



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

Christiane Sampaio de Souza

**CONDIÇÕES HIDROQUÍMICAS NAS REGIÕES DOS BANCOS E
ILHAS OCEÂNICAS DO NORDESTE BRASILEIRO E SUA
INFLUÊNCIA SOBRE A COMPOSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE
CHAETOGNATA**

**SALVADOR-BAHIA
2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

Christiane Sampaio de Souza

**CONDIÇÕES HIDROQUÍMICAS NAS REGIÕES DOS BANCOS E
ILHAS OCEÂNICAS DO NORDESTE BRASILEIRO E SUA
INFLUÊNCIA SOBRE A COMPOSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE
CHAETOGNATA**

Tese apresentada ao Instituto de Geociências
da Universidade Federal da Bahia, como parte
dos requisitos para a obtenção de Título de
Doutor em Geologia.

Orientadora: Profa. Dra. Joana Angélica Luz
Co-Orientador: Prof. Dr. Paulo Mafalda Jr.

SALVADOR-BAHIA
2010

**À minha querida tia
Aída (in memorium)**

Agradecimentos

À Prof^a. Dr. Joana Angélica Luz, pela orientação que possibilitou a realização deste trabalho.

Ao Prof^o. Dr. Paulo Mafalda Junior pela co-orientação e disponibilidade durante nosso convívio no Laboratório de Plâncton, sempre disposto a colaborar em todas as fases deste estudo.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Geologia da UFBA, que muito colaboraram na minha formação como Doutora.

À Comissão Interministerial dos Recursos do Mar, Ministério do Meio Ambiente, Subcomitê Regional REVIZEE Nordeste, Diretoria de Hidrografia e Navegação e Navio Oceanográfico ANTARES, pelo apoio que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, Alberto e Miraci de Souza, por serem os principais responsáveis pela educação e crescimento e por seu amor verdadeiro.

Às minhas irmãs Tatiana e Daniela, e meus padrinhos Carlos e Cleonice por estarem sempre presentes em minha vida.

À minha Tia Aída, por ter me ajudado em diversas fases da minha vida e ter sempre acreditado em mim.

Ao meu sobrinho Rafael, alegria da família, pelos momentos de descontração e carinho.

Aos membros do Laboratório de Plâncton da UFBA pelos momentos que passamos juntos.

À Nilton (Secretário da Pós-graduação), pela atenção nos momentos que precisei.

Resumo

Os dados coletados ao longo de dois cruzeiros nas regiões dos bancos e ilhas oceânicas do nordeste brasileiro forneceram informações sobre a variabilidade espacial e temporal da temperatura, salinidade, nutrientes e clorofila a, bem como a relação que essas variáveis tem com a distribuição e abundância de Chaetognatha. Um total de 133 amostras foram coletadas entre 1997 e 1998. As expedições foram feitas em janeiro-abril de 1997 (Período 1) e abril-julho de 1998 (Período 2). A distribuição horizontal superficial da temperatura apresentou maior grau de homogeneidade. Horizontalmente a área do Arquipélago de São Pedro e São Paulo foi a que apresentou os menores valores de temperatura e salinidade em ambos os períodos. Um máximo de salinidade sub-superficial esteve presente na proximidade do início da termoclina, sendo mais acentuado nas latitudes mais baixas. Os diagramas T-S indicam a presença de massas de água características da região: A Água Superficial Equatorial, com salinidade de 35,5 a 36,5 UPS e temperaturas superiores a 26°C; a Água Central do Atlântico Sul, com temperaturas entre 5° e 20°C e salinidade 34 a 36 UPS. O efeito da interação topográfica na estrutura termo-halina foi mais pronunciado na região Oceânica próximo ao Arquipélago São Pedro e São Paulo em 1997 e uma alta concentração de nutrientes na superfície foi encontrada nessa mesma área. Os nutrientes tiveram uma relação inversa com a temperatura, salinidade e clorofila a. Evento de ressurgência foi observado, nas estações localizadas na região Oceânica próximas ao Arquipélago São Pedro e São Paulo, baseado nas elevações das isotermas e altas concentrações superficial de nutrientes. A distribuição e abundância de Chaetognatha estiveram relacionadas com a estrutura hidrológica do local. Os resultados mostraram que houve diferença estatística na abundância de chaetognata entre as áreas amostradas. As espécies estiveram associadas com diferentes temperaturas e salinidades. As maiores densidades de *Sagitta inflata*, *Pterosagitta draco* and *Sagitta hexaptera* foram encontradas em temperaturas em torno de 27°C e salinidades de 36 UPS. *S. lyra* esteve associada principalmente com temperaturas variando de 21,5°C a 22,8°C e salinidade de 35,7 a 36,3 UPS e as maiores densidades foram registradas próximo ao arquipélago de São Pedro e São Paulo, especialmente, durante 1997 quando foi registrada uma ressurgência de sub-superfície.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
ÍNDICE DAS FIGURAS	3
ÍNDICE DAS TABELAS	6
LISTA DE SIGLAS	7
CAPÍTULO 1	
1.1 - Introdução Geral.....	9
1.2 - Objetivos.....	12
1.3 - Hipóteses.....	12
1.4 – Base Conceitual.....	13
1.5 - Descrição da área de estudo.....	15
1.5.1 - Arquipélago de São Pedro e São Paulo.....	17
1.5.2 - Cadeia Norte do Brasil.....	19
1.5.3 - Cadeia de Fernando de Noronha.....	20
1.6 - Materiais e Métodos.....	23
1.6.1 - Hidroquímica.....	24
1.6.2 - Biomassa Primária.....	26
1.6.3 - Biomassa Secundária.....	26
1.6.4 - Amostragem do zooplâncton.....	26
1.6.5 - Triagem e identificação dos Chaetognatas.....	27
1.6.6 - Análise de Dados.....	27
1.6.6.1 - Distribuição horizontal e vertical.....	27
1.6.6.2 – Regressão.....	28
1.6.6.3 - Frequência de ocorrência.....	28
1.6.6.4 - Abundância relativa.....	28
1.6.6.5 - Densidade.....	28
1.6.6.6 - Análise Canônica de Correspondência (ACC).....	29
1.6.6.7 - Diagrama (TSD).....	29
1.6.6.8 - Teste Estatístico.....	29

1.7 - Referências Bibliográficas.....	30
---------------------------------------	----

CAPÍTULO 2

2.1 - Estado da arte.....	38
2.2 - Referências Bibliográficas.....	42

CAPÍTULO 3: Variations in the distribution of chlorophyll a and nutrients around seamounts and islands off North-Eastern Brazil (Lat. 0° and 6° S).....	47
--	----

3.1 - Abstract.....	48
3.2 - Introduction.....	49
3.3 - Materials and Methods.....	50
3.4 - Results.....	52
3.5 - Discussion.....	68
3.6 - Acknowledgements.....	71
3.7 - References.....	71

CAPÍTULO 4: Relationship between spatial distribution of chaetognaths and hydrographic conditions around seamounts and islands off North-Eastern Brazil (Lat. 0° and 6° S).....	76
--	----

4.1 - Abstract.....	77
4.2 - Introduction.....	78
4.3 - Materials and Methods.....	80
4.4 - Results and Discussion.....	81
4.5 - Acknowledgements.....	95
4.6 - References.....	95

CAPÍTULO 5

5.1 - Considerações finais.....	105
---------------------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 - Áreas oceânicas do Nordeste do Brasil.....	15
Figura 2 - Batimetria da área de estudo.....	16
Figura 3 - Representação diagramática da circulação oceânica na ZEE Nordeste.....	17
Figura 4 - Estação Científica do Arquipélago São Pedro e São Paulo (Fonte: SECIRM)....	18
Figura 5 - Arquipélago de São Pedro e São Paulo.....	18
Figura 6 - Morfologia submarina em torno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, conforme Motoki et al. (2007).....	19
Figura 7 - Fernando de Noronha (Fonte: www.bibvirt.futuro.usp.br/var/bibvirt/storage)....	21
Figura 8 - Atol das Rocas (Fonte: upload.wikimedia.org).....	22
Figura 9 - Navio Oceanográfico Antares.....	23
Figura 10 - Mapa contendo a localização das estações coletadas.....	24
Figura 11 - CTD (Temperature and Continous Depht).....	25
Figura 12 - Rede Bongo, malhas 300 e 500 µm, utilizada para coleta de zooplâncton.....	27
Figura 13 - Fluxômetro usado para a obtenção do volume de água filtrada. (Fonte: Catálogo Hydrobios).....	27

CAPÍTULO 3

Figure 1 - Study area showing the sampling stations.....	51
Figure 2 - Horizontal distribution of temperature (°C) at the 1, 50 and 100% light penetration.....	54
Figure 3 - Horizontal distribution of salinity (PSU) at the 1, 50 and 100% light penetration.....	55
Figure 4 - Vertical profiles of temperature (C°) and salinity (PSU), in 12 selected stations (1997).....	56
Figure 5 - Vertical profiles of temperature (C°) and salinity (PSU) in 12 selected stations (1998).....	56

Figure 6 - T-S diagrams are shown for area and years.....	57
Figure 7 - (A) Vertical temperature, (B) salinity and (C) density structures along a transect at two neighbouring seamounts in the Fernando de Noronha Chain (1997).....	58
Figure 8 - (A) Vertical temperature, (B) salinity and (C) density structures along a transect around the St. Peter and St. Paul Archipelago (1997).....	59
Figure 9 - (A) Vertical temperature, (B) salinity and (C) density structures along a transect above the seamount in the North Brazilian Chain (1997).....	59
Figure 10 - Vertical profiles of silicon ($\mu\text{M.L}^{-1}$), phosphate ($\mu\text{M.L}^{-1}$), Nitrite ($\mu\text{M.L}^{-1}$) and nitrate ($\mu\text{M.L}^{-1}$) in 12 selected stations (1997).....	60
Figure 11 - Vertical profiles of silicon ($\mu\text{M.L}^{-1}$), phosphate ($\mu\text{M.L}^{-1}$), Nitrite ($\mu\text{M.L}^{-1}$) and nitrate ($\mu\text{M.L}^{-1}$) in 12 selected stations (1998).....	61
Figure 12 - Horizontal distribution of nitrite ($\mu\text{M.L}^{-1}$) at the 1, 50 and 100% light penetration.....	62
Figure 13 - Horizontal distribution of nitrate ($\mu\text{M.L}^{-1}$) at the 1, 50 and 100% light penetration.....	63
Figure 14 - Horizontal distribution of phosphate ($\mu\text{M.L}^{-1}$) at the 1, 50 and 100% light penetration.....	63
Figure 15 - Horizontal distribution of silicon ($\mu\text{M.L}^{-1}$) at the 1, 50 and 100% light penetration.....	64
Figure 16 - Concentrations of Nutrients (NO_2 , NO_3 , PO_4 and Si) versus temperature and salinity for the data of 151 stations from the year 1997. The graphs with lines indicate a significant correlation between the two variables and the correlation coefficients are represented by r. The intercept of the regression line is represented by b.....	65
Figure 17 - Horizontal distribution of chlorophyll <i>a</i> (mg.L^{-1}) at the 1, 50 and 100% light penetration.....	66
Figure 18 - Chl <i>a</i> concentration versus nutrients (NO_2 , NO_3 , PO_4 and Si) at study area for the level of 1% light penetration in 1997 and 1998. The regression equation and the correlation coefficients r are given.....	67

CAPÍTULO 4

Figure 1 - Study area showing the sampling stations.....	81
Figure 2 - Temporal variation of temperature (°C) and salinity (PSU) for investigated periods (minimum and maximum values: vertical line; mean: horizontal bar; confidence limit: rectangle).....	82
Figure 3 - Temporal variation of chlorophyll <i>a</i> (mg.L ⁻¹) for investigated periods (minimum and maximum values: vertical line; mean: horizontal bar; confidence limit: rectangle).....	83
Figure 4 - Temporal variation of dry weight (g.100m ⁻³) for investigated periods (minimum and maximum values: vertical line; mean: horizontal bar; confidence limit: rectangle).....	84
Figure 5 - Horizontal distribution of dry weight (g.100m ⁻³) for investigated periods.....	85
Figure 6 - Temporal relative abundance of chaetognaths species around seamounts and islands off North-Eastern Brazil.....	86
Figure 7 - Temporal occurrence frequency of chaetognaths species around seamounts and islands off North-Eastern Brazil.....	86
Figure 8 - Distribution and density of the chaetognath species from area around seamounts and islands off North-Eastern Brazil during 1997.....	89
Figure 9 - Distribution and density of the chaetognath species from area around seamounts and islands off North-Eastern Brazil during 1998.....	90
Figure 10 - Temperature-salinity-density (T-S-D) diagram of the chaetognath species from area around seamounts and islands off North-Eastern Brazil during 1997.....	91
Figure 11 - Temperature-salinity-density (T-S-D) diagram of the chaetognaths species from area around seamounts and islands off North-Eastern Brazil during 1998.....	92
Figure 12 - Biplot of the species scores and important environmental correlation vectors in the first two canonical correspondence analysis dimensions.....	94

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Detalhes dos cruzeiros que serão analisados.....	23
---	----

CAPÍTULO 3

Table 1 - Mann-Whitney comparison test for temperature (C°), salinity (PSU), chlorophyll a (mg.L-1), nitrate ($\mu\text{M.L-1}$), nitrite ($\mu\text{M.L-1}$), phosphate ($\mu\text{M.L-1}$) and silicon ($\mu\text{M.L-1}$) among periods around seamounts and islands off North-Eastern Brazil.....	53
---	----

CAPÍTULO 4

Table 1 - Mean density of the chaetognaths species by period and areas (ind/m ³).....	87
Table 2 - Result from canonical correspondence analysis (CCA).....	93
Table 3 - Weighted correlation matrix from CCA.....	93

LISTA DE SIGLAS

ACAS.....	Central do Atlântico Sul
ZCIT.....	Zona de Convergência Intertropical
CSE.....	Corrente Sul Equatorial
CB.....	Corrente do Brasil
CTD.....	Condutividade, Temperatura e Salinidade
DHN.....	Diretoria de Hidrografia e Navegação
ACC.....	Análise Canônica de Correspondência
TSD.....	Temperatura, Salinidade e Densidade
SEC.....	Equatorial Current
NBC.....	North Brazil Current
EUC.....	Equatorial Undercurrent
ESW.....	Equatorial Surface Water
SSM.....	Subtropical Salinity Maximum
SACW.....	South Atlantic Central Water
Chl <i>a</i>	Chlorophyll <i>a</i>
CPSE.....	Cumulative Percentage of the Species-Environment
AES.....	Água Equatorial Superficial
AT.....	Água Tropical
ACAS.....	Água Central do Atlântico Sul

CAPÍTULO 1

1.1 - Introdução Geral

As características da água do mar são conservativas ou não -conservativas. As características conservativas tais como a temperatura e salinidade não são afetadas pela produtividade do sistema, mas as características não conservativas como concentrações de oxigênio dissolvido, nutrientes e clorofila *a* são influenciadas direta ou indiretamente. Os nutrientes mais importantes são os compostos nitrogenados e os fosforados. Os silicatos podem também ser importante para alguns organismos que tem silício na carapaça. A entrada de nutrientes no mar pode ocorrer antropogenicamente ou naturalmente através dos processos físicos, químicos e biológicos.

As águas subterrâneas e superficiais podem eventualmente carregar contaminantes de origem antropogênica. (Marsh 1977, D'Elia *et al.* 1981, Lewis 1985, Badran & Forster 1998). Fontes naturais incluem fixação de nitrogênio (e.g. Wilkinson *et al.* 1984) e decomposição de matéria orgânica. A fixação do nitrogênio pode ocorrer onde e quando os organismos fixadores estão presentes, visto que a decomposição ocorre no sedimento (Charpy-Roubaud *et al.* 1996, Ciceri *et al.* 1999, Wild *et al.* 2004a,b, Rasheed *et al.* 2004). Processos físicos têm um importante papel na redistribuição de nutrientes por ação de correntes (Rasheed *et al.* 2002, Niemann *et al.* 2004).

No Atlântico Sul-Occidental, entre a região equatorial e a Convergência Subtropical, o estoque de nutrientes inorgânicos dissolvidos mais próximo da zona eufótica encontra-se nas camadas sub-superficiais da Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Fertilização em massa da zona eufótica não ocorre devido à presença de uma termoclina permanente como consequência da água quente superficial "empilhada" para o lado ocidental das bacias oceânicas. Qualquer processo oceanográfico que possam romper a estrutura fisicamente estável da termoclina, resulta em ressurgências de águas profundas trazendo nutrientes para a zona eufótica.

Em regiões afastadas da costa a fertilização em massa da zona eufótica ocorre apenas nas divergências equatoriais (Lalli & Parsons, 1993) ou em áreas de quebra de plataforma (Brandini, 1986, Brandini *et al.*, 1988). Próximo aos bancos submersos e ilhas oceânicas a ACAS também pode ressurgir como consequência do regime de ventos e da circulação local, trazendo nutrientes para a zona eufótica e aumentando a produção primária dessas regiões (Takahashi & Barth, 1968). Em regiões costeiras ocorrem

fertilizações em massa, a exemplo das regiões estuarinas ou nas ressurgências costeiras como em Cabo Frio (Valentin, 1992).

Em águas tropicais e subtropicais brasileiras prevalece o sistema de produção do tipo regenerativo (Dugdale & Goering, 1967; Metzler et al, 1996), no qual o nitrogênio inorgânico, normalmente limitante em ecossistemas marinhos (Ryther & Dunstan, 1971; Vince & Valiela, 1973) está disponível sob a forma de compostos reduzidos (amônia, urêia, etc), oriundos da excreção da comunidade planctônica e regeneração bacteriana na coluna de água. Sistemas de "produção regenerada" são pobres do ponto de vista pesqueiro, pois o acúmulo de biomassa é pequeno tendo em vista a eficiência na transferência de energia ao longo da teia alimentar pelágica (Lalli & Parsons, 1993). Eventualmente esse tipo de produção se alterna com a "produção nova", baseada em fontes externas de nitrogênio, introduzidas no sistema por ressurgências de água subsuperficial, aportes continentais e atmosféricos, difusão molecular na base da zona eufótica e ressuspensão de sedimentos em áreas rasas. Nessas condições, a produção fitoplanctônica aumenta favorecendo o desenvolvimento larval, o recrutamento e o acúmulo de biomassa pesqueira pelágica, podendo também ser exportada sob a forma de matéria orgânica particulada para as comunidades bênticas.

As distintas massas de água diferem em suas características físicas, químicas, de flora e de fauna, e que se caracterizam, em geral, por sua temperatura e salinidade. A distribuição geográfica do zooplâncton é essencialmente dependente das características das massas de água. Por essa razão, diferentes espécies de plâncton tem sido associada com uma massa de água específica (Bary, 1963; McGowan, 1971).

Os bioindicadores são usados em estudos de hidrologia, geologia, transporte do sedimento, mudanças do nível oceânico, ou presença dos peixes de valor econômico, por exemplo. Os organismos que servem como indicadores hidrológicos são aqueles com os quais se podem diferenciar as distintas massas de água e determinar seus movimentos (Terazaki, 1996). Os organismos podem ser usados como sensores de uma massa de água, requerendo-se que tenham um grau de tolerância reduzido para que não sobrevivam a condições diferentes a das massas de água que o caracterizam, ou também como traçadores de uma corrente, se são mais ou menos resistentes às mudanças ambientais e sobrevivem em condições diferentes, indicando a extensão de uma corrente que pode atravessar varias

massas de água (Schleyer, 1985). Estes métodos biológicos são mais úteis que as determinações físicas ou químicas especialmente em zonas marginais, de mudança, e além do mais, informam sobre o grau de mistura de dois tipos de água em zonas intermediárias.

O filo Chaetognatha é um grupo zooplancctônico muito abundante nos oceanos. Os chaetognatha são organismos exclusivamente marinhos e possuem ampla distribuição, sendo encontrados em todos os oceanos e também em estuários. Um número de espécies mostra distribuições zoogeográficas bem definidas.

A distribuição mundial qualitativa está, parcialmente determinada pela temperatura e principalmente pelo movimento das massas de água, permitindo assim o estudo de espécies indicadoras de certas massas de água em uma área específica (Bieri, 1959; Sund, 1964; Alvariño, 1992). Também, a distribuição dos fatores físicos do ambiente pode ser corroborada pela presença e ausência de espécies (Schleyer, 1985).

1.2 - Objetivos

1 - Analisar a variação temporal, horizontal e vertical da temperatura, salinidade, clorofila a, oxigênio dissolvido, pH, e nutrientes (nitrato, fosfato e silicato), das regiões dos bancos e ilhas oceânicas do Nordeste.

2 - Estabelecer a relação entre os sais nutrientes e os elementos responsáveis pela produtividade do meio aquático (biomassa fitoplanctônica).

3 - Analisar a influência de fatores ambientais (temperatura, salinidade, biomassa fitoplanctônica e biomassa zooplanctônica, sobre a distribuição espacial e temporal de Chaetognata.

4 - Avaliar a relação entre a densidade das espécies de chaetognathas e a estrutura térmica e salina da massa de água, e sua possível utilização como indicador hidrológico.

1.3 - Hipóteses

1º Hipótese Nula:

Não há relação entre os sais nutrientes e a biomassa fitoplanctônica nas regiões de bancos e ilhas oceânicas do nordeste

1º Hipótese Alternativa:

Há relação entre os sais nutrientes e a biomassa fitoplanctônica nas regiões de bancos e ilhas oceânicas do nordeste

2º Hipótese Nula:

Os chaetognatas não são indicadores das massas de água nas regiões de bancos e ilhas oceânicas do nordeste.

2º Hipótese Alternativa:

Os chaetognatas são indicadores das massas de água nas regiões de bancos e ilhas oceânicas do nordeste.

1.4 – Base Conceitual

O fitoplâncton é uma fonte direta ou indireta do alimento para a maioria de animais marinhos. A concentração do pigmento verde fotossintético (clorofila-*a*) em águas estuarinas, litorais e marinhas é um indicador da abundância e biomassa de plantas microscópicas (fitoplâncton) assim como algas unicelulares. É também geralmente usado para medir a qualidade de água.

Pouco se sabe sobre o impacto da dinâmica dos nutrientes na biomassa fitoplanctônica na região oceânica do nordeste. Uma primeira etapa nesta consideração é examinar a variabilidade espacial e temporal dos nutrientes e investigar as implicações da limitação de nutriente no crescimento da biomassa fitoplanctônica.

O conhecimento sobre a distribuição do fitoplâncton em termos da concentração de clorofila-*a* em águas oceânicas é importante para os estudos de produção primária (Lungrust e Harrison, 1989), para a determinação do papel dos oceanos nos ciclos biogeoquímicos (ciclo do carbono e outros) (Holligan et al., 1989; Deuser et al., 1990), poluição (Hardim, 1979), para os estudos de dinâmica dos oceanos e correntes costeiras (Tyler e Stumpf, 1989), entre outros.

Os resultados desta pesquisa fornecem informação sobre a produtividade nas águas oceânicas do nordeste do Brasil, uma região reconhecidamente importante do ponto de vista econômico e carente, do ponto de vista científico, deste tipo de informação.

A organização e o funcionamento dos ecossistemas em geral dependem basicamente de luz e elementos nutrientes (p.ex., carbono, oxigênio, nitrogênio, fósforo, metais traços e vitaminas). Nas áreas tropicais e subtropicais, o desenvolvimento da comunidade planctônica depende fundamentalmente da disponibilidade de macronutrientes inorgânicos na zona eufótica, principalmente nitrogênio, uma vez que o regime diário de luz necessária para as reações fotossintéticas é suficiente em qualquer época do ano.

Os estudos planctológicos são de reconhecida importância nas pesquisas metódicas de problemas gerais ou específicos que podem ser investigados em uma área (Paranaguá, 1966).

São poucas, no entanto, as regiões oceânicas que possuem levantamento e guias detalhados de sua fauna zooplanctônica, podendo ser destacado neste setor os trabalhos de Davis (1958), Alvarino (1969, 1992) e Boltovskoy (1981, 2005).

Sendo o plâncton representado por uma grande variedade de espécies, que o faz uma comunidade complexa e por isso mesmo com padrões de distribuição que são variáveis no tempo e no espaço, não é a expressão do conjunto, mas das populações específicas que respondem à variação de certos fatores ambientais que são capazes de fornecer as características mais completas do ecossistema, principalmente quando esses organismos possuem espécies bioindicadoras (Mendiola et al., 1981).

Por esta razão foi dada prioridade ao estudo do Phylum Chaetognatha, pois se trata de organismos que desempenham importante papel no zooplâncton marinho; tanto pela sua posição no nível trófico onde atuam como predadores, competidores e presas, quanto pela sua condição de animais com espécies indicadoras de massas de água. Por outro lado, na condição de ativos predadores de estágios larvais de peixe de valor comercial, sua presença no ambiente guarda uma relação significativa com a sobrevivência dos mesmos (Alvariño, 1965, 1967; Dinofrio, 1973; McLelland, 1980; Bonilla, 1983).

Pela importância do Phylum Chaetognatha e diante dos poucos trabalhos ao nível de região nordeste, esse estudo se reveste de especial importância para a área oceânica analisada.

1.5 - Descrição da área de estudo

A área de estudo está localizada ao norte de 5° S e a oeste de 29° W, abrangendo uma área de 600.000 Km² não incluindo-se a área referente as 200 milhas em torno do Arquipélago de São Pedro São Paulo, que corresponde a 350.000 Km².

A área localizada a oeste de 35° W até a foz do rio Parnaíba (Setor 1), possui 250.000 Km² de área. Esta região é de domínio da Corrente Norte de Brasil, com sentido E → W, com presença de bancos oceânicos rasos, com profundidades variando entre 50 e 350m. A área localizada a leste de 35° W e norte de 5° (Setor 2), com área de 350.000 Km², incluindo o Arquipélago de Fernando de Noronha, Atol das Rocas e Arquipélago de São Pedro São Paulo (Figura1).

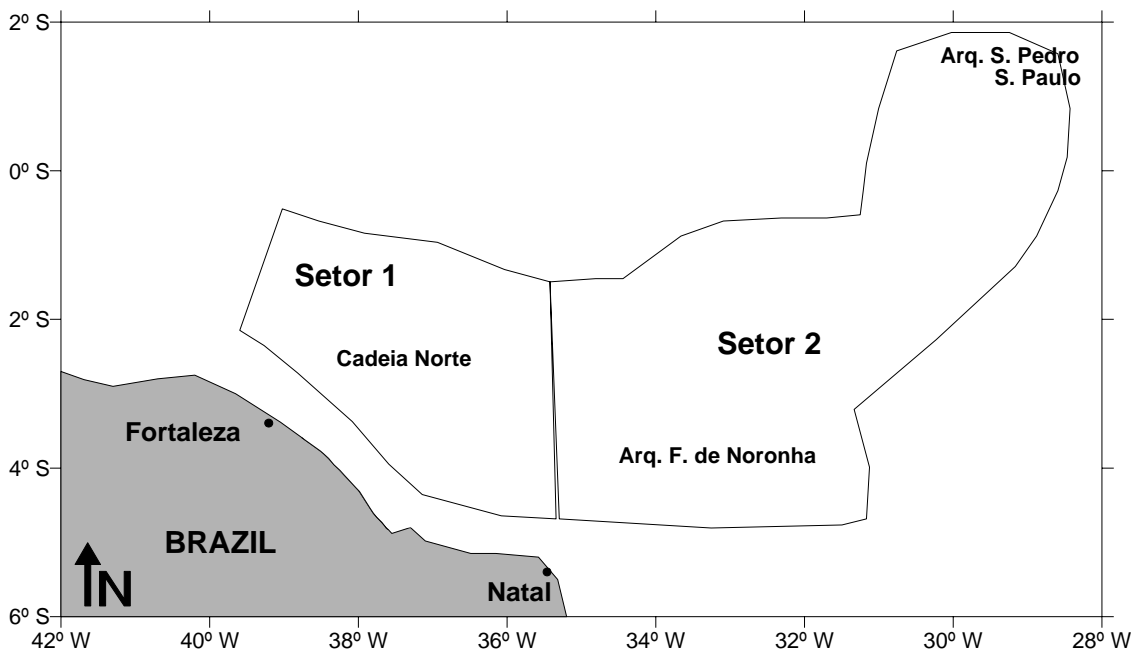


Figura 1 – Áreas oceânicas do Nordeste do Brasil.

A topografia submarina da zona oceânica é dominada pela planície abissal do Ceará, onde são encontradas as maiores profundidades da zona oceânica adjacente à costa brasileira, que atingem cerca de 5.600 m (Figura 2), (Palma, 1984). Este relevo é quebrado pela Cadeia Norte do Brasil, composta por diversos bancos oceânicos rasos, a maioria com profundidades em torno dos 45 m.

Vários montes submarinos se elevam acima do sopé continental, destacando-se o

arquipélago de Fernando de Noronha e o Atol das Rocas. As cadeias Norte do Brasil e Fernando de Noronha regulam a morfologia e sedimentação da região (Coutinho, 1999).

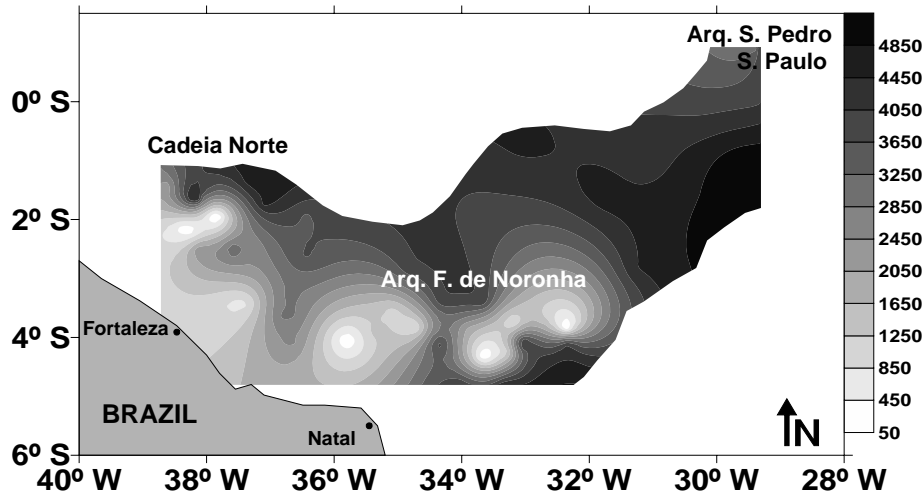


Figura 2 – Batimetria da área de estudo

Segundo Hazin, (1993) as áreas de bancos e ilhas são geralmente caracterizadas por uma atividade pesqueira, e, apesar de grande importância econômica, continuam pouco conhecidas, por isso, será detalhado um pouco sobre os bancos e ilhas existentes na região.

A região Equatorial do Oceano Atlântico compreende a plataforma continental e planície abissal do Norte do Ceará ao Sul de Pernambuco. Nesta área localiza-se a Cadeia Norte do Brasil e a Cadeia de Fernando de Noronha, da qual também faz parte o Atol das Rocas. Denominada de Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), esta região é caracterizada por baixa pressão atmosférica, ventos fracos e alta precipitação, devido à influência dos dois sistemas de alta pressão localizados nas regiões subtropicais dos dois hemisférios, os anticiclones dos Açores ao norte e o de Santa Helena ao Sul (Tchernia, 1980).

Na superfície oceânica predomina a Corrente Sul Equatorial (CSE), que flui sentido leste-oeste entre 20° S e 2-3° N, com velocidade média de 1-3 km h⁻¹, temperatura entre 25 e 30° C e salinidade entre 34 e 36 UPS, estendendo-se até uma profundidade de 50 m (Tchernia, 1980). Ao atingir o talude continental a CSE bifurca-se formando a Corrente Norte do Brasil (CNB), que flui para noroeste e a Corrente do Brasil (CB), que flui para o Sul. A partir de 50 m até em torno dos 200 m de profundidade, flui a Contracorrente

Equatorial no sentido oposto a CSE e com uma velocidade de 2 km h-1 (Tchernia, 1980)(Figura 3).

