

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ

ANA TEREZA MIRANDA SOUZA

RESPOSTA DO FITOPLÂNCTON A UM EVENTO DE RESSURGÊNCIA EM UMA  
ESTAÇÃO FIXA, NA PLATAFORMA INTERNA DE CABO FRIO - RJ.

ILHÉUS – BAHIA  
2006

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**ANA TEREZA MIRANDA SOUZA**

**RESPOSTA DO FITOPLÂNCTON A UM EVENTO DE RESSURGÊNCIA EM UMA  
ESTAÇÃO FIXA, NA PLATAFORMA INTERNA DE CABO FRIO - RJ.**

Dissertação apresentada para obtenção  
do título de Mestre em Ecologia, à  
Universidade Estadual de Santa Cruz.

Área de concentração: Sistemas  
Aquáticos Tropicais

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sylvia Maria  
Moreira Susini Ribeiro

**ILHÉUS – BAHIA  
2006**

ANA TEREZA MIRANDA SOUZA

**RESPOSTA DO FITOPLÂNCTON A UM EVENTO DE RESSURGÊNCIA EM UMA  
ESTAÇÃO FIXA, NA PLATAFORMA INTERNA DE CABO FRIO - RJ.**

Dissertação apresentada para obtenção  
do título de Mestre em Ecologia, à  
Universidade Estadual de Santa Cruz.

Área de concentração: Sistemas  
Aquáticos Tropicais

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sylvia Maria  
Moreira Susini Ribeiro

Ilhéus – BA,

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sylvia Maria Moreira Susini Ribeiro  
UESC/BA  
(Orientadora)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Gecely Rodrigues Alves Rocha.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ieda Maria Oliveira da Silveira

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, ao meu amado marido e aos meus irmãos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por cada momento vivido durante o período deste curso.

À Profª Sylvia Susini pela orientação e exemplo de ser humano acadêmico.

Ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, que gentilmente cedeu os dados das variáveis ambientais para este trabalho.

Aos meus pais, Lázaro e Clementina, e aos meus irmãos, Júnior e Lucas, que estiveram sempre comigo.

Ao meu marido, Joffre, pela doação do seu amor e pelo exemplo de dignidade e força.

Aos amigos Nadson, Leo, Dani, que estarão sempre no meu coração e na minha lembrança.

Aos amigos Erik e Júlia pelos momentos sempre descontraídos no laboratório.

A Profª Kátia Sgrillo e minha querida amiga Karla.

E a todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para realização deste trabalho: muito obrigada!

# RESPOSTA DO FITOPLÂNCTON A UM EVENTO DE RESSURGÊNCIA EM UMA ESTAÇÃO FIXA, NA PLATAFORMA INTERNA DE CABO FRIO - RJ.

Autor: Ana Tereza Miranda Souza

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Sylvia Maria Moreira Susini Ribeiro

## RESUMO

O evento de ressurgência costeira promove alterações hidrológicas que influenciam a estrutura, composição e abundância dos organismos fitoplanctônicos. As amostragens foram realizadas a cada 12 horas ao longo de oito dias em uma estação fixa, localizada em frente à Ilha de Cabo Frio. Foram obtidos dados de temperatura, salinidade, densidade, nutrientes inorgânicos dissolvidos e clorofila-*a* nas profundidades padrão, até 50 metros. As amostras para o estudo quantitativo do fitoplâncton foram coletadas em duas profundidades (acima e abaixo da termoclina). As contagens e identificações dos organismos fitoplanctônicos foram feitas em um microscópio invertido, segundo o método clássico de Utermöhl. Foi observado o afloramento da ACAS em superfície, no início de experimento, seguido do aumento gradativo da temperatura e da intrusão de uma massa de água de plataforma, provocando o relaxamento da ressurgência. A resposta do fitoplâncton às variações hidrológicas causadas pelas massas de água envolvidas apresentou duas fases. Na primeira, o total de organismos foi inferior a  $2,6 \times 10^5$  cel/L, e houve predomínio do nanoplâncton ( $< 20 \mu\text{m}$ ) formado principalmente pelos flagelados e cocolitoforídeos e pela presença de algumas diatomáceas bênticas. Na segunda, o total de organismos cresceu de 3,6 vezes, alcançando  $9,5 \times 10^5$  cel/L, tendo o microfitoplâncton ( $> 20 \mu\text{m}$ ) sido responsável por este aumento. Dois picos de biomassa foram observados: um em profundidade ( $10,9 \text{ mg m}^{-3}$ ) formado quase que exclusivamente pela diatomácea *Asterionellopsis glacialis*; e outro em superfície ( $26,7 \text{ mg m}^{-3}$ ) causado principalmente pelos dinoflagelados *Scrippsiella trochoidea* e Gymnodiniales maiores que  $20 \mu\text{m}$ . Os fatores que condicionaram estas respostas foram discutidos.

Palavras – chave: fitoplâncton, ressurgência, Cabo Frio, *Scrippsiella trochoidea* e *Asterionellopsis glacialis*.

# PHYTOPLANKTON RESPONSE TO AN UPWELLING EVENT AT A FIXED STATION, IN THE CABO FRIO INNERSHELF – RJ.

Autor: Ana Tereza Miranda Souza

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sylvia Maria Moreira Susini Ribeiro

## ABSTRACT

Coastal upwellings cause hydrological disturbances that influence the structure, composition and abundance of phytoplankton. Sampling was made every 12 hours, during eight days in a fixed station, in front of Cabo Frio Island. Data on temperature, salinity, density, dissolved inorganic nutrients and chlorophyll *a* were collected at standard depths up to 50 meters. The phytoplankton sample for quantitative studies were collected at two depths: over and under the thermocline layer. Counting and identification of phytoplanktonic organisms was made in an inverted microscope, according to Utermöhl's classic method. The first samples revealed an upwelling of ACAS in the surface, followed by a gradual increase of temperature and intrusion to water mass of shelf, causing the relaxation upwelling. The phytoplankton response to hydrological changes caused by the water mass presented two stages. The first stage was characterized by a total of organisms below  $2,6 \times 10^5$  cel/L and was dominated by nanoplankton ( $< 20 \mu\text{m}$ ), with flagellates, coccolithophorids and bentic diatoms. The second phase had organisms 3,6 times bigger than the previous stage, reaching  $9,5 \times 10^5$  cel/L, with microphytoplankton ( $> 20 \mu\text{m}$ ) as responsible for this increase. Two peaks of biomass were noticed: one, at depth ( $10,9 \text{ mg. m}^{-3}$ ) almost exclusively formed by *Asterionellopsis glacialis*; the other, in surface, primarily caused by *Scrippsiella trochoidea* and Gymnodiniales bigger than  $20 \mu\text{m}$ . The facts that conditioned these responses were discussed.

Key words: phytoplankton, upwelling, Cabo Frio, *Scrippsiella trochoidea*, *Asterionellopsis glacialis*.

## LISTA DE FIGURAS

1	Área de estudo e localização da estação fixa (E. F.).....	58
2	Perfil vertical da temperatura na estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	59
3	Perfil vertical da salinidade em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	59
4	Perfil vertical da densidade em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	59
5	Perfil vertical do nitrato em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	60
6	Perfil vertical de nitrito em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	60
7	Perfil vertical de amônio em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	60
8	Perfil vertical de fosfato em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	61
9	Perfil vertical de silicato em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	61
10	Perfil vertical de nitrogênio inorgânico dissolvido em uma estação, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	61
11	Perfil vertical da relação N:P em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	62
12	Perfil vertical da relação Si:N em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	62
13	Perfil vertical de clorofila <i>a</i> em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	62
14	Contribuição do nanoplâncton e microfitoplâncton (a) e dos diferentes grupos (b) para o total de organismos do fitoplâncton na camada acima da termoclina, em uma estação fixa em frente à Ilha de Cabo Frio. (* = coleta realizada na termoclina).....	63
15	Contribuição do nanoplâncton e microfitoplâncton (a) e dos diferentes grupos (b) para o total de organismos do fitoplâncton na camada abaixo da termoclina, em uma estação fixa em frente à Ilha de Cabo Frio.....	64
16	Distribuição do fitoplâncton total (a), nanoplâncton (b) e microfitoplâncton (c) sobre o perfil vertical da clorofila <i>a</i> , em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	64
17	Distribuição do total de diatomáceas (a) e da espécie <i>Asterionellopsis glacialis</i> (b) sobre o perfil vertical da relação Si:N em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	66
18	Distribuição do total de dinoflagelados sobre o perfil vertical da temperatura em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	66
19	Distribuição do total de dinoflagelados (a), <i>Scippsiella trochoidea</i> (b) e Gymnodiniales > 20 µm, sobre o perfil vertical da relação N:P em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).....	67

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>vii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>19</b>
3.1 Área de Estudo	19
3.2 Metodologia	20
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>22</b>
4.1 Variáveis Hidrográficas	22
4.2 Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos	24
4.3 Variáveis Biológicas	25
4.3.1 Clorofila-a	25
4.3.2 Fitoplâncton	26
<b>5. DISCUSSÃO</b>	<b>29</b>
5.1 Caracterização Hidrográfica	29
5.2 Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos	30
5.3 Variáveis Biológicas	36
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>48</b>
<b>FIGURAS</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>68</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O plâncton é constituído de organismos microscópicos que vivem na coluna de água, cujo poder de deslocamento é insuficiente para vencer o movimento das massas de água, sendo, portanto, transportados por elas (LALLI e PARSONS, 1993).

A fração do plâncton constituída por organismos autotróficos é denominada fitoplâncton. O fitoplâncton pode ser dividido três categorias em função do tamanho: picoplâncton (0,2 a 2  $\mu\text{m}$ ), nanoplâncton (2 a 20  $\mu\text{m}$ ) e micropoplâncton (20 a 200  $\mu\text{m}$ ) (SIEBURTH et al., 1991).

O fitoplâncton é um dos principais produtores primários nos ambientes aquáticos. Em termos globais, estima-se que o fitoplâncton seja responsável por 45% da produção primária anual do planeta, apesar de contabilizarem menos de 1% da biomassa fotossintética existente (FALKOWSKI et al., 2004). Entretanto, no ambiente oceânico, o fitoplâncton junto com as bactérias fotossintéticas são os principais produtores de matéria orgânica, contribuindo, com cerca de 98% da produção primária (STRICKLAND, 1965).

A taxa de reprodução dos organismos do fitoplâncton depende diretamente da taxa de fotossíntese, que é controlada principalmente pela intensidade de luz disponível nas camadas superficiais e pela concentração de nutrientes inorgânicos dissolvidos, tais como nitrato e fosfato (GHOSAL et al., 2000). A disponibilidade de luz nas camadas superficiais faz com que o fitoplâncton se concentre, principalmente, neste estrato da coluna de água. Em consequência disto, as concentrações dos nutrientes nesta camada serão baixas, devido à sua constante utilização pelo fitoplâncton.

Deste modo, a produtividade de uma determinada região dependerá, em grande parte, dos processos físicos responsáveis pelo reabastecimento de nutrientes externo à camada superficial iluminada - que poderá ocorrer através da subida de águas profundas ricas em nutrientes, pelo aporte de águas de origem continental, e em menor escala através da interface água/atmosfera – produção nova (DUGDALE e GOERING, 1967; PLATT et al., 1977; MANN e LAZIER, 1991) ou dos processos biológicos responsáveis pela reciclagem de nutrientes na própria camada eufótica, através da rede trófica local - produção regenerada (AZAM et al., 1983; GOTSCHALK e ALLDREDGE, 1989; FUHRMAN, 1992). A intensidade destes dois processos determinará o tamanho dos organismos fitoplanctônicos que formará a base da rede trófica e, conseqüentemente, a quantidade e os tipos de organismos marinhos que serão produzidos, inclusive os peixes de captura comercial (LALLI e PARSONS, 1993).

Nas regiões costeiras, níveis de biomassa mais elevados podem ser mantidos por longos períodos quando comparado a áreas oceânicas. Nestas regiões a profundidade da camada de mistura é determinada pela topografia e pela hidrografia local, portanto o reabastecimento de nutrientes para a zona eufótica requer menos gasto de energia e ocorre com maior freqüência ao longo do tempo (SMETACEK, 1988). Deste modo, cada evento de mistura, interromperá o ciclo de maturação, tornando o sistema da plataforma mais produtivo e sujeito a maiores flutuações do que o sistema oceânico. Além disso, nas regiões costeiras, o sistema bentônico contribui com o aporte de nutrientes inorgânicos e fatores de crescimento orgânicos (vitaminas e ácidos húmicos) de fundo, estágios larvares de organismos bentônicos e cistos de resistência de organismos planctônicos, fazendo com que níveis mais elevados de biomassa sejam mantidos.

Ressurgência é o nome dado para designar movimentos ascendentes das águas profundas, ricas em nutrientes, para a zona eufótica. O conceito básico das ressurgências induzidas pelo vento é descrito por Mann e Lazier (1991) como sendo decorrente dos seguintes fenômenos. O vento soprando sobre a superfície do mar induz a água a se mover na mesma direção. Entretanto, a força de Coriolis, resultante do movimento de rotação da terra, faz com que a corrente se desvie para a direita, no hemisfério norte, e para a esquerda, no hemisfério sul. Depois de algum tempo, a resultante do movimento da água superficial será de 90° da direção do vento, denominado de transporte de Ekman. Quando o transporte de Ekman é para fora da costa, a massa de água superficial é movida em direção ao largo, e é então substituída por uma massa de água profunda que ressurgente próxima à costa. Como esta massa de água é normalmente rica em nutrientes, a produção primária é estimulada.

As áreas de ressurgência costeiras são regiões de elevada produtividade biológica e têm sido bastante estudadas, principalmente, por estarem associadas a estoques de peixes economicamente importantes. As principais áreas de ressurgências costeiras estão localizadas nas margens leste dos principais oceanos, associadas às correntes da Califórnia, do Peru, das Canárias e de Benguela (MANN e LAZIER, 1991). A produção total de peixes e lulas nas áreas de ressurgência foi estimada por Cushing (1971), em mais de 26 milhões de toneladas, principalmente de sardinhas, no sistema da Corrente de Benguela na costa sudoeste da África e no sistema da Corrente das Canárias no noroeste da África; mais de 12 milhões de toneladas de anchovetas no Peru; e mais de 5 milhões de toneladas de anchovas no sistema da Corrente da Califórnia.

Existem sistemas menores de ressurgências que ocorrem esporadicamente, alguns mais estudados, como os sistemas de ressurgências de verão da Nova Scotia, no Canadá (PETRIE et al., 1987) e do Cabo Finisterre no noroeste da Espanha - Ria de Vigo, associado ao sistema de Corrente das Canárias (BLANTON et al., 1984), dentre outros.

O fenômeno da ressurgência na costa brasileira ocorre desde o sul do Cabo de São Tomé até o limite sul do Parcel de Abrolhos, porém, é na região de Cabo Frio, em frente à Ilha de Cabo Frio, que este fenômeno se apresenta com maior intensidade (VALENTIN, 1994). Mecanismos semelhantes aos descritos acima, responsáveis pelas ressurgências costeiras em geral, ocorrem também na região de Cabo Frio.

No entanto, esta região possui particularidades interessantes, como por exemplo, as fases seqüenciais em que o evento de ressurgência acontece. Segundo Moreira da Silva (1973) o evento ocorre entre a primavera-verão e o inverno.

Nesta região, três principais fatores favorecem a ressurgência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) próximo à costa: (i) a topografia do litoral (a inflexão da linha de costa em direção oeste acompanhada de uma mudança no perfil da plataforma continental – isóbata de 100 metros mais próxima da costa e a maior parte da plataforma continental entre 100 e 200 m de profundidade); (ii) a posição do núcleo da Corrente do Brasil (afastamento da Corrente do Brasil para a região ao largo, durante a primavera e verão, induzindo a subida da ACAS para o fundo da plataforma continental) e; (iii) o regime de ventos (ventos do quadrante E-NE, dominantes nos períodos da primavera e verão, empurram as águas superficiais quentes sobre a plataforma continental para a região ao largo, induzindo o afloramento da ACAS em superfície, próximo à costa) (MOREIRA DA SILVA, 1973;

RODRIGUES, 1977; VALENTIN, 1984). Este padrão comum se inverte durante a passagem de frentes frias provenientes do sul, que são mais freqüentes durante o outono e inverno, não favorecendo a ressurgência (VALENTIN et al., 1987).

As alterações hidrológicas que ocorrem em áreas sob a ação do evento de ressurgência influenciam de forma direta a composição e o processo de sucessão da assembléia fitoplanctônica (TILSTONE et al., 2000). Os organismos fitoplanctônicos respondem, rapidamente, às variações hidrodinâmicas locais, fazendo com que a composição da comunidade, a abundância relativa e a dominância das distintas espécies sofram contínuas mudanças (SMAYDA, 1980).

Margalef (1960) desenvolveu um modelo para tentar explicar a evolução da comunidade fitoplanctônica a partir de um evento inicial de fertilização e sua subsequente maturação, decorrente da estratificação vertical da coluna de água e do esgotamento de nutrientes inorgânicos dissolvidos. Segundo Margalef (1978) a energia de movimento (advecção e turbulência), denominada por ele de “energia externa” é o melhor preditor da produção primária. A modificação na composição das espécies, ou seja, a substituição de espécies de determinada forma por outras, em função das modificações físicas e químicas das massas de água, evoluiria em direção a uma maior complexidade em função da maturidade do sistema. Baseando-se em revisões da literatura, o autor sugere um padrão geral de sucessão em três estágios: o primeiro formado por pequenos organismos unicelulares de estrutura simples com elevada taxa de reprodução (geralmente diatomáceas, principalmente dos gêneros *Skeletonema*, *Nitzchia*, *Leptocylindrus* e *Chaetoceros*); o segundo estágio formado por diatomáceas de tamanho médio (caracterizado pela presença de espécies do gênero *Rhizosolenia*, *Hemiaulus*, *Guinardia*, *Detonula* e

*Bacteriastrum*); e o terceiro estágio, com maior proporção de espécies flageladas com taxa de crescimento lento (dominado pelos dinoflagelados).

Um dos primeiros estudos sobre a composição do fitoplâncton, especificamente das diatomáceas, na região de Cabo Frio, foi o de Moreira-Filho (1965), onde o autor relatou a predominância de 56 espécies neríticas sobre 26 oceânicas e 14 nerítico-oceânicas, para um total de 90 espécies de diatomáceas identificadas.

Posteriormente, o estudo ecológico e biogeográfico das diatomáceas da região de Cabo Frio, realizado por Valentin e colaboradores (1985), mostrou que o gradiente térmico vertical ou a estabilidade da massa de água afetava a composição específica e a distribuição deste grupo.

Em 1974, Macedo e Valentin descreveram as primeiras observações sobre o microplâncton na ressurgência de Cabo Frio, e mais tarde, Macedo e colaboradores (1975) complementaram este estudo. Os autores destacaram que as variações no fitoplâncton eram súbitas, algumas vezes intensas, e que o aparecimento de máximos estava sob a dependência dos fenômenos da ressurgência.

A evolução das características biológicas nas águas da ressurgência de Cabo Frio durante um fundeio de quatro dias numa estação fixa foi descrita por Valentin e colaboradores (1977), onde relataram que inicialmente, quando a isoterma de 15°C atingiu à superfície, a fração nanoplanctônica era praticamente nula. Em seguida, cresceu lentamente sob a forma de núcleos superficiais ou subsuperficiais, até atingir seu máximo em superfície após um aquecimento progressivo.

Valentin (1983, 1984) analisou os parâmetros hidrológicos e biológicos, ao longo de um ano, em uma estação fixa localizada na zona de ressurgência de Cabo Frio. As principais florações algais ocorridas entre fevereiro e abril, e um pico em junho, apresentaram picos repentinos e breves, com densidades elevadas, que não

duravam mais do que um dia, às vezes horas. Este autor conclui que os prováveis fatores responsáveis por tal variação temporal seriam: (1) rápida taxa de divisão das espécies de pequeno tamanho; (2) efeito da turbulência vertical que transporta parte da biomassa para baixo da camada eufótica; (3) pastagem de herbívoros particularmente abundantes na região de Cabo Frio; (4) divergência horizontal, devido às correntes de deriva que provocariam a dispersão das florações; (5) interrupção prematura do ciclo de desenvolvimento algal, por freqüentes intrusões de domos de água profunda nova no sistema.

A micro-repartição espaço-temporal do plâncton numa estação fixa na região de ressurgência, foi descrita por Valentin e colaboradores (1986), durante um período de 7 dias. Durante o período de ressurgência, o fitoplâncton apresentou alta diversidade (entre 3,0 e 4,0 bits/cel). À medida que a temperatura se elevava as primeiras florações e o máximo de fitoplâncton ( $10^5$  cels/L) aconteceram na ocasião em que a coluna de água apresentava uma nítida estratificação térmica (19°C em superfície e 14°C a 30 metros). No final do período, reiniciou-se o processo de ressurgência e a população fitoplanctônica retornou ao estágio pobre inicial, formado por espécies de origem bentônica. Em um outro estudo para analisar as sucessões fitoplanctônicas no ecossistema de Cabo Frio, Valentin e colaboradores (1991) sugeriram o padrão de sucessão para a região.

Baseando-se nos dados acumulados ao longo de mais de 10 anos de estudo na região, Valentin (1988) e Gonzalez-Rodriguez et al. (1992) analisaram a dinâmica do plâncton, a biomassa e a produção primária em função dos processos de ressurgência e subsidência. Valentin (op cit.) concluiu que as variações qualitativas do fitoplâncton e do zooplâncton, no espaço e no tempo, revelaram uma estrutura complexa devido à interação de vários fatores; e que o sistema

planctônico manteve-se num estágio evolutivo avançado, com picos de biomassa primária e secundária simultâneos, elevada diversidade específica e baixa biomassa algal. Finalmente, os autores sugeriram, baseados em dados obtidos a partir de simulações, que a hipótese mais provável para a baixa biomassa primária observada, seria devido à atuação preponderante dos fatores físicos (advecção lateral) e o forrageio do zooplâncton. Os autores ressaltaram também os elevados níveis de biomassa secundária observados na região durante todo o ano, e especularam que, durante o inverno, a ressuspensão de sedimentos do fundo deve ser a principal fonte de material orgânico, assegurando energia suficiente para manter os elevados níveis de biomassa secundária observados.

No trabalho realizado por Gonzalez-Rodriguez e colaboradores (1992), os fenômenos da ressurgência e subsidência e os impactos destes eventos sobre a biomassa fitoplanctônica, em termos de clorofila-a e a produção primária foram descritos. Três fases seqüenciais foram identificadas: (i) a fase de ressurgência, quando a água profunda atinge a superfície, a biomassa fitoplanctônica é reduzida (valores  $< 1 \text{ mg Clor-a m}^{-3}$ ); (ii) a fase produtiva, quando ocorre um aquecimento superficial acompanhado de um acréscimo na biomassa e na produção primária (variando, respectivamente, de  $0,5$  a  $6 \text{ mg m}^{-3}$  e de  $2$  a  $14 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ ); e (iii) a fase de inversão do regime de ventos (S-SW) favorecendo a subsidência e conduzindo a uma situação de oligotrofia (o máximo de clorofila alcançado foi de  $2,84 \text{ mg m}^{-3}$  e de produção primária,  $3 \text{ mg C h}^{-1}$ ).

Estudos de fertilidade da água ressurgida em Cabo Frio foram realizados por Yoneshigue-Braga et al. (1979) e por González-Rodriguez et al. (1992), os quais constataram teores de sais nutritivos inferiores aos encontrados nas demais regiões de ressurgência e apontaram a falta de substâncias quelantes, necessárias para

absorção dos metais, como o principal fator limitante para o fitoplâncton. Saldanha (1993) realizou bioensaios para avaliar o potencial químico e biológico da ACAS, utilizando as populações fitoplanctônicas naturais da região, como organismos teste. A autora relata que a ACAS quando misturada à água costeira e sob condições adequadas de luz e temperatura induz significativos aumentos de biomassa, e conclui que a simples exposição da massa de água da ACAS a condições de luz e temperatura mais elevadas, é suficiente para promover o crescimento da sua população autóctone.

Gonzalez-Rodriguez (1994) examinou curvas de saturação de luz, usando o fitoplâncton das águas costeiras de Cabo Frio, e as relacionou com as alterações das variáveis ambientais como temperatura, salinidade, nutrientes e feopigmentos, em quatro locais selecionados de acordo com a intensidade de ressurgência. As estações sujeitas à descontinuidade nos regimes físicos, ou seja, que sofreram constantemente interrupções, apresentaram produtividades mais elevadas.

Moser e Ganesella-Galvão (1997) estudaram a distribuição espacial da biomassa fitoplanctônica, em termos de clorofila *a*, relacionando-a a estrutura oceanográfica em Cabo Frio, durante ressurgências no verão e no inverno. No verão, ocorreu uma floração em superfície, próxima ao continente, com máximo de clorofila-*a* de 25,5 mg m<sup>-3</sup>, desacoplado da ACAS, que se encontrava abaixo de 40 metros de profundidade. No inverno, apesar de altos níveis de nitrato em superfície (até 7,7 µM), a clorofila-*a* apresentou valores menores do que 2 mg m<sup>-3</sup>.

Este trabalho é parte integrante do projeto DEPROAS - “Dinâmica do Ecossistema de Plataforma da Região Oeste do Atlântico Sul”, desenvolvido em parceria entre o IOUSP, INPE e UESC, patrocinado pelo Programa de Núcleos de Excelência – PRONEX (MCT, CNPq, FINEP) que tem como objetivo principal

estudar os mecanismos físicos que controlam a intrusão sazonal da Água Central do Atlântico Sul sobre a plataforma continental sudeste e o impacto deste fenômeno físico sobre os processos biológicos do ecossistema da região.

O monitoramento das alterações ocorridas em uma estação fixa ao longo de oito dias consecutivos durante o processo de afloramento da ACAS é importante não só para compreender a ação que o fenômeno da ressurgência exerce sobre a assembléia fitoplanctônica local, como também as conseqüências da estabilização ou da subsidência desta massa de água sobre os organismos do fitoplâncton.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 - Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho foi estudar a resposta do fitoplâncton aos eventos da ressurgência, estabilização e/ou subsidência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) em uma estação fixa, localizada em frente à Ilha de Cabo Frio, Rio de Janeiro.

### **2.2 - Objetivos Específicos**

- (i) Identificar e quantificar os organismos do fitoplâncton presentes na massa de água acima e abaixo da termoclina, em função do tempo;
- (ii) Correlacionar as diferentes massas de água com a estrutura e composição da comunidade fitoplanctônica.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo

A escolha do ponto em frente à Ilha de Cabo Frio (mais especificamente, na plataforma continental à sudoeste da Ilha, na quebra da isóbata de 50 metros) para localização da estação fixa foi baseada em diversos trabalhos realizados nesta região, que demonstraram ser este o local onde a ressurgência se manifesta com maior frequência e intensidade (MOREIRA da SILVA, 1968; VALENTIN, 1985) (Figura 1).

Neste ponto, o litoral do Brasil sofre uma inflexão para oeste, acompanhado de mudanças importantes no perfil da plataforma continental (a isóbata de 100 metros está mais próxima da costa e a maior parte da plataforma continental está situada entre 100 - 200 metros de profundidade). Esta conjunção singular de fatores geomorfológicos e climatológicos e hidrográficos facilita o afloramento da ACAS quando sob ação dos ventos do quadrante E-NE (VALENTIN, 1985).

A região de Cabo Frio está sob influência de três massas de água: Água Costeira (AC) formada pela mistura da água de origem continental com as águas de plataforma, localizada próximo à costa, e caracterizada pela baixa salinidade ( $T > 20^{\circ}\text{C}$  e  $S < 35,4$ ) (AIDAR et al., 1993); Água Tropical da Corrente do Brasil (AT) ocupando a camada superficial, sendo transportada para o sul sobre o talude continental, e caracterizada por ser quente e salina ( $T > 20^{\circ}\text{C}$  e  $S > 36$ ) (MASCARENHAS et al., 1971; MIRANDA e KATSURAGAWA, 1991); e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), localizada abaixo da Corrente do Brasil (CB) e caracterizada por apresentar temperatura mais fria e salinidade intermediária ( $12^{\circ} < T$

$< 18^{\circ}\text{C}$  e  $35 < S < 36$ ) (MASCARENHAS et al., 1971; MIRANDA e KATSURAGAWA, 1991). Mascarenhas et al. (op cit.) caracterizaram outro tipo de massa de água profunda resultante da mistura entre a ACAS e as águas da CB, denominada de Água Tropical de Plataforma (ATP), com temperatura entre  $17$  e  $19^{\circ}\text{C}$  e a salinidade entre  $35,9$  e  $36,3$ . Estes índices termohalinos podem apresentar pequenas variações segundo os autores. Por exemplo, Castro Filho et al. (1987) considera os seguintes índices para estas mesmas massas de água: Água Costeira ( $T = 24^{\circ}\text{C}$ ;  $S = 34,9$ ); Água Tropical ( $T = 24^{\circ}\text{C}$ ;  $S = 37$ ) e Água Central do Atlântico Sul ( $T = 13^{\circ}\text{C}$ ;  $S = 35,4$ ).

As condições hidrológicas são diretamente influenciadas pelos regimes de ventos, que determinam a repartição das três massas de água na região de Cabo Frio. Sob a influência de um vento nordeste, as águas superficiais se deslocam para o oceano aberto e são substituídas por uma água profunda cuja origem está a aproximadamente 300 metros. A passagem de frentes frias vindas do sul inverte este movimento da massa de água profunda e promove a subsidência (VALENTIN, 1987).

### **3.2 Metodologia**

O cruzeiro “Série Temporal” foi realizado entre 10 e 20 de fevereiro de 2003, a bordo do Navio Oceanográfico Prof. W. Besnard, que permaneceu ancorado em uma estação fixa (Método Euleriano) localizada em frente à Ilha de Cabo Frio, cuja profundidade máxima local foi de aproximadamente 60 metros.

Durante o período de fundeio do navio, entre os dias 12 e 19 de fevereiro, foram efetuadas amostragens da coluna de água a cada 12 horas, exceto nos dois

últimos dias (18 e 19) onde foram realizadas três amostragens por dia. Um conjunto CTD-garrafas de Niskin em sistema tipo rosette foi utilizado para obtenção dos dados de temperatura, salinidade e densidade da água e para a coleta de água visando análise dos nutrientes inorgânicos e clorofila-*a*. As amostragens foram feitas nas profundidades padrão (superfície, 5, 10, 20, 30, 40 e 50 metros) para a análise de nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, silicato reativo e ortofosfato) e clorofila-*a*.

Os valores de temperatura, salinidade e densidade da água (anomalia de densidade - sigma-t) foram calculados com os programas do próprio fabricante - modelo micro-CTD (MCTD), marca Falmouth Inc. Os métodos utilizados para análise espectrofotométrica dos nutrientes foram: nitrito (GRASSHOFF et al., 1983), nitrato (STRICKLAND e PARSONS, 1972), nitrogênio amoniacal (SOLÓRZANO, 1969), silicato reativo (KOROLEFF, 1983a) e ortofosfato (KOROLEFF, 1983b). A extração da clorofila-*a* foi realizada segundo a técnica de Parsons e Strickland (1963) e as leituras foram realizadas em um espectrofotômetro Hitachi modelo U1100. As análises químicas foram realizadas no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo e os resultados cedidos para inferências no estudo do fitoplâncton. A partir das formas nitrogenadas foi calculado o nitrogênio inorgânico dissolvido (NID = nitrito + nitrato + nitrogênio amoniacal), as razões N:P (determinada a partir dos valores de NID e de fosfato em cada amostra) e Si:N (determinada a partir dos valores de silicato e do NID em cada amostra).

As amostras para o estudo do fitoplâncton foram coletadas em dois níveis na coluna de água (acima e abaixo da termoclina) ou, excepcionalmente, em três níveis (acima, abaixo e na camada da termoclina) utilizando garrafas de Niskin de 15 litros. Destas garrafas, foram retiradas alíquotas de cerca de 150 ml para o estudo

quantitativo do fitoplâncton. Estas foram fixadas com formol neutralizado (hexametileno-tetramina) a 0,4% de concentração final. As contagens e identificações dos organismos fitoplanctônicos foram feitas em um microscópio invertido marca Zeiss, AXIOVERT 40CFL, com epifluorescência e contraste de fase, segundo o método clássico de Utermöhl (1958). Em função da concentração nas amostras, as amostras foram sedimentadas e contadas em câmaras de 5 ou 10 cc, coradas com Rosa de Bengala. Os organismos nanoplanctônicos (<20  $\mu\text{m}$ ) foram contados em 4 transectos diametrais com um aumento de 400 vezes e os do microfitoplâncton (> 20 $\mu\text{m}$ ), com aumento de 200 vezes, em meia cuba ou todo o fundo da cuba. Foram contadas de 100 a 400 organismos, o que corresponde a um erro entre 20 e 10% (LUND et al., 1958). Durante a contagem dos organismos, foram considerados os seguintes grupos: Flagelados, Dinoflagelados, Diatomáceas e Cocolitoforídeos. Os Flagelados foram contados por faixas de tamanho (< 5  $\mu\text{m}$ , de 5,0 a 7,5  $\mu\text{m}$ , 7,5 a 10  $\mu\text{m}$  e > 10  $\mu\text{m}$ ). O total de organismos do fitoplâncton foi dividido em duas faixas de tamanho: os organismos menores que 20  $\mu\text{m}$  (nanoplanctônicos) e aqueles maiores que 20  $\mu\text{m}$  (microplanctônicos).

A identificação dos organismos fitoplanctônicos foi realizada utilizando a bibliografia especializada, destacando-se os seguintes trabalhos: CUPP, 1943; HASLE e TOMAS, 1996; BALECH, 1988.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Variáveis Hidrográficas**

A temperatura máxima registrada durante a série temporal foi de 20,2 °C, em superfície, no dia 19 de fevereiro e a mínima de 13,3°C em profundidade, nos dias 12 e 13 de fevereiro; a média foi de 14,9°C para toda a coluna de água. Em virtude da estratificação térmica observada na coluna de água, foram consideradas as variações e a média para as camadas de água acima e abaixo da termoclina: variou de 18,4°C a 14,9°C, com média de 16,1°C, acima da termoclina, e de 14,4°C a 13,3°C, com média de 13,8°C, abaixo da termoclina. A estrutura vertical da temperatura (Figura 2) mostra que uma massa de água com 15°C atingiu a superfície nas primeiras 24 horas do experimento. A partir do segundo dia, observa-se uma termoclina bem marcada em torno de 10 a 30 metros, ou em função do dia (maior concentração das isotermas entre estas profundidades). Os períodos de maior relaxamento da termoclina (maior mistura) correspondem, em termos de tempo do experimento, ao período compreendido entre 132 e 168 horas.

Os valores de salinidade variaram entre 35,19 e 35,55, com média de 35,35 para todo o período de estudo. A salinidade média da camada de água acima da termoclina variou de 35,52 a 35,32 (média de 35,40) e da camada abaixo da termoclina, de 35,36 a 35,24 (média de 35,30). Observando-se a estrutura vertical da salinidade (Figura 3) percebe-se um padrão semelhante ao verificado para a temperatura, com valores mais baixos em profundidade nos primeiros dias do experimento e valores mais elevados em superfície e no final do experimento.

A densidade da água expressa na forma de anomalia de densidade - sigma-t ( $\sigma_t$ ) variou de 26,5 a 25,1 Kg m<sup>-3</sup> (média de 26,3 Kg m<sup>-3</sup>). As isopicnais resultantes da estrutura termohalina revelam um gradiente de densidade coincidindo com a termoclina (Figura 4), com densidades mais elevadas 26,5 Kg m<sup>-3</sup> ocupando a

camada profunda de 20 a 60 metros, do dia 12 até o dia 15, e valores mais baixos em superfície.

#### 4.2 Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos

O nitrato ( $0,00 < \text{NO}_3^- < 2,10 \mu\text{M}$ ) apresentou distribuição bastante variada com núcleos de maior e menor concentração distribuídos na coluna de água, com uma tendência a valores mais baixos do dia 17 em diante (Figura 5).

As concentrações mais elevadas de nitrito ( $0,00 < \text{NO}_2^- < 0,13 \mu\text{M}$ ) foram observadas ao longo da coluna de água de 10 metros de profundidade até o fundo, nos dois primeiros dias de coleta; e os mais baixos, em superfície, a partir do dia 16 de fevereiro (Figura 6).

A distribuição do nitrogênio amoniacal ( $0,00 < \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ < 0,83 \mu\text{M}$ ) não mostrou nenhuma tendência perceptível (Figura 7). Foram observados dois núcleos de concentrações mais elevadas: um, em superfície, no primeiro dia de coleta e outro, em profundidade, no dia 18 de fevereiro. Os núcleos de valores mais baixos foram observados em profundidades variáveis.

A distribuição vertical das concentrações de fosfato ( $0,10 < \text{PO}_4^{-3} < 1,25 \mu\text{M}$ ) foi bastante variada, com valores mais elevados em níveis intermediários da coluna de água (Figura 8). Em média, as concentrações de fosfato foram um pouco mais elevadas na camada abaixo da termoclina ( $0,84 \mu\text{M}$ ) do que na camada superficial ( $0,58 \mu\text{M}$ ).

As concentrações de silicato variaram de  $3,11$  a  $11,80 \mu\text{M}$  (média de  $7,72 \mu\text{M}$ ). De maneira geral, as concentrações de silicato em profundidade foram superiores (média de  $8,97 \mu\text{M}$ ) às de superfície (média de  $6,49 \mu\text{M}$ ). A distribuição

vertical mostra valores mais elevados em profundidade nos primeiros e nos últimos dias do experimento, e valores mais baixos, em toda a coluna de água, no dia 16 de fevereiro, e nos dias 18 e 19, em superfície (Figura 9).

O total das formas inorgânicas nitrogenadas ( $0,14 < \text{NIT} < 2,73 \mu\text{M}$ ), de maneira geral, apresentou valores superiores a  $1 \mu\text{M}$ , até o dia 16 de fevereiro, com dois núcleos de valores mais baixos. Do dia 17 em diante, de modo geral, há uma menor disponibilidade de formas nitrogenadas (Figura 10).

Os valores mais elevados da razão N:P ( $0,13 < \text{N:P} < 13,76$  – média 2,57) foram observados na camada superficial, até 20 metros de profundidade, do dia 16 ao dia 19 de fevereiro (Figura 11). Os núcleos de valores mais baixos desta relação correspondem aos núcleos de maiores disponibilidades de fosfato (comparar Figuras 11 e 8). Em média, os valores da razão N:P foram mais elevados na camada acima da termoclina (3,32) do que na camada abaixo desta (1,84).

Os núcleos mais elevados da razão Si:N ( $1,97 < \text{Si:N} < 62,09$  – média 9,25) foram observados a partir do dia 17 em diferentes profundidades e no início do experimento, no fundo e a vinte metros de profundidade (dia 13/02) (Figura 12). Os valores mais baixos ao longo de toda a coluna de água foram observados no dia 16/02. Esta razão apresentou valores médios mais elevados na camada abaixo da termoclina (11,76) do que na camada acima da termoclina (6,33).

### **4.3 Variáveis Biológicas**

#### **4.3.1 Clorofila-a**

Os valores de clorofila-a variaram de 0,14 a 26,7 mg m<sup>-3</sup> (média de 2,68 mg m<sup>-3</sup>). Os menores teores de clorofila-a ocorreram nas primeiras 96 horas do experimento (dia 12 ao 15/02) com valores mais baixos nas camadas de fundo. A partir do dia 15 há um aumento na concentração de clorofila, alcançando os valores mais elevados no dia 17, entre 30 e 60 metros de profundidade, e no dia 18 de fevereiro, em superfície (Figura 13).

#### 4.3.2 Fitoplâncton

O total de organismos do fitoplâncton variou de  $2,50 \times 10^5$  a  $9,50 \times 10^5$  org/L (média de  $2,73 \times 10^5$  org/L) para o período de experimento. O grupo taxonômico mais representado foi o dos dinoflagelados com uma contribuição média, para todo o período de estudo, de  $1,00 \times 10^5$  org/L - variando de  $1,00 \times 10^2$  a  $7,33 \times 10^5$  org/L, seguido pelos flagelados (média de  $8,37 \times 10^4$  org/L – variando de  $1,13 \times 10^4$  a  $3,00 \times 10^5$  org/L), diatomáceas (média de  $7,90 \times 10^4$  org/L – com máximo de  $6,72 \times 10^5$  org/L) e cocolitoforídeos (média de  $9,53 \times 10^3$  org/L – com máximo de  $2,45 \times 10^4$  org/L) (Apêndices A e B).

Considerando os organismos do fitoplâncton por classes de tamanho, os organismos nanoplanctônicos (< 20 µm) variaram de  $1,13 \times 10^4$  a  $3,15 \times 10^5$  org/L (média de  $9,53 \times 10^4$  org/L) e os microfitoplanctônicos (> 20 µm) de  $2,00 \times 10^2$  a  $7,94 \times 10^5$  org/L (média de  $1,78 \times 10^5$  org/L). A contribuição do nanoplâncton para o total do fitoplâncton variou de 8 a 99%, enquanto a do microfitoplâncton de 1 a 92%. Em média, o nanoplâncton foi responsável por 35% e o microfitoplâncton por 65% do total de organismos.

Ao longo do tempo, o fitoplâncton apresentou duas fases distintas que podem ser observadas tanto na camada superficial (Figura 14a) como na camada profunda (Figura 15a). A primeira fase (dia 12 ao 15/02), que corresponde às primeiras 96 horas do experimento, na qual os totais de organismos fitoplanctônicos foram sempre inferiores a 260 mil organismos por litro, é caracterizada pelo predomínio dos organismos menores que 20  $\mu\text{m}$  (variação de 86 a 99% - contribuição média de 95% do total). A segunda fase, (dia 16 ao 19/02) que corresponde ao período de 102 horas até o final do experimento, é caracterizada pelo aumento de cerca de 3,6 vezes no total de organismos, alcançando um valor máximo em torno de 950 mil organismos por litro, e uma maior contribuição da fração microfitoplanctônica (variação de 43 a 92% - contribuição média de 73% do total).

A fração nanoplanctônica foi praticamente dominada pelos flagelados enquanto os cocolitoforídeos e os dinoflagelados menores que 20  $\mu\text{m}$  apresentaram uma contribuição bastante reduzida (Figuras 14b e 15b). Os flagelados mais abundantes e freqüentes (100% das amostras) foram aqueles menores que 5  $\mu\text{m}$  (média de  $6,14 \times 10^4$  org/L – variando de  $9,44 \times 10^3$  a  $2,75 \times 10^5$  org/L), seguido pelos flagelados de 5 a 7  $\mu\text{m}$  (média de  $1,95 \times 10^4$  org/L – com máximo de  $1,06 \times 10^5$  org/L), pela fração entre 7,5 a 10  $\mu\text{m}$  (média de  $2,54 \times 10^3$  org/L – com máximo de  $1,32 \times 10^4$  org/L) e, finalmente, pela fração de 10 a 12,50  $\mu\text{m}$  (média de  $1,35 \times 10^2$  org/L – com máximo de  $3,78 \times 10^3$  org/L). Dentre os cocolitoforídeos, a fração de tamanho mais abundante e mais freqüente (71% das amostras) foi a das cocosferas entre 5 e 7,5  $\mu\text{m}$  de diâmetro (média de  $6,23 \times 10^3$  org/L – com máximo de  $2,45 \times 10^4$  org/L), seguidas pelas de 7,5 a 10  $\mu\text{m}$  (média de  $3,17 \times 10^3$  org/L – com máximo de  $1,89 \times 10^4$  org/L) e depois, pelas entre 10 e 12,5  $\mu\text{m}$  de diâmetro (média de  $1,35 \times 10^2$  org/L – com máximo de  $2,83 \times 10^3$  org/L). Dentre os dinoflagelados, os

organismos nanoplanctônicos pertencentes à ordem Gymnodiniales estiveram presente em 36% das amostras (média de  $2,11 \times 10^3$  org/L e máximo de  $3,59 \times 10^4$  org/L).

O microfitoplâncton foi formado praticamente pelas diatomáceas e pelos dinoflagelados. De maneira geral, houve uma maior contribuição dos dinoflagelados na camada superficial (Figura 14b) e das diatomáceas na camada abaixo da termoclina (Figura 15b).

Os taxa de diatomáceas mais abundantes e mais freqüentes foram *Asterionellopsis glacialis* (média de  $6,50 \times 10^4$  org/L e máximo de  $6,64 \times 10^5$  org/L) presente em 52% das amostras, seguida de *Chaetoceros* spp (média de  $8,26 \times 10^3$  org/L e máximo de  $7,10 \times 10^4$  org/L) freqüente em 31% das amostras, *Thalassiosira cf subtilis* (média de  $2,86 \times 10^3$  org/L e máximo de  $4,72 \times 10^4$  org/L) com ocorrência em 52% e *Nitzschiella* spp (média de  $1,79 \times 10^2$  org/L e máximo de  $1,60 \times 10^3$  org/L) com freqüência de 29%.

Quanto aos dinoflagelados, a espécie mais abundante foi *Scrippsiella trochoidea* (média de  $7,58 \times 10^4$  org/L e máximo de  $6,56 \times 10^5$  org/L) freqüente em 64% das amostras, seguida dos Gymnodiniales  $>20 \mu\text{m}$  (média de  $2,06 \times 10^4$  org/L e máximo de  $2,42 \times 10^5$  org/L) representados em 81% das amostras, *Ceratium furca* (média de  $3,57 \times 10^2$  org/L e máximo de  $3,20 \times 10^3$  org/L) presente em 38% das amostras e *Prorocentrum gracile* (média de  $3,31 \times 10^2$  org/L e máximo de  $1,60 \times 10^3$  org/L) com freqüência de 17%.

Dentre os taxa encontrados *Scrippsiella trochoidea*, Gymnodiniales maiores que  $20\mu\text{m}$ , *Ceratium furca*, *Prorocentrum gracile*, o gênero *Protoperdinium*, *Chaetoceos* spp, diatomáceas cêntricas não identificadas, *Guinardia flaccida*, *Thalassiosira rotula*, ocorreram predominantemente (ou exclusivamente) em

superfície. Enquanto as espécies *Asterionellopsis glacialis*, *Thalassiosira cf. subtilis*, *Diploneis* spp, *Navicula* spp, *Paralia sulcata* e o gênero *Pleurosigma* foram encontrados preferencialmente nas amostras de profundidade.

Durante a primeira fase do experimento, no qual a comunidade fitoplanctônica foi dominada pelos flagelados nanoplanctônicos, as poucas espécies de diatomáceas presentes eram típicas de águas frias e profundas tais como *Diploneis* spp, *Navicula* spp, *Paralia sulcata* e o gênero *Pleurosigma*. Na segunda fase, caracterizada pela explosão do microfitoplâncton, observa-se o predomínio de dinoflagelados em superfície (principalmente *Scrippsiella trochoidea* e Gymnodiniales maiores que 20  $\mu\text{m}$ ) e de diatomáceas em profundidade (*Asterionellopsis glacialis* e *Thalassiosira cf. subtilis*).

## **5. DISCUSSÃO**

### **5.1 Caracterização Hidrográfica**

As variações temporais das assembléias fitoplanctônicas são determinadas em grande parte pelas mudanças hidrológicas e climáticas da região. Na região de Cabo Frio, a biomassa fitoplanctônica apresenta grande variação no tempo, estreitamente ligada à sucessão das fases de ressurgência e subsidência da ACAS (VALENTIN, 1988).

Os perfis verticais da temperatura, salinidade e densidade (sigma-t) mostram a presença da ACAS no fundo da plataforma interna durante todo o experimento (Figs. 2, 3 e 4). Nas primeiras 24 horas do experimento, há uma intrusão da ACAS (a isoterma de 16°C que atinge a superfície – Fig. 2), caracterizando uma ressurgência

costeira. A utilização da isoterma de 15°C em superfície para caracterizar a ressurgência da ACAS tem sido sugerida por vários autores (VALENTIN, 1994; MACEDO e VALENTIN, 1974).

A partir do segundo dia, a camada superficial acima de 10 metros de profundidade começa a sofrer um ligeiro aquecimento originando uma termoclina bastante marcada. Miranda e Katsuragawa (1991) indicaram claramente a presença da ACAS, no fundo da plataforma, com uma variação de temperatura de 14 a 16°C, entre Cabo Frio e Ilha de São Sebastião. Matsuura (1986) registrou a presença da ACAS com temperatura inferior a 14°C, no fundo da plataforma, e até 18°C em superfície próximo à costa nesta mesma região, durante a primavera e o verão, e atribui a formação da termoclina ao aquecimento da água de superfície.

Na segunda metade do experimento, percebe-se um relaxamento da ressurgência e o aumento da mistura da ACAS com a camada de água superficial que se encontrava sobre a plataforma interna. A salinidade e a temperatura mais elevadas observadas na camada superficial na fase final do experimento sugere a maior influência da AT na camada de mistura superficial nos últimos dias; o que explicaria a salinidade mais elevada em superfície do que na da camada de fundo, ocupada pela ACAS.

## **5.2. Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos**

Não podemos compreender os efeitos biológicos de uma ressurgência sem considerar a distribuição vertical dos nutrientes, um dos principais fatores que condicionam a sua produção. O fitoplâncton para se desenvolver satisfatoriamente

deverá encontrar concentrações suficientes de nutrientes dissolvidos no meio marinho, caso contrário seu crescimento poderá ser limitado (BOUGIS, 1974).

O nitrogênio existe na água do mar sob as formas minerais de amônio, nitrito e nitrato; sendo o nitrato e o amônio as formas dominantes em condições naturais. Estas três formas podem ser absorvidas pelo fitoplâncton. Entretanto, de maneira geral, quando tanto o nitrato quanto o amônio estão disponíveis, é a forma de amônio que é primeiramente absorvida – por requerer menos energia para utilização pela célula (STRICKLAND et al., 1969).

O clássico experimento de Von Brand et al. (1939) mostra que se o amônio não for absorvido pelo fitoplâncton, ele será oxidado a nitrito e depois, a nitrato pelas bactérias nitrificantes. Esta oxidação se dá abaixo da zona eufótica e, a partir de certa profundidade, todo o nitrogênio mineral deverá estar sob a forma de nitrato – as formas de amônio e nitrito serão praticamente nulas nas águas profundas (BOUGIS, 1974).

As concentrações de nitrato registradas para todo o período do experimento foram bastante baixas; mesmo durante a fase de ressurgência da ACAS, não ultrapassou 2  $\mu\text{M}$ , em toda a coluna de água. Valentin (1994) relata que as águas profundas com temperatura menores de 18°C que ascendem à superfície apresentam teores de nitrato superiores a 10  $\mu\text{M}$ . Em fevereiro de 1973 e 1974, o mesmo autor registrou valores de nitrato superiores a 15  $\mu\text{M}$  em águas frias que ressurgiram (VALENTIN, 1984). Gonzalez-Rodriguez et al. (1992), durante uma estação fixa em frente a praia de Maçambaba, na zona de ressurgência de Cabo Frio, registraram concentrações de nitrato superiores a 17  $\mu\text{M}$ , em uma massa de água com temperaturas entre 12 e 14°C, indicando a ressurgência da ACAS. Já em

1975, o valor máximo de nitrato registrado na camada de água fria que aflorou em superfície foi de 9,1  $\mu\text{M}$  (VALENTIN et al., 1986).

Estes trabalhos registram valores para nitrato bem superiores aos encontrados neste estudo. Os baixos valores de nitrato, observados na massa de água fria durante o evento de ressurgência no presente estudo, sugerem que a ACAS poderia estar presente sobre a plataforma interna, antes do início das amostragens e, conseqüentemente, parte do nitrato já teria sido assimilada pelo fitoplâncton na zona eufótica. Da mesma maneira, os núcleos com valores baixos de nitrato ( $<1\mu\text{M}$ ), provavelmente, indicam a depleção deste nutriente associada a sua utilização pelo fitoplâncton.

De maneira geral, as concentrações de nitrito e amônio observadas parecem ter sido resultantes das modificações decorrentes dos processos biológicos impostos à distribuição física destes elementos na coluna de água. Concentrações bastante variadas de amônio durante todo o experimento sugerem sua utilização pelo fitoplâncton. O amônio se torna a principal fonte de nitrogênio, quando a concentração de nitrato é baixa, isto ocorre tanto em regiões oligotróficas como em áreas produtivas (VEDERNIKOV, 1975). Os valores pouco mais elevados de nitrito em toda a coluna de água no início do experimento (durante a ressurgência), seguido de uma diminuição e distribuição altamente variada até o final do experimento, também sugerem respostas biológicas decorrente da entrada de nutriente pela ACAS.

Valentin (1984) e Valentin et al. (1987) relataram que apesar do nitrito sempre apresentar baixas concentrações, os valores mais elevados foram somente observados durante o período de ressurgência. E que nos dias subseqüentes, a concentração de nitrito decrescia provavelmente devido a uma taxa elevada de

oxidação a nitrato, à utilização pelo fitoplâncton, ou devido ao efeito de diluição, decorrente do movimento desta massa de água ao alcançar a superfície. Os mesmos autores constataram também a acumulação deste nutriente coincidindo com a profundidade da termoclina (isoterma de 18°C) e sugeriram que os máximos encontrados estariam associados à abundância dos organismos planctônicos.

As concentrações de fosfato observadas neste trabalho (valores superiores a 0,5  $\mu\text{M}$  em toda a coluna de água, exceto na camada superficial a partir segunda metade do experimento – Fig. 8) estão de acordo com os valores descritos para este nutriente por Valentin (1984) e Valentin et al. (1987), onde concentrações de fosfato entre 0,5 e 1,0  $\mu\text{M}$  para a massa de água da ACAS (abaixo da termoclina) e inferiores a 0,3  $\mu\text{M}$  para a camada de água acima da termoclina, foram observados. Os valores inferiores a 0,3  $\mu\text{M}$  têm sido associados aos períodos de subsidência ou à assimilação deste nutriente pelas células fitoplanctônicas (VALENTIN, 1983, VALENTIN, 1984; VALENTIN et al., 1987).

A distribuição do silicato apresentando concentrações mais elevadas no fundo, associadas à presença da ACAS (Fig. 9) estão de acordo com os descritos por Valentin (1984) para o mesmo local, no qual a maior parte dos valores flutuou entre 5 e 10  $\mu\text{M}$ , e valores esporádicos superiores a 15  $\mu\text{M}$  foram observados em profundidade. De maneira geral, observa-se uma correlação inversa entre os silicatos e a temperatura, exceto quando há um aporte de silicato através de águas continentais, o que seria evidenciado pela diminuição da salinidade em superfície (VALENTIN, 1984).

No início de uma ressurgência, as águas que afloram apresentam características químicas (concentração de nutrientes) bem definidas em função, principalmente, da profundidade da água que ressurge, da velocidade vertical

ascendente e descendente, e do tempo de residência da água de ressurgência na camada fotossintética (JACQUES e TRÉGUER, 1986). Segundo os mesmos autores, ao longo do tempo, estas características evoluem em função das atividades biológicas (reciclagem dos elementos minerais através da excreção, mineralização bacteriana e dissolução) modificando as concentrações dos diferentes nutrientes.

Em uma massa de água recém ressurgida, seria esperado encontrarmos elevadas concentrações de nitrato e concentrações quase nulas de nitrito e amônio (BOUGIS, 1974), entretanto os valores observados tanto para nitrato (baixos), nitrito (relativamente elevados no momento da ressurgência) e amônio (relativamente elevados na primeira fase do experimento) sugerem que: (1) provavelmente esta massa de água que ascendeu no início do experimento já possuía certo tempo de residência no fundo da plataforma continental (sofrendo ressurgência e subsidência, em função do vento dominante); ou ainda (2) que esta massa de água ressurgiu de uma profundidade intermediária na coluna de água. Em ambos os casos, as baixas concentrações de nutrientes observadas poderiam ser explicadas pela intensidade dos processos biológicos ocorridos.

Os nutrientes inorgânicos dissolvidos no ecossistema são controlados não somente pelos fenômenos físicos mas também pelas atividades biológicas e os principais elementos afetados nestes processos são: (1) carbono, nitrogênio e fósforo que compõem os tecidos orgânicos; (2) o cálcio e o silício, sob a forma de carbonatos e silício, que formam as carapaças dos organismos planctônicos (JACQUES & TRÉGUER, 1986).

Redfield (1934) foi o primeiro a demonstrar que a relação de reposição ou remoção dos nutrientes, principalmente do nitrato e fosfato da água do mar, era estatisticamente igual àquela da composição elementar do plâncton. Desde então,

vários autores têm discutido os limites de variações destas relações e propostos vários índices. Considerando a concentração dos sais nos tecidos orgânicos temos as relações molares médias de O / C / N / P variando de -276/ 106 / 16 / 1 (REDFIELD et al., 1963) à -270 / 106 / 15 / 1 (GOLDMAN, 1980).

Observando-se o nitrogênio inorgânico dissolvido (somatória das formas nitrato, nitrito e amônio - Fig. 10) percebemos que este apresentou a mesma tendência geral do nitrato (Fig. 5), mostrando que esta forma foi a que mais contribuiu para o total das formas nitrogenadas consideradas.

O perfil vertical encontrado para relação N:P (Fig. 11) reforça a idéia de que o nitrogênio é um dos fatores limitantes na região, onde valores desta relação variaram de 0:1 a 4:1, em quase toda a coluna de água. Somente na segunda fase do experimento, em superfície, que a relação N:P apresentou valores mais elevados, variando de 6:1 a 12:1 (mais próximo de 16:1 - relação de Redfield ou 15:1 - relação de Goldman); o que possivelmente, contribuiu para o aumento de células do microfitoplâncton (Dinoflagelados) observado nesta camada.

Banase (1974) discute a relação de Redfield e tenta demonstrar que esta é resultante de um equilíbrio entre os processos de assimilação e regeneração, e que não há nenhuma razão para que estes dois processos estejam em equilíbrio e, conseqüentemente, a relação N:P não reflete a composição elementar da matéria orgânica.

Howarth (1988) discute a questão da limitação dos nutrientes na produção primária em estuários e outros ambientes marinhos e enfatiza os diferentes significados do termo limitação de nutrientes. Segundo este autor, trabalhos recentes indicam que muitas vezes relações N:P anômalas, variando de 1:1 a 10:1 são comuns mesmo quando a produtividade primária é máxima.

Convém ressaltar que na relação apresentada, somente as formas inorgânicas nitrogenadas foram consideradas, e muitas vezes, grande parte do nitrogênio encontra-se sob a forma orgânica dissolvida. Braga (1989) estudando as formas nitrogenadas na Enseada das Palmas (litoral norte de São Paulo) conclui que 90% do total de nitrogênio dissolvido estava sob a forma de nitrogênio orgânico, representando, portanto, uma fonte refratária de nitrogênio.

A relação Si:N tem sido bastante utilizada principalmente na região Antártica e em algumas regiões de ressurgência nas quais anomalias nesta relação têm sido verificadas (JACQUES e MINAS, 1981; LÊ CORRE e MINAS, 1983; JACQUES e TRÉGUER, 1986). Valores desta relação para o Oceano Atlântico variam de 1-2:1 para águas profundas do Atlântico Norte (IVANOFF, 1975) a 1:1 (RICHARDS, 1958).

Observando-se o perfil vertical da relação Si:N (Fig. 12) percebemos que somente no período do dia 14 ao 16, houve uma queda acentuada nesta relação. No restante do experimento, há um excesso de Si em relação às formas nitrogenadas em toda a coluna de água. Convém ressaltar que o máximo de diatomáceas coincide com as áreas de valores mínimos desta relação, sugerindo a utilização do silício mineral dissolvido.

### **5.3. Variáveis Biológicas**

A utilização da medida de clorofila-a como uma estimativa da biomassa fitoplanctônica tem sido bastante utilizada desde o aperfeiçoamento do método por Richards & Thompson (1952). Entretanto, tem sido sugerida a utilização deste método em conjunto com a contagem das células fitoplanctônicas pelo método clássico de Utermöhl (1958), uma vez que a quantidade de clorofila sintetizada pela

célula varia em função da intensidade luminosa, da disponibilidade de nitrogênio, do estado fisiológico da célula e do grupo ou espécie de organismos fitoplanctônicos presentes. Portanto, nada melhor que a visualização dos organismos ao microscópio para tentar explicar as variações observadas na clorofila.

As baixas concentrações de clorofila-a (valores  $< 1 \text{ mg m}^{-3}$ ) observadas nos quatro primeiros dias que se seguem a ressurgência da ACAS em superfície (Fig. 13) estão de acordo com o padrão de resposta fitoplanctônica descrita como a “fase de ressurgência” por Gonzalez-Rodriguez et al. (1992), para esta mesma região. Estes autores observaram os fenômenos da ressurgência e subsidência e os impactos destes eventos sobre a biomassa fitoplanctônica, em termos de clorofila-a e sobre a produção primária. Três fases seqüenciais foram identificadas: (i) a fase de ressurgência, quando a água profunda atinge a superfície, a biomassa fitoplanctônica é reduzida (valores  $< 1 \text{ mg m}^{-3}$ ); (ii) a fase produtiva, quando ocorre um aquