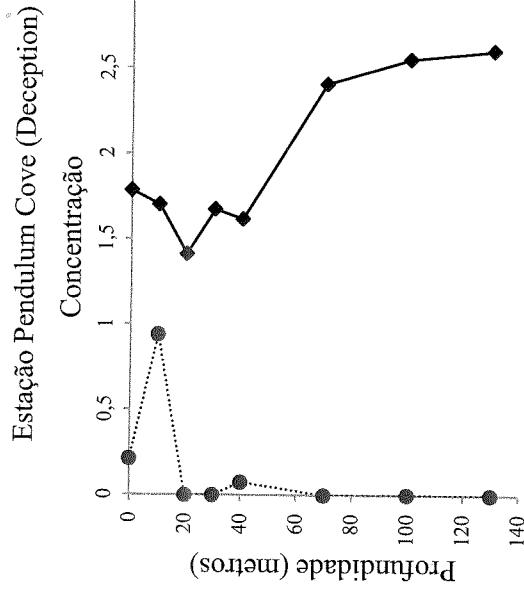
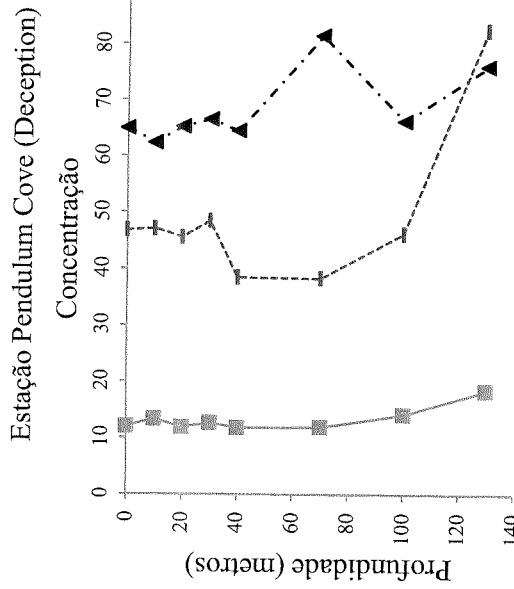


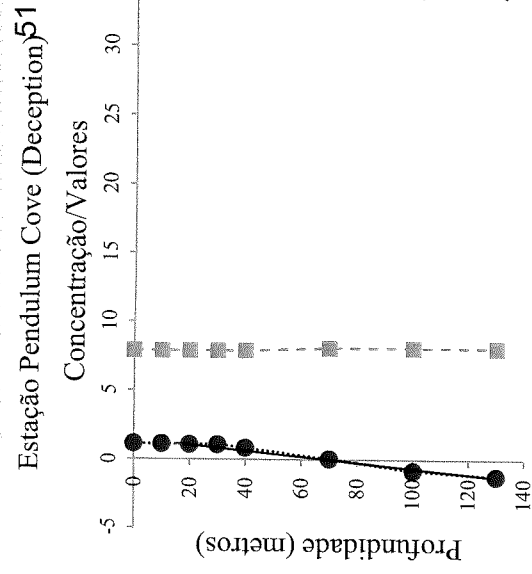
FIGURA 15: Razões NID/PID e SiD/NID nas estações próximas à ilha Elefante.



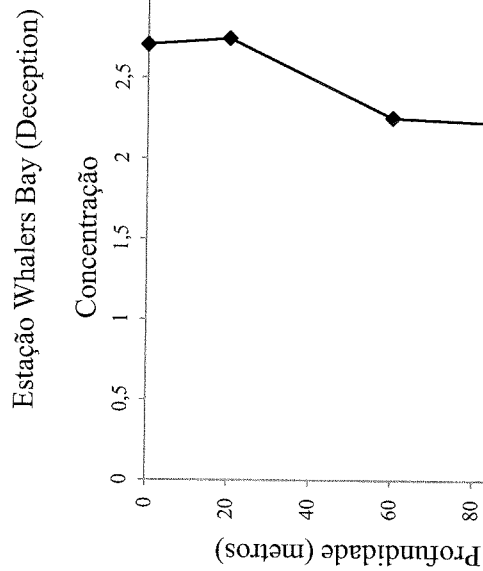
—◆— Fosfato (µM) ●..... Clorofila (µg/L)