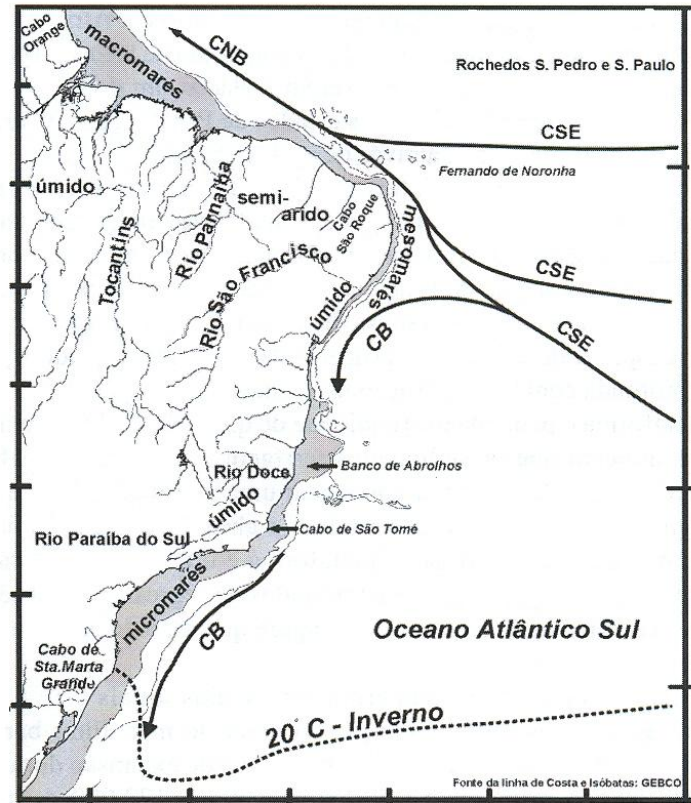


Figura 3 – Representação diagramática da circulação oceânica na ZEE Nordeste do Brasil.

1.5.1 - Arquipélago de São Pedro e São Paulo

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (Figura 4), que se chamava Penedo de São Pedro e São Paulo ou Rochedo de São Pedro e São Paulo, localiza-se no oceano Atlântico equatorial, na altura da linha do Equador, N 00°55.1', W 29°20.7', distando 870 km do Arquipélago de Fernando de Noronha e 1.010 quilômetros de Natal, no estado do Rio Grande do Norte.

O arquipélago é um afloramento rochoso em forma de cunha originado de uma elevação da Cadeia Meso-Atlântica, cuja base está a 4000 metros de profundidade. Trata-se de um caso raro no planeta, onde houve uma formação natural de ilhas a partir de uma falha tectônica, propiciando uma situação de especial interesse científico. Encontra-se também na rota de peixes de comportamento migratório de alto valor econômico



Figura 4 - Estação Científica do Arquipélago São Pedro e São Paulo (Fonte: SECIRM)

A área total emersa é aproximadamente 13 mil m² a altitude máxima de 18 m. É constituído por 5 ilhas maiores e numerosos rochedos, sendo um dos lugares mais inóspitos do país (Figura 5). O Arquipélago inteiro está enquadrado como Área de Proteção Ambiental.

Ilha Belmonte (Sudoeste, Southwest): 5380 m²; Ilha Challenger (São Paulo, Sudeste, Southeast): 3000 m²; Ilha Nordeste (São Pedro, Nordeste): 1440 m²; Ilhota Cabral (Noroeste, Northwest): 1170 m²; Ilhota South: 943 m²



Figura 5 - Arquipélago de São Pedro e São Paulo

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo situa-se na zona de expansão entre a Placa Sul-Americana e a Placa Africana. A falha transformante São Paulo (Saint Paul Transform Fault) é uma das maiores falhas transformantes do Oceano Atlântico, em que ocorre em total 600 km de descontinuidade da cadeia meso-oceânica. Esta é uma das regiões mais profundas do Oceano Atlântico e algumas localidades têm mais de 5000 m de profundidade. A morfologia abissal apresenta que o Arquipélago situa-se no topo de uma grande megamullion, com comprimento de 90 km, largura de 25 km e altura aproximada de 4000 m a partir do fundo do oceano. Sendo diferentes de vulcões submarinos, esta saliência é constituída por duas elevações tabulares orientadas segundo leste-oeste, apresentando uma forma similar a *Brachiosaurus* cuja cabeça é direcionada a leste. O maior destaque deste perfil é o ângulo de inclinação dos taludes. Nos flancos do Arquipélago, a partir do nível do mar até 1000 m de profundidade, ocorrem taludes de alto ângulo, em torno de 50° de inclinação (Figura 6). Não se observa uma plataforma submarina extensa de pequena profundidade em torno do Arquipélago. Existe uma escarpa vertical com altura maior do que 100 m. Essas morfologias submarinas instáveis sugerem que o soerguimento do Arquipélago foi originado de um tectonismo recente, o que pode estar ainda em continuação.

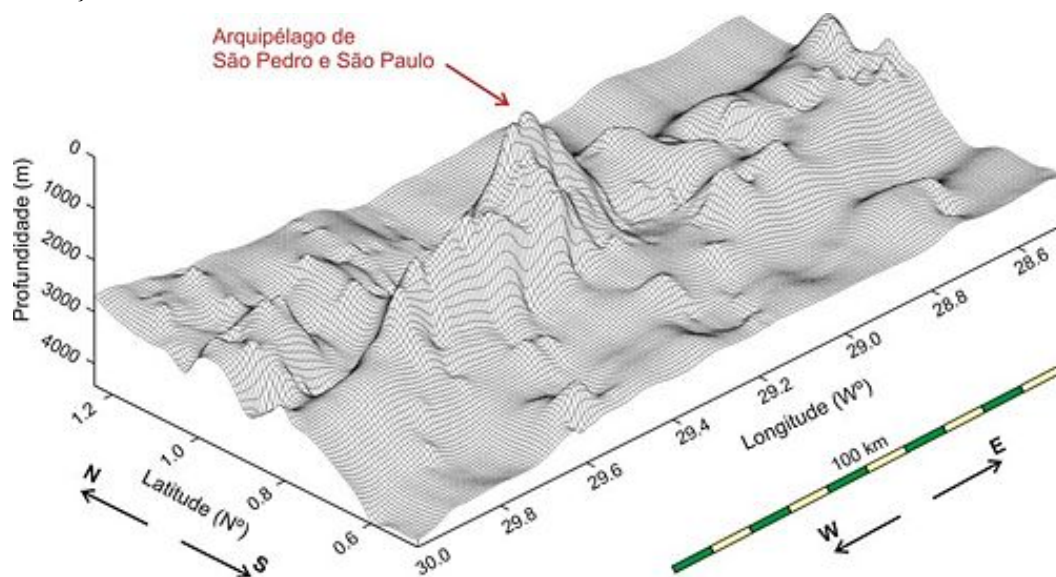


Figura 6 - Morfologia submarina em torno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, conforme Motoki et al. (2007)

1.5.2 - Cadeia Norte do Brasil

A Cadeia Norte do Brasil é constituída por montes submarinos (bancos Aracati, Guará, Sirius, Caiçara, entre outros) cujos ápices estão a profundidades que variam entre 500 e 60 metros.

De acordo com Coelho Filho (2004) os bancos da Cadeia Norte do Brasil se caracterizam por topos recobertos por fundos biodetríticos, blocos calcários e corais. Considera-se que os bancos oceânicos são habitats únicos, tendo como fatores responsáveis a grande variação na profundidade, substratos duros, topografia críptica, fortes correntes, águas oceânicas límpidas e isolamento geográfico. Ao redor dessas áreas podem ser encontradas fauna e flora surpreendentemente ricas, em contraste com àquelas das regiões oceânicas tropicais. Estas áreas, além de representarem ponto de parada para espécies transoceânicas, apresentam significativo nível de endemismo, podendo apresentar espécies, gêneros ou taxons de níveis hierárquicos mais elevados, não encontrados na plataforma continental. Sendo assim, os bancos da Cadeia Norte do Brasil funcionariam como possíveis rotas na dispersão de espécies. Ainda, esta área apresenta uma maior riqueza de invertebrados, sustentada provavelmente pelas elevadas concentrações de nutrientes e altas taxas de produtividade primária verificadas para a região. Outro importante fator levantado é a presença, em grande quantidade, de macroalgas, esponjas e cnidários, que servem de substrato e alimento para o assentamento e desenvolvimento de espécies do macrobentos em geral.

Os Bancos da Cadeia Norte do Brasil são considerados por MMA (2002) como de alta importância biológica para teleósteos e elasmobrânquios, sendo caracterizados como áreas de alta produtividade, com abundância de espécies de valor comercial. O IBAMA entende que os Bancos da Cadeia Norte do Brasil constituem áreas prioritárias para a conservação da fauna marinha e estratégicos para a bioecologia de estoques pesqueiros.

1.5.3 - Cadeia de Fernando de Noronha

Esta cadeia está localizada entre 3° e 5°S de latitude e 32° e 38° de longitude e é representada pelo Arquipélago de Fernando de Noronha (03°30'S e 37°30'W), Atol das Rocas (03°30'S e 32°30'W) e diversos bancos como o Grande (03°50'S e 35°W), Sirius 04°S e 35°52'W), o Guará (03°55'S e 36°11'W) e o Drina (03°50'S e 32°40'W).

A cadeia estende-se do talude continental ao Arquipélago de Fernando de Noronha que é o topo de um monte submarino cuja base tem um diâmetro de aproximadamente 60km. Esta área sofre influência direta da Corrente Sul Equatorial.

Fernando de Noronha é um arquipélago brasileiro formado por 21 ilhas e ilhotas, ocupando uma área de 26 km², situado no Oceano Atlântico, a leste do estado do Rio Grande do Norte. Administrativamente constitui um distrito do estado de Pernambuco desde 1988, quando deixou de ser território federal, cuja sigla era *FN*. É gerida por um administrador-geral designado pelo governo do estado. A ilha principal tem 17 km², fica a 545 km de Recife, capital de Pernambuco e constitui 91% da área total, destacando-se ainda as ilhas Rata, Sela Gineta, Cabeluda, São José e as ilhotas do Leão e da Viúva (Figura 7).

O Parque Nacional Marinho, correspondendo à aproximadamente 70% da área total do arquipélago, foi criado em 1988 com o intuito de proteger e preservar o ambiente marinho e terrestre do Arquipélago de Fernando de Noronha.



Figura 7 – Fernando de Noronha (Fonte: www.bibvirt.futuro.usp.br/var/bibvirt/storage)

Este arquipélago de origem vulcânica é constituído por um substrato de rochas piroclástica e cortado por rochas ígneas alcalinas e basálticas, com o pico capeado por arenitos calcários, constituídos em grande parte por fragmentos de algas. A idade do vulcanismo formador do arquipélago é de cerca de 2 a 12 m.a. (Almeida, 1955).

O Atol das Rocas é um dos bancos da cadeia com topo quase a superfície (Palma, 1984). Segundo Kikuchi (1994), o Atol das Rocas é o único atol no Oceano Atlântico Sul

Ocidental e primeira Reserva Biológica Marinha do Brasil, Rocas (3°05' S; 33°40' W) está situado a 267 Km a E-NE da cidade de Natal- RN, e 148 Km a W do Arquipélago de Fernando de Noronha. O Atol das Rocas é uma elipse semicircular, com área interna de 5,5 km², que ocorre na porção oeste do topo aplainado de um monte submarino. É constituído por um anel circular formado por moluscos vermetídeos e corais, por um banco de areia conchífera e uma lagoa central (Figura 8).



Figura 8 – Atol das Rocas (Fonte:upload.wikimedia.org)

Os recifes do anel de Rocas emergem 0,5 metros durante a baixa-mar, quando surgem na área interior várias piscinas naturais. Na preamar os recifes ficam submersos 2 metros ou mais. A temperatura média em superfície é de 27°C e a salinidade de 36,7‰, tornando-se mais alta nas lagoas internas na maré baixa (Teixeira, 1996).

Reservas de Fernando de Noronha e Atol das Rocas representam grande proporção de ilhas do Atlântico Sul e suas ricas águas são extremamente importantes para a alimentação e criação de atum, tubarões, tartarugas e mamíferos aquáticos. As ilhas abrigam grande concentração de aves tropicais. A Baía dos Golfinhos tem uma população excepcional de golfinhos.

1.6 - Material e Métodos

O material empregado para o desenvolvimento deste estudo foi obtido através do Navio Oceanográfico ANTARES da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (Figura 9). O navio foi construído em 1984, possui um comprimento total de 55 m e dispõe de equipamentos e acessórios que possibilitaram efetuar levantamentos hidrográficos, durante as expedições Nordeste II e III, realizadas entre 1997 – 1998, nas seguintes datas: Nordeste II – 21/Janeiro a 13/Abril de 1997 e Nordeste III – 28/Abril a 20/Julho de 1998.



Figura 9 – Navio Oceanográfico Antares.

A área pesquisada é delimitada pelas seguintes coordenadas geográficas: norte de 5° S e oeste de 29° W, incluindo a cadeia norte do Brasil, arquipélago de Fernando de Noronha, Atol das Rocas e arquipélago de São Pedro e São Paulo, abrangendo 67 estações no ano de 1997 e 66 estações no ano de 1998, perfazendo um total de 133 estações numa área de 600.000 Km² (Tabela 1) (Figura 10).

Tabela 1 – Detalhes dos cruzeiros que serão analisados.

Operações	Cruzeiro	Período	Área	Número de Estações
Nordeste II	P3	13/02 a 24/02/97	Cadeia Norte	24
Nordeste II	P4	27/02 a 07/03/97	Noronha/Rocas	21
Nordeste II	P5	10/03 a 21/03/97	S. Pedro e S. Paulo	22
Nordeste III	P3	27/05 a 09/06/98	C. Norte/ Noronha/ Rocas	40
Nordeste III	P4	15/06 a 26/06/98	S. Pedro e S. Paulo	26
TOTAL				133

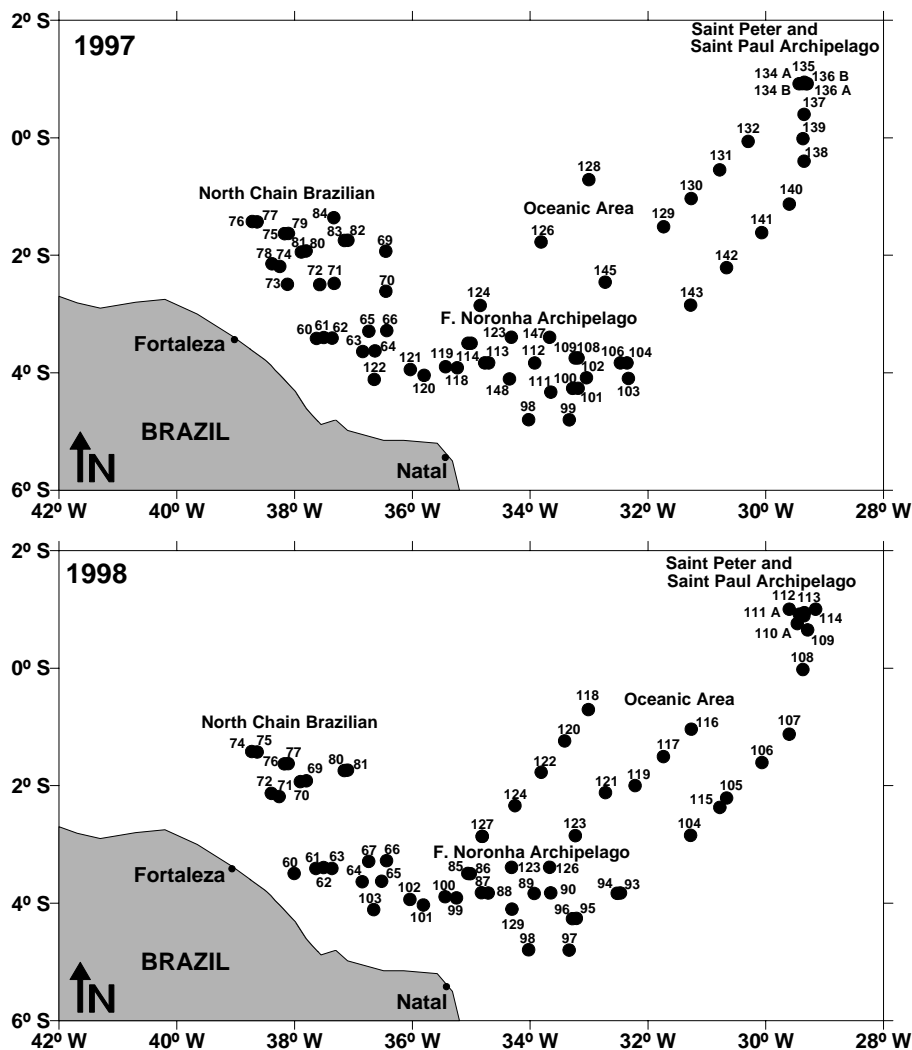


Figura 10 – Mapa da localização das estações coletadas.

1.6.1 - Hidroquímica

As atividades de análise foram desenvolvidas tanto a bordo do navio como no Laboratório de Química Ambiental do Departamento de Química da Universidade Federal do Ceará e no Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco. As seguintes variáveis foram analisadas: temperatura, salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silício.

Os dados de salinidade (UPS) e de temperatura (°C) foram obtidos através de perfilagem contínua – CTD (condutividade, temperatura e salinidade) modelo SPE 911 plus, que estava acoplado a uma Rosette. As amostras para análise hidroquímica foram

coletadas por meio de um sistema de rosette, contendo 12 garrafas de Niskin, modelo SBE 32 (Figura 11). O equipamento era operado juntamente com o CTD; esta montagem tinha um cabo de aço contendo fibra ótica em seu interior enviando dados sobre a profundidade, condutividade, temperatura e densidade, permitindo assim que o monitoramento da profundidade da rosete fosse feito através de um computador localizado no laboratório do navio, de onde era efetuado o disparo para o fechamento das garrafas. Todos os lançamentos foram acompanhados através do programa SEASOFT versão 4,217.

As amostras destinadas análise dos nutrientes foram imediatamente congeladas para posterior análise. Três níveis de profundidade, em cada estação, foram definidos em função da luminosidade. O nível de luminosidade era calculado através da Tabela de Extinção Percentual da Luz Solar, feita pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), do Ministério da Marinha, através da profundidade de desaparecimento do disco de Sachhi, A máxima profundidade de coleta foi de 1000 metros. A medição da profundidade local foi feita por um ecobatímetro SINRAD EA- 500. A nomenclatura utilizada para as profundidades coletadas estão especificadas abaixo.

S – Supéfcie ou 100% de luminosidade
50% - 50% de luminosidade
1% - 1% de luminosidade

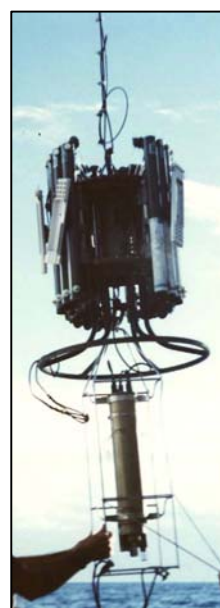


Figura 11 - CTD (Temperature and Continuous Depth).

Os valores das concentrações do fosfato, nitrito, nitrato e silício foram obtidos segundo a metodologia descrita por Aminot (1983).

1.6.2 - Biomassa Primária

As amostras de água destinada às análises de biomassa primária fitoplanctônica (clorofila *a*) foram obtidas por meio de garrafas de Niskin (sistema Rosette). Após a filtração das amostras a bordo, os filtros foram congelados para posterior análise de clorofila *a* em laboratório, através do método espectrofotométrico de Strinckland & Parsons (1972), o qual emprega como solvente acetona a 90% e leituras em banda de espectro entre 630 e 750 nm, após a centrifugação do extrato. A biomassa fitoplanctônica foi expressa em células/litro para três níveis de coleta: 1%, 50% e 100% de luz.

1.6.3 - Biomassa Secundária

No laboratório a primeira parte das análises constitui na obtenção do biovolume, que foi determinado através do processo de sedimentação utilizando-se provetas graduadas (Boltovskoy,1981). Após a padronização do volume das amostras em 200 ml, foram retiradas alíquotas de 100 ml para realizar as análises de biomassa secundária. Estas determinações de biomassa (peso úmido, peso seco e peso orgânico), foram realizadas segundo metodologia de Omori e Ikeda (1984). Neste estudo foram empregados apenas os resultados de Peso Seco

1.6.4 - Amostragem do zooplâncton

O zooplâncton foi coletado segundo metodologia proposta por Smith e Richardson (1977), através de rede do tipo Bongo (Figura 12) com abertura de 50 cm e malhas de 300 e 500 (μm), dotada de fluxômetro (Hydro-Bios) para o cálculo do volume de água filtrada (Figura 13). Neste estudo, foi analisado apenas o zooplâncton contido na rede de 500 μm . Os arrastos oblíquos foram realizados variando de acordo com a profundidade, a partir dos 5 metros do fundo em estações rasas, e 200 metros de profundidade nas demais estações, com duração média de 10 minutos.

As amostras foram acondicionadas em frascos plásticos de 1000 ml, devidamente etiquetadas e imediatamente fixadas em solução de formol a 4%, neutralizado com tetraborato de sódio, para futura análise em laboratório.



Figura 12 – Rede Bongo, malhas 300 e 500 μm , utilizada para coleta de zooplâncton.



Figura 13 – Fluxômetro usado para a obtenção do volume de água filtrada. (Fonte: Catálogo Hydrobios).

1.6.5 - Triagem e identificação dos Chaetognatas

A triagem dos chaetognatas foi realizada por meio de microscópio estereoscópico Wild MZ6. A determinação específica foi realizada em microscópio Zeiss. Foram utilizados corantes como o azul de metileno a 1% e Rosa de Bengala para uma visualização mais acurada das estruturas de caráter sistemáticos.

Para a identificação das espécies foram utilizados dentre outros, os trabalhos de Alvariño (1969, 1992), Boltovskoy (1981, 2005), Gusmão (1986).

1.6.6 - Análise de Dados

1.6.6.1 - Distribuição horizontal e vertical

A representação da distribuição horizontal e vertical da temperatura, salinidade, clorofila *a* e nutrientes (nitrito, nitrato, fosfato e silício) e da densidade das espécies de chaetognaths foi realizada através da elaboração de mapas realizada no programa SURFER FOR WINDOWS da Golden Software Inc. (Keekler,1995).

1.6.6.2 - Regressão

A análise de regressão não-linear foi empregada para verificar correlações entre os sais nutrientes (nitrito, nitrato, fosfato e silício) e a biomassa primária (clorofila *a*). A regressão linear foi usada para examinar o relacionamento entre os sais nutrientes (nitrito, nitrato, fosfato e silício), temperatura e salinidade.

1.6.6.3 - Frequência de ocorrência

A Frequência de ocorrência (%) foi calculada pela fórmula: $Fo = (Ta \times 100) / TA$. Onde Ta é o número de amostras onde o taxa ocorreu e TA é o total de amostras e os taxa identificados foram classificados segundo escala de Neumann-Leitão(1994).

- > 70 % - muito frequente
- 70 – 40 % - frequente
- 40 – 10 % - pouco frequente
- < 10 % - esporádico

1.6.6.4 - Abundância relativa

A abundância relativa (%) foi calculada de acordo com a fórmula: $Ar = (Na \times 100) / NA$. Onde, Na é número total de indivíduos de cada taxa obtido na amostra e, NA, é o número total de chaetognata na amostra.

1.6.6.5 - Densidade

A densidade por 100 m³ de água (N/100 m³) foi obtida a partir do quociente entre o número total de chaetognata obtidos em cada amostra (N) e o volume de água filtrada (V), através da fórmula: $N/100 \text{ m}^3 = (N/V) \times 100$.

O cálculo do volume de água filtrada pela rede foi realizado através da seguinte fórmula: $V = a \cdot n \cdot c$, Onde: V = volume de água filtrada (m^3); a = área da boca da rede (m^2); n = número de rotações durante o arrasto (rot); c = fator de aferição do fluxômetro, obtido em laboratório (m/rot), de acordo com especificações do modelo e fabricante do fluxômetro.

1.6.6.6 - Análise Canônica de Correspondência (ACC)

As flutuações na distribuição dos taxa de chaetognata, durante as 2 épocas estudadas, foram relacionadas às variáveis ambientais (temperatura, salinidade, clorofila a e peso seco) através da análise canônica de correspondência – ACC (Ter Braak,1987).

A ACC foi realizada por intermédio do programa CANOCO versão 2.1 (Ter Braak,1988).

1.6.6.7 - Diagrama (TSD)

Diagramas (TSD) temperatura, salinidade e densidade foram usados para analisar o relacionamento entre a densidade das espécies e a estrutura térmica e salina da água.

1.6.6.8 – Teste Estatístico

Visando investigar a ocorrência de variabilidade espacial na densidade de chaetognatha foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal – Wallis. O teste de comparação não paramétrico de Mann-Whitney foi empregado para verificar se houve significancia estatística na variabilidade dos dados abióticos e bióticos.

1.7 - Referências Bibliográficas

Aminot, A. 1983. Manuel dês analyses chimiques em mileu Marin. Centro National pour L'Exploitation des Oceans. 325p.

Almeida, F. F. M. Geologia e Petrologia do Arquipelago de Fernando de Noroña. Monografia. Departamento Nacional de Produção Mineral. 1995, 181p.

Alvariño, A. 1965. Chaetognaths. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 3, 115–194.

Alvariño, A. 1969. Los quetógnatos del Atlántico: distribución y notas esenciales de sistematica. *Trabajos del Instituto Español de Oceanografía*, (37): 1-290.

Alvariño, A., 1992. Distribución batimétrica, diurna y nocturna, de diez y siete especies de quetognatos, durante las cuatro estaciones del año 1969, en aguas de California y Baja California. *Investigaciones Marinas CICIMAR* 7, 1-169.

Badran, M. I., Foster P., 1998, Environmental quality of the Jordanian coastal waters of the Gulf of Aqaba, Red Sea, *Aquat. Ecosys. Health Manage.*, 1 (1), 75–90.

Bary, B.M., 1963. Temperature, salinity and plankton in the eastern North Atlantic and coastal waters of Britian, 1957. II. The relationships between species and waters bodies. *Journal of Fisheries Research Board of Canada* 20, 1031-1065.

Bieri, R., 1959. The distribution of the planktonics Chaetognatha in the Paci"e and their relation to the water masses. *Limnology and Oceanography* 4, 1-28.

Brandini,F.P.1986.Hydrography, phytoplankton biomass and photosynthesis in shelf and oceanic waters off southeastern Brazil during autumn (May/June 1983). *Bolm Inst. oceanogr.*, S. Paulo, 36: 63-72.

Brandini, F.P.; Moraes, C.L.B. & Thamm, C.A. 1988. Shelf break upwelling, subsurface maxima of chlorophyll and nitrite, and vertical distribution of a subtropical nano - and microplankton community off southeastern Brazil. Memórias do III Encontro Brasileiro de Plâncton, Brandini, F.P. (ed.). UFPR, Caiobá, p.47-56.

Bonilla, D., 1983. Estudio taxonomico de los quetognatos del Golfo de Guayaquil. Acta oceanográfica del Pacífico (INOCAR, Guayaquil, Ecuador) 2: 509-529.

Boltovskoy, D., 1981. Chaetognatha. In: Boltovskoy, D. (Ed.), Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y meH todos de trabajo con el zooplancton marino. Publicación Especial del INIDEP, Mar del Plata, Argentina, pp. 759-791.

Boltovskoy, D. (Ed.) 2005 - Zooplankton of the South Atlantic Ocean. A taxonomic reference work with identification guides and spatial distribution patterns. DVDROM. World Biodiversity Database Compact Disc Series. ETI Bioinformatics, Multimedia Interactive Software. www.eti.uva.nl

Charpy-Roubaud C., Charpy L., Sarazin G., 1996, Diffusional nutrient fluxes at the sediment-water interface and organic matter mineralization in an atoll lagoon (Tikehau, Tuamotu Archipelago, French Polynesia), Mar. Ecol. Prog. Ser., 132, 181–190.

Ciceri G., Ceradini S., Zitelli A., 1999, Nutrient benthic fluxes and pore water profiles in a shallow brackish marsh of the lagoon of Venice, Ann. Chim., 89, 359–375.

Coelho Filho, P.A. 2004 Análise do macrobentos na plataforma continental externa e bancos oceânicos do nordeste do Brasil no âmbito do programa REVIZEE. Grupo de estudo do Bentos (Oceanografia Biológica), Programa REVIZEE. 81 p.

Coutinho, P. N. Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil. Oceanografia Geológica (Costa Nordeste). Rio de Janeiro, FEMAR/SECIRM, 1999, 70 p.

Dinofrio, E. O. 1973. Resultados planctologicos de la Campana Oceanar I. 1. Quetognatos. Contr. Inst. Ant. Argentino, 154: 1 — 62.

D'Elia C.F., Webb K. L., Porter J.W., 1981, Nitrate-rich groundwater input to Discovery Bay, Jamaica: A significant source of N to local coral reefs, Bull. Mar. Sci., 31 (4), 903–910.

Deuser, W. G.; Evans, R.H.; Brown, O.B.; Esais, W.E.; Feldman, G.C. 1990. Surface-ocean colour and deep-sea carbon flux: how close a connection? Deep Sea Res., 37:1331-1343.

Dugdale R C & Goering J J. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. Limnol. Oceanogr. 12:196-206, 1967. Institute of Marine Science, University of Alaska, College.

Gusmão L. M. O. Recife, Brasil: Universidade Federal de Pernambuco; 1986. Chaetognatha planctônicos de províncias nerítica e oceânica do Nordeste do Brasil; p. 1-160. Dissertação (Mestrado).

Hardim Jr., L.W. 1979. Polychlorinated biphenoyl inhibition of marine phytoplankton photosynthesis in the Northern Adriatic Sea. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 16(5):559-566.

Hazin, F. H. V. Fisheries-Oceanographical study on tunas, billfishes and sharks in the Southwestern Equatorial Atlantic ocean. D. Sc These. Tokyo University of Fisheries. Department of Marine Science and Tecnology. 1993, 286 p.

Holligan, P. M., Pingree, R. D. and Mardell, G. T. 1989. Oceanic solitons. nutrient pulses and phytoplankton growth. Nature, 314, 348-350.

Keekler, D.. 1995 . SURFER for Windows. Version 6. User's Guide.

Kikuchi, R.K.P. Geomorfologia, estratigrafia e sedimentologia do Atol das Rocas (Rebio/Ibama/RN), Atlântico sul ocidental equatorial. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Bahia. 1994

Lalli, C. M. and Parsons, T. R. 1993. Biological Oceanography: Na Introduction. Pergamon Press, Oxford, 301p

Lewis J.B., 1985, Groundwater discharge onto coral reefs, Barbados (West Indies), Proc. 5th Int. Coral Reef Symp., 6, 477–481.

Marsh J.A., 1977, Terrestrial inputs of nitrogen and phosphorus on fringing reefs of Guam, Proc. 5th Int. Coral Reef Symp., 1, 331–336.

McLelland, J. A. 1980. Notes on the northern Gulf of Mexico occurrence of *Sagitta friderici* Ritter-Záhony (Chaetognatha). Gulf Research Reports, 6: 343-348.

McGowan, J.A., 1971. Oceanic biogeography of the Pacific. In: Funnell, B.M., Riedel, W.R. (Eds.), Micropaleontology of Oceans. Cambridge University Press, London, pp. 69-93

Metzler, P.M.; Glibert, P.; Gaeta, S.A. & Ludlam, J.M. 1996. New and regenerated production in the South Atlantic off Brazil. Deep Sea Res.

Motoki, A., Sichel, S.E., Baptista Neto, J.A., Szatmari, P., Soares, R., Melo, R.C., Petrakis, G.H. 2007. Características geomorfológicas do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Oceano Atlântico Equatorial, e sua relação com a história de soerguimento. Revista Brasileira de Geomorfologia. (em submissão)

Niemann H., Claudio R., Jonkers H., Badran M., 2004, Red Sea gravity currents cascade near-reef phytoplankton to the twilight zone, Mar. Ecol. Prog. Ser., 269, 91–99.

Neumann-Leitão, S. 1994. Impactos antropicos na comunidade de zooplankton do Porto de Suape. Tese de doutorado. USP. Engenharia Ambiental.

Omori, M. and Ikeda, T. 1984. Methods in marine zooplankton ecology. John Wiley e Sons, New York.

Paranaguá, M. N. 1966. Sobre o plâncton da região compreendida entre 3° Lat. S e 13° Lat. S, ao largo do Brasil. Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco, 5(6), 125-139.

RasheedM ., Badran M., Richter C., Huettel M., 2002, Effect of reef framework and bottom sediment on nutrient enrichment in coral reef of the Gulf of Aqaba, Red Sea, Mar. Ecol. Prog. Ser., 239, 277–285.

RasheedM ., Wild C., Franke U., Huettel M., 2004, Benthic photosynthesis and oxygen consumption in permeable carbonate sediments at Heron Island, Great Barrier Reef, Australia, Estuar. Coast. Shelf Sci., 59 (1), 139–150.

Ryther, J. H. and Dunstan, W. M. (1971) Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment. Science, 171, 1008–1013.

Palma, J. J. C. 1984. Fisiografia da área oceânica. *In*: C. Schobbenhars (Ed.). Geologia do Brasil. Brasília, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, 501p.

Schleyer, M.H., 1985. Chaetognaths as indicators of waters masses in the Agulhas current system. Oceanographic Research Institute, South Africa. Investigational Reports 61, 1}20.

Smith, P. E. and Richardson, S. L. 1977. Standart techniques for pelagic fish eggs and larvae surveys. FAO Fish. Tech. Pap. 75:1-100.

Sund, P., 1964. The chaetognaths of the waters of the Peru Region. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin 9, 115-188.

Strickland J. D., Parsons T.R., 1972, A practical handbook of seawater analysis, 2nd edn., Fish. Res. Bd. Can. Bull., 167, 1-310.

Takahashi, A.T. & Barth, R. 1968. Estudos sobre produtividade primária em nanoplâncton por C14 na Corrente do Brasil. Notas Técnicas Inst. Pesq. Mar. 10: 1-12.

Tchernia, P. Descriptive regional oceanography. London, Pergamon Press, 1980, 253p.

Terazaki, M., Miller, C.B., 1986. Life history and vertical distribution of pelagic chaetognaths at ocean station P in the subarctic Pacific. Deep-Sea Research 33, 323-337

Terazaki, M., 1996. Vertical distribution of pelagic chaetognaths and feeding of *Sagitta enyata* in the Central Equatorial Pacific. Journal of Plankton Research 18, 673-682.

Ter-Braak, C. J. F. 1988. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis, Ecology, 69, 1167-1179.

Tyler, M. A.; Stumpf, R. P. 1989. Feasibility of using satellite for detection of kinetics and small phytoplankton blooms in estuaries: tidal and migration effects. Remote sensing of Environment, 27(3):233-250.

Valentin, J.L. 1992. Modeling of the vertical distribution of marine primary biomass in the Cabo Frio upwelling region. Ciência e Cultura. 44: 178-183.

Vince, S. and Valiela, I. 1973. The effects of ammonium and phosphorus enrichments on chlorophyll-a, pigment ratio and species composition of phytoplankton of Vineyard Sound. Mar. Biol., 19: 69-73.

Wilkinson C.R., Williams D. M., Sammarco P.W., Hogg R.W., Trott L.A., 1984, Rates of nitrogen-fixation on coral reefs across the continental-shelf of the Central Great Barrier-Reef, *Mar. Biol.*, 80, 255–262.

Wild C., Huettel M., Kremb S., Rasheed M., Woyt H., Gonelli S., Klueter A., 2004a, Coral mucus functions as energy shuttle and nutrient trap in the reef, *Nature*, 428 (6978), 66–70.

Wild C., Rasheed M., Werner U., Franke U., Johnstone R., Huettel M., 2004b, Degradation and mineralization of coral mucus in reef environments, *Mar.Ecol. Prog. Ser.*, 267, 159–171.

CAPÍTULO 2

2.1 - Estado da arte

As massas de água se diferenciam tanto pela suas características físicas e químicas quanto pela sua composição biológica. Analisar a variabilidade espacial e temporal das características hidrológicas bem como as inter-relações entre os níveis de produção e as características ambientais fornece subsídio para um melhor entendimento dos processos ocorridos no ambiente.

Quanto aos estudos hidrológicos no nordeste Okuda (1960) foi o pioneiro com seu trabalho sobre a química oceanográfica no oceano Atlântico Sul adjacente ao nordeste do Brasil, onde caracterizou hidrológicamente a área compreendida entre 13° a 3,5° S de latitude e 30° W à costa do Brasil de longitude, no período de agosto de 1959.

Costa (1991) em sua tese de mestrado descreveu sobre a hidrologia e biomassa primária entre as latitudes 8° e 2°44'30"S e longitude 35°56'30" e 31°48'W e classificou a região estudada como oligotrófica e mesotrófica, de acordo com os resultados de produtividade primária obtidos na camada superficial.

Ekau e Knoppers (1999) descrevem a tipologia das águas oceânicas, costeiras e da plataforma do Brasil, incluindo os bancos e ilhas oceânicas do nordeste brasileiro.

Travasso et al (1999) estudaram a influência das correntes e da topografia sobre a estrutura termohalina no nordeste do Brasil e observaram nitidamente esta influência nos bancos situados no setor oeste da Cadeia de Fernando de Noronha e da Cadeia norte como um todo.

Brockner e Meyerhofer (1999) pesquisaram sobre a influência do Arquipélago de São Pedro São Paulo na quantidade e qualidade de matéria orgânica particulada, no verão de 1995, e acharam uma grande variabilidade horizontal e vertical dos dados biológicos; não observaram influência do Arquipélago na composição e biomassa da comunidade fitoplanctônica, nem aumento da matéria orgânica particulada perto de São Pedro São Paulo. Questionam então a concentração grande de peixes, como atum e peixe-voador, nesta área e levantaram algumas hipóteses, uma das quais é que poderia haver um enriquecimento de nutrientes, em outras épocas do ano e sob influência de outros regimes de correntes locais.

Becker (2001) em sua tese de doutorado forneceu dados sobre a temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, pH e nutrientes da Zona Econômica Exclusiva nordestina e descreveu a variação horizontal e vertical destes parâmetros.

Macedo et al (1996) descreve sobre a hidrologia das regiões costeiras e oceânicas do nordeste brasileiro, no inverno de 1995 e Ramos et al. (1996) caracteriza as varias formas de fósforo na zona econômica exclusiva do nordeste do Brasil.

Medeiros et al (1999) estudaram a hidrologia, biomassa e abundância fitoplâncton das águas do Nordeste brasileiro e verificaram que os níveis de nutrientes e biomassa fitoplanctônica foram muito baixos em toda a área, sendo menos reduzidos nas áreas da plataforma e em algumas áreas do talude.

Neumann-Leitão et al (1999) estudaram a composição e diversidade do mesozooplâncton costeiro e oceânico, na mesma área de Medeiros, acima citado e concluíram que a diversidade das espécies foi alta, de acordo com a estabilidade ecológica da área; a baixa densidade correspondeu geralmente às massas de água oligotróficas e as diferenças na abundância foram afetadas localmente pelos manguesais nas áreas costeiras e/ou por ressurgências topográficas nas áreas oceânicas.

A composição específica, a estrutura da comunidade, a dinâmica, a produção e a biomassa do plâncton dependem diretamente das características hidrográficas das massas de água e de suas variações regionais e sazonais por esse motivo o filo Chaetognatha vem despertando um interesse crescente por parte dos pesquisadores desde que pode fornecer dados indispensáveis à ampliação do conhecimento da fauna marinha e das massas de água.

As primeiras coletas de espécimes deste filo em águas brasileiras foram feitas por Charles Darwin, em 1844. O trabalho mais completo relacionado com a distribuição e sistemática das espécies no Atlântico, incluindo sua parte Sul Ocidental é o de Alvariño (1969), que além da diagnose de quase todas as espécies conhecidas, dá referencia bibliográfica de trabalhos publicados desde 1895 e também inclui estampas com desenhos ilustrativos das espécies.

De todos os gêneros descritos até o momento, um dos mais bem-sucedidos é o gênero *Sagitta*, já que reúne o maior número de espécies (Alvariño, 1965; Boltovskoy, 1981; McLelland, 1989). O número de trabalhos publicados sobre o filo é pequeno, e geralmente são feitos a partir de dados provenientes de amostragens esporádicas. Os

estudos realizados por Baldesseroni (1915), Burfield (1930), Thiel (1938), Vannucci & Hosoe (1952, 1956), Ferreira da Costa (1970) e Coelho (1993) estão relacionados principalmente com a ocorrência e distribuição das espécies.

No Brasil, os trabalhos sobre Chaetognathas são relativamente poucos, em geral, referem-se à parte sistemática, ocorrência, distribuição e algumas notas ecológicas. Dentro deste contexto podem ser relacionados os trabalhos de Almeida-Prado (1960), descreveu sobre a ocorrência de uma nova espécie de sagitta na costa sul do Brasil, ainda Almeida-Prado (1961) com pesquisas desde Cabo Frio até o Rio Grande do Sul. Almeida-Prado (1963) publicou os resultados sobre a Enseada do Mar Virado, em São Paulo e Vannucci (1963) estudou os Chaetognathas desta mesma enseada.

Dando prosseguimento aos estudos Resgalla Jr. e Montú (1995) estudaram a distribuição horizontal e vertical dos Chaetognathas da plataforma continental do Sul do Brasil. Marazzo e Nogueira 1996 descreveram a composição específica e distribuição de Chaetognatha adultos na baía de Guanabara, ainda Marazzo et al (1997) estudou a alimentação de Chaetognathas analisando a dieta de *Sagitta friderid* e *Sagitta enflata* também na baía de Guanabara.

A literatura mostra que trabalhos sobre a biodiversidade deste filo são escassos e incompletos, já que apontam que, das 125 espécies descritas para o mundo, apenas 18 (14,4%) ocorrem no Brasil. Almeida-Prado (1961, 1963, 1968), estudando os chaetognatos do estado de São Paulo, verificou a presença de 11 espécies pertencentes aos gêneros Krohnita, Sagitta e Pterosagitta. Mais recentemente, Vega-Pérez & Liang (1992), Liang (1993) e Liang & Vega-Pérez (1994, 1995) estudaram a distribuição, estrutura da população e os hábitos alimentares dos chaetognatos que ocorrem ao largo da região de Ubatuba, verificando a presença de 10 espécies. Levantamentos feitos na plataforma interna de São Sebastião e no complexo estuarino-lagunar de Cananéia revelaram a ocorrência de um número ainda menor de espécies: sete e duas respectivamente.

Trabalhos relacionados com o zooplâncton geral, também dão enfoque ao Filo Chaetognatha, tais como, os de Alvares (1970) na região trópica equatorial oceânica, os de Neumann-Leitão *et al.* (1999), Oliveira e Larrazábal (2002), Larrazábal e Oliveira (2003) no nordeste do Brasil, Paranaguá *et al* (1981) nas reentrâncias maranhenses.

Em ambientes estuarinos, podem ser citados os trabalhos de Magalhães et al 1996 no complexo lagunar Mundaú/Manguaba e Fernandes et al 2005 sobre distribuição e abundancia sazonal no sistema estuarino na baía de Vitória, estando as outras citações incluídas no zooplâncton estudado por Montú (1980) e Medeiros (1983).

Mais recentemente, Resgalla Jr. 2008 estudou a associação de chaetognatha como indicadores hidrológico na costa sudeste do Brasil. Entretanto, na região nordeste são raros trabalhos sobre Chaetognathas, podendo ser destacado os de Paranaguá (1966), Gusmão (1986).

2.2 - Referências Bibliográficas

Almeida, M.S.P. 1960. A new species of *Sagitta* from the southern Brazilian coast. Bol. Inst. Oceanogr, 32(2), 275-280.

Almeida-Prado, M.S. 1961. Chaetognaths encontrados em águas brasileiras. Boletim do Instituto Oceanográfico, 11(2), 31-56.

Almeida-Prado, M.S. 1963. Sobre o plâncton da Enseada do Mar Virado e os métodos de coleta. Boletim do Instituto Oceanográfico, 12(3), 49-68.

Almeida Prado, M. S. 1968. Distribution and annual occurrence of Chaetognaths off Cananéia and Santos coast. Boletim do Instituto Oceanográfico, 17(1), 33-55.

Alvariño, A. 1965. Chaetognaths. Oceanography and Marine Biology Annual Review, 3, 115–194.

Alvariño, A. 1969. Los quetógnatos del Atlántico: distribución y notas esenciales de sistemática. Trabajos del Instituto Español de Oceanografía, 37, 1-290.

Alvariño, A. 1970. A new species of *Spadella* (benthic Chaetognatha). Studies on the fauna of Curaçao and other Caribbean Islands, 34, 73–89.

Boltovskoy, D. 1981. Chaetognaths. In: Boltovskoy, D. (Ed.), Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y meH todos de trabajo con el zooplancton marino. Publicación Especial del INIDEP, Mar del Plata, Argentina, pp. 759-791.

Baldasseroni, V. 1915. Raccolte planctoniche fatte dalla R. Nave Liguria. nel viaggio di circonnavigazione del 1903-1905: Chaetognati. Pubblicazioni dell. Istituto di studi superiori pratici e di perfezionamento in Firenze, 2, 85-118

Becker, H. 2001. Hidrologia dos bancos e ilhas oceânicas do nordeste brasileiro. Uma contribuição ao Programa Revizee. Tese de Doutorado. Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos. 175.

Burfield, S.T. 1930. Chaetognatha. In: British Antarctic (.Terra Nova.) Expedition, 1910, Natural history report: Zoology, Londres, Trustees of the British Museum. 7, 203-228.

Brockel, K.V. e Meyerhofer, M. 1999. Impact of the Rocks of Sao Pedro and Sao Paulo upon the quantity and quality of suspended particulate organic matter. Archive of Fishery and Marine Research, 47(2/3), 223-238.

Costa, K.M.P. 1991. Hidrologia e biomassa primária da região nordeste do Brasil entre as latitudes de 8°00'00" e 2°44'30"S e as longitudes 35°56'30" e 31°48'00". Dissertação de mestrado. Departamento de Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco, 217p.

Coelho, M.J. 1993. Zooplâncton do Atlântico sudoeste (27o 59. S a 39o 59. S; 44o 52. W a 56o 56. W), com especial referência aos Chaetognatha. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências. 183p.

Ekau, W. e Knoppers, B. 1999. An introduction to the pelagic system of the North-East and East Brazilian shelf. Archive of Fishery and Marine Research, 47(2/3), 113-132.

Ferreira da Costa, P. 1970. Nota preliminar sobre ocorrência de *Sagitta friderici* e *Sagitta enflata* na Baía de Guanabara. Publicação Instituto de Pesquisas da Marinha, 47, 1-10.

Fernandes, L.L., Sterza, J.M. and Neves, K.O. 2005. Seasonal Chaetognath Abundance and Distribution in a Tropical Estuary (Southeastern, Brazil). Brazilian Journal of Oceanography, 53(1/2), 47-53.

Gusmão L. M. O. Recife, Brasil: Universidade Federal de Pernambuco; 1986. Chaetognatha planctônicos de províncias nerítica e oceânica do Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado). 160p.

Larrazábal, M.E. e Oliveira, V.S. 2003. Thecosomata e Gymnosomata (Mollusca, Gastropoda) da cadeia Fernando de Noronha, Brasil. Revista Brasileira de Zoologia, Curitiba, 20(2), 351-360.

Liang, T.H. 1993. Ocorrência e distribuição do filo Chaetognatha na região de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 147p.

Liang, T.H. e Vega-Pérez, L.A. 1995. Studies on chaetognaths off Ubatuba region, 2: feeding habits. Bol. do Inst. Oceanogr., 43(1), 27-40.

Liang, T. H. e Vega-Pérez, L. A. 1994. Studies on chaetognaths off Ubatuba region, Brazil. Distribution and abundance. Bol. Inst. oceanogr., 42 (1/2), 73-84.

Macedo, S.J., Montes, M.J.F., Lins, I.C.S. e Rossiter, K.W.L. 1996. Aspectos hidrológicos das regiões costeiras e oceânicas do nordeste brasileiro. In: I Workshop do REVIZEE-NE, Resumos. Recife: MMA/IEH/UFRPE, 120p.

Marazzo, A. e Nogueira, C.S.R. 1996. Composition, spatial and temporal variations of Chaetognatha in Guanabara Bay, Brazil. Journal of Plankton Research, 18(12), 2367-2376.

Marazzo, A., Machado, C.F. e Nogueira, C.S.R., 1997. Notes on feeding of Chaetognatha in Guanabara Bay, Brazil. Journal of Plankton Research, 19, 819–828.

Medeiros, G.F. 1983. Variação sazonal e diurnal do zooplâncton no estuário Potengi, Natal/RN (com especial referência aos Copepoda-Crustacea). Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná. 99p.

Medeiros, C., Macedo, S.J., Feitosa, F.A.N. e Koenig, M.L. 1999. Hydrography and phytoplankton biomass and abundance of North-East Brazilian Waters. Arch. of Fish. and Mar. Res., 47(2/3), 133-151.

McLelland, J.A. 1989. An illustrated key to the Chaetognatha of the Northern Gulf of Mexico with notes on their distribution. Gulf Research Reports, 8, 145-172.

Montú, M. 1980. Zooplâncton do estuário da Lagoa dos Patos. I. Estrutura e variações temporais e espaciais da comunidade. Atlântica, 4, 53-72.

Neumann-Leitão, S., Gusmão, L.M., Silva, T. A., Nascimento-Vieira, D. A. e Silva, A.P. 1999. Mesozooplankton biomass and diversity in coastal and oceanic waters off North-eastern Brazil. Arch. Fish. Mar. Res., 47(2/3), 153-165.

Okuda, T. 1960. Chemical oceanography in the South Atlantic Ocean, adjacent to north-eastern Brazil. Trabalhos do Instituto de Biologia Marinha e Oceanografia, 2(1), 155-174.

Oliveira, V.S. e Larrazábal, M.E.L.. 2002. Pteropoda (Gastropoda, Thecosomata e Gymnosomata) coligidos ao largo dos arquipélagos de São Pedro e São Paulo, costa Nordeste, Brasil. Revista Brasileira de Zoologia, 19 (1), 215-227.

Paranaguá, M.N. 1966. Sobre o plâncton da região compreendida entre 3° Lat. S e 13° Lat. S, ao largo do Brasil. Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco, 5(6), 125-139.

Paranaguá, M.N., Koenig, M.L. e Paranhos, J.D.N. 1981. Zooplankton das reentrâncias maranhenses. I Baía de Tubarão e Serrambi. Anais do II Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca, Recife, 259-269.

Ramos C.A., Macedo, S.J., Sales, H.B. e Albuquerque, F.M.F. 1996. Caracterização hidrogeoquímica do fósforo na zona econômica exclusiva do nordeste brasileiro. In: I Workshop do REVIZZE-NE. Recife: MMA/IEH/UFRPE, 120p.

Resgalla Jr., C. e Montú, M.. 1995. Quetognatos de la plataforma continental del sur de Brasil. Invest. Mar. CICIMAR, 10(1-2), 23-41.

Resgalla Jr., C. 2008. Pteropoda, Cladocera, and Chaetognatha associations as hydrological indicators in the southern Brazilian Shelf Lat. Am. J. Aquat. Res., 36(2), 271-282.

Travassos, P., Hazin, F.H.V., Zagaglia, J.R., Advincula, R. e Shober, J. 1999. Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brasil. Archive of Fishery and Marine Research, 47(2/3), 211-222.

Thiel, M.E. 1938. Die Chaetognathen Bevölkerung des sudatlantischen Ozeans Wissenschaftlich Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Vermessungs-und Forschungsschiff .Meteor. 13, 1-110.

Vannucci, M. e Hosoe, K. 1952. Resultados científicos do cruzeiro do Baependi. e do Vega. a I. da Trindade Chaetognatha. Boletim do Instituto Oceanográfico, 3(1/2), 1-31.

Vannucci, M. 1963. Levantamento oceanográfico meteorológico da Enseada do Mar Virado, Ubatuba, Sao Paulo, Conts. Avuls. Ocean. Biol., 5, 55-69.

Vega-Pérez, L.A. e Liang, T.H. 1992. Feeding of a pelagic chaetognath, *Sagitta friderici* Ritter-Záhony off Ubatuba region (São Paulo, Brazil). Bolm. Inst. oceanogr., 40(1/2), 93-100.

CAPÍTULO 3

**Variations in the distribution of chlorophyll *a* and nutrients
around seamounts and islands off North-Eastern Brazil (Lat. 0°
and 6° S)**

Variations in the distribution of chlorophyll *a* and nutrients around seamounts and islands off North-Eastern Brazil (Lat. 0° and 6° S)

Christiane Sampaio de Souza¹, Joana Angélica Guimarães da Luz², Silvio Macedo³, Manuel de Jesus Flores Montes³ and Paulo Mafalda Jr.¹

¹Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, 40210-020, Salvador, Bahia, Brasil. ²Universidade Federal da Bahia, Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável, 47805-100, Barreiras, Bahia, Brasil. ³Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Oceanografia, 50670-901, Recife, PE, Brasil. chsampaio@ig.com.br

3.1 - Abstract

Data collected on two large-scale surveys around the seamounts and islands off North-Eastern Brazil provide information on the variability in the distribution of chlorophyll and inorganic nutrients during 1997 and 1998. During both surveys, chlorophyll and nutrient concentrations were highly patchy. The highest measurement of chlorophyll *a* was 3.91 $\mu\text{g.L}^{-1}$ during 1997 and a wide range of nutrient concentrations were found; from undetectable values to maximum of 17.52 $\mu\text{M.L}^{-1}$ (Si), 1.37 $\mu\text{M.L}^{-1}$ (PO_4), 10.02 $\mu\text{M.L}^{-1}$ (NO_3) and 0.72 $\mu\text{M.L}^{-1}$ (NO_2). In 1998, chlorophyll and nutrient levels (nitrite and nitrate) were far more uniform, with chlorophyll concentrations lower and phosphate concentrations generally higher than in 1997. Topography-flow interaction on thermohaline structures was observed around Saint Peter and Saint Paul Archipelago and in the Fernando de Noronha Chain creating the patchiness around the island and seamounts. Nutrients exhibited an inverse linear relationship with temperature and salinity and an exponential decay relationship with Chlorophyll *a*.

Key words: Seamounts and islands off North-Eastern Brazil, Chlorophyll *a*, Nutrients, Variability

3.2 - Introduction

Phytoplankton is the direct or indirect source of food for most marine animals. The concentration of the photosynthetic green pigment chlorophyll *a* in estuarine, coastal and marine waters is a proven indicator of the abundance and biomass of microscopic plants (phytoplankton) such as unicellular algae. It is also commonly used to determine the trophic level, the quality of water, and the vertical and horizontal distribution of phytoplanktonic samples (Voros & Padisak, 1991). Chlorophyll-*a* exists in all algal groups, and the total algal density in plankton is only known indirectly (Round, 1981). Another method of determining the algal biomass is to count the individuals in unit volume (Voros & Padisak, 1991). The biomass of phytoplankton is frequently measured by counting the algal cells. Chlorophyll *a* is most likely to respond to nutrients and hydrodynamics. The main limiting factors for phytoplankton growth are temperature, light and nutrients.

The effect of physical processes, which are transport and mixing, is reflected in the measured surface chl-*a* concentrations. Oceanic regions within tropical zones are usually considered oligotrophic, owing to minimal vertical flow of nutrients and subsequent low biological productivity (Longhurst and Pauly 1987). Such characteristics may be explained by the existence of a warm surface layer above a colder and denser sub-surface layer, which effectively creates a permanent thermocline. This tends to inhibit the upward flow of nutrient-rich deeper layers, restricting primary production in surface waters. While the majority of tropical regions are characterized by minimal vertical circulation, in some areas mixing is promoted via localized mechanisms such as the (i) divergence of current, (ii) wind stress tension and (iii) interaction between oceanic currents and submarine relief (Rogers 1994).

High concentrations of inorganic nitrogen, phosphorus and silicon are essential to phytoplankton growth. Nutrient preference, for instance ammonium versus nitrate, may be important (Olson 1980, Glibert et al. 1982, Smith & Nelson 1990, Smith & Harrison 1991, Jacques 1991, Owens et al. 1991). Silicate limitation of diatom growth has been proposed on the basis of inefficient uptake kinetics (Jacques 1983), and the temperature dependent ionization equilibrium of silicic acid (Priddle et al. 1986a). However, the role of silicon as a limiting nutrient in open-ocean areas of the Southern Ocean is ambiguous (Nelson & Tréguer 1992, Tréguer & Jacques 1992)

The present study focused on the spatial distribution and variability of physico-chemical oceanographic characteristics and phytoplankton biomass, as well as on the relationship between chlorophyll a and inorganic nutrients around seamounts and islands off North-Eastern Brazil.

Study Area

The study area is localized in the Atlantic Ocean off North-East of Brazil (Lat. 0° and 6° S) includes the North Brazilian Chain, Fernando de Noronha Chain and Saint Peter and Saint Paul Archipelago (Figure 1).

With the exception of St. Peter and St. Paul, these regions also contain several seamounts with depths (at the summit) ranging from 20 to 250 m, and a great variability in size and shape. The main oceanic currents influencing these areas are the South Equatorial Current (SEC) and the North Brazil Current (NBC), both flowing at the surface, and the Equatorial Undercurrent (EUC) flowing along the sub-surface layer (Richardson and McKee 1984; Peterson and Stramma 1991). Submarine relief (e.g. seamounts and islands) and local current may facilitate the hydrological process.

The SEC carries water to the west and is faster along the equator, mainly at the western side (average speed of about 0.3 m.s^{-1}). It accelerates slightly at the Fernando de Noronha chain, before merging into the NBC at approx. 35°W . The NBC follows the coast and is characterized by a strong, northwest acceleration inshore. Immediately after crossing the equator, the NBC's thermocline layer turns offshore to feed the EUC, which flows east between 1.5°N and 1.5°S (underneath the SEC). Attaining a maximum velocity of 1m.s^{-1} . The EUC has a core between 60 and 100m (Philander 1973; Jonhs et al. 1990). These currents transport three masses of water: (i) the equatorial surface water (ESW), (ii) the subtropical salinity maximum (SSM), and (iii) the south Atlantic central water (SACW) (Tchernia 1980).

3.3 - Materials and Methods

A total of 133 samples were collected during two surveys realized between 1997 and 1998. The expeditions were made on January – April of 1997 (Period 1) and April – July of 1998 (Period 2). The station positions are shown in Figure 1. Seawater samples for

the analysis of nutrients [NO_3 (nitrate), NO_2 (nitrite), PO_4 (phosphate) and Si (silicon)] and chlorophyll *a* (Chl *a*) were collected using Niskin Bottles. Chlorophyll *a* samples were taken at three depths: 100%, 50% e 1% light penetration. Chlorophyll *a* analysis was carried out spectrophotometrically using methods developed from Strickland & Parsons (1972). Samples of inorganic nutrients take at the different sampling depths were frozen (-20°C). After thawing, concentration of nutrients was measured using the method described by Aminot (1983). Temperature and salinity were measured using a self-contained Conductivity, Temperature and Depth meter (CTD), (SPE 911 plus).

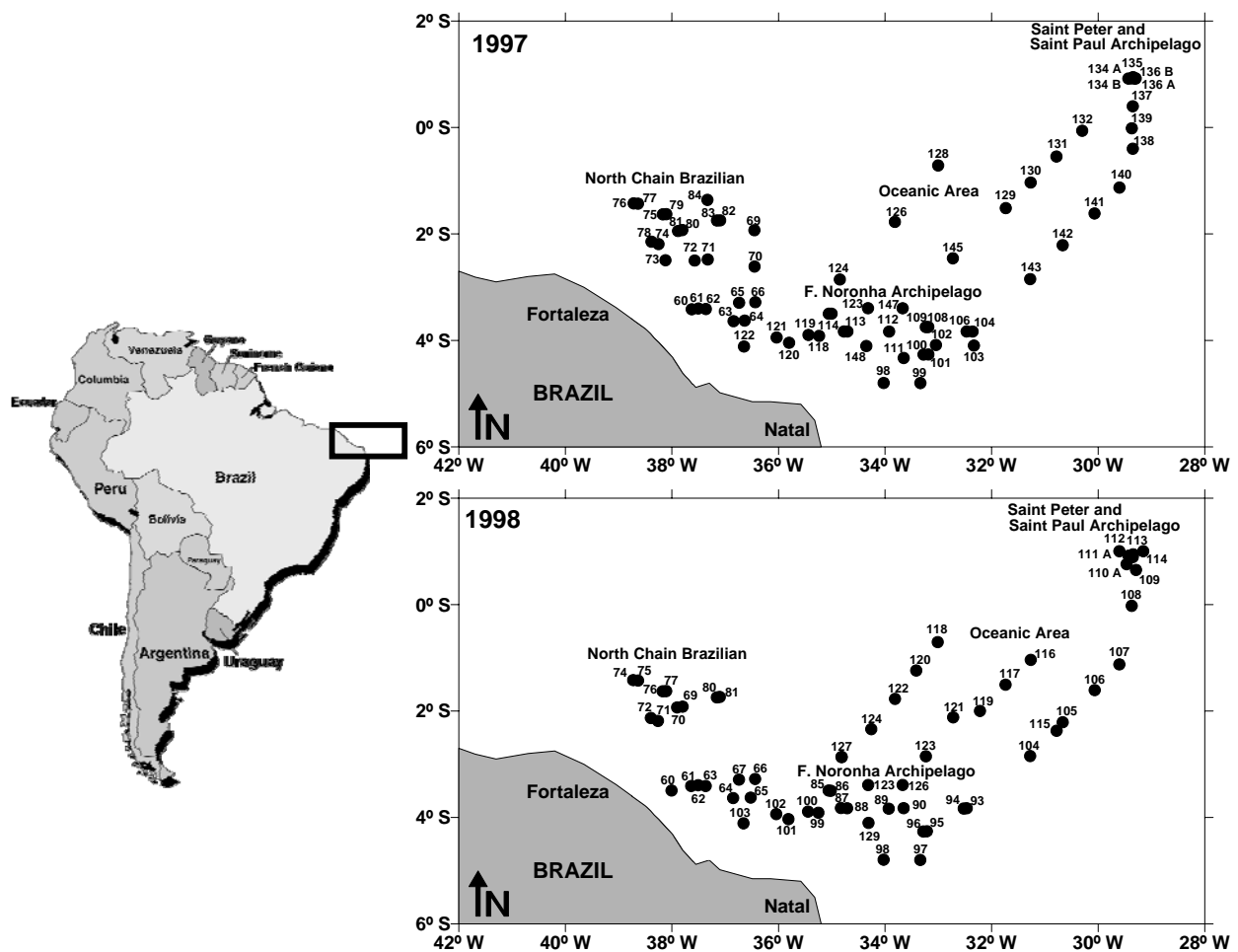


Figure 1 - Study area showing the sampling stations.

Data analysis

In order to determine the statistical significance of the temporal variability on temperature (C°), salinity (PSU), chlorophyll *a* (mg.L⁻¹), nitrate (μM.L⁻¹), nitrite (μM.L⁻¹), phosphate (μM.L⁻¹) and silicon (μM.L⁻¹) were using non-parametric Mann-Whitney comparison test with an alpha value of 0.05. Prior to analysis, data were tested for normality by Kolmogorov and Smirnov test and homogeneity of variances by Bartlett Test and when necessary, were transformed accordingly.

Linear regression was used to examine the relationship between nutrients (NO₂, NO₃, PO₄ and Si), temperature and salinity. The nonlinear regression analysis was employed to verify if there is a significant relationship between Chlorophyll *a* and nutrients. The goal of regression analysis is to obtain estimates of the unknown parameters B0, B1 which indicate how a change in one of the independent variables affects the values taken by the dependent variable. Regression is a powerful tool for analyzing scientific data it fit a model to your data. The program finds the best-fit values of the variables in the model (perhaps rate constants, affinities, receptor number, etc.) which you can interpret scientifically. Mann-Whitney test comparison was employed to verify if there is a statistical significance between real observations and the values predicted by the regression model.

3.4 - Results

The data for the variables analyzed in the level of 100%, 50% and 1% light penetration samples are summarized in Table I. Mean, minimum and maximum values and *p* (probability) among periods are indicated.

All variables (temperature, salinity, chlorophyll *a*, nitrate, nitrite, phosphate and silicon) were tested for normality: they don't prove to have normal distributions. Thus, Mann-Whitney test was used for statistical comparisons among periods of all variables (Table I).

The test revealed significant differences for temperature, salinity, chlorophyll *a*, nitrate, nitrite and phosphate in the level of 100% and 50% light, but no significant differences were found in silicon in the all level and in temperature and nitrate in the level of 1% light records among the periods (1997 and 1998).

Temperature and salinity

The temperature water at 1, 50 and 100% light penetration varied 21.94 – 27.84 °C (1997) and 21.38 – 28.93 °C (1998), 27.12 – 27.98 °C (1997) and 26.86 – 28.78 °C (1998), 27.12 - 27.65°C (1997) and 26.86 - 28.8 °C (1998) respectively (Table 1).

Table 1 – Mann-Whitney comparison test for temperature (C°), salinity (PSU), chlorophyll *a* (mg.L⁻¹), nitrate (µM.L⁻¹), nitrite (µM.L⁻¹), phosphate (µM.L⁻¹) and silicon (µM.L⁻¹) among periods around seamounts and islands off North-Eastern Brazil.

100%	1997			1998			Probability (Mann-Whitney test)
	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	<i>p</i> (among periods)
Temperature	27.68	27.12	27.65	28.05	26.86	28.8	<0.0001 (significant)
Salinity	35.89	35.56	36.02	36.13	35.52	36.7	< 0.0001(significant)
Chlorophyll <i>a</i>	0.47	0.08	1.06	0.63	0.28	1.16	0.0002 (significant)
NO ₂	0.052	0.02	0.73	0.034	0.02	0.14	0.0002 (significant)
NO ₃	0.87	0.123	3.67	0.123	0.123	0.123	<0.0001 (significant)
PO ₄	0.11	0.01	0.84	0.18	0.01	1.38	0.0007 (significant)
Si	3.52	0.24	11.67	3.85	0.24	10.05	0.1435 (non-significant)
50%	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	<i>p</i> (among periods)
Temperature	27.60	27.12	27.98	28.04	26.86	28.78	<0.0001(significant)
Salinity	35.90	35.54	36.97	36.12	35.52	36.37	<0.0001(significant)
Chlorophyll <i>a</i>	0.46	0.15	3.12	1.04	0.45	2.66	<0.0001(significant)
NO ₂	0.03	0.02	0.12	0.037	0.02	0.12	<0.0001(significant)
NO ₃	0.37	0.123	3.76	0.123	0.123	0.123	0.0002 (significant)
PO ₄	0.072	0.01	0.32	0.19	0.01	1.18	<0.0001(significant)
Si	3.85	0.24	14.93	4.39	0.24	10.36	0.2486 (non-significant)
1%	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	<i>p</i> (among periods)
Temperature	26.17	21.94	27.84	25.90	21.38	28.93	0.8631 (non-significant)
Salinity	35.97	35.67	36.65	36.39	35.74	37.03	<0.0001(significant)
Chlorophyll <i>a</i>	1.27	0.19	3.91	1.65	0.20	3.03	0.0015 (significant)
NO ₂	0.03	0.02	0.43	0.08	0.02	0.46	<0.0001 (significant)
NO ₃	0.57	0.123	10.002	0.66	0.123	5.32	0.8386 (non-significant)
PO ₄	0.094	0.01	0.75	0.20	0.01	1.17	<0.0001(significant)
Si	4.70	0.24	17.52	4.62	0.24	10.67	0.3092 (non-significant)

In both periods, warmer waters were found closer to the North Brazilian Chain, Fernando de Noronha Chain and along the oceanic section of the area. Isotherms showed a negative gradient towards the Saint Peter and Saint Paul Archipelago and same pattern was found in the three depths light penetration (Figure 2).

Salinity fluctuated between 35.52 in 100% light and 37.03 in 1% light (1998) (Table I). The horizontal distribution of the salinity showed high values in the North Brazilian

Chain and Fernando de Noronha Chain and low values in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago. In 50% light (1998) the highest salinity was measured in the oceanic area (Figure 3).

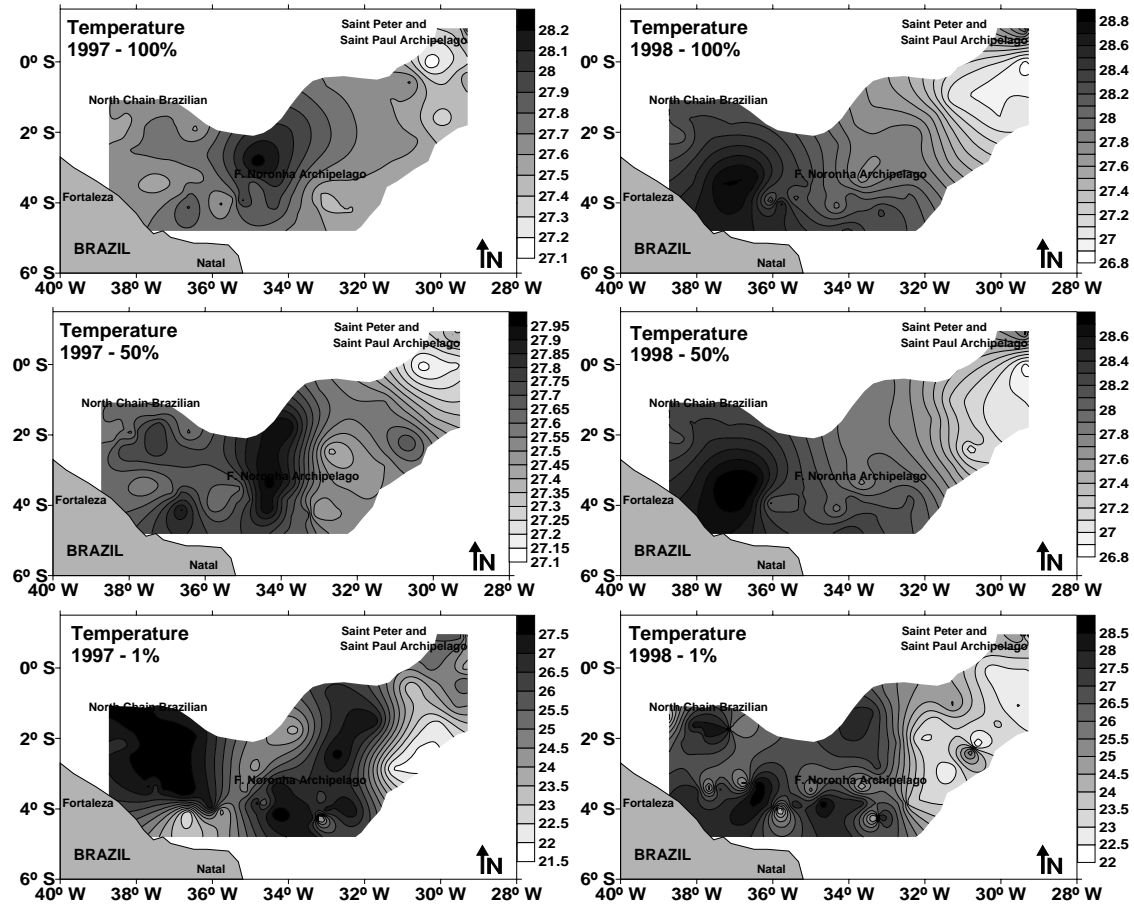


Figure 2 – Horizontal distribution of temperature (°C) at the 1, 50 and 100% light penetration.

Vertical temperature profiles showed that relatively steep thermoclines were located around the St. Peter and St. Paul Archipelago and oceanic area (at depths of between 50 m and 120m) and in the Fernando de Noronha and North Brazilian Chains (between 70 and 170m). A subsurface salinity maximum was observed in the upper part of the thermoclines (between 50 and 100m) resulting in a low-salinity surface layer. A deep thermocline was present throughout the whole area (Figure 4 and 5).

Along the Fernando de Noronha and North Brazilian Chains the mixing layer depth was 70 m thick and very homogeneous down to the top of the thermocline. However, along the Peter and St. Paul Archipelago and oceanic area the mixing layer depth was only

homogeneous for the initial 20 to 50 m. Then there were slight changes in temperature with depth until it reached a well defined thermocline (Figure 4 and 5).

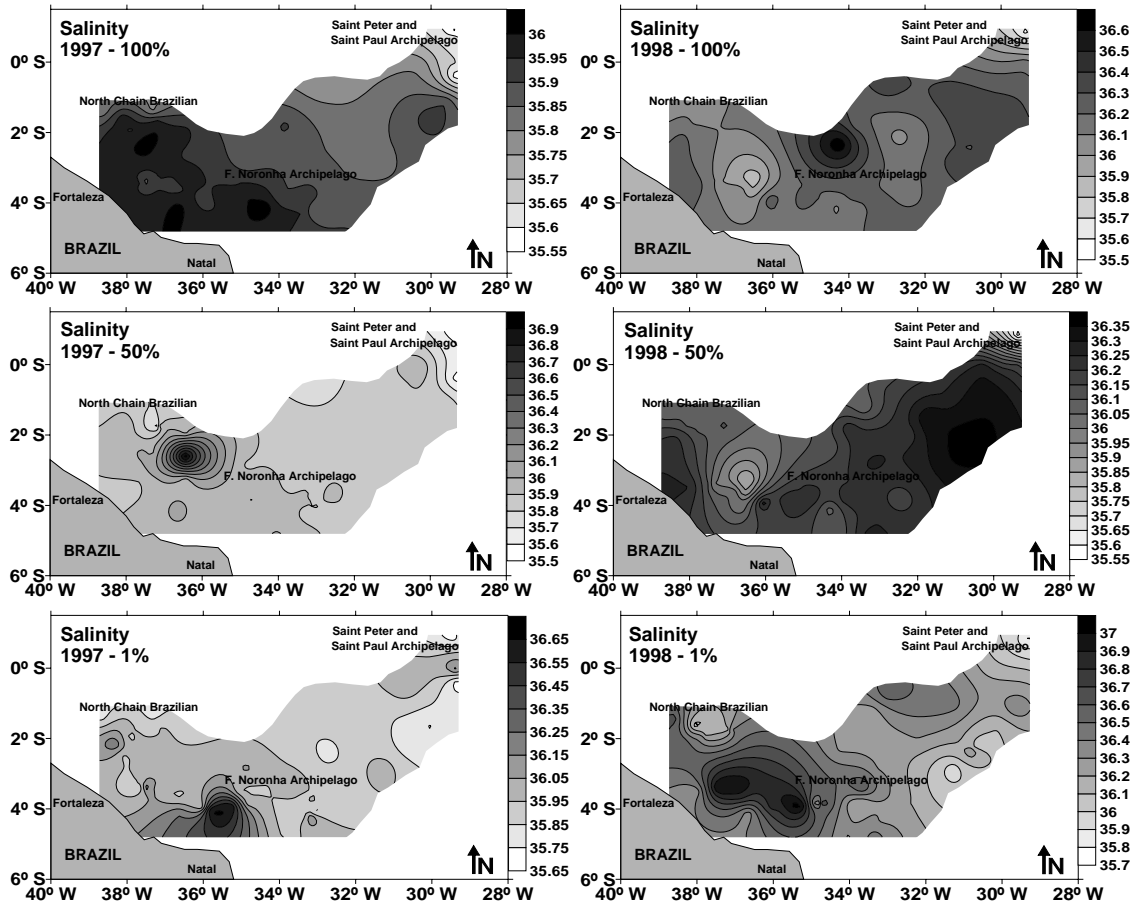


Figure 3 – Horizontal distribution of salinity (PSU) at the 1, 50 and 100% light penetration.

T-S diagrams are shown for area (North Brazilian Chain, Fernando de Noronha Chain, Oceanic and Saint Peter and Saint Paul Archipelago) and years (1997 and 1998) (Figure 6). The shapes of the diagrams are similar for the whole area and years. The top vertical portion of the diagram corresponds to the Superficial Equatorial Water (SEW), which had a salinity > 36 PSU and temperature $> 20^{\circ}\text{C}$. This water mass occupied the top 80 to 200m depth. Below this water mass was the South Atlantic Central Water (SACW), corresponding to the linear portion of the T-S diagram, with salinity ranging from 34.5 to 36 PSU and temperature from 6 to 20°C . Along the Fernando de Noronha Chain and Oceanic area, it was present from 200 to 600m depth. Along the North Brazilian Chain and Saint Peter and Saint Paul Archipelago, this mass lay between 200 to 300m depth.

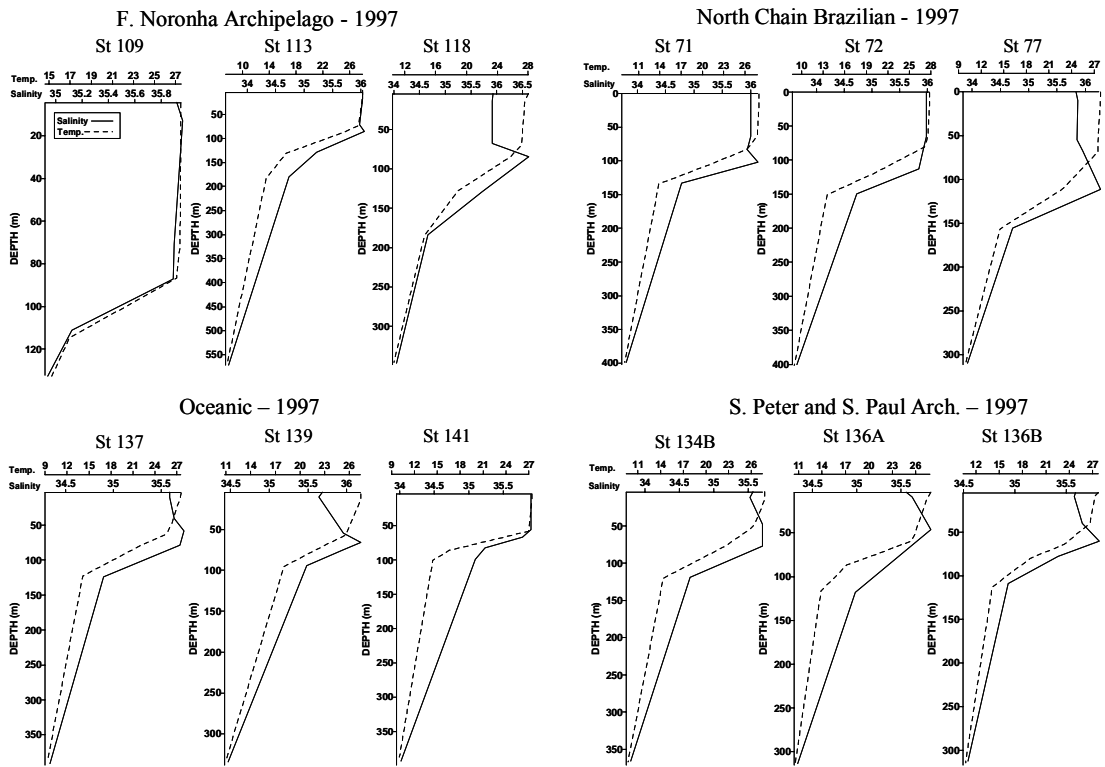


Figure 4 – Vertical profiles of temperature (C°) and salinity (PSU), in 12 selected stations (1997).

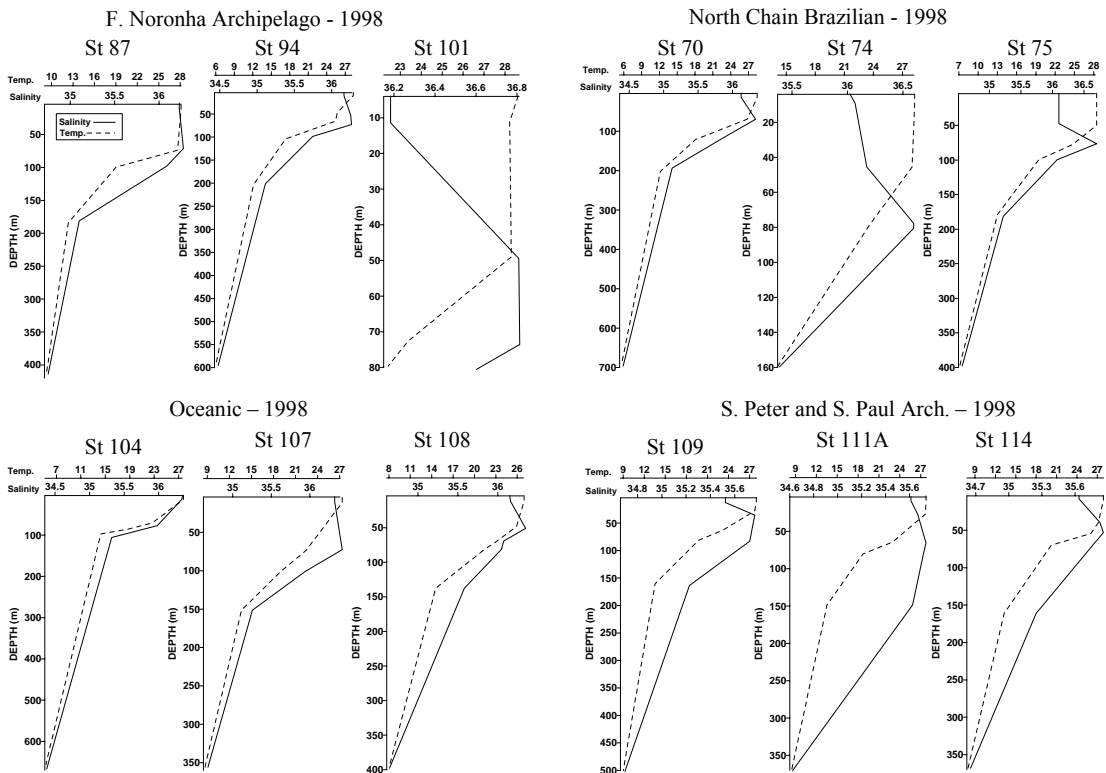


Figure 5 – Vertical profiles of temperature (C°) and salinity (PSU) in 12 selected stations (1998).

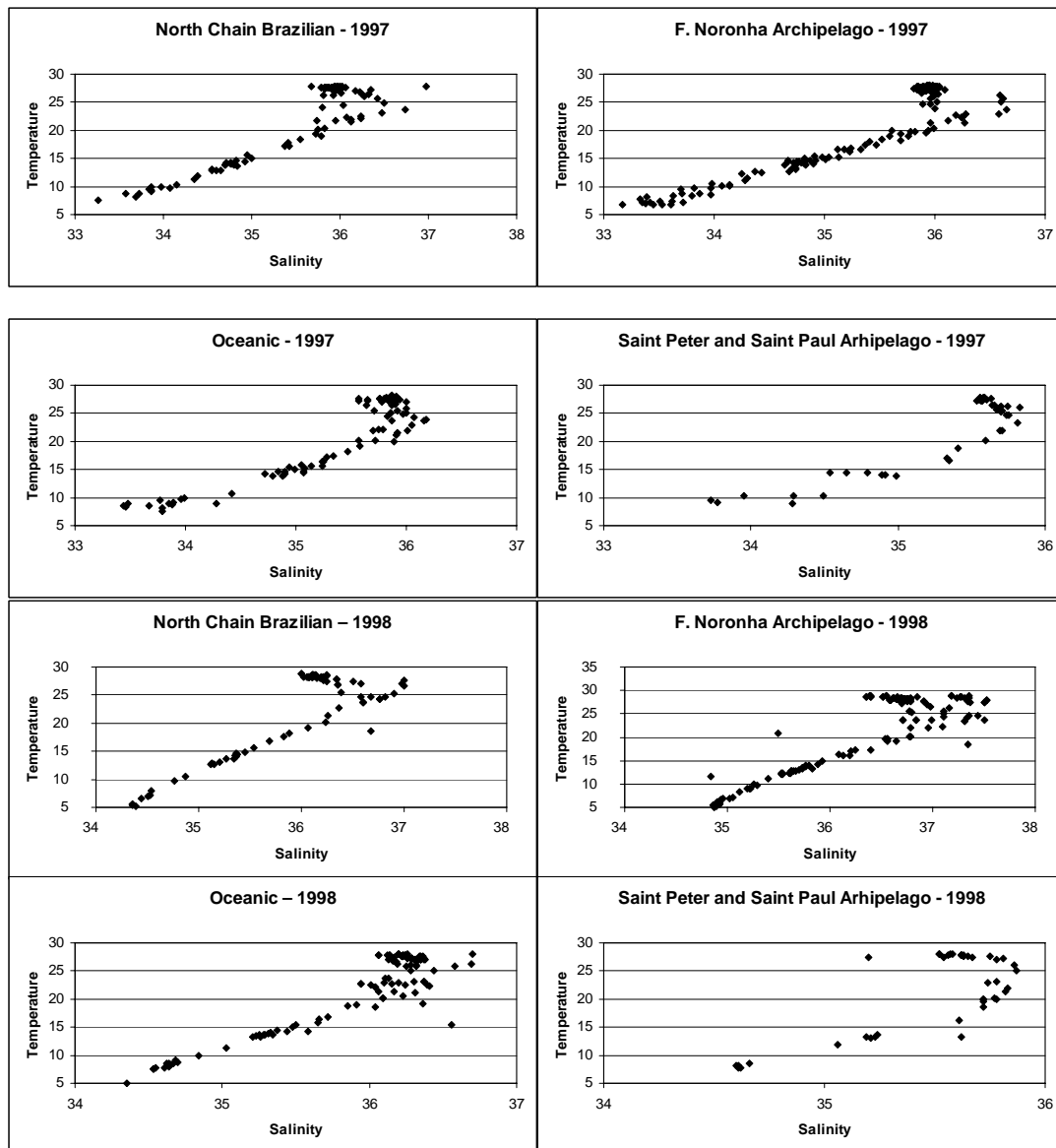


Figure 6 - T-S diagrams are shown for area and years.

Effects of the topographyflow interaction on thermohaline structure

Fernando de Noronha Chain

The lack of any uplifting of isotherms and isohalines means it was unlikely that any upwelling reached the euphotic layer (85m depth). The most pronounced changes in the thermohaline structure were detected in the station 109. Near the Chain, between stations 114 and 109, the 15 °C isotherm and the 35 PSU isohaline uplifted from depths of 175 to

140m and 180 to 130m, respectively (Figure 7). In contrast, the transect shown in Figure 7, indicated that the neighbouring seamount (station 120) showed a null influence on the vertical distribution of isotherms and isohalines (Figures 7 B and C).

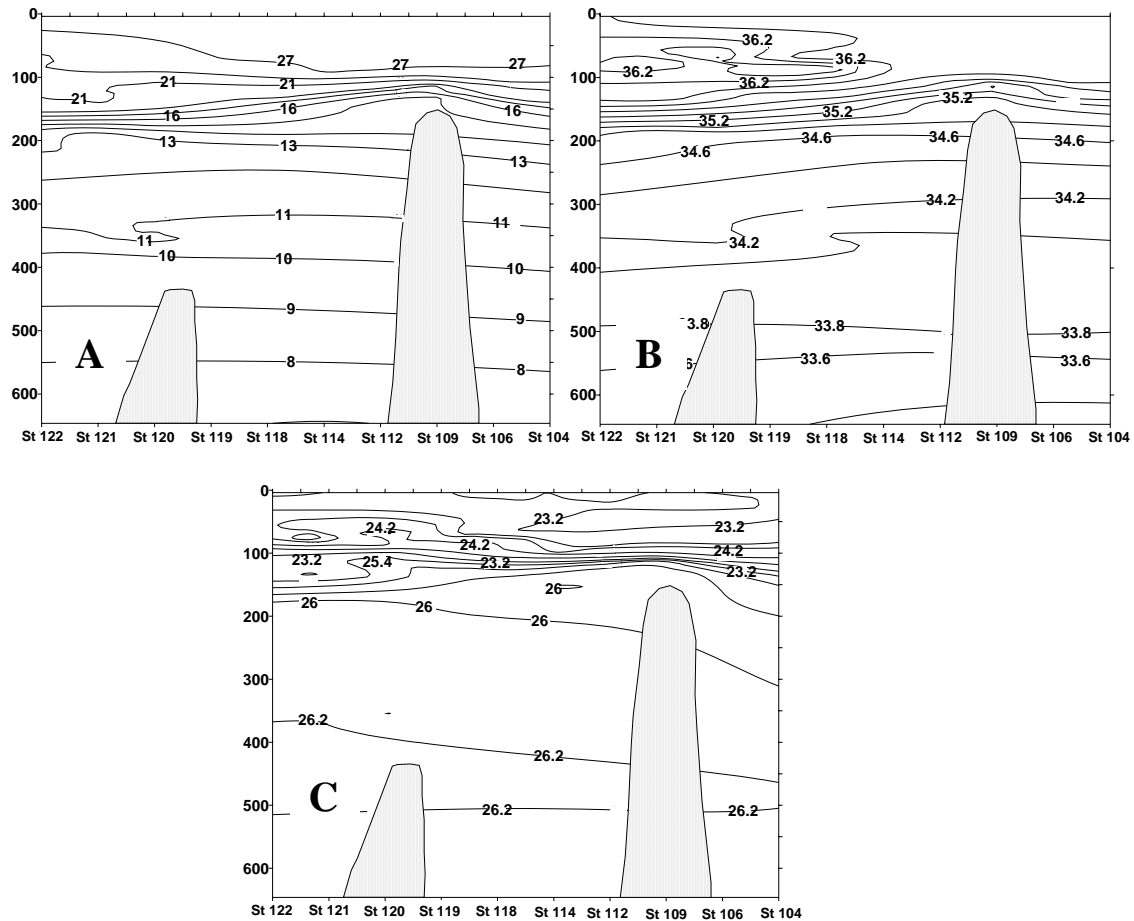


Figure 7 – (A) Vertical temperature, (B) salinity and (C) density structures along a transect at two neighbouring seamounts in the Fernando de Noronha Chain (1997).

St. Peter and St. Paul Archipelago

A topography-flow interaction was more pronounced in this area than in the Fernando de Noronha Chain. The most pronounced elevation of isotherms in the studied area were recorded at station 139 (0.015°S; 29.3683°W), close to Archipelago. For example, the 24 °C isotherm was elevated from 70m to 43m between station 140 and 139 (Figure 8). This uplift appeared to be restricted to the thermocline (up to the 14°C isotherm) resulting in the formation of a cold dome and may have provided enrichment of the surface

layers, since it was almost totally inserted within the euphotic zone (<60m). The isohalines and isopycnals presented the same pattern (Figure 8).

North Brazilian Chain

No effects attributable to the presence of the seamount were observed at stations close to North Brazilian Chain. Despite uplifting of the isotherms, there was no evidence of a cold dome above the summit of the seamount, represented by the 14 °C and 22 °C isotherms, did extend into the lower euphotic layer (1% light = 70m) (Figure 9).

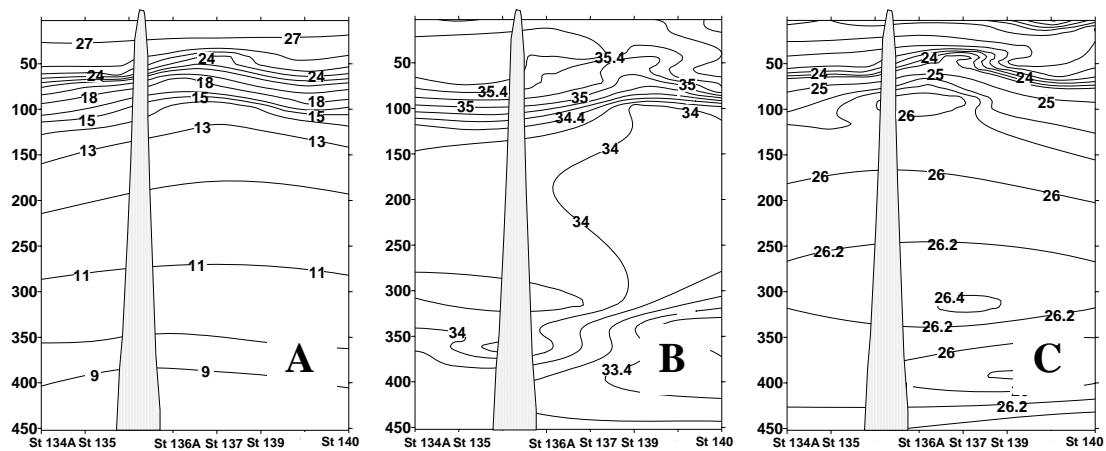


Figure 8 - (A) Vertical temperature, (B) salinity and (C) density structures along a transect around the St. Peter and St. Paul Archipelago (1997).

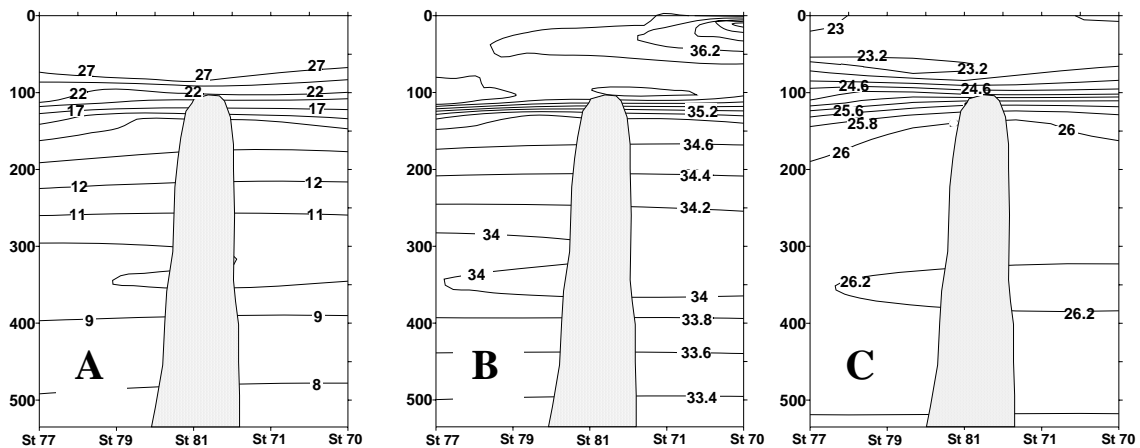


Figure 9 – (A) Vertical temperature, (B) salinity and (C) density structures along a transect above the seamount in the North Brazilian Chain (1997).

Nutrients (NO₂, NO₃, PO₄ and Si)

Selected vertical profiles of NO₂, NO₃, PO₄ and Si for Oceanic region, Saint Peter and Saint Paul Archipelago, North Brazilian Chain and Fernando de Noronha Chain are shown in Figure 10 and 11. Horizontal distributions at the 100%, 50% e 1% light penetrations are shown in Figure 12 to 15.

In general, the concentration of nutrients was lower at the surface and showed a maximum just below the thermocline. Vertical profiles of nutrients concentrations showed two patterns in both periods. First: at most stations a NO₂ peak occurring in the upper 150m of depth. Second: higher NO₃, PO₄ and Si concentrations around 100-150m and increasing continuously with depth (Figure 10 and 11)

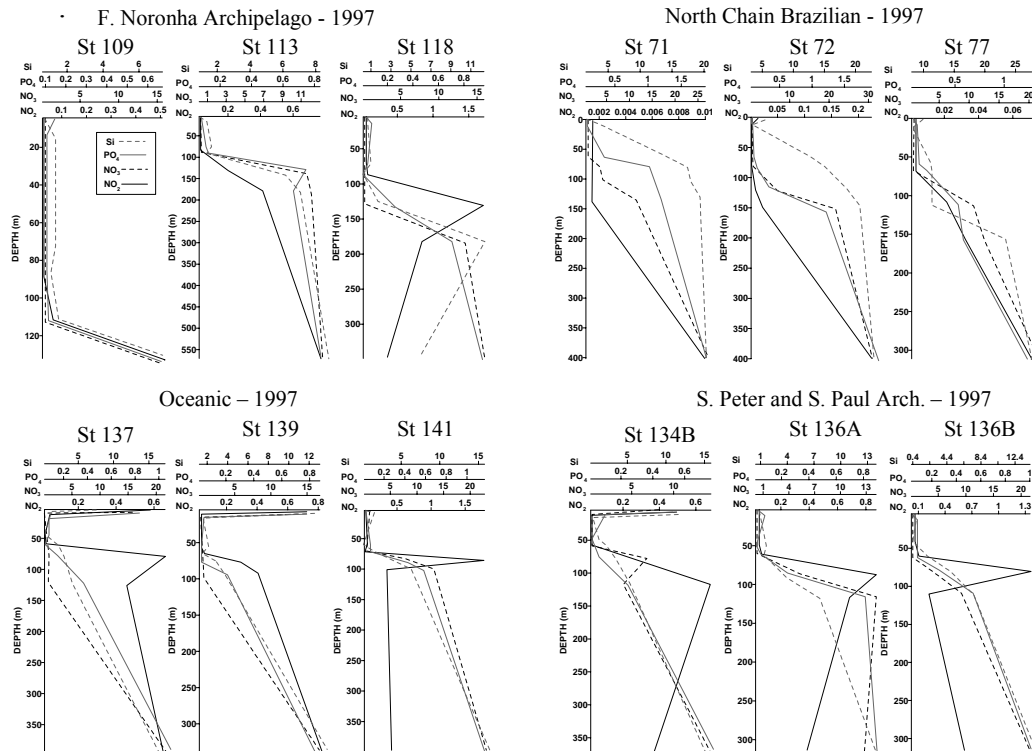


Figure 10 – Vertical profiles of silicon ($\mu\text{M.L}^{-1}$), phosphate ($\mu\text{M.L}^{-1}$), nitrite ($\mu\text{M.L}^{-1}$) and nitrate ($\mu\text{M.L}^{-1}$) in 12 selected stations (1997).

Vertical phosphate profiles show more variable surface concentrations during the period 2 (1998) than the period 1 (1997) in all areas (Figure 11 and 10 respectively). In contrast to nitrate, phosphate and silicon, the nitrite concentrations below 100m decreased,

rather than increased, with depth (Figure 10 and 11). During 1997, the high surface nutrients concentrations were found in the oceanic area closer Saint Peter and Saint Paul Archipelago (sampling stations 137, 139 and 134B) (Figure 10).

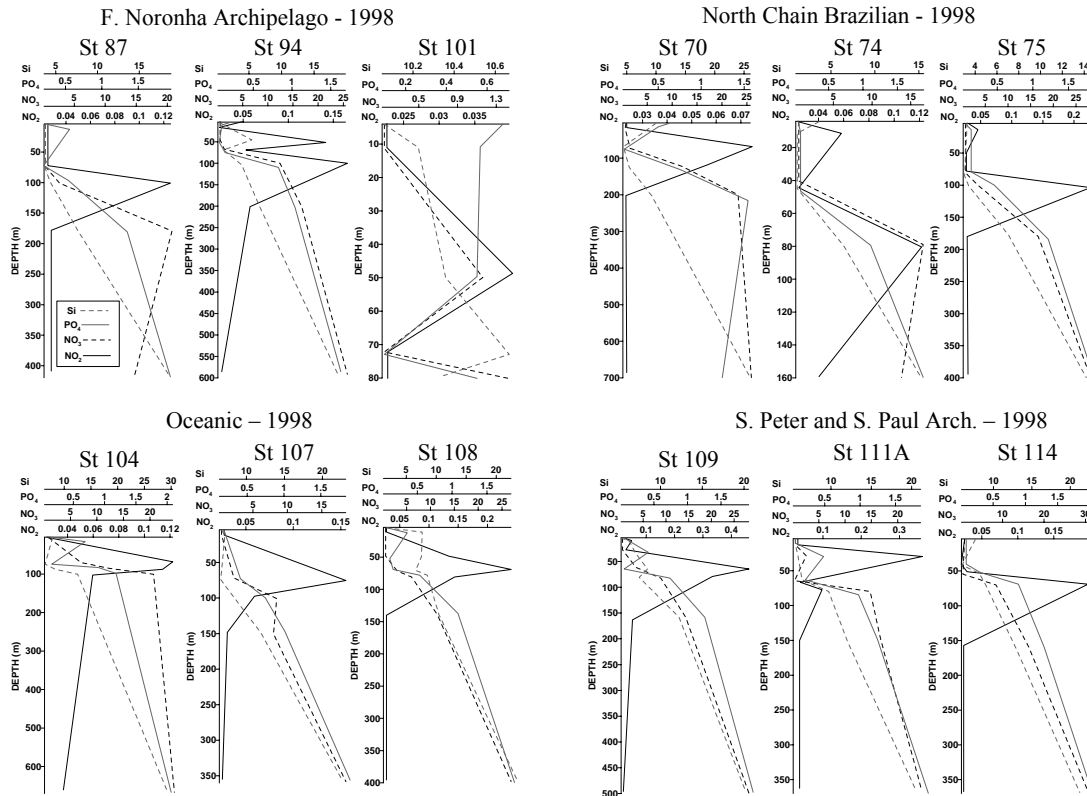


Figure 11 – Vertical profiles of silicon ($\mu\text{M.L}^{-1}$), phosphate ($\mu\text{M.L}^{-1}$), nitrite ($\mu\text{M.L}^{-1}$) and nitrate ($\mu\text{M.L}^{-1}$) in 12 selected stations (1998).

Nitrite concentrations at most stations are very low throughout the whole water column (100%, 50% e 1% light penetrations) (Figure 12). It ranged from undetectable values ($< 0.02\mu\text{M.L}^{-1}$) to maximum of $0.73\mu\text{M.L}^{-1}$ station 139, at 100% light penetrations during 1997. During 1998, there were high concentrations at the 1% light in the Oceanic area and Saint Peter and Saint Paul Archipelago and at the 50% and 100% light near North Brazilian Chain and Fernando de Noronha Chain. In contrast to 1998, the lowest nitrite concentrations in 1997 were found near North Brazilian Chain and Fernando de Noronha Chain at 50% and 100% light penetrations (Figure 12).

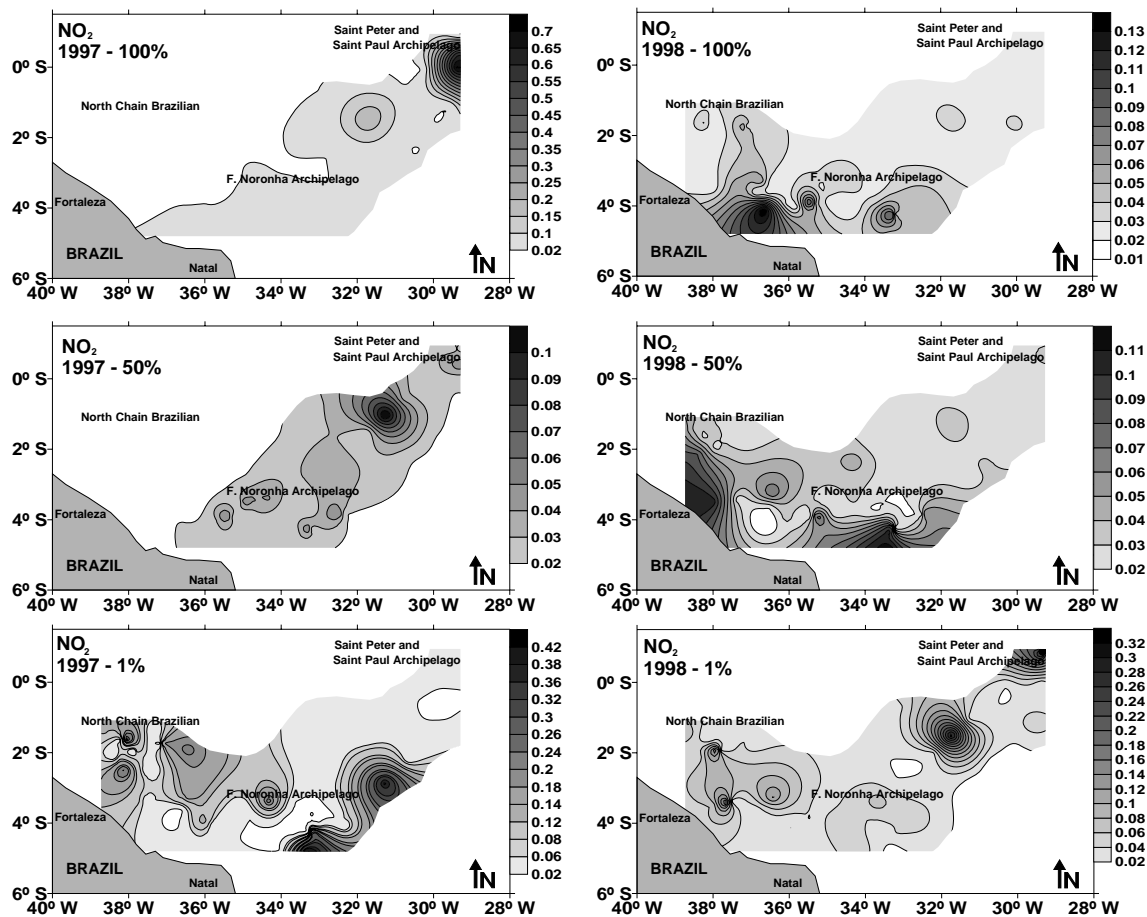


Figure 12 – Horizontal distribution of nitrite ($\mu\text{M.L}^{-1}$) at the 1, 50 and 100% light penetration.

Nitrate concentrations were undetectable in all study area in 1998 (50 and 100% light penetrations). During 1997, high concentrations were found near Saint Peter and Saint Paul Archipelago at 100% light penetrations and in the North Brazilian Chain at the 1% light (Figure 13).

Phosphate distribution showed patchiness during 1997, with surface (100% light) concentrations higher in the oceanic area and Saint Peter and Saint Paul Archipelago ($> 0.8\mu\text{M.L}^{-1}$) and lower in the North Brazilian Chain and Fernando de Noronha Chain ($< 0.1\mu\text{M.L}^{-1}$) (Figure 14). Concentrations (to three depths) during 1998 were higher than during 1997, higher phosphate levels occurred near Fernando de Noronha Chain ($> 1.1\mu\text{M.L}^{-1}$).

During 1997, lower silicon concentrations were measured in the Oceanic area and Saint Peter and Saint Paul Archipelago (1 and 50% light penetrations).

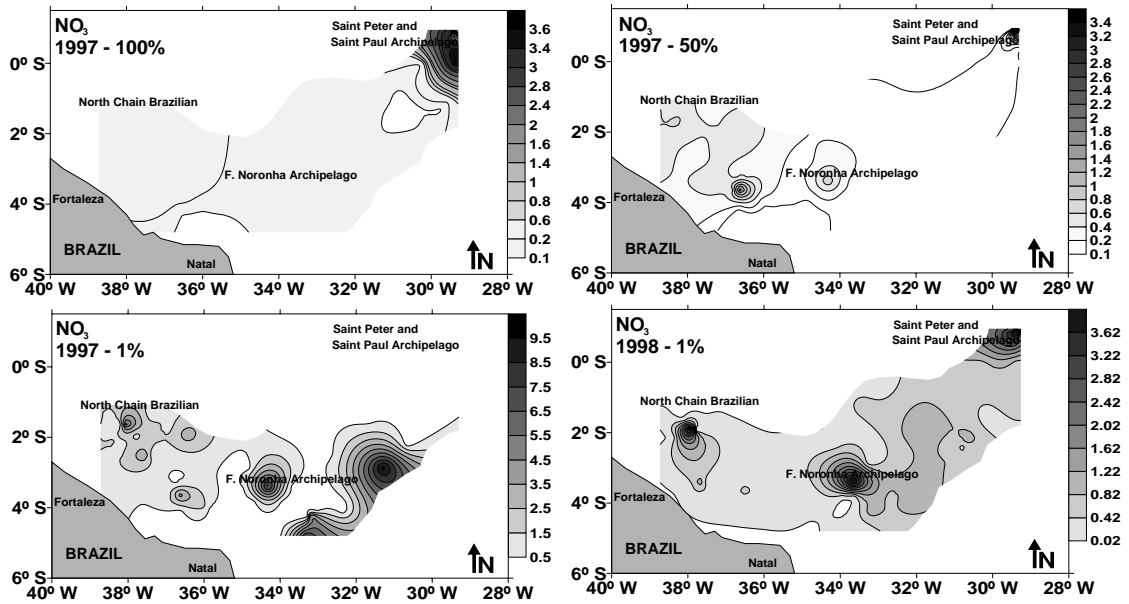


Figure 13 – Horizontal distribution of nitrate ($\mu\text{M.L}^{-1}$) at the 1, 50 and 100% light penetration.

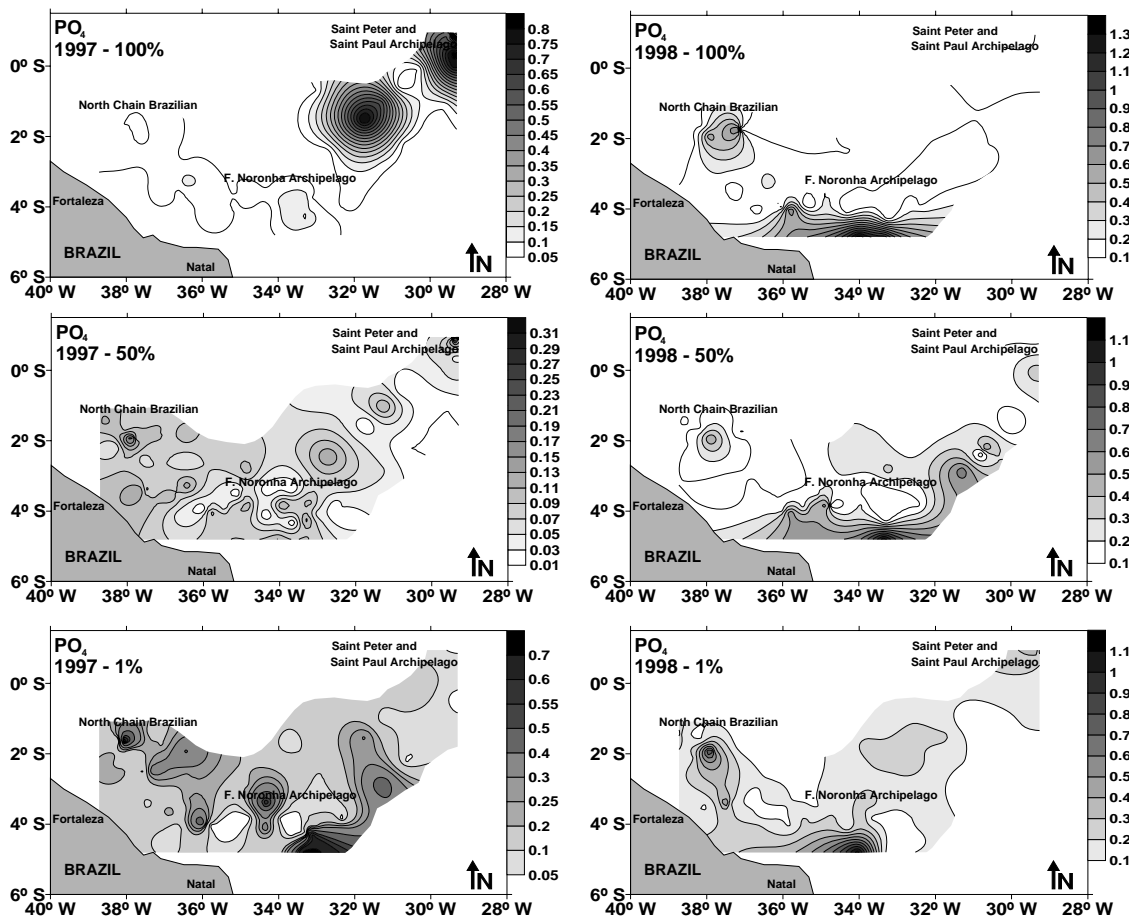


Figure 14 – Horizontal distribution of phosphate ($\mu\text{M.L}^{-1}$) at the 1, 50 and 100% light penetration.

In 1998, concentrations tended to be lower in the North Brazilian Chain and Fernando de Noronha Chain, where spatial patterns were also similar for all three levels. The highest concentrations were found during 1997 in the North Brazilian Chain (1% light penetrations) and in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago (100% light penetrations) ($>16\mu\text{M.L}^{-1}$ and $>11\mu\text{M.L}^{-1}$ respectively) (Figure 15).

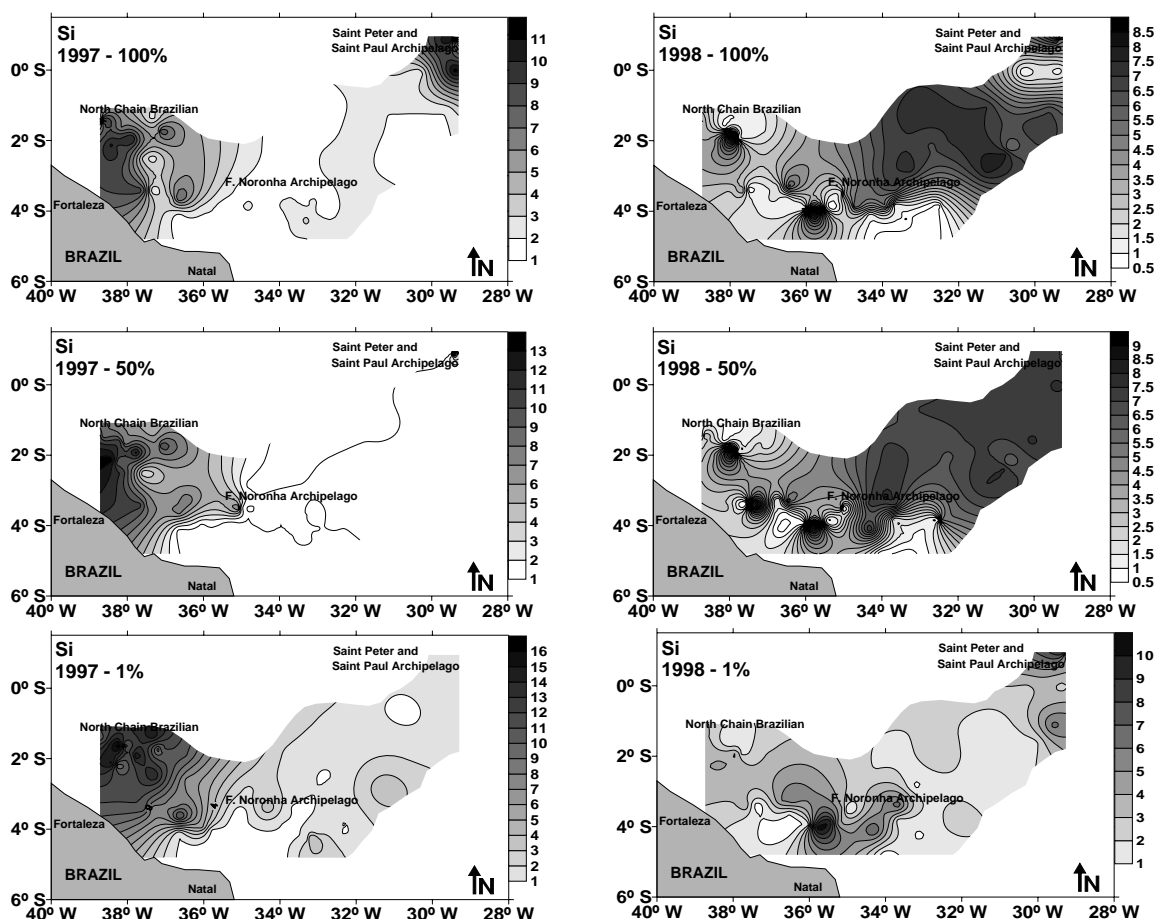


Figure 15 – Horizontal distribution of silicon ($\mu\text{M.L}^{-1}$) at the 1, 50 and 100% light penetration.

In order to visualize the relationship between the different variables, nutrients were plot with temperature and salinity (Figure 16). Nutrients exhibited an inverse relationship with temperature and salinity. The inverse linear relationship indicates that the behavior of these variables with respect to temperature and salinity can be divided into two categories. The first category is when the temperature is $< 22^{\circ}\text{C}$ and the salinity is < 36 PSU; then there are higher nutrients concentrations in the deep waters below the thermocline (< 200 m). The second category occurs when the temperature is above 22°C and salinity is above 36 PSU; then concentrations are low in the upper euphotic zone. The best fit relationships

between seawater temperature and salinity, and all nutrients were highly significant ($p < 0.0001$), but no significant differences were found using the t -test comparison between real observations and the values predicted by the model.

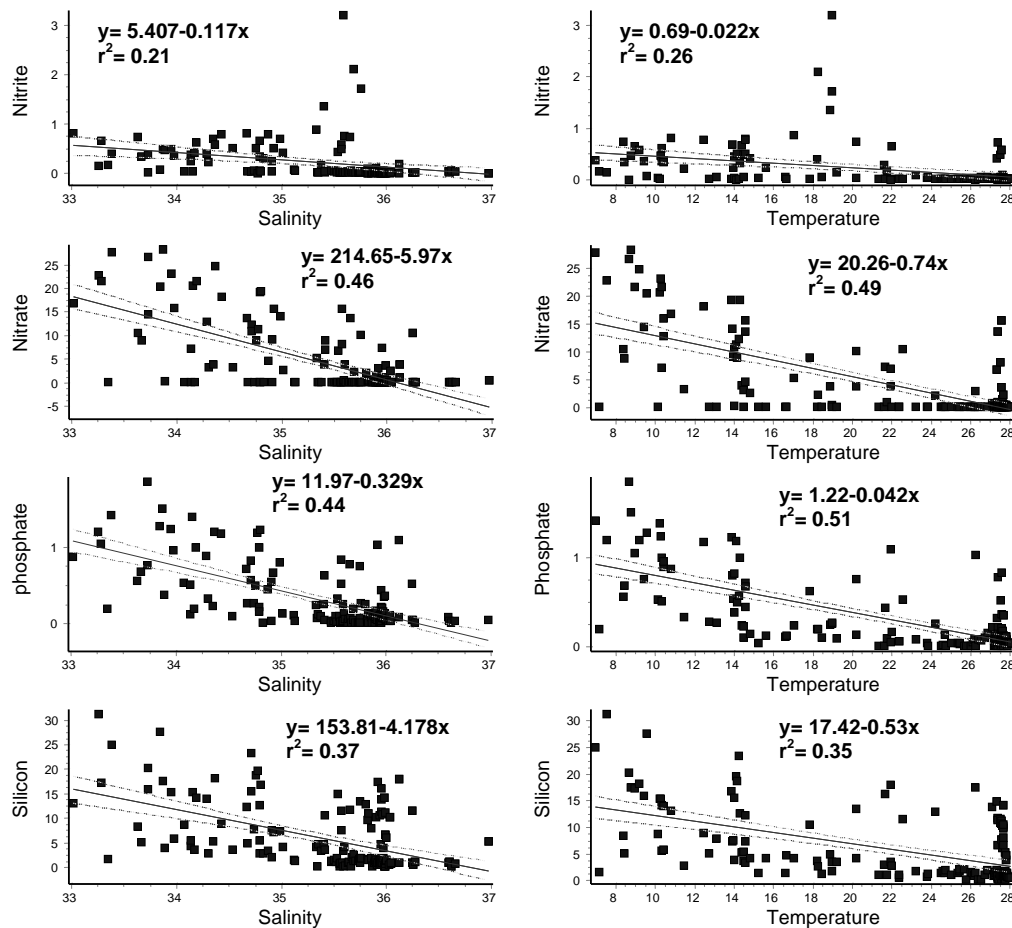


Figure 16 - Concentrations of Nutrients (NO_2 , NO_3 , PO_4 and Si) versus temperature and salinity for the data of 151 stations from the year 1997. The graphs with lines indicate a significant correlation between the two variables and the correlation coefficients are represented by r . The intercept of the regression line is represented by b .

Chlorophyll a

Mean chlorophyll a values around seamounts and islands off North-Eastern Brazil were very low ranged from 0.46 to 1.65 ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) (Table I), indicating oligotrophic waters. The most salient spatial pattern in chlorophyll a concentrations was the marked tendency toward biomass decrease at deeper stations. Patches of high Chl a ($>0.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) were observed in the North Brazilian Chain, Fernando de Noronha Chain and around Saint Peter and Saint Paul Archipelago.

Surface concentrations were generally lower in the entire region in both periods. The highest chlorophyll *a* concentrations (3.34 and 3.91 $\mu\text{g.L}^{-1}$ for 1997 and 1998 respectively) were recorded in 1% light penetration, near Saint Peter and Saint Paul Archipelago. The distribution patterns showed an increase in concentrations with depth (Figure 17).

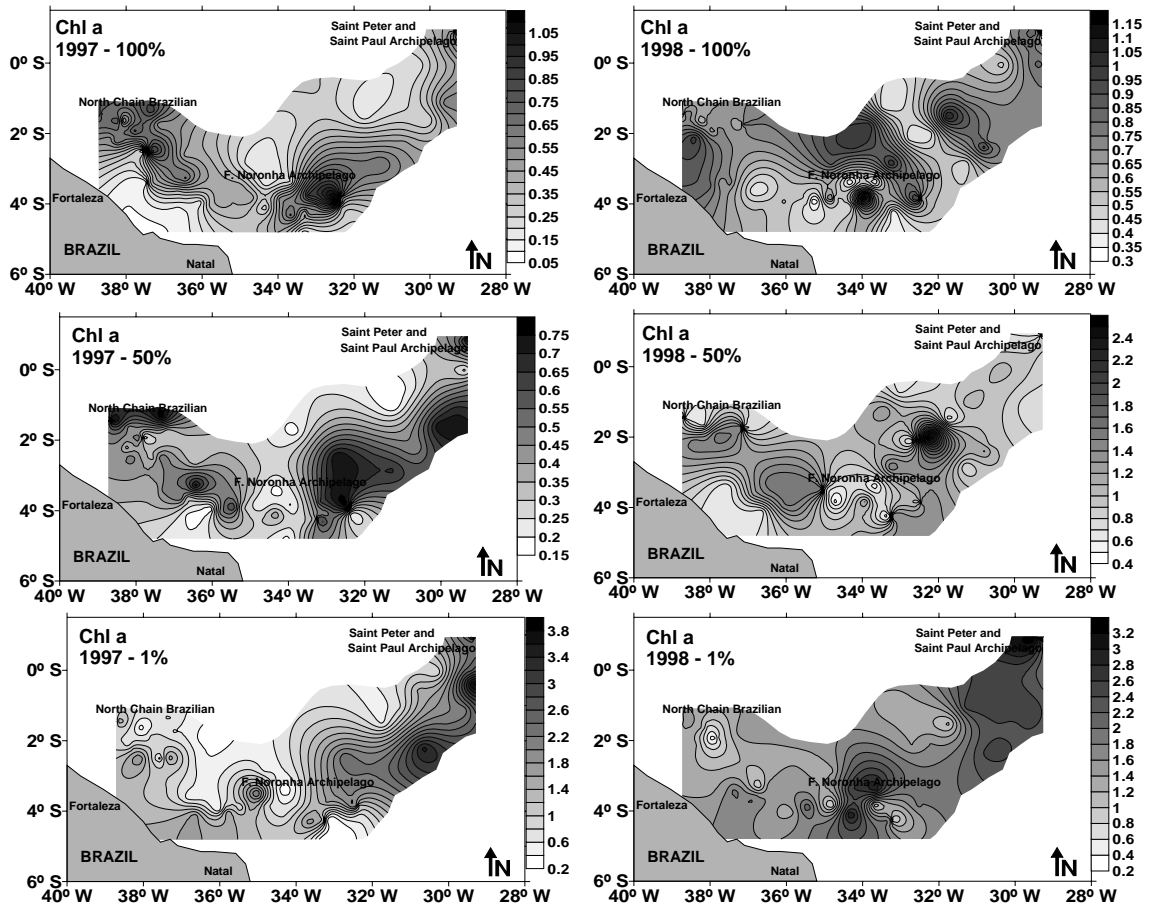


Figure 17 – Horizontal distribution of chlorophyll *a* (mg.L^{-1}) at the 1, 50 and 100% light penetration.

Relationships between chlorophyll *a* and nutrients

Figure 18 shows a graphic representation of the relationship between Chl *a* and nutrients (NO_2 , NO_3 , PO_4 and Si). This relationship are revealing: First, an oligotrophic region of low nutrient and Chl *a* concentration (to the left end of each curve) can be noted; this is indicative of the limited nutrient availability due to presence of a stable mixing layer and permanent deep thermocline, below the limit of the photic zone. Second, the biomass

data can be roughly fitted by an exponential decay equation. All nutrients exhibited an inverse relationship with Chl *a*. This can be explained by the photosynthetic rate (increase of chlorophyll *a*) accompanied by consume of nutrients (decrease of nutrients).

Derived from the regression equations, the potential maximum Chl *a* concentrations that could be supported by NO₂, NO₃, PO₄ and Si, respectively, were estimated to be 1.80, 1.55, 1.94, 1.77 µg L⁻¹ (Figure 18) when these nutrients were fully utilized (x = 0), assuming the other nutrients were not limiting.

The best fit relationships between Chlorophyll *a* and all other variables were significant ($p=0.03010$ – Si, $p=0.00396$ – PO₄, $p=0.03034$ – NO₃, $p=0.0200$ – NO₂), but no significant differences were found using the Mann-Whitney test comparison between real observations and the values predicted by the model ($p=0.01482$ – Si, $p=0.1428$ – PO₄, $p=0.0804$ – NO₃, $p=0.1666$ – NO₂).

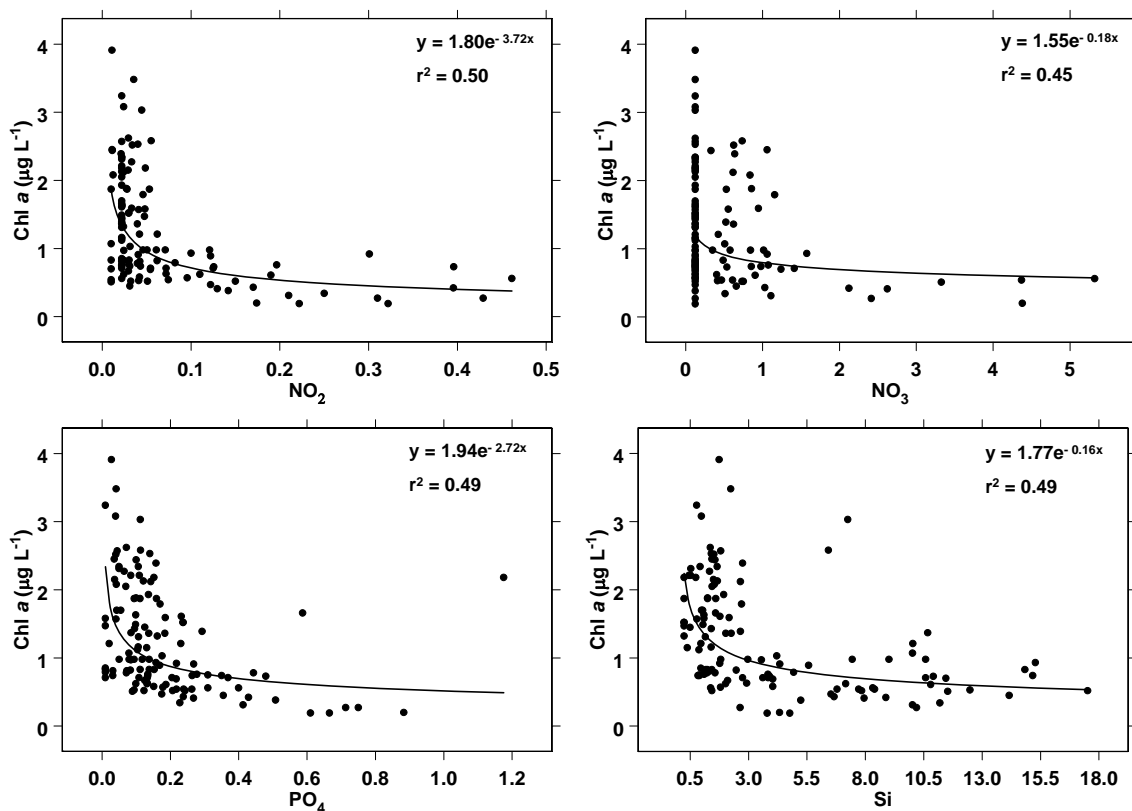


Figure 18 – Chl *a* concentration versus nutrients (NO₂, NO₃, PO₄ and Si) at study area for the level of 1% light penetration in 1997 and 1998. The regression equation and the correlation coefficients *r* are given.

3.5 - Discussion

The two surveys reported here provide an indication of the spatial and temporal variability of phytoplankton biomass and nutrient distributions in the waters around seamounts and islands off North-Eastern Brazil.

The tropical western South Atlantic Ocean remains poorly known. Most of the available information on phytoplankton biomass and primary productivity in the western South Atlantic has been obtained in the subtropical region between 22° S and 31° S (Aidar-Aragão et al. 1980; Lorenzetti and Gaeta 1996; Odebrecht and Garcia 1997). The main feature demonstrated in this study was the existence of considerable spatial heterogeneity in the chlorophyll a and nutrients throughout the sampled area, in both horizontal and vertical fields, which is accounted for by the local topography.

Tropical Atlantic circulation is dominated by the Equatorial Current System. The Superficial Equatorial Water (SEW) and South Atlantic Central Water (SACW) are moved along the equator against the Brazilian coast, mainly by the South Equatorial Current (SEC). Waters that give rise to the North Brazil Current (NBC) are moved faster along the same region. On the other hand, waters that give rise to the Brazil Current (BC) are moved at a slower speed and cross zones which experience different degrees of evaporation, precipitation and wide regime. Precipitation is highest at the equator and lower at the tropics, where evaporation is greatest (Medeiros et al 1999). This would explain the higher temperature and salinity of superficial waters in the study area as reflected by the T-S diagrams. It would also explain the increase in the salinity maximum in the same region. Here greater evaporation takes place which tends to increase surface water salinity and thus its density. This water then sinks, until it reaches its equilibrium at the top of the thermocline, where the decrease in temperature results in even denser waters. The deeper mixing layer along the Fernando de Noronha and North Brazilian Chains corresponds to more stronger, constant winds in that region.

Nutrients presented an inverse linear relationship with temperature and salinity. This can be explained by the cycle of photosynthesis and decomposition. The cycle begins when dissolved nutrients are incorporated into living organic matter by phytoplankton. Later, when the living material dies, the nutrients are regenerated, or released, as bacteria decompose the material (Castro and Huber, 2000). The result of this process is that

nutrients are removed from the surface (salinity and warm waters) and carried to the bottom (less salinity and cold waters). Thus, nutrients concentrations were lower at the surface and increase with depth. A similar distribution pattern was found by Costa (1991) in the western South Atlantic Ocean during the expedition Nordeste III (Noc. Saldanha, May to June 1986). However, Our 137, 139 e 134B stations in 1997, located much closer to the Saint Peter and Saint Paul Archipelago were characterized by high surface concentrations of NO_3 (4.57, 3.68 and $3.23 \mu\text{M.l}^{-1}$ respectively) and Si (7.68, 11.67 and $11.58 \mu\text{M.l}^{-1}$ respectively). These stations also had low temperature and salinity of surface.

The evidence suggests a topography-flow interaction on thermohaline structures and some upward entrainment of deep and nutrient-rich water that penetrated the top of the thermocline in 1997. The cold dome observed around Saint Peter and Saint Paul Archipelago in the stations 137, 139 e 134B was the most notable example supporting the potential for this interaction. It is possible that this dome represented a Taylor column; however, further research involving an extensive temporal survey recording flow measurements above and around the Archipelago would be required to validate this hypothesis.

The station (109) in the Fernando de Noronha chain showed evidence of a topography-flow interaction. This occurred at those seamounts with summits located below the thermocline. Nevertheless, characteristics such as the position of the dome immediately above the seamount, decreasing uplift of isotherms and a height and width proportional to the size of the seamount are consistent with observation from previous studies in other areas where this feature has been identified. For example, at the Fieberling Seamount ($32^{\circ}26.1' \text{ N}$; $127^{\circ}45.9' \text{ W}$; 438m), Roden (1991) observed the presence of an upwelling cone with a height of 160m and a width of about 20 Km. At the Minami-Kasuga seamount ($21^{\circ}6' \text{ N}$; $143^{\circ}8' \text{ E}$; 280m), isotherms showed a clear uplift that gradually decreased with distance above the seamount, tapering off before reaching the surface (Genin and Boehlert 1985). Similarly, over the Josephine seamount ($36^{\circ}45' \text{ N}$; $14^{\circ}15' \text{ W}$; 200m), Meincke (1971) found that the top of a cold dome shaped by uplifting of the isotherms was delimited by the 15.5°C isotherm located at about 95 m below the surface.

In the Atlantic Ocean North-East of Brazil, surface primary biomass (mean) has been estimated to be about 0.39 mg.m^{-3} at the beginning of March (Medeiros et al., 1999). We

measured a similar surface primary biomass ($0.47\mu\text{g.L}^{-1}$ in January – April of 1997) at our study area (In the Atlantic Ocean off the North-East of Brazil). This is tropical oceanic region, constituted of an oligotrophic system, that it possess a complex alimentary web, however with low biological productivity (Ekau and Knoppers, 1999).

Vertically, the highest phytoplankton biomass (chlorophyll a) in oceanic waters was found at 100 m depth, corresponding to the level of 1% light penetration. This points to the overall low nutrients availability, since in poor nutrient waters, the rate of subsidence of phytoplankton organisms is significant, thus shifting the higher phytoplankton concentrations to deeper layers (Medeiros et al 1999).

Phytoplankton biomass was patchy during two surveys, high biomass regions appeared as isolated stations rather than as extensive blooms. This is consistent with the documented behaviour of phytoplankton, where the predicted patch size is small, owing to growth dynamics and the small scale of physical variability (Okubo 1978, Weber *et al.* 1986).

The patchiness of phytoplankton biomass implies variability in macronutrient concentrations. An inverse relationship between nutrients and chlorophyll a concentrations was found, this relationship can be revealed by statistical correlation. Priddle *et al.* (1986b) interpret biogeographic patterns in microplankton in terms of water types, with small-scale variability resulting from nutrient interactions and grazing pressure.

Changes in primary productivity have been causally linked to the nutrient status of aquatic ecosystems for over a century. Brandt (Brandt, 1899, 1902) proposed that phytoplankton production must be dependent upon the supplies of nitrate-N and phosphate-P to natural waters (Ketchum *et al.*, 1958). Nutrients availability is one of the determining factors for phytoplankton growth (Gross and Gross 1996), in addition to temperature and light. In tropical regions, the phytoplankton production is generally low in stratified oceanic waters. However, seamount-related perturbations have been proposed to intensity patchiness among microzooplankton (Sime-Ngando *et al.*, 1992), net-zooplankton and rockfish (Genin *et al.*, 1988). Variability in the thermocline could reflect changing mixing environments that then affect phytoplankton growth (Legendre, 1981; Legendre and Demers, 1984; Holligan *et al.*, 1985; Smetacek and Passow, 1989; Bode and Fernandez,

1992) and create patchiness (Genin and Boehlert, 1985; Botas *et al.*, 1988; Legendre and LeFevre, 1989; Bode and Fernandez, 1992).

In conclusion, this investigation provides evidence for enhancement of phytoplankton growth around seamounts and islands off North-Eastern Brazil, complementing other reports of increased primary producer biomass and enrichment at higher trophic levels in these environments.

3.6 - Acknowledgements

The authors express their thanks to Ministry of Environment, Direction of Hydrography and Navigation and ANTARES oceanographical ship, for support this study through program REVIZEE. This study was partly supported by CAPES (Ministry of Education, Brazil) as part of the doctoral grant.

3.7 - References

Aidar-Aragão, E., Teixeira, C., Vieira, A.A.H. 1980. Produção primária e concentração de clorofila a na costa brasileira (Lat. 22° 31' S-Long. 41° 52' W a Lat. 28° 43'S-Long. 47°57' W). Bolm. Inst. Oceanogr. S. Paulo. 29 (2), 9-14.

Bode, A. and Fernández, E. 1992. Influence of water-column stability on phytoplankton size and biomass succession patterns in the central Cantabrian Sea (Bay of Biscay). Journal of Plankton Research, 14, 885-902.

Botas, J. A., Bode, A., Fernández, E. and Anadón R. 1988. Descripción de una intrusión de agua de elevada salinidad en el Cantábrico Central: distribución de los nutrientes inorgánicos y su relación con el fitoplancton. Investigación Pesquera, 52, 559-571.

Costa, K.M.P. 1991. Hidrologia e biomassa primária da região Nordeste do Brasil entre as latitudes de 8°00'00" e 24°44'30" S e as longitudes de 35°56'30" e 31° 48'00" W. Recife. Universidade Federal de Pernambuco. 217 pp.

Ekau, W. and Knoppers, B. 1999. An introduction to the pelagic system of the north-east and east Brazilian shelf. *Arch. of Fish. and Mar. Res.*, 47, 113-132.

Glibert, P.M., Biggs, D.C. & McCarthy, J. J. 1982. Utilization of ammonium and nitrate during austral summer in the Scotia Sea. *Deep-Sea Research*, 29, 837-850.

Genin, A. and Boehlert, G. W. 1985. Dynamics of temperature and chlorophyll structures above a seamount: an oceanic experiment. *Journal of Marine Research*. 43, 907-924.

Gross, M.G. and Gross, E. 1996. Oceanic Life and Ecosystems. In: Gross, M.G.; Gross, E. (eds.): *Oceanography a view of earth*. New Jersey: Prentice Hall, p. 277-299.

Genin, A., Haury, L. and Greenblatt, P. 1988. Interactions of migrating zooplankton with shallow topography: predation by rockfishes and intensification of patchiness. *Deep-Sea Research*. 35, 151-175.

Holligan, P. M., Pingree, R. D. and Mardell, G. T. 1985. Oceanic solitons. nutrient pulses and phytoplankton growth. *Nature*, 314, 348-350.

Jacques, G. 1983. Some ecophysiological aspects of the Antarctic phytoplankton. *Polar Biology*, 2, 27-33.

Jacques, G. 1991. Is the concept of new production-regenerated production valid for the Southern Ocean? *Marine Chemistry*, 35, 273-286.

Jonhs, W.E., Lee, T.N. and Schott, F.A. 1990. The North Brazil Current retroflection: seasonal structure and eddy variability. *J. Geophys. Res.* 95, 12, 22103-22210.

Ketchum, B.H., Vaccaro, R.F. and Corwin, N. 1958. The annual cycle of phosphorus and nitrogen in New England coastal waters. *J. Mar. Res.* 17, 282 – 301.

Legendre, L. 1981. Hydrodynamic control of marine phytoplankton production: the paradox of stability. *Echohydrodynamics*, Elsevier Oceanographic Series, 32, 141-154.

Legendre, L. and Demers, S. 1984. Towards dynamic biological oceanography and limnology. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41, 2-19.

Legendre, L. and LeFèvre, J. 1989. Hydrodynamical singularities as controls of recycled versus export production in oceans. In: *Productivity of the ocean: present and past*, W. H. Berger, V. S. Smetacek and G. Wefer. editors, J. Wiley and Sons. New York, pp. 49-63.

Longhurst, A. R. and Pauly, D. 1987. *Ecology of tropical Oceans*. New York: Academic Press, Inc. pp.407.

Lorenzetti, J.A. and Gaeta, S.A. 1996. The Cape Frio up welling effect over the South Brazil Bight northern sector shelf waters: a study using AVHRR images. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. XXXI, Part B7, 448-453.

Medeiros, C., Macedo, S. J., Feitosa, F. A. N. and Koenig, M. L. 1999. Hydrography and phytoplankton biomass and abundance of North-East Brazilian Waters. *Arch. of Fish. and Mar. Res.*, 47: (2/3), 133-151.

Meincke, J. 1971. Der Einfluss der Grossen Meteorbank auf Schichtung und Zirkulation der ozeanischen Deckschicht. *Meteor Forschungsergeb. A*, 67-94.

Nelson, D. M. & Tréguer, P. 1992. Role of silicon as a limiting nutrient to Antarctic diatoms; evidence from kinetic studies in the Ross Sea ice-edge zone. *Marine Ecology Progress Series*, 80,255-264.

Odebrecht, C. and Garcia, V.M.T. 1997. Coastal and marine environments and their biota: phytoplankton. In: Seeliger, U.; Odebrecht, C.; Castello, J.P. (eds.): *Subtropical Convergence Environments: the Coast and the Sea in the Southwestern Atlantic*. Berlin: Springer Verlag, p. 34-36.

Okubo, A. 1978. Horizontal dispersion and critical scales for phytoplankton. In Steele J. H., ed., *Spatial pattern in plankton communities*. New York Plenum Press, 21-42.

Olson, R. J. 1908. Nitrate and ammonium uptake in Antarctic waters. *Limnology and Oceanography*, 25,508-517.

Owens, N. J. P., Priddle, J. & Whitehouse, M.J. 1991. Variations in phytoplanktonic nitrogen assimilation around South Georgia and in the Bransfield Strait (Southern Ocean). *Marine Chemistry*, 35,287-304.

Peterson, R.G. and Stramma, L. 1991. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Prog. Oceanogr.* 26, 1-73.

Philander, S.G.H. 1973. Equatorial Undercurrent: measurements and theories. *Rev. Geophys. Space Phys.* 11, 513-570.

Priddle, J., Hawes, I., Ellis-Evans J.C. & Smith, T. J. 1986a. Antarctic aquatic ecosystems as habitats for phytoplankton. *Biological Reviews*, 61,199-238.

Priddle, J., Heywood, R.B. & Theriot, E. 1986b. Some environmental factors influencing phytoplankton in the Southern Ocean around South Georgia. *Polar Biology*, 5, 6579.

Round, F. E. 1981. *The Ecology of Algae*. Cambridge: Cambridge Univ.Press.

Roden, G. I. 1991. Mesoscale flow and thermohaline structure around Fieberling Seamount. *Journal of Geophysical Research*, 96, 16,653-16,672.

Richardson, P.L. and McKee, T. K. 1984. Average seasonal variation of the Atlantic equatorial currents from historical ship drifts. *J. Phys. Oceanogr.* 14(7), 1226-1238.

Smith, W. O. Jr. & Nelson, D.M. 1990. Phytoplankton growth and new production in the Weddel Sea marginal ice zone in the austral spring and autumn. *Limnology and Oceanography*, 35,809-821.

Smith, W. O. Jr. & Harrison, W.G. 1991. New production in Polar Regions: the role of environmental controls. *Deep-sea Research*, 38, 1463-1479.

Sime-Ngando, T., Juniper, K. and Vézina, A. F. 1992. Ciliated protozoan communities over Cobb Seamount: increase in biomass and spatial patchiness. *Marine Ecology Progress Series*, 89, 37-51.

Smetacek, V. and Passow, U. 1989. Spring bloom initiation and Sverdrup's critical-depth model. *Limnology and Oceanography*, 35,228-234.

Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R. 1972. A practical handbook of seawater analyses. *Fisheries Research Board of Canada*, 167, 311 pp.

Tréguer, P. & Jacques, G. 1992. Dynamics of nutrients and phytoplankton, and fluxes of carbon, nitrogen and silicon in the Antarctic Ocean. *Polar Biology*.

Tchernia, P. 1980. *Descriptive regional oceanography*. Oxford: Pergamon Press. 253pp.

Voros, L. & Padisak 1991. Phytoplankton biomass and chlorophyll-a in some shallow lakes in central Europe. *Hydrobiologia*, 215, 111-119.

Weber, L.H., El-Sayed, S. Z. & Hampton, I. 1986. The variance spectra of phytoplankton, krill and water temperature in the Antarctic Ocean south of Africa. *Deep-sea Research*, 33,1327-1343.

CAPÍTULO 4

Relationship between spatial distribution of chaetognaths and hydrographic conditions around seamounts and islands off North-Eastern Brazil (Lat. 0° and 6° S)

Relationship between spatial distribution of chaetognaths and hydrographic conditions around seamounts and islands off North-Eastern Brazil (Lat. 0° and 6° S)

Christiane Sampaio de Souza¹, Joana Angélica Guimarães da Luz² and Paulo Mafalda Jr.¹

¹Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Lab. de Plâncton, 40210-020, Salvador, Bahia, Brasil

²Universidade Federal da Bahia, Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável. 47805-100, Barreiras, Bahia, Brasil. chsampaio@ig.com.br.

4.1 - Abstract

Relationship between spatial distribution of chaetognaths and hydrographic conditions around seamounts and islands off North-Eastern Brazil were analyzed from 133 oceanographic stations in January – April of 1997 and April – July of 1998. Oblique zooplankton tows, using 50 cm diameter Bongo nets with 500µm mesh provided with a flowmeter to determine the filtered volume, were carried out to a maximum of 200 m depth. The community of chaetognaths showed six species: *Pterosagitta draco*, *Sagitta enflata*, *Sagitta hexaptera*, *Sagitta lyra*, *Sagitta serratodentata*, and *Sagitta helenae*. Of these species, *S. enflata* was the most abundant and frequent in both periods. A mesopelagic specie was identified (*S. lyra*). This specie was more abundant in 1997, when the upwelling was more intense. The abundance of *S. enflata*, an epiplanktonic species, increased, associated with greater water-column stability.

Key words: Seamounts and islands off North-Eastern Brazil, chaetognaths, spatial distribution.

4.2 - Introduction

The relatively isolated phylum Chaetognatha includes at least 23 genera and 113 species (Bieri, 1991). Exclusively predaceous, chaetognaths are found in marine habitats including estuaries, open oceans, tide pools, polar waters, marine caves, coastal lagoons, and the deep sea (Bone *et al.*, 1991). The abundance of chaetognaths is often second only to copepods in the zooplankton of many marine environments (Feigenbaum and Maris, 1984; Shannon and Pillar, 1986; Gibbons, 1992). The biomass of chaetognaths is estimated to be 10–30% of that of copepods in the world oceans; thus, they play a significant role in the transfer of energy from copepods to higher trophic levels (Bone *et al.*, 1991).

Chaetognaths play an important role in marine food webs, being active predators. Their diet includes a variety of pelagic organisms, consisting mainly of copepods, but they may also prey on fish larvae thus impacting the zooplankton and ictioplankton communities (Casanova, 1999). These organisms live in various marine habitats from polar to tropical waters and at all depths. Thirty-nine species have so far been reported in the South Atlantic between 0 and 60°S (Boltovskoy 2005). These species belong to both oceanic and coastal environments, but a few have also been found in estuarine regions. Some chaetognaths are well known as indicators of certain water masses due to their close relationship with the environmental variables (Casanova, 1999); their occurrence and distribution being determined by hydrological conditions (Liang and Vega-Pérez, 1994).

Studies on chaetognaths in southeastern Brazil have concentrated on coastal and oceanic waters where these organisms are abundant (Almeida Prado, 1968; Vega-Pérez and Liang, 1992, 2001; Liang and Vega-Pérez, 2002). However, chaetognaths can also be found in Brazilian estuaries, as reported by Lansac Tôha and Lima (1993) in the estuary of the Una do Prelado river, by Lira and Magalhães (1996) in the Mandaú/Manguaba system in Alagoas, by Lopes (1996) in the estuaries of the Juréia-Itatins ecological station, by Montú (1980) in the Patos Lagoon estuary in Rio Grande and by Paranaguá and Nascimento-Vieira (1984) in the Botafogo river estuary.

Environmental parameters play an important role in the dynamics of planktonic communities. Zooplankton presence and abundance depend essentially on oceanographic characteristics such as currents and water masses. Chaetognaths are one of the most abundant zooplanktonic groups in the oceans (Casanova, 1999), and according to Schleyer

(1985), the temporal patterns of distribution and abundance can serve to corroborate the variations of the abiotic parameters. Occasionally mesopelagic species like *Sagitta decipiens* and *Eukrohnia hamata* are found in surface waters. These species normally do not reach these layers during their diel migrations, thus their presence has been associated to upwelling events (Bieri, 1959; Fagetti, 1968).

Many chaetognaths species are uniquely affected by the hydrographic conditions of their environment (e.g. salinity, temperature), and they display species-specific relationships to water masses in addition to distinct vertical distribution profiles in the water column (Bieri, 1959; Sullivan, 1980; Terazaki and Miller, 1986; Terazaki, 1992; Ulloa *et al.*, 2000). As a result, chaetognaths are often categorized according to the type of water mass to which they are best adapted (e.g. warm water, cold water, mixed water). The surrounding hydrographic conditions can also influence aspects of chaetognath ecology, such as growth, sexual development and feeding rate (McLaren, 1963; Feigenbaum, 1982).

The objective of this study is to describe the relationship between spatial distribution of chaetognaths and hydrographic conditions around seamounts and islands off North-Eastern Brazil.

Study Area

The study area is localized in the Atlantic Ocean off North-East of Brazil (Lat. 0° and 6° S) includes 4 areas (Figure 1):

1. St. Peter and St. Paul Archipelago: located at 0° 56.2' N and 29° 20.6' W. The two largest islands (Belmonte and Challenger) are less than 100x50 m with an elevation of 20m above sea level.

2. Fernando de Noronha Chain: located from 3° S to 5° S and 32° W to 38° W and comprising the Fernando de Noronha Archipelago, Rocas Atoll and several large seamounts, including Sírius (depth at the summit of 60 to 90m) and Guará (depth at the summit of 230m).

3. North Brazilian Chain: located from 1° S to 3° S and 37° W to 39° W and encompassing several seamounts, which the Aracati is the largest with a summit area of 35 x 20m.

4. Oceanic area: located from 0° S to 2° S and 30° W to 34° W

The main oceanic currents influencing these areas are the South Equatorial Current (SEC) and the North Brazil Current (NBC), both flowing at the surface, and the Equatorial Undercurrent (EUC) flowing along the sub-surface layer (Richardson and McKee 1984; Peterson and Stramma 1991). Submarine relief (e.g. seamounts and islands) and local current may facilitate the hydrological process.

4.3 - Materials and Methods

A total of 133 samples were collected during two surveys realized between 1997 and 1998. The expeditions were made on January – April of 1997 (Period 1) and April – July of 1998 (Period 2). At each station oblique zooplankton tows were made with a Bongo net of 50 cm in diameter and 500 μ m mesh opening, from 200m depth to the surface. The duration of the tow was 10 minutes. Plankton samples were fixed in seawater with a solution of 4% formaldehyde neutralized with sodium tetraborate. The abundance of individuals in each sample was estimated by the volume of water filtered by net and expressed as individuals per m³. The species identification was done considering the morphological descriptions given Boltovskoy (2005) and Gusmão (1986). Horizontal distribution and abundance patterns were determined for each species.

Seawater samples for the analysis of primary biomass (chlorophyll *a*) were collected using Niskin Bottles. Chlorophyll *a* analysis was carried out spectrophotometrically using methods developed from Strickland and Parsons (1972). The determination of the zooplankton biomass (dry weight) was carried through according to methodology of Omori and Ikeda (1992). Temperature and salinity were measured using a self-contained Conductivity, Temperature and Depth meter (CTD) (SPE 911 plus).

Data analysis

In order to analyze the relation between different species and the thermal structure of the sea, temperature-salinity-density diagrams (TSD) were constructed for each species.

A Canonical correspondence analysis (CCA) was made to determine the existing relationships between abundance of the species and the oceanographic variables (temperature, salinity, chlorophyll *a* and dry weight). Canonical correspondence analysis (CCA), a unimodal for non-linear multivariate gradient analysis, was employed for this

study using the CANOCO program. The Canonical Correspondence Analysis (CCA) used environmental information to constrain a reciprocal averaging ordination between taxa and respective sample (Ter braak, 1986).

Non-parametric Mann-Whitney comparison test was employed to verify if there is a statistical significance of the temporal variability on biotic and abiotic factors. In order to determine the statistical significance of the space variability on chaetognath abundance was using Kruskal–Wallis one-way ANOVA with an alpha value of 0.05.

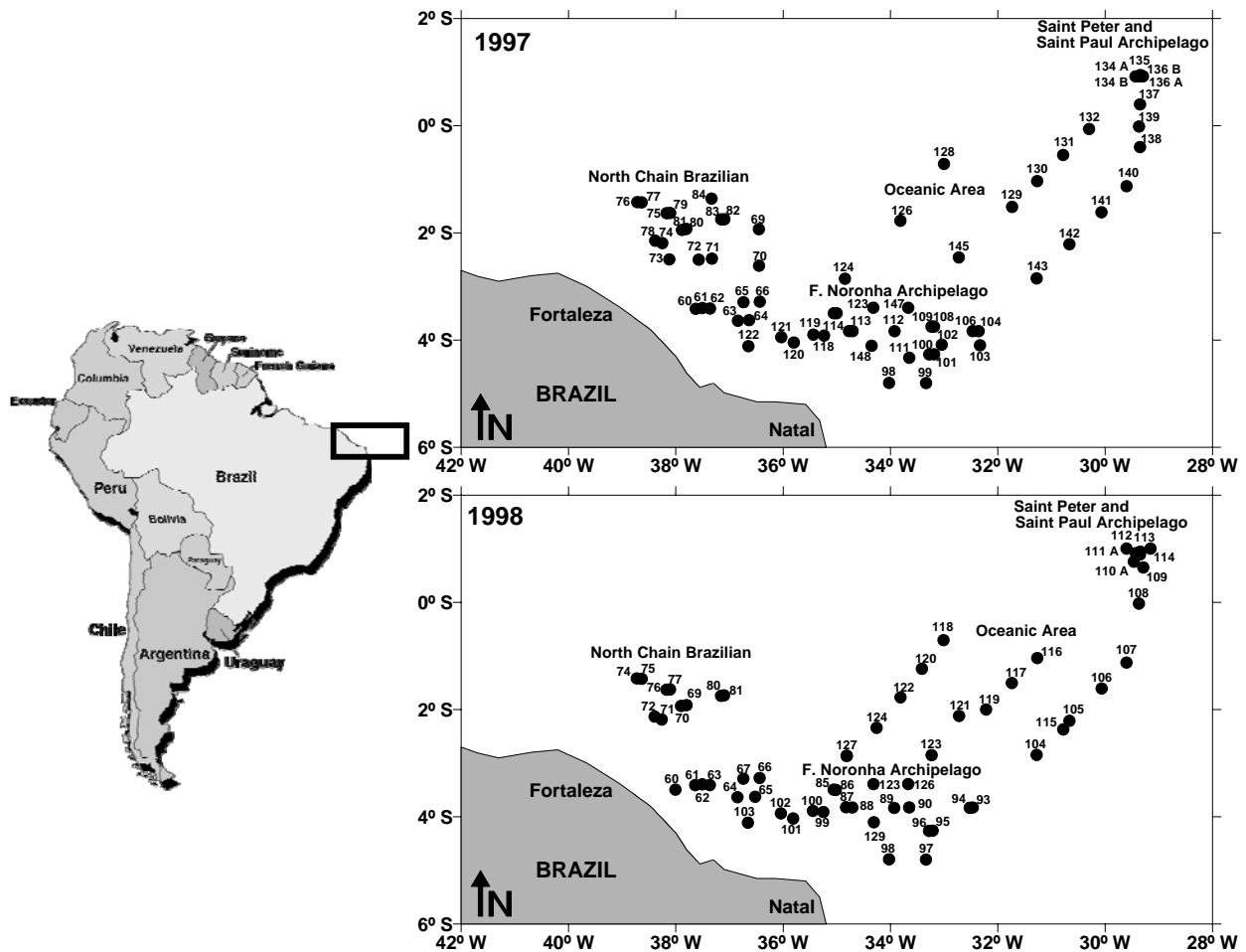


Figure 1 - Study area showing the sampling stations.

4.4 - Results and Discussion

Hydrography and chlorophyll a

The hydrographical structure and the distributions of chlorophyll *a* around seamounts and islands off North-Eastern Brazil are discussed in more detail by Souza *et al.* (2010). They present temperature and salinity profiles of single stations as well as temperature and salinity distributions on different transects down to about 400m depth. Henceforth, only a brief summary of the water mass and chlorophyll *a* distribution is presented.

Average the water temperature at 1% light penetration was 26.17 °C (minimum: 21.94 °C, maximum: 27.84 °C) during 1997 and 25.90 °C (minimum: 21.38 °C, maximum: 28.96 °C) during 1998 (Figure). Average salinity at 1% light penetration was 35.97 PSU, with only small variations (minimum: 35.67, maximum: 36.65) during 1997 and 36.39 PSU (minimum: 35.74, maximum: 37.03) during 1998 (Figure). The horizontal distribution of the salinity showed high values in the North Brazilian Chain and Fernando de Noronha Chain and low values in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago.

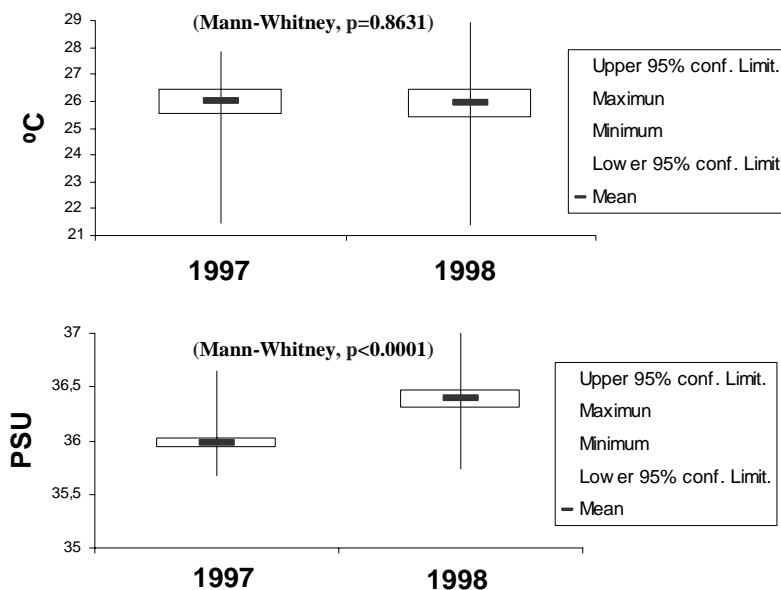


Figure 2 - Temporal variation of temperature (°C) and salinity (PSU) for investigated periods (minimum and maximum values: vertical line; mean: horizontal bar; confidence limit: rectangle).

Both parameters revealed some elevated isotherms at the surface waters along the Peter and St. Paul Archipelago and oceanic area during 1997 which might indicate influences of the Archipelago within these layers. Salinity profiles down to 150m showed a slight increase with depth. These present typical distributions encountered on all stations. The thermocline was present throughout the whole area.

The chlorophyll *a* fluctuated between 0.19 and 3.91 mg.L⁻¹, with a minimum in 1998 and a maximum in 1997 (Figure 3). In general, the lowest values were observed in the North Brazilian Chain and the highest in the oceanic area and Peter and St. Paul Archipelago.



Figure 3 - Temporal variation of chlorophyll *a* (mg.L⁻¹) for investigated periods (minimum and maximum values: vertical line; mean: horizontal bar; confidence limit: rectangle).

Souza *et al* (2010) studied enrichment processes originating in deeper waters. They found evidence of upwelling reaching into the mixed layer and into the euphotic zone, with the mixed layer reaching a depth of 50 m. The highest abundances of chlorophyll *a* coincided with stations where upwelling was recorded by the authors.

Zooplankton Biomass

Zooplankton biomass as calculated from the Bongo catches (500µm) presented lower values during 1997 oscillating between 0.37 and 6.28 g.100m⁻³ and during 1998, oscillating between 0.26 and 4.07 g.100m⁻³ (Figure 4). The dry weight was significantly different among periods (Mann-Whitney, $p < 0.0001$).

Distribution of biomass followed the isotherms very clearly (Figure 5). High biomass values (> 6 g.100m⁻³) were found in areas, where temperature in 1% light penetration did not exceed 23.5 °C during 1997. At higher water temperatures as in the Fernando de Noronha and North Brazilian Chains, biomass ranged between 0.5 and 3 g.100m⁻³ during 1997 and between 0.2 and 1.6 g.100m⁻³ during 1998. Highest biomass values were found in the oceanic area and closer to the Saint Peter and Saint Paul Archipelago in both periods, especially at stations 137 and 139 during 1997, which was supported by the high concentrations of chlorophyll *a* (Souza et al. 2010). Various authors

have remarked on the association between the proliferations of phytoplankton and population increases of holo- and meroplanktonic larvae (Mazzocchi and Ianora, 1991; Antezana, 1999a; Hamam!e and Antezana, 1999).

The results showed a decline in zooplankton biomass progressing southward in the study area (Saint Peter and Saint Paul Archipelago for Fernando de Noronha Chain). According to the Kruskal–Wallis test, the biomass values were significantly different among areas. These differences were probably produced by the hydrographic conditions, which could boost the phytoplankton production by injecting greater amounts of nutrients within the euphotic zone. Hydrographic conditions may have been caused by topographic upwelling in this area (Neumann-Leitão, 1999).

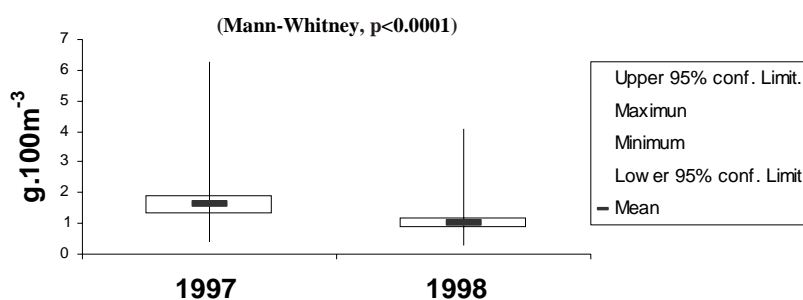


Figure 4 - Temporal variation of dry weight ($\text{g} \cdot 100\text{m}^{-3}$) for investigated periods (minimum and maximum values: vertical line; mean: horizontal bar; confidence limit: rectangle).

In general, the biomass of the area studied was very low. Boltovskoy (2005) mentions that maximum zooplankton biomass in the South Western Atlantic occurs in nerítica waters with values reaching $100 \text{ g} \cdot 100\text{m}^{-3}$ in the top 200m layer. Neumann-Leitão (1999) found in coastal and oceanic waters off North-Eastern Brazil total biomass of the zooplankton varying from $12.14 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (offshore station) to $117.14 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (inshore station)

Studies carried out in coastal and oceanic Brazilian waters have shown that the western part of the South Atlantic Ocean has levels of biomass and productivity typical of oligotrophic areas (Brandini 1990; Texeira and Gaeta 1991; Metzler *et al.* 1997). The low biomass and productivity levels in the Atlantic waters off eastern Brazil are associated with the warm and high salinity surface Tropical Waters mass of the Brazil Current (Susini-Ribeiro, 1999)

Specific composition

Six species of chaetognaths representing two genera were collected. The species found in the study area were: *Pterosagitta draco* (Krohn, 1853) (Pterosagittidae), *Sagitta enflata* Grassi, 1881, *Sagitta hexaptera* d'Orbigny, 1834, *Sagitta lyra* Krohn, 1853, *Sagitta serratodentata* Krohn, 1853, and *Sagitta helenae* Ritter-Záhony, 1910 (Sagittidae). Chaetognath abundances differed significantly across the four sampling regions (Kruskal–Wallis one-way ANOVA, $p \leq 0.001$).

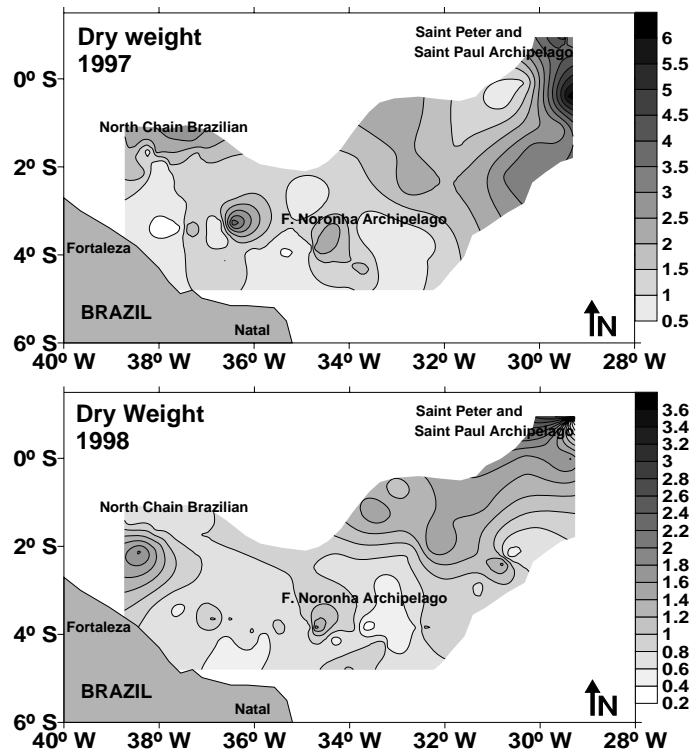


Figure 5 - Horizontal distribution of dry weight ($\text{g} \cdot 100\text{m}^{-3}$) for investigated periods.

The most abundant species was *S. enflata* representing 32.05% in 1997 and 42.18 in 1998 of the number of chaetognaths, followed by *S. serratodentata* (29.56% in 1997 and 34.22% in 1998) and *Pterosagitta draco* (16.80% in 1997 and 12.99% in 1998) (Figure 6). The rest of the species were found in small quantities. All species were captured in both periods.

The most frequent species in all studied samples was *Sagitta enflata* with 87.88% in 1997 and 95% in 1998, followed by *S. serratodentata* (77.27% in 1997 and 86.67% in 1998), *Pterosagitta draco* (68.18% in 1997 and 75% in 1998) and *S. hexaptera* (51.52% in

997 and 36.67% in 1998). Both *S. helenae* and *S. lyra* occurred in 22% of the samples during 1997 (Figure 7).

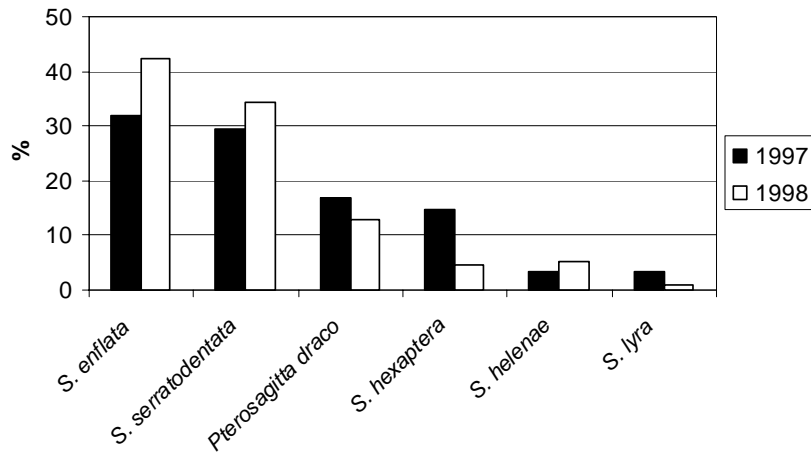


Figure 6 – Temporal relative abundance of chaetognaths species around seamounts and islands off North-Eastern Brazil.

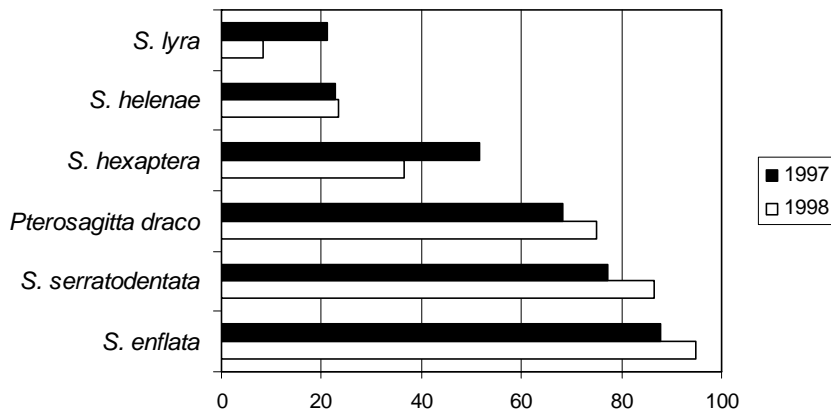


Figure 7 - Temporal occurrence frequency of chaetognaths species around seamounts and islands off North-Eastern Brazil.

The mean density of chaetognaths was larger in the areas of Fernando de Noronha Chain and Oceanic Area in 1998, and North Brazilian Chain and St. Peter and St. Paul Archipelago in 1997 (Table 1), which agrees with the reports for other latitudes (Tokioka, 1956; Alvariño, 1992; Terazaki, 1993; Palma and Rosales, 1995; Ulloa *et al.*, 2000). The results also are in agreement with Fagetti and Fischer (1964), who indicated that regardless of latitude, this group displays seasonal cycles in its abundance. This also agrees with the distribution pattern described for temperate and polar regions, where more abundant planktonic populations occur at high water temperature, with lowest abundances at low water temperature (Raymont, 1983).

The chaetognath species collected around seamounts and islands off North-Eastern Brazil were typical for tropical waters and showed little or no deviation from previous reports on studies in waters off North-Eastern Brazil (Gusmão 1986, Cavalcanti and Larrazabal 2004, Neumann-Leitão et al. 2008). Composition of the community as well, in terms of proportional abundance, was not unusual; *S. enflata* has been well studied and is frequently the numerically dominant species in lower latitudes and equatorial waters (Giesecke and Gonzalez 2004).

Table 1 - Mean density of the chaetognaths species by period and areas (ind/m³)

Periods	Areas	Species					Mesopelagic <i>S. lyra</i>
		Epipelagic					
		<i>Pterosagitta draco</i>	<i>S. helenae</i>	<i>S. enflata</i>	<i>S. serratodentata</i>	<i>S. hexaptera</i>	
1997	NBC	0,24±0,09	0,03±0,04	0,55±0,19	0,29±0,14	0,08±0,06	0,03±0,02
	FNC	0,09±0,05	0,02±0,02	0,25±0,07	0,35±0,17	0,12±0,06	-
	SPSP	0,12±0,08	0,01±0,04	0,19±0,10	0,23±0,24	0,35±0,11	0,19±0,16
	AO	0,13±0,08	0,08±0,11	0,25±0,10	0,11±0,06	0,22±0,28	0,09±0,12
1998	NBC	0,14±0,11	-	0,47±0,21	0,31±0,16	0,04±0,04	0,01±0,02
	FNC	0,13±0,05	0,09±0,05	0,60±0,25	0,51±0,18	0,08±0,04	0,02±0,02
	SPSP	0,34±0,51	0,02±0,06	0,65±0,56	0,21±0,44	0,05±0,13	-
	AO	0,16±0,07	0,02±0,02	0,78±0,44	0,45±0,29	0,03±0,05	0,01±0,02

Spatial temporal distribution

The spatial-temporal distribution of the different species of chaetognaths shows greater densities in the North Brazilian Chain and Fernando de Noronha Chain. However, greater values of zooplankton biomass (dry weigh) were found in the oceanic area and closer to the Saint Peter and Saint Paul Archipelago.

S. enflata was distributed mainly in the North Brazilian Chain in 1997 and Fernando de Noronha Chain and Oceanic area in 1998 (Figures 8 and 9). *Sagitta enflata* is an epiplanktonic, species (Alvarino, 1965; Andréu, 1992) with a wide distribution in the Indian Ocean, the Atlantic Ocean and the Pacific Ocean (Pierrot-Bults and Nair, 1991). This species is abundant in oceanic temperate and warm waters found in regions where salinities can vary frequently and markedly (Boltovskoy, 2005), has also already been recorded in Brazilian estuaries (Montú, 1980; Lira and Magalhães, 1996; Lopes, 1996). In waters of the Indian Ocean. Nair (1978) found maximum densities of chaetognaths between 0 and 125m depth, where the dominant species were *S. enflata* in epipelagic waters.

S. enflata is usually the dominant species in regions where it occurs. For example, the proportion of *S. enflata* in the total chaetognath populations was 0.54 in the northern Benguela (Duro' et al., 1994); 0.32e0.61 in the central equatorial Pacific (Terazaki, 1996); 0.64e0.77 in the western part of the Indian Ocean (Øresland, 2000) and 0.65 in the southern part of the Adriatic Sea (Batistic', 2003).

In this study, *S. enflata* was abundant where the salinity was higher. Liang and Vega-Pérez (2001) found low densities of *S. enflata* in the coastal region off Vitória, and observed that this species seemed to be limited to the areas of high salinity values (>36 PSU) found in the tropical waters of the region, since this is a semi-neritic species (Liang and Vega- Pérez, 2002).

Sagitta serratodentata was found all over the sampling area, being most abundant in the Fernando de Noronha Chain in both periods and Oceanic area in 1998, having low densities in the North Brazilian Chain. *Peterosagitta draco* had a wide spatial distribution, being captured in all study area, fluctuating between a minimum of 0.16 ind.100m⁻³ in 1997 and a maximum of 1.83 ind.100m⁻³ in 1998 (Figure 8).

Mesopelagic and oceanic specie presented the highest densities close to St. Peter and St. Paul Archipelago (i.e. *S. lyra*) (Figure 8), especially during 1997 when a topography-flow interaction was more pronounced resulting in the formation of a cold dome in surface layers. These cold dome would allow the presence of *S. lyra* in surface. *S. lyra* is a cosmopolitan species from warm and temperate waters, and its behavior is similar in the Indian Ocean, where it is dominant in mesopelagic waters even though it also occurs occasionally in surface waters (Casanova, 1999; Ulloa *et al.*, 2000; Palma and Silva, 2004). Several authors have pointed out that presence of these species in surface waters is associated to upwelling events and displacement of water masses, this observation coincides with that reported in this investigation (Fagetti, 1968, 1972; Terazaki and Miller, 1986; Terazaki, 1992, 1996).

Sagitta helenae was allocated mostly Fernando de Noronha Chain and its densities were low, except for one station recorded next to the St. Peter and St. Paul Archipelago during 1997. *Sagitta hexaptera* dominated in the North Brazilian Chain and Fernando de Noronha Chain in both periods (Figures 8 and 9).

Distribution of the chaetognaths and its relationship with the water masses

The observed distribution of the epipelagic and mesopelagic species in 1997 and 1998 showed variations in their abundances associated with different temperatures and salinities. The temperature-salinity-density diagram (T-S-D) shows this relationship (Figures 10 and 11).

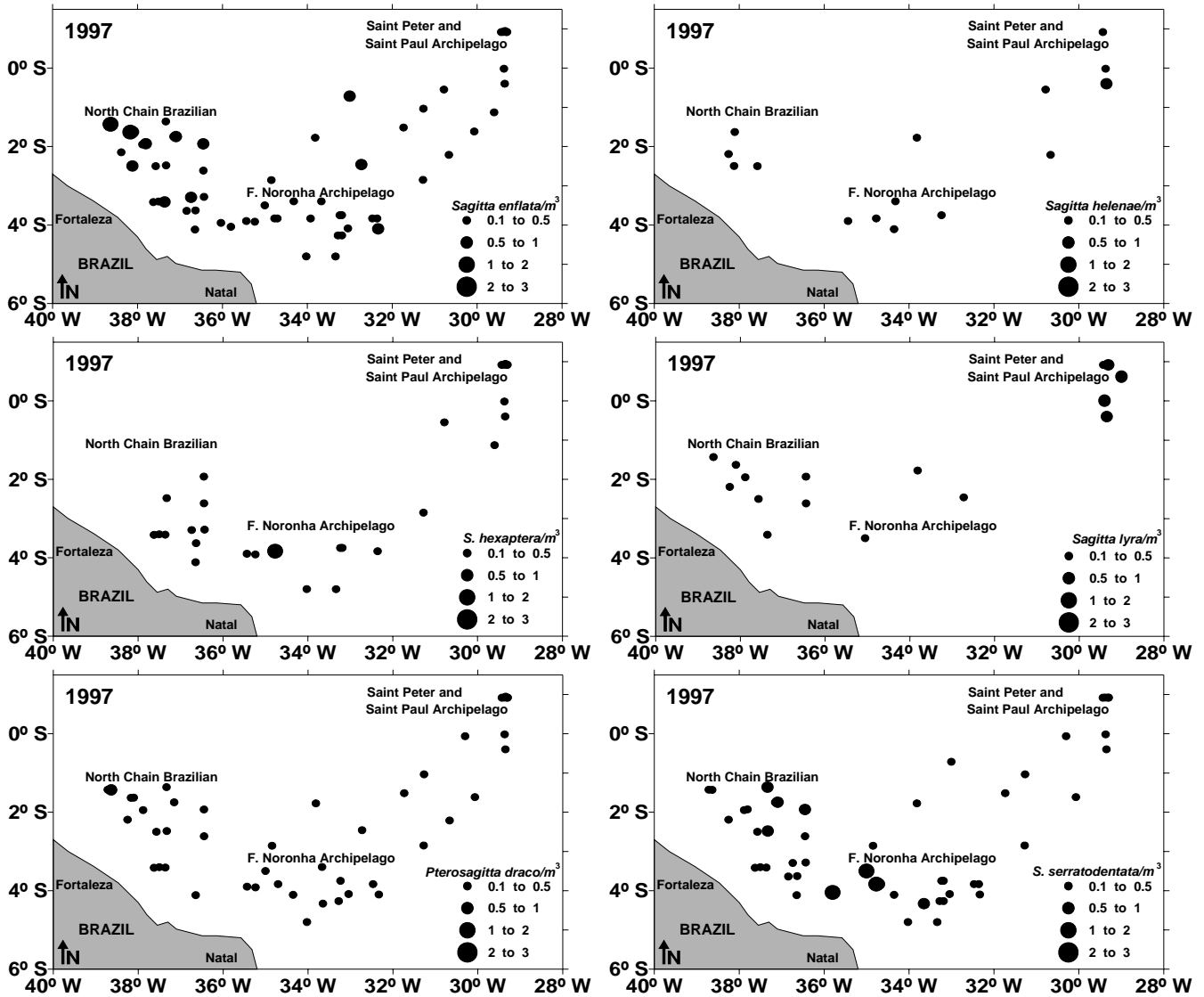


Figure 8 - Distribution and density of the chaetognath species from area around seamounts and islands off North-Eastern Brazil during 1997.

Sagitta enflata, *Pterosagitta draco* and *Sagitta hexaptera* presented their greater densities in superficial equatorial water characterized by temperature and salinity ranges oscillating between 22 and 29 °C and between 35.5 and 37.4 PSU, whereas the highest densities and frequencies were found at temperatures and salinities above 27 °C and 36

PSU respectively in both periods (Figures 10 and 11). However, in agreement with the authors who characterized it as a warm-water species (Grant, 1991; Liang and Vega-Pérez, 2001). This confirms also the epipelagic character of these species around seamounts and islands off North-Eastern Brazil (Palma and Silva, 2004; Fernandes *et al* 2005). *Sagitta serratodentata* presented also a high frequency at temperatures and salinities above 27 °C and 36 PSU respectively, however high densities were found at temperatures between 23.6 °C and 25.7 °C during 1997 (Figure 10). In 1998 high densities were found at temperatures between 22 °C and 28 °C (Figure 11). *S. serratodentata* can be defined as an indicator species of subtropical water masses, as pointed out by Dadon and Boltovskoy (1982).

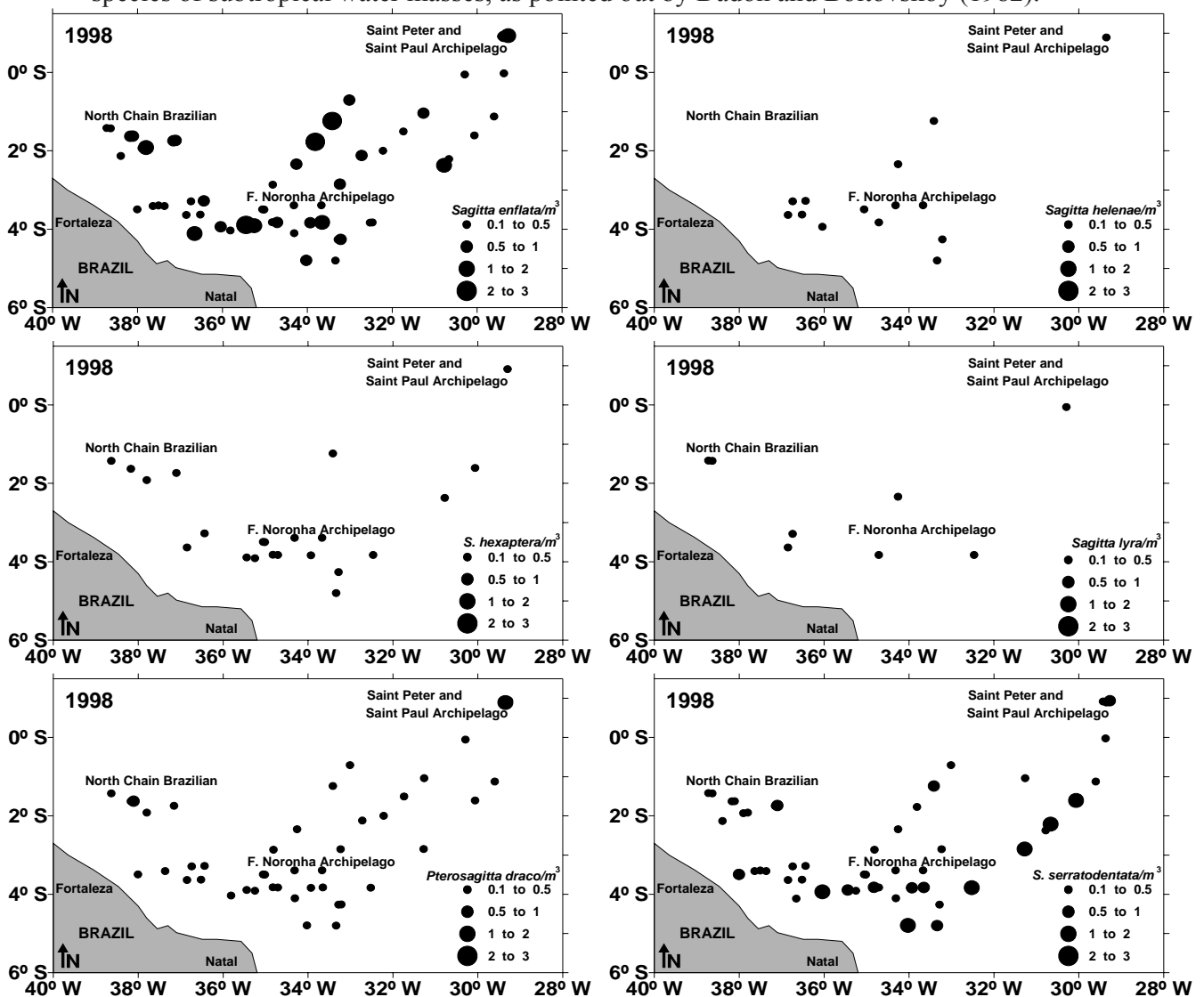


Figure 9 - Distribution and density of the chaetognath species from area around seamounts and islands off North-Eastern Brazil during 1998.

Mesopelagic species was observed, ascending to superficial waters by upwelling events during 1997 such as *S. lyra*, as also mentioned by Alvariño (1965, 1992) (Figure 10). This species was mainly associated with temperatures varying between 21.5 °C and 22.8 °C and salinity of 35.7–36.3 PSU. These results coincide with those obtained by Ulloa *et al.* (2000) off the coast of Valparaiso, Chile, where this species was located in mesopelagic waters and associated to low temperatures and high salinities characteristic of the subsurface equatorial water.

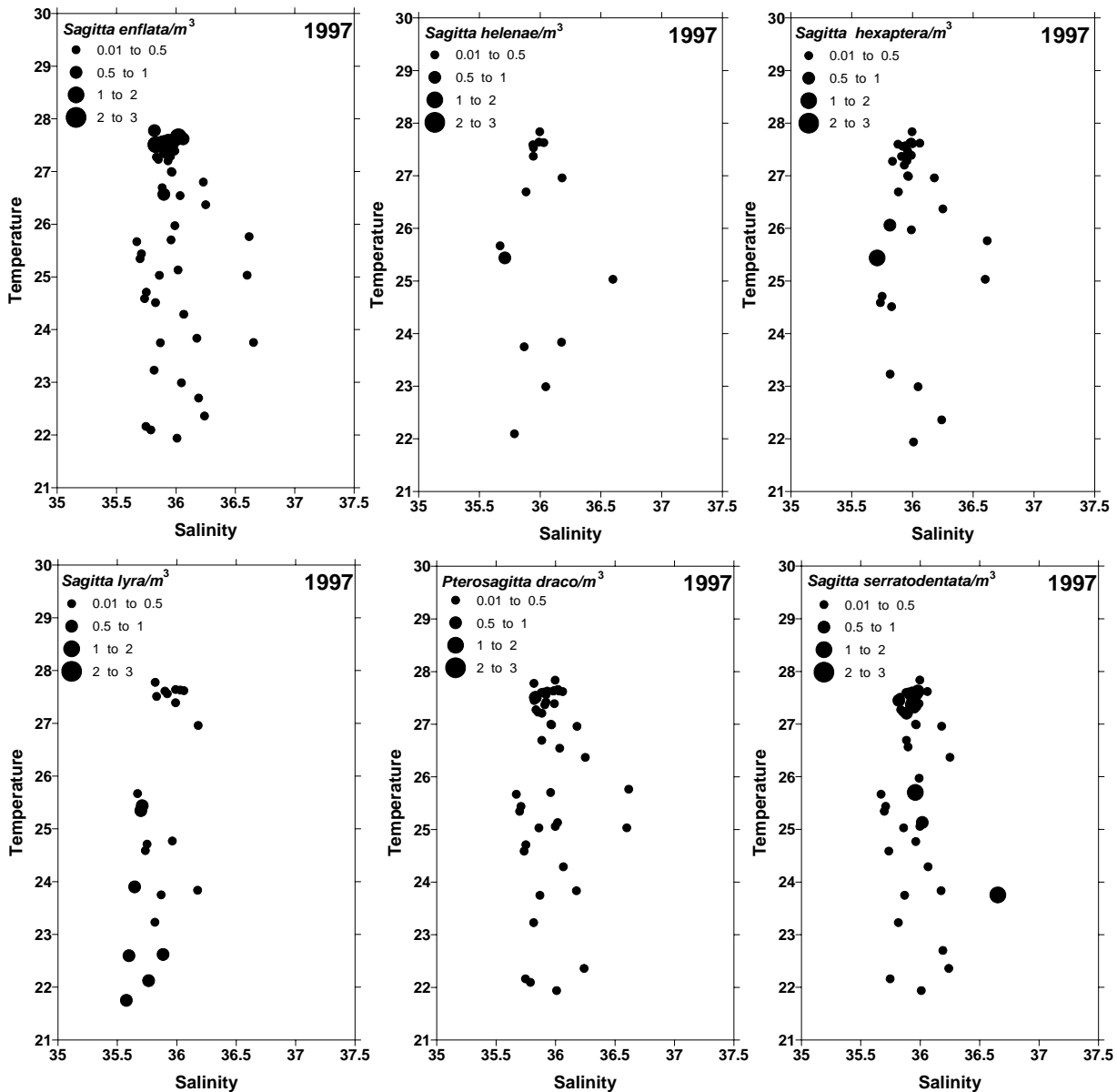


Figure 10 - Temperature-salinity-density (T-S-D) diagram of the chaetognath species from area around seamounts and islands off North-Eastern Brazil during 1997.

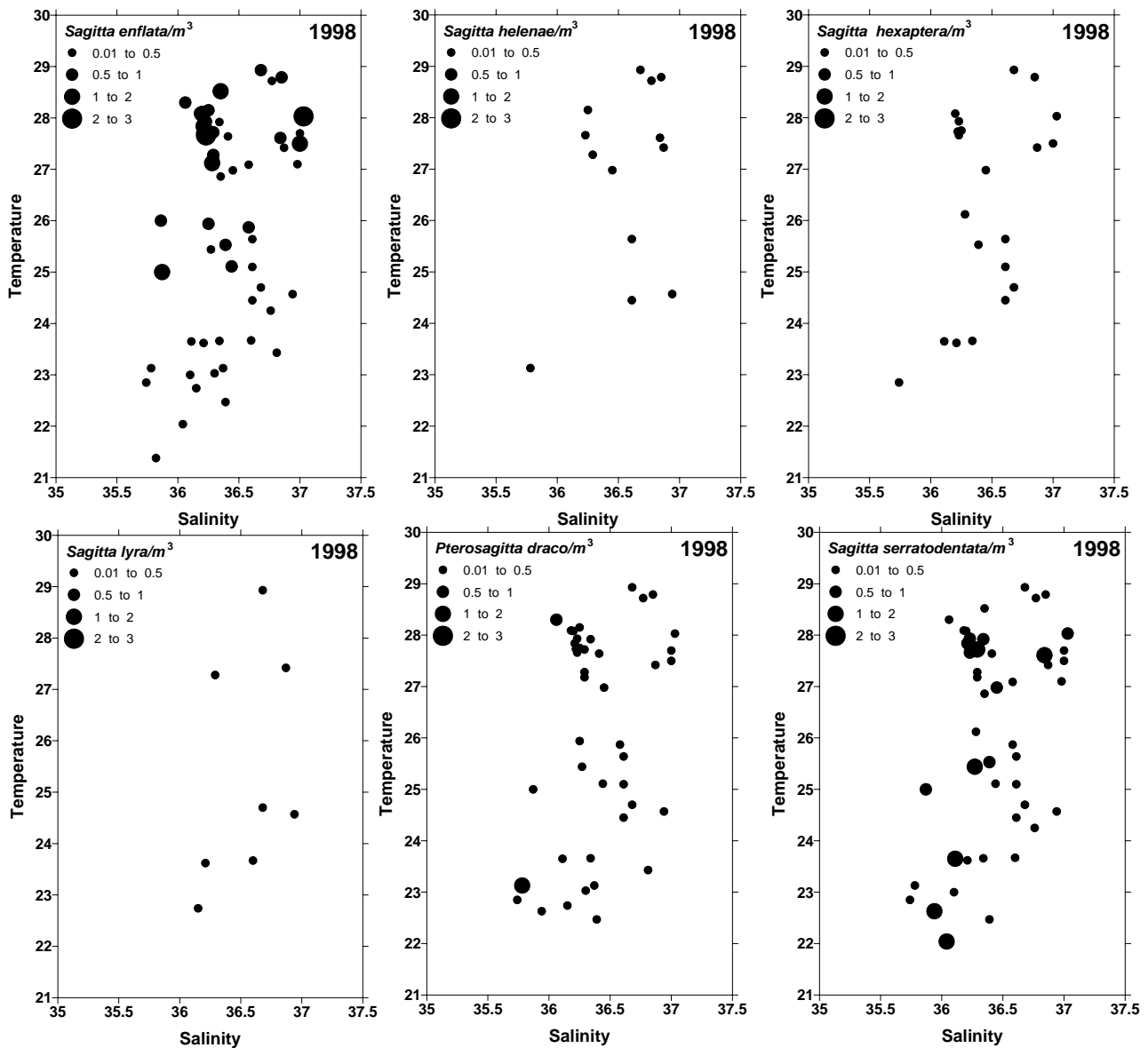


Figure 11 - Temperature-salinity-density (T-S-D) diagram of the chaetognaths species from area around seamounts and islands off North-Eastern Brazil during 1998.

Relations between the species of chaetognaths and environmental variables

The CCA used environmental information to constrain a reciprocal averaging ordination between chaetognaths and respective samples. Eigenvalues, measures of importance for CCA axes that may vary between zero and one, ranged from 0.001 for CCA 4 to 0.151 for CCA 1 (Table 2). The eigenvalues were moderately high for the first two

axes, whereas CCA axes 3 and 4 were relatively low. Species-environment correlations were high for two first axes, ranging from 0.450 for CCA 2 to 0.680 for CCA 1.

The combined sum of canonical eigenvalues (0.306) equal 32% of that for the unconstrained eigenvalues (0.970), showing the effect of building environmental relationships into the CCA model. The cumulative percentage of species variance (CPSV) accounted for by the CCA totalled 21.2% for the first four CCA axes; however, the cumulative percentage of the species-environment (CPSE) relation totalled 100% for these axes. Monte Carlo test attested the significance of the first CCA axes ($p = 0.012$) and all CCA axes ($p = 0.016$) at 95% level.

Table 2 – Result from canonical correspondence analysis (CCA)

Axes	1	2	3	4	Total Inertia
Eigenvalues:	0.151	0.045	0.010	0.001	0.970
Species-environment correlations:	0.680	0.450	0.239	0.066	
Cumulative percentage variance					
of species data:	15.5	20.1	21.2	21.2	
of species-environment relation:	73.1	94.8	99.7	100.0	
Sum of all eigenvalues:					0.970
Sum of all canonical eigenvalues:					0.306

The low weighted correlation coefficients of the environmental variables indicated that there were not collinear variables (Table 3). This result is important because multicollinear variables must be deleting from the analysis.

Table 3 – Weighted correlation matrix from CCA.

Chlorophyll a	1.0000			
Temperature	-0.0334	1.0000		
Salinity	-0.1127	-0.0430	1.0000	
Dry Weight	0.1005	-0.0120	-0.1424	1.0000
	Chlorophyll a	Temperature	Salinity	Dry Weight

The dispersion of CCA species scores resulted from linear combinations of the environmental variables. Strong environmental gradients were important correlates with abundance of in the CCA. Environmental variables correlating most strongly with CCA 1 included chlorophyll a and dry weight. Another suite of environmental variables correlated with CCA 2 and CCA 1, including water temperature and salinity (Figure 12). Thus, species with low values on CCA 2 and CCA 1 occurred mostly at high salinity and

temperature and low chlorophyll a and dry weight stations, whereas species with high values on CCA 1 occurred mostly at high chlorophyll a and dry weight stations.

To interpret ecological correlates of chaetognaths structure was examined with respect to both CCA axes and their associated environmental relationships. Distinctive patterns of dispersion in space occurred for the various ecological groups with respect to the important environmental variable.

S. enflata and *S. helenae* was negatively correlated with second CCA axes, appear mostly at high temperature and salinity stations. *S. hexaptera* and *S. lyra* was positively correlated with first CCA axes, occurred mostly at high chlorophyll a and dry weight and low salinity and temperature stations. *Pterosagitta draco*, *S. serratodentata* and *S. hexaptera* were positively correlated with second CCA axes, predominantly occurred at low chlorophyll a and dry weight stations (Figure 12).

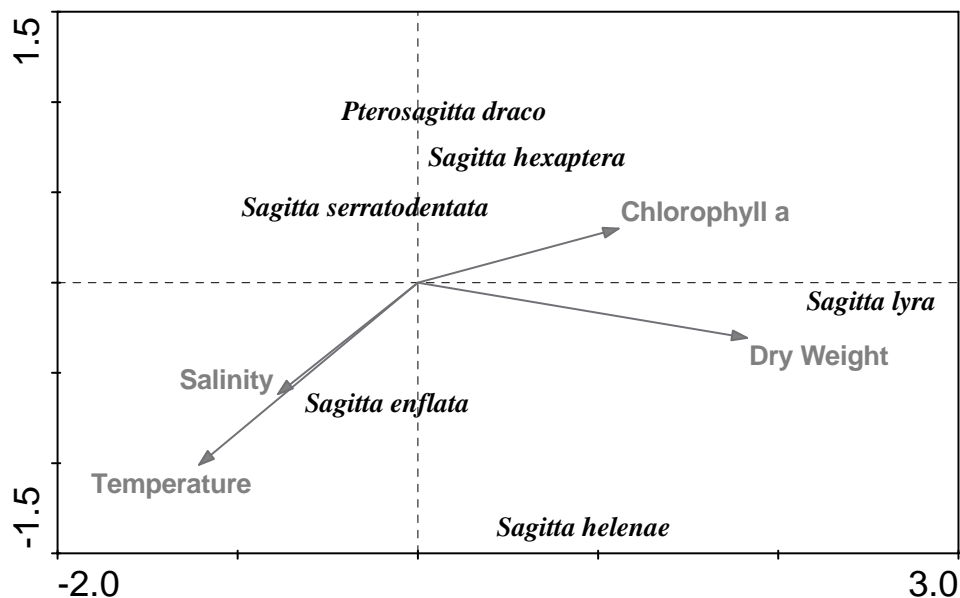


Figure 12 – Biplot of the species scores and important environmental correlation vectors in the first two canonical correspondence analysis dimensions.

The positive correlation of *S. enflata* abundante with temperature is due to the epiplanktonic character of this species (Boltovskoy 2005). In addition, Fagetti (1968) indicated that in low latitudes this species has maximum population densities at higher temperatures.

The mesopelagic specie (*sagitta lyra*) was negatively correlated with temperature and salinity and positively correlated with chlorophyll a and dry weight. This correlation can be caused by the upwelling events that appear in the 1997 period. *S. lyra* occur in mesopelagic waters with low temperatures and low concentrations of dissolved oxygen (Sund, 1964; Bierii, 1959; Fagetti, 1968). The upwelling transports these organisms to more superficial layers together with the subsurface water in which low temperature prevail. The positive correlation with chlorophyll a and dry weight reaffirms the presence of upwelling event.

The distribution of the different species of chaetognaths depends, among other factors, on the temperature and salinity of the water mass. Their highest densities are found under optimal development conditions, and decreased when approaching their distribution boundary. This fluctuation in density must be taken into account when determining the allocation range of the species (Crelieir and Daponte 2004). The distribution patterns of the species detected confirm the hydrology of the area analyzed.

4.5 - Acknowledgements

The authors express their thanks to Ministry of Environment, Direction of Hydrography and Navigation and ANTARES oceanographical ship, for support this study though program REVIZEE. This study was partly supported by CAPES (Ministry of Education, Brazil) as part of the doctoral grant.

4.6 - References

Almeida Prado, M. S. 1968. Distribution and annual occurrence of Chaetognatha off Cananéia and Santos coast. Boletim do Instituto Oceanográfico, Universidade São Paulo, São Paulo, 17(1), 33-55.

Alvariño, A. 1965. Chaetognaths. Oceanography and Marine Biology Annual Review, 3, 115–194.

Alvariño, A. 1992. Distribución batimétrica, diurna y nocturna, de diez y siete especies de ctenóforos, durante las cuatro estaciones del año 1969, en aguas de California y Baja California. *Investigaciones Marinas CICIMAR*, 7(1), 1–169.

Antezana, T. 1999. Plankton of southern Chilean fjords: trends and linkages. *Scientia Marina*, 63 (Suppl. 1), 69–80.

Andréu, P. 1992. Vertical migration of three coastal species of chaetognaths in the western Mediterranean Sea. *Scientia Marina*, 56, 367-372.

Batistic, M. 2003. Abundance, biomass, C- and N-content of *Flaccisagitta enflata* and *Mesosagitta minima* (Chaetognatha). *Marine Ecology. Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli I*, 24, 1-13.

Bieri, R. 1959. The distribution of the planktonic chaetognaths in the Pacific and their relation to the water masses. *Limnology and Oceanography*, 4(1), 1–28.

Bieri, R. 1991. Systematics of the Chaetognatha. In: Bone, Q., Knapp, H., Pierrot-Bults, A.C. (Eds.), *The Biology of Chaetognaths*. Oxford University Press, Oxford, pp. 122–136.

Boltovskoy, D. (Ed.) 2005 - Zooplankton of the South Atlantic Ocean. A taxonomic reference work with identification guides and spatial distribution patterns. DVD ROM. World Biodiversity Database Compact Disc Series. ETI Bioinformatics, Multimedia Interactive Software.

Bone, Q., Knapp, H. and Pierrot-Bults, A.C. 1991. Introduction and relationship of the group. In: Bone, Q., Knapp, H., Pierrot-Bults, A.C. (Eds.), *The Biology of Chaetognaths*. Oxford University Press, Oxford, pp. 1- 4.

Brandini, F. P. 1990. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/March 1984). *Hydrobiologia*, 196(2), 111-148.

Casanova, J.P., 1999. Chaetognatha. In: Boltovskoy, D. (Ed.), *South Atlantic Zooplankton*, Vol. 2, Backhuys Publishers, Leiden, pp. 1353–1374.

Cavalcanti, E. A. H. and Larrazabal, M. E. L. 2004. Macrozooplâncton da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil (segunda expedição oceanográfica - REVIZEE/NE II) com ênfase em Copepoda (Crustacea). *Rev. Bras. Zool.*, 21(3), 467-475.

Crelier, A. M. and Daponte, M. C. 2004. Chaetognatha of the Brazil-Malvinas (Falkland) confluence: distribution and associations. *Iheringia, Sér. Zool.*, 94(4), 403-412.

Dadon, J. R. and Boltovskoy, D. 1982. Zooplanktonic recurrent groups (Pteropoda, Euphausiacea, Chaetognatha) in the Southwestern Atlantic Ocean. *Physis*, Buenos Aires, Secc. A, 41(100), 63-83.

Duró, A., Gili, J.M. and Andreu, P. 1994. Influence of the pycnocline on the vertical migration of chaetognaths in the northern Benguela. *Journal of Plankton Research*, 16, 1149 - 1165.

Fagetti, E.G. and Fischer, W. 1964. Resultados cuantitativos del zooplancton colectado frente a la costa Chilena por la Expedición "Marchile I". *Montemar*, 11(4), 137-193.

Fagetti, E. 1968. Chaetognatos de la Expedición "Mar Chile I" con observaciones acerca del posible valor de algunas especies como indicadoras de masas de agua frente a Chile. *Revista de Biología Marina*, 13(2), 85–153.

Fagetti, E., 1972. Bathymetric distribution of Chaetognatha in the south eastern Pacific Ocean. *Marine Biology*, 17, 7-29.

Feigenbaum, D. 1982. Feeding by the chaetognath, *Sagitta elegans*, at low temperatures in Vineyard Sound, Massachusetts. *Limnol. Oceanogr.*, 27, 699–706.

Feigenbaum, D. and Maris, R.C. 1984. Feeding in the Chaetognatha. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 22, 343–392.

Fernandes, L.L., Sterza, J.M. and Neves, K.O. 2005. Seasonal Chaetognath Abundance and Distribution in a Tropical Estuary (Southeastern, Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography*, 53(1/2), 47-53.

Gibbons, M.J. 1992. Diel feeding and vertical migration of *Sagitta serratodentata* Krohn *tasmanica* Thomson (Chaetognatha) in the southern Benguela. *Journal of Plankton Research*, 14, 249-259.

Giesecke, R. and González, H.E., 2004. Reproduction and feeding of *Sagitta enflata* in the Humboldt Current system off Chile. *ICES J. Mar. Sci.*, 65, 361–370.

Grant, G.C. 1991. Chaetognatha from the central and southern Middle Atlantic Bight — species composition, temperature–salinity relationships, and interspecific associations. *Fish. Bull. U. S.* 89, 33–40.

Gusmão L. M. O. Recife, Brasil: Universidade Federal de Pernambuco; 1986. Chaetognatha planctônicos de províncias nerítica e oceânica do Nordeste do Brasil; p. 1-160. Dissertação (Mestrado).

Hamame, M. and Antezana, T. 1999. Chlorophyll and zooplankton in microbasins along the Strait of the Magellan–Beagle Channel passage. *Scientia Marina*, 63 (Suppl. 1), 35–42.

Lansac Tôha, F. A. and Lima, A. F. 1993. Ecologia do zooplâncton do Estuário do Rio Una do Prelado (São Paulo, Brasil). *Acta Limnol. Brasiliensia*, 6, 82-95.

Liang, T. H. and Vega-Pérez, L. A. 1994. Studies on chaetognaths off Ubatuba region, Brazil. Distribution and abundance. Bolm Inst. oceanogr., S Paulo, 42 (1/2), 73-84.

Liang, T. H. and Vega-Pérez, L. A. 2001. Diversity, abundance and biomass of epiplanktonic chaetognath off South Atlantic western sector, from Cabo Frio (23°S, 42°W) to São Pedro and São Paulo Rocks (01°N, 29°W). Oceanides, 16(1), 34-48.

Liang, T. H. and Vega-Pérez, L. A. 2002. Distribution, abundance and biomass of Chaetognaths off São Sebastião region, Brazil in February 1994. Rev. bras. Oceanogr., 50, 1-12.

Lira, M.C.A. and Magalhães, E.M.M. 1996. Composição do zooplâncton do Complexo Estuarino- Lagunar Mundaú/Manguaba (Alagoas-Brasil). Bolm Est. Cienc. Mar., 9, 31-45.

Lopes, R. M. 1996. Hydrography and Zooplankton Community Structure: A comparative study among estuaries of the Juréia-Itatins Ecological Station (Southeastern Brazil). Nerítica, 10, 27-40.

Mazzocchi, M.G. and Ianora, A. 1991. A faunistic study of the copepod assemblages in the Strait of Magellan. Boll. Oceanol. Teor. Appl., 9(2-3), 163-177.

Metzler, P. M., Gilbert, P. M., Gaeta, A. S. and Lublan, J. 1997. New and regenerated production in the South Atlantic off Brazil. Deep-Sea Res., 44, 363-384.

McLaren, I. A. 1963. Effects of temperature on growth of zooplankton, and the adaptive value of vertical migration. J. Fish. Res. Board Can., 20, 685-727.

Montú, M. 1980. Zooplâncton do estuário da Lagoa dos Patos. I. Estrutura e variações temporais e espaciais da comunidade. Atlântica, 4, 53-72.

Nair, V. 1978. Bathymetric distribution of chaetognaths in the Indian Ocean. *Indian Journal of Marine Biology*, 7, 276-282.

Neumann-Leitão, S., Gusmão, L.M., Silva, T. A., Nascimento-Vieira, D. A. and Silva, A.P. 1999. Mesozooplankton biomass and diversity in coastal and oceanic waters off North-eastern Brazil. *Arch. Fish. Mar. Res.*, 47(2/3), 153-165.

Neumann-Leitão, S., Sant'anna, E.M.E., Gusmão, L.M., Nascimento-Vieira, D.A., Paranaguá, M. N. and Schwamborn, R. 2008. Diversity and distribution of the mesozooplankton in the tropical Southwestern Atlantic *J. Plankton Res.*, 30(7), 795-805.

Omori, M. and Ikeda, T. 1992. *Methods in marine zooplankton ecology*. Florida, Krieger, 332 pp.

Øresland, V. 2000. Diel feeding of the chaetognath *Sagitta enflata* in the Zanzibar Channel, western Indian Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 193, 117-123.

Palma, S. and Rosales, S. 1995. Composición, abundancia y distribución estacional del macrozooplankton de la bahía de Valparaíso. *Investigaciones Marinas, Valparaíso*, 23, 49–66.

Palma, S. and Silva N. 2004. Distribution of siphonophores, chaetognaths and euphausiids and oceanographic conditions in the fjords and channels of southern Chile, *Deep- Sea Research II*, 51, 513–535.

Paranaguá, M.N. and Nascimento-Vieira, D.A. 1984. Estudo Ecológico da Região de Itamaracá, Pernambuco-Brasil. XXV. Zooplâncton do Rio Botafogo. *Trabhs. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco*, 18, 193-206.

Peterson, R. G. and Stramma, L. 1991. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean, *Progress in Oceanography*, 26, 1-73.

Pierrot-Bults, A. C. and Nair, V. R. 1991. Distribution patterns in Chaetognatha. *In*: Bone, Q., Kapp, H. and Pierrot-Bults, A. C. eds. The biology of Chaetognaths. Oxford, Oxford University, 86-116.

Raymont, J. 1983. Plankton and productivity in the oceans. Zooplankton. Pergamon Press, Oxford, 824 pp.

Richardson, P.L. and McKee, T.K. 1984. Average Seasonal Variation of the Atlantic Equatorial Currents from Historical Ship Drifts. *Journal of Physical Oceanography*, 14, 1226-1238.

Shannon, L.V. and Pillar, S.C. 1986. The Benguela ecosystem: Part III: Plankton. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 24, 65-170.

Schleyer, M.H. 1985. Chaetognaths as indicators of water masses in the Agulhas Current System. *Oceanographic Research Institute, South Africa. Investigation Report*, 61, 1–20.

Souza, C.S., Luz, J. A.G. and Mafalda Jr. P. O. 2010. Variations in the distribution of chlorophyll *a* and nutrients around seamounts and islands off North-Eastern Brazil (Lat. 0° and 6° S). *Deep-Sea Research. (Sent)*.

Sullivan, B. 1980. In situ feeding behavior of *Sagitta elegans* and *Eukrohnia hamata* (chaetognatha) in relation to the vertical distribution and abundance of prey at ocean station “P”. *Limnology and Oceanography*, 25(2), 317–326.

Sund, P. 1964. The chaetognaths of the waters of the Peru Region. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, 9, 115-188.

Strickland, J.D. and Parsons T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis, 2nd edn., *Fish. Res. Bd. Can. Bull.*, 167, 1–310.

Susini-Ribeiro, S.M.M. 1999: Biomass distribution of pico-, nano- and microplankton on the continental shelf of Abrolhos, East Brazil. *Arch.Fish.Mar.Res.*, 47(2/3), 271-284.

Ter-Braak, C.J.F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis, *Ecology*, 67, 1167–1179.

Terazaki, M. and Miller, C.B. 1986. Life history and vertical distribution of pelagic chaetognaths at ocean station P in the subarctic Pacific. *Deep-Sea Research*, 33(3), 323–337.

Terazaki, M. 1992. Horizontal and vertical distribution of chaetognaths in a Kuroshio warm-core ring. *Deep-Sea Research*, 39(Suppl.1), 231–245.

Terazaki, M. 1993. Seasonal variation and life history of the pelagic chaetognath *Sagitta elegans verrill*, in Toyama bay, southern Japan Sea. *Journal of Plankton Research*, 15(6), 703–714.

Terazaki, M. 1996. Vertical distribution of pelagic chaetognaths and feeding of *Sagitta enyata* in the Central Equatorial Pacific. *Journal of Plankton Research*, 18, 673-682.

Teixeira, C. and Gaeta, S.A. 1991: Contribution of picoplankton to primary production in estuarine, coastal and equatorial waters of Brazil. *Hydrobiologia*, 209, 117-122.

Tokioka, T. 1956. On chaetognaths and appendicularians collected by Mr. Z. Sagara in the Arafura Sea in May–August 1955. *Publication of Marine Biology Laboratory*, 5(2), 203–206.

Ulloa, R., Palma, S. and Silva, N. 2000. Bathymetric distribution of chaetognaths and their association with water masses off the coast of Valparaiso, Chile. *Deep-Sea Research I*, 47, 2009–2027.

Vega-Pérez, L. A. and Liang, T. H. 1992. Feeding of a pelagic chaetognath, *Sagitta friderici* Ritter-Záhony off Ubatuba region (São Paulo, Brazil). Bolm. Inst. oceanogr., S. Paulo, 40(1/2), 93-100.

CAPÍTULO 5

5.1 - Considerações finais

Em ambos os períodos de estudo foram identificados duas massas de água: a Água Equatorial Superficial (AES), também conhecida como Água Tropical (AT) e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS). A AES apresentou salinidade > 36 PSU e temperatura $> 20^{\circ}\text{C}$ e se localizou entre a superfície e os 200 m de profundidade. A ACAS localizou-se abaixo da AES, entre 200 e 800 m e apresentou salinidade variando entre 34,5-36,0 PSU e temperatura oscilando entre 6-20°C.

Tanto a temperatura como a salinidade revelou uma elevação das isolinhas nas águas de superfície ao longo do Arquipélago de São Pedro e São Paulo e área oceânica, durante 1997, indicando a influência topográfica deste arquipélago.

Os resultados obtidos neste estudo indicam uma variabilidade espacial e temporal nas concentrações de biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*), nas águas em torno das ilhas e bancos oceânicos do Nordeste do Brasil. Geralmente, os valores mais baixos de clorofila foram observados na Cadeia Norte Brasileira e os mais elevados na área oceânica e no Arquipélago de São Pedro e São Paulo.

De uma maneira geral os nutrientes apresentaram um relacionamento linear inverso com a temperatura e a salinidade, ou seja, as concentrações dos nutrientes foram menores na superfície e aumentam com a profundidade. Contudo, diversas estações, localizadas próximas do Arquipélago de São Pedro e São Paulo foram caracterizadas por elevadas concentrações de nitrato e de sílica na superfície e também tiveram baixa temperatura e salinidade na superfície.

As evidências sugerem uma interação fluxo-topografia sobre a estrutura termohalina e uma elevação da água profunda rica em nutrientes que penetra a parte superior da termoclina, em 1997. O domo frio observado em torno do arquipélago, nas estações 137, 139 e 134B, é o exemplo mais notável que suporta esta evidência, pois é possível que este domo represente uma coluna de Taylor. Entretanto, novas pesquisas envolvendo medidas temporais extensivas de fluxo, acima e em torno do arquipélago são necessárias para validar esta hipótese.

A estação (109) na Cadeia de Fernando de Noronha também mostrou evidências de uma interação fluxo-topografia, nos bancos oceânicos cujo topo se situada abaixo da termoclina.

Verticalmente, os valores mais elevados de clorofila *a*, em águas oceânicas, foi encontrada aos 100m profundidade, correspondendo ao nível de 1% de penetração de luz, indicando baixa disponibilidade de nutrientes, uma vez que em águas oligotróficas, a taxa de subsidência de organismos fitoplanctônicos é significativa, atingindo concentrações mais elevadas em camadas mais profundas.

Esta investigação forneceu evidências sobre o aumento no crescimento do fitoplâncton, em torno das ilhas e bancos oceânicos do Nordeste do Brasil, causada por processos de enriquecimento que se originam em águas profundas. Neste estudo encontramos evidência de ressurgência atingindo a camada de mistura na zona eufótica, onde as abundâncias mais elevadas de clorofila coincidem com as estações onde a ressurgência foi registrada por outros autores.

A distribuição da biomassa de zooplâncton (peso seco) seguiu as isotermas muito claramente, onde valores elevados de biomassa foram encontrados nas áreas onde a temperatura em 1% de luz não excedeu 23,5°C durante 1997.

Os valores de peso seco foram significativamente diferentes entre as áreas de estudo, onde os valores mais elevados foram encontrados na área oceânica e próximo do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, em ambos os períodos, especialmente nas estações suportadas por concentrações elevadas da clorofila *a*.

Os valores mais elevados provavelmente ocorreram em função de ressurgência topográfica, que poderiam impulsionar a produção do fitoplâncton injetando maiores quantidades de nutrientes dentro da zona eufótica e desta forma estimulando o desenvolvimento do zooplâncton.

Neste estudo foram capturadas seis espécies de Chaetognatha: *Pterosagitta draco* (Krohn, 1853), *Sagitta enflata* Grassi, 1881, *Sagitta hexaptera* d'Orbigny, 1834, *Sagitta lyra* Krohn, 1853, *Sagitta serratodentata* Krohn, 1853, and *Sagitta helenae* Ritter-Záhony, 1910. As abundâncias deste grupo de zooplâncton diferiram significativamente entre as quatro regiões de amostragem, mas a espécie mais abundante foi *S. enflata* seguida por *S. serratodentata* e por *Pterosagitta draco*.

As espécies de chaetognatos coletadas em torno das ilhas e bancos oceânicos foram típicas de águas Tropicais e mostraram pouco ou nenhum desvio dos estudos precedentes realizados anteriormente no Nordeste do Brasil.

A densidade média dos Chaetognatha foi maior nas áreas Oceânica e de Fernando de Noronha em 1998, e na Cadeia Norte Brasileira e Arquipélago de São Pedro e São Paulo, em 1997, concordando com estudos realizados em outras latitudes

A espécie *S.enflata*, epiplanctônica, se distribuiu principalmente na Cadeia Norte Brasileira e na Cadeia de Fernando de Noronha onde a salinidade foi mais elevada. *S.serratodentata* foi encontrada em toda a área da amostragem, sendo mais abundante em Fernando de Noronha e na área oceânica. A espécie mesopelagica *S.lyra* apresentou as densidades mais elevadas próximo do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, onde a interação fluxo-topografia foi mais pronunciada tendo como resultado a formação de um evento de ressurgência, que contribuiu para sua presença na superfície. *S.helenae* e *S.hexaptera* ocorreram principalmente na Cadeia de Fernando de Noronha, em baixas densidades.

A distribuição dos chaetognatos com relação às massas de água indicou que *Sagitta inflata*, *Pterosagitta draco* e *Sagitta hexaptera* apresentaram suas maiores densidades na Água Equatorial Superficial, porém, com maiores frequência e densidade em temperaturas e em salinidades acima 27°C e 36 UPS. *S. serratodentata* apresentou valores mais elevados de densidades em temperaturas entre 22 e 28°C, podendo ser definida como uma espécie indicadora de massas de água subtropicais. A espécie mesopelagica *S.lyra* foi observada ascendendo às águas superficiais por eventos de ressurgência.

A Análise Canônica de Correspondência (CCA), validada inferencialmente, através do Teste de Monte Carlo, comprovou estatisticamente a relação entre as diferentes espécies de chaetognatos e as condições oceanográficas.

S.enflata e *S.helenae* ocorreram principalmente em estações de elevada temperatura e salinidade, enquanto que, *S. hexaptera* ocorreu em estações de baixa salinidade e temperatura. *Pterosagitta draco*, *S.serratodentata* ocorreram predominantemente em baixas concentrações de clorofila e peso seco.

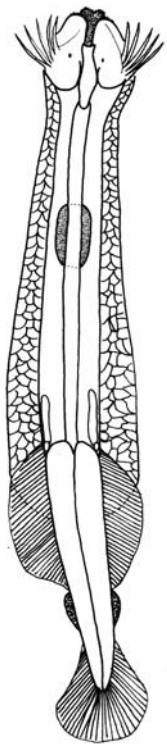
A espécie mesopelagica *S.lyra* foi correlacionado negativamente com a temperatura e a salinidade e correlacionada positivamente com a clorofila *a* e o peso seco. Esta correlação pode ser causada pelos eventos de ressurgência que ocorreram em 1997, uma vez que, a correlação positiva com clorofila *a* e peso seco reafirma a presença deste fenômeno.

Os padrões de distribuição das diferentes espécies de quetognatos confirmam a hidrologia da região de ilhas e bancos oceânicos do Nordeste do Brasil.

ANEXO

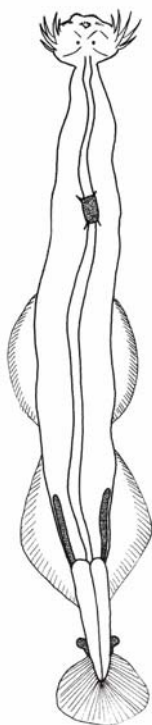
IDENTIFICAÇÃO ESPECÍFICA

Peterosagitta draco (Krohn, 1853)



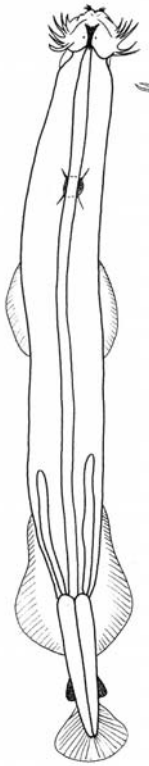
Apresenta de oito a dez ganchos não serrados e duas fileiras de dentes. O corpo é firme, robusto e opaco, apresentando um par de nadadeiras laterais no segmento caudal. As nadadeiras laterais são arredondadas e completamente raiadas. Apresenta um colarete grande e volumoso, alcançando as nadadeiras laterais, e não possui divertículos intestinais. As vesículas seminais apresentam cabeça e tronco, tocam as nadadeiras laterais e são pouco distante da nadadeira caudal. Os ovários são muito grandes, podendo alcançar o septo longitudinal anterior, e os óvulos são muito grandes e largos. Comprimento máximo do corpo: 11 mm.

Sagitta enflata (Grassi, 1881)



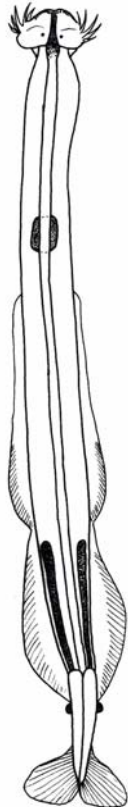
Apresenta oito a dez ganchos não serrados e duas fileiras de dentes. Seu corpo é transparente e flácido e apresenta nadadeiras laterais totalmente separadas. As nadadeiras anteriores são arredondadas, curtas, parcialmente raiadas e distantes do gânglio ventral, e as posteriores são triangulares, curtas e parcialmente raiadas. Não possui colarete ou divertículos intestinais. As vesículas seminais são redondas e tocam apenas a nadadeira caudal. Os ovários são curtos, alcançando a metade das nadadeiras posteriores, e os óvulos são pequenos. Comprimento máximo do corpo: 25 mm.

***Sagitta hexaptera* (D'Orbigny, 1843)**



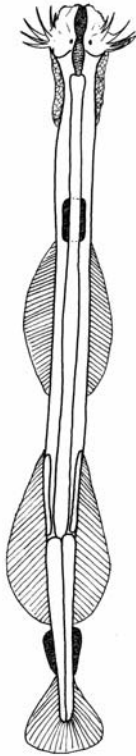
Apresenta de sete a dez ganchos não serrados e duas fileiras de dentes. Os dentes anteriores são longos, em forma de agulha. O corpo é transparente e flácido, e as nadadeiras laterais são totalmente separadas. As nadadeiras anteriores são arredondadas, curtas, parcialmente raiadas e distantes do gânglio ventral, e as posteriores triangulares, curtas e parcialmente raiadas. Não possui colarete ou divertículos intestinais. As vesículas seminais são cônicas e tocam apenas a nadadeira caudal. Tem ovários medianos, que alcançam a extremidade anterior das nadadeiras anteriores, e óvulos pequenos. Comprimento máximo do corpo: 70 mm.

***Sagitta Lyra* (Krohn, 1853)**



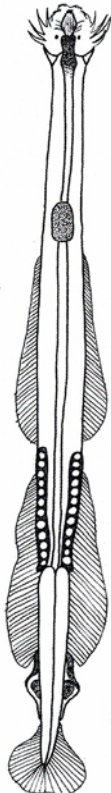
Apresenta de três a dez ganchos não serrados e duas fileiras de dentes. O corpo é transparente e as nadadeiras laterais são ligadas. As nadadeiras anteriores são grandes, arredondadas e parcialmente raiadas, e as posteriores são grandes, angulares e parcialmente raiadas. Não possui colarete ou divertículos intestinais. As vesículas seminais são cônicas, pequenas e tocam as nadadeiras posteriores. Os ovários são medianos, alcançando a porção média das nadadeiras anteriores, e os óvulos são pequenos. Comprimento máximo do corpo: 74 mm.

***Sagitta helenae* Ritter-Zahony, 1910**



Apresenta de sete a oito ganchos não serrados e duas fileiras de dentes. O corpo é firme e opaco, com nadadeiras laterais totalmente separadas. As nadadeiras anteriores e as posteriores são triangulares e totalmente raiadas. Apresenta um colarete conspicuo e espesso, e não possui divertículos intestinais. As vesículas seminais apresentam cabeça e tronco, tocam a nadadeira caudal e estão pouco distante das nadadeiras posteriores. Os ovários são medianos, alcançando a porção media das nadadeiras anteriores, e os óvulos são grandes. Comprimento máximo do corpo: 13 mm.

***Sagitta serratodentete* (Krohn, 1853)**



Apresenta de cinco a nove ganchos serrados e duas fileiras de dentes. O corpo é firme em forma de agulha, com cabeça pequena, um pescoço conspicuo e nadadeiras laterais totalmente separadas. As nadadeiras anteriores e posteriores são angulares e quase totalmente raiadas. Apresenta um colarete bem reduzido e não possui divertículos intestinais. As vesículas seminais apresentam uma cabeça bem elaborada, com duas estruturas parecidas com ganchos, e tocam a nadadeira posterior quando totalmente maduras. Os ovários são grandes, alcançando a extremidade anterior do gânglio ventral, e os óvulos também são grandes. Comprimento máximo do corpo: 13 mm.