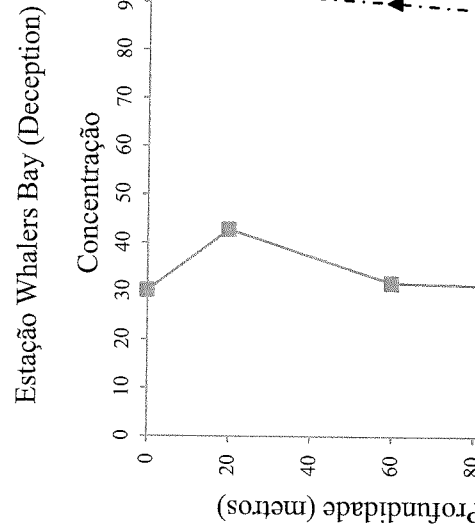
—■— NID (µM) -.-▲-.- Silicato (µM) -.-●-.- MPS (mg/L)



.....●..... Temperatura (°C) -.-▲-.- Salinidade -.-■-.- OD (ml/L)



—◆— Fosfato (µM)



—■— NID (µM) -.-▲-.- Silicato (µM)

FIGURA 16: Distribuição das concentrações de fosfato, clorofila- α , NID, silicato e material particulado em suspensão e dos valores de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido nas estações "Pendulum Cove" e "Whalers Bay", no cone da ilha Deception.

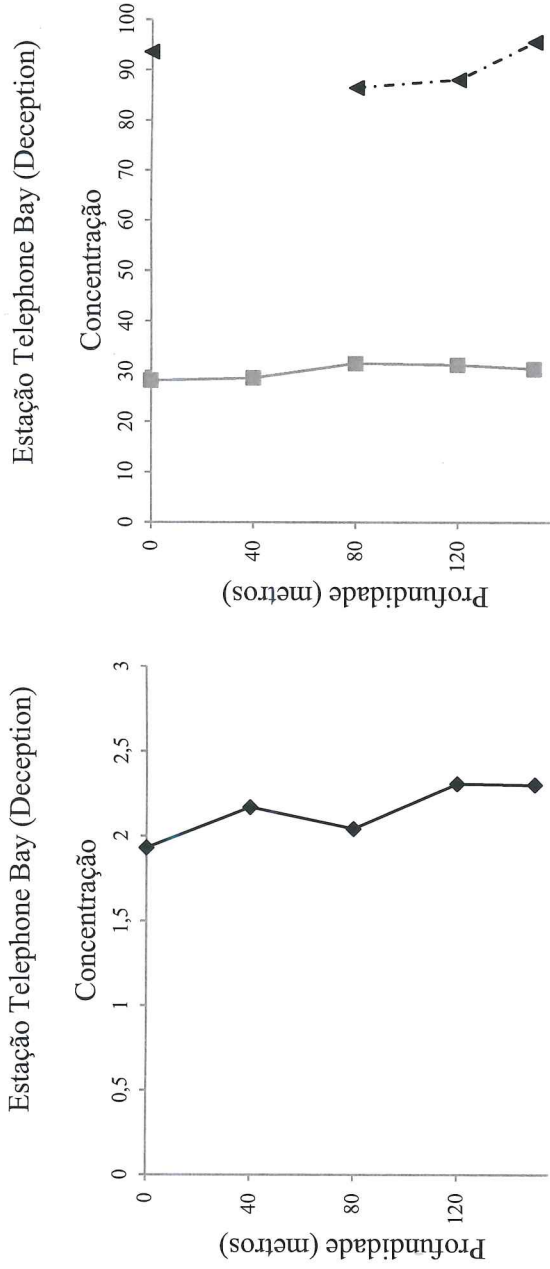


FIGURA 17: Distribuição das concentrações de fosfato, clorofila-α, NID, silicato e material particulado em suspensão e dos valores de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido na estação "Telephone Bay", no cone da ilha Deception.

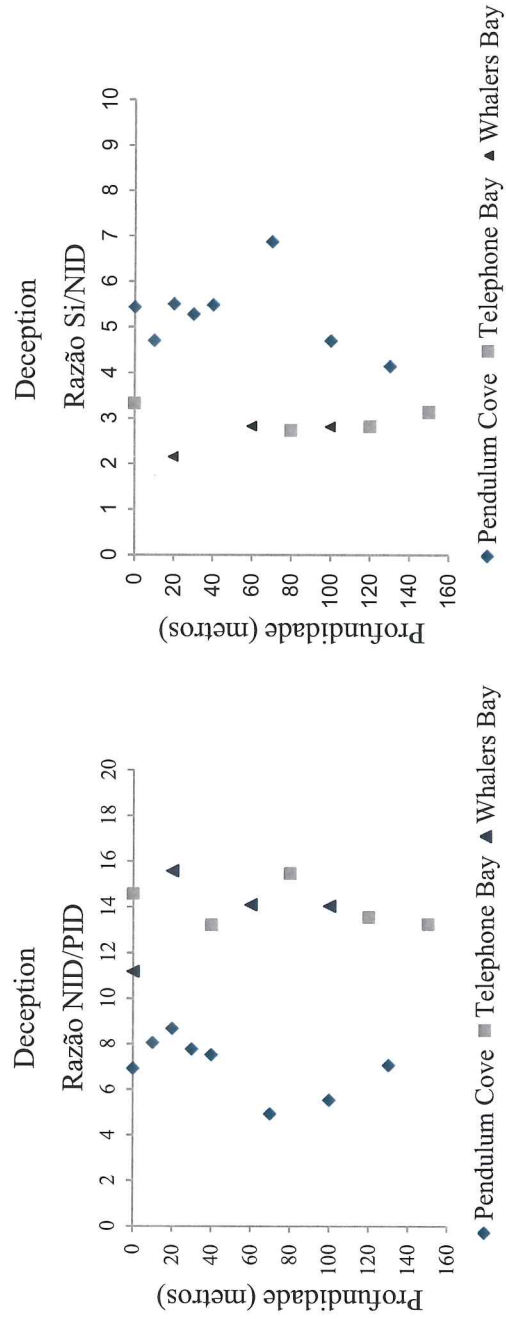


FIGURA 18: Razões NID/PID e Si/NID nas estações próximas à ilha Deception.

9 REFERÊNCIAS

- AMOS, A. F. & LAVENDER, M. K. (1991). AMLR Program: Water masses in the vicinity of Elephant Island. **Antarctic Journal of the United States** 26(5), 210-213.
- BAAR, H. J. W. & BOYD, P. W. (1999). The role of iron in plankton ecology and carbon dioxide transfer of the Global Ocean. In: HANSON, R. B.; DUVKLOW, H. W.; FILED, J.G.. **The Dynamic Ocean Carbon Cycle: A Midterm Synthesis of the Joint Global Ocean Flux Study**. Cambridge: Cambridge University Press, 61-141.
- BASTOS, A. T. C. C. & BRAGA, E. S. (2007). **Estudo de Silício Inorgânico como traçador de massas d'água na região antártica e recomendações analíticas**. Instituto Oceanográfico da USP, São Paulo.
- BERNSMULLER, L. (2005). **Implementação de um protótipo de uma aplicação multimídia sobre a Ilha Rei George**. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 82 p.
- BINTANJA, R., 1995. The local surface energy balance of the Ecology Glacier, King George Island, Antarctica: measurements and modelling. **Antarctic Science** 7, 315–325.
- BRANDINI, F.P. & REBELLO, J. (2004). Wind field effect on hydrography and chlorophyll dynamics in the coastal pelagial of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Antarctic Science** 6(4), 433 – 442.
- BREMER, U. F. (1998). **Morfologia e bacias de drenagem da cobertura de gelo da Ilha Rei George, Antártica**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 119 p.
- BRZEZINSKI, M. A. (1985). The Si:C:N ratio of marine diatoms: interspecific variability and the effect of some environmental variables. **J. Phycol.** 21, 347-357.
- BUESSELER, K. O. & BOYD, P. W. (2003). Will ocean fertilization work? **Science**. 300, 67 – 68.
- CAMPBELL, J.W. & AARUP, T. (1989). Photosynthetically available radiation at high latitudes. **Limnology and Oceanography** 34, 1490–1499.
- DAM, H.G.; ROMAN, M.R.; YOUNGBLUTH, M.J. (1995). Downward export of respiratory carbon and dissolved inorganic nitrogen by diel-migrant mesozooplankton at JGOFS Bermuda time-series station. **Deep Sea Research I** 42, 1187–1197.
- DEWES, C. F. (2004). **Variabilidade do gelo marinho na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica**. Trabalho de conclusão do curso de

Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 72 p.

DYKES, K. (2002). **The influence of hydrothermal activity on sea water composition (Ca/Mg and Si) on Port Foster, Deception Island.** Master Thesis, University of San Diego.

EL-SAYED, S. Z. (1968). On the productivity of the southwest Atlantic Ocean and the waters west of the Antarctic Peninsula. In: LLANO, G. A. & SCHMITT W. L. (eds.). **Biology of the Antarctic seas III.** Washington, D.C.: American Geophysical Union, 15-47.

EL-SAYED, S. Z. (1971 a). Dynamics of trophic relationship in the Southern Ocean. In: QUAM, L. O. **Research in the Antarctic.** American Association for the Advancement of Science, 73-91.

EL-SAYED, S. Z. (1985). Plankton of the Antarctic Seas. In: BONNER, W. M. & WALTON, D. W. H. **Key Environments Antarctica.** Oxford: Pergamon Press, 135-153.

EL-SAYED, S. Z. (1987). Biological productivity of antarctic waters: present paradoxes and emerging paradigms. In: EL-SAYED, S.Z., & TOMO, A.P. (eds.). **Antarctic Aquatic Biology.** Cambridge: SCAR, 1-21.

EPPLEY, R.W. & PETERSON, B.J. (1979). Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. **Nature** 282, 677-680.

EVERSON, I. 1983. Summary of the discussions of the sub-groupon distribution, stock identity and population models. In: SCHNACK, S.B. (ed.). **On the biology of krill *Euphausia superba*.** Berichte zur Polarforschung 4, 260-279.

GOEYENS, L.; SEMENEH, M.; BAUMANN, M. E. M.; ELSKENS, M.; SHOPOVA, D.; DEHAIRS, F. (1996). Phytoplanktonic nutrient utilization and nutrient signature in the Southern Ocean. **Journal of Marine Systems** 17, 143-157.

GRAN, H. (1931) On the condition for the production of plankton in the sea. **Rapp. P. Reun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.** 75, 37-46.

GRASSHOFF K.; EHRHARDT M.; KREMLING K. (1983). **Methods of seawater analysis.** 2. ed. Weinheim: Verl. Chem. 419 p.

HALL, B. L. (2009). Holocene glacial history of Antarctica and the Sub-Antarctica islands. **Quaternary Science Reviews** 28, 2213-2230.

HANSON, J. D. & GORDON, J. E. (1998). **Antarctic Environments and Resources: a geographical perspective.** Essex. Addison Wesley Longman. 402 p.

HELBING, E. W.; AMOS, A. F.; NELSON, S. S.; VILLAFANE, V.; HOLM-

HANSEN, O. (1993). Phytoplankton distribution and abundance as related to a frontal system north of Elephant Island, Antarctica. **Antarctic Science** 5(1), 25–36

HEWES, C.D.; REISS, C. S.; HOLM-HANSEN, O. (2009) A quantitative analysis of sources for summertime phytoplankton variability over 18 years in the South Shetland Islands (Antarctica) region. **Deep-Sea Research I** 56, 1230–1241.

HOLDGATE, M. W. (1967). The influence of introduced species on the ecosystems of temperate oceanic islands. In: **Proceedings and Papers of the 10th Technical Meeting, vol. 9**. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources Publication, 151–176.

HOLM-HANSEN, O.; EL-SAYED, S. Z.; FRANCESCHINI G. A.; CUHEL, R. L. (1977). Primary production and the factors controlling phytoplankton growth in the Southern Ocean. In: **Scientific Committee for Antarctic Research (SCAR) and the International Union of Biological Sciences**. Washington D.C.: Gulf Publishing Co, 11-50.

HOLM-HANSEN, O.; HEWES, C. D.; VILLAFANE, V. E. *et al.* (1997). Distribution of phytoplankton and nutrients in relation to different water masses in the area around Elephant Island, Antarctica. **Polar Biology** 18, 145–215.

HUNTLEY, M.; KARL, D. M.; NIILER, P.; HOLM-HANSEN, A. (1991). Research on Antarctic Coastal Ecosystem Rates (RACER): an interdisciplinary field experiment. **Deep-Sea Research II** 38 (8/9), 911–941.

IRIARTE, J.; GONZÁLEZ, R. R.; QUIÑONES, R. A.; KANG, S-H; SHIM, J. H.; VENENZUELA, C. P. (2006). Enzyme Activities of phytoplankton in the South Shetland Islands (Antarctica) in relation to nutrients and primary production. **Revista Chilena de Historia Natural** 79, 505–516.

JAQUES, G. (1989). Primary Production in the open Antarctic Ocean during the austral summer – a review. **Vie Milieu** 29, 1-17.

KOIKE, I.; HOLM-HANSEN, O.; BIGGS, D. C. (1986). Inorganic nutrient metabolism by Antarctic Phytoplankton with special reference to ammonium cycling. **Marine Ecology Progress Series** 30, 105–116

KORB, R. E.; WHITEHOUSE, M. J.; THORPE, S. E.; GORDON, M. (2005). Primary production across the Scotia Sea in relation to the physico-chemical environment. **Journal of Marine Systems** 57, 231–249.

KUDO, I.; NOIRI, Y.; IMAI, K.; NOJITI, Y.; NISHIOKA, J.; TSUDA, A. (2005). Primary productivity and nitrogenous nutrient assimilation dynamics during the Subarctic Pacific Iron Experiment for Ecosystem Dynamics Study. **Progress in Oceanography** 64, 207-221.

LANCELOT, C.; MATHOT, S.; VETH, C.; DE BAAR, H.W.J. (1993). Factors controlling phytoplankton ice-edge blooms in the marginal ice-zone of the north

- western Weddell Sea during sea ice retreat 1988. **Polar Biology** 13, 377 - 387.
- LANGE, P. K. (2011). **O fitoplâncton da Baía do Almirantado (Antártica): variações temporais e espaciais entre os anos de 2002 e 2008**. Dissertação de mestrado em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande. 125 p.
- LE JEHAN, S. & TREGUER, P. (1983). Uptake and regeneration Si/N/P Ratios in the indian sector of the Southern Ocean. **Polar Biology** 2, 127–136.
- LENN, Y-D.; CHERESKIN, T. K.; GLATTS, R. C. (2003). Seasonal to tidal variability in currents, stratification, and acoustic backscatter in an Antarctic ecosystem at Deception Island. **Deep-Sea Research II** 50, 1665 – 1683.
- LIBES, M. S. (1992). **An introduction to marine biogeochemistry**. New York: Jon Wiley & Sons 734 p.
- MATURANA, J.; SILMA, N; HEWES, C.D.; HOLM-HANSEN, O. (1997). AMLR program: Inorganic nutrient concentration, January to February 1997. **Antarctic Journal – Review**, 124–126.
- MEREDITH, M. P.; LOCARNINI, R. A.; VAN SKOY, K. A.; VATSON, A. J.; HEYWOOD, K. J.; KING, B. A. (2000). On the sources of Weddell Gyre Antarctic bottom water. **Journal of Geophysical Research** 105, p. 1093–1104.
- O'BRIEN, R. M. G. (1974). Meteorological observations on Elephant Island. **Br. Antarct. Surv. Bulletin** 39, 21–33.
- PARSONS, T. R.; TAKAHASHI, M.; HARGRAVE, B. (1984). **Biological Oceanography Processes**. Oxford: Pergamin Press. 334 p.
- POLLERY, R. (2005). **Disponibilidade e distribuição de nutrientes e clorofila – a nas águas adjacentes à Península Antártica (Verões de 2000/01, 2001/02 e 2002/03)**. Tese de doutorado em Geociências (Geoquímica), Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense. 139 p.
- QUESADA, A.; CAMACHO, A.; ROCHERA, A.; VELÁZQUEZ, D. (2009). Byers Peninsula: A reference site for coastal, terrestrial and limnetic ecosystem studies in maritime Antarctica. **Polar Science** 3, 171–187.
- REDFIELD, A. C.; KETCHUM, B. H.; RICHARDS, F. A. (1963). **The Sea**. New York: N. M. Hill. 254 p.
- SMITH. K. L.; BALDWIN, R. J.; KAUFMANN, R. S.; STURZ, A. (2003). Ecosystem studies at Deception islands, Antarctica – an overview. **Deep-Sea Research II** 50, 1595 – 1609.
- SMITH, R. C.; BAKER, K. S.; DIERSSEN, H. M.; STAMMERJOHN, S. E.; VERNET, M. (2001). Variability of primary production in an Antarctic Marine Ecosystem as estimated using a multi-scale sampling strategy. **American**

Zoologist 41, 40–56.

SMITH, W. O. & NELSON, D. M. (1989). Importance of ice edge phytoplankton production in the Southern Ocean. **BioScience** 36, 251 – 257.

SMITH, W.O. & NELSON, D.M. (1990). Phytoplankton growth and new production in the Weddell Sea marginal ice zone in the austral spring and autumn. **Limnology and Oceanography** 35, 809–821.

SMITH, W.O. & SAKSHAUG, E. (1990). Polar phytoplankton. In: SMITH, W.O. (ed.). **Polar Oceanography - Part B: Chemistry, Biology and Geology**. San Diego: Academic Press, 477–517

STEINBERG, D.K.; GOLDTHWAIT, S.A.; HANSELL, D.A. (2002). Zooplankton vertical migration and the active transport of dissolved organic and inorganic nitrogen in the Sargasso Sea. **Deep-Sea Research I** 49, 1445–1461.

STURZ, A.A.; GRAY, S. C.; DYKES, K., KING A. L.; RADTKE, J. (2003). Seasonal changes of dissolved nutrients within and around Port Foster, Deception Island, Antarctica. **Deep-Sea Research II** 50, 1685-1705.

STRICKLAND, J. D. H; PARSONS, T.R. (1992). A practical handbook of Seawater Analysis. Fisheries Research Boars of Canada. 1972. 310 p.

TEMNISKOVA-TOPALOVA, D.; CHIPEV, N.; MANOILOVA, K. (1996). Preliminary report on diatoms from the Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica. **Bulgarian Antarctic Research**, 31–61.

ZHOW, M.; NIILER, P. P.; HU, J-H. (2002) Surface currents in the Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica. **Deep-Sea Research I** 49, 267 – 280.

WEBER, L.; EL-SAYED, S.; HAMPTON, I. (1986). The variance spectra of phytoplankton, krill and water temperature in the Antarctic Ocean south of Africa. **Deep-Sea Research I** 33, 1327–1343.

WEBER, T. S. & DEUTSCH, C. (2010). Ocean nutrient ratios governed by plankton biogeography. **Nature** 497, 550–554.

WEN, J.; KANG, J.; XIE, Z.; HAN, J.; LLUBERAS, A. (1994). Climate, mass balance and glacial changes on small dome of Collins ice cap, King George Island, Antarctica. **Antarctic Research** 5, 52–61.

WHITEHOUSE, M. J.; PRIDDLE, J.; WOODWARD, E. M. S. (1995). Spatial variability of inorganic nutrients in the marginal ice zone of the Bellingshausen Sea during the austral spring. **Deep-Sea Research II** 42, 1047–1058.

WITEK, Z. ; KALINOWSKI, J; GRELOWSKI, A. (1988). Formation of Antarctic krill concentrations in relation to hydrodynamic processes and social behavior. In: SAHRHAGDE., A. (ed.). **Antarctic Ocean and Resources Variability**. Berlin: Springer-Verlag, 237-244.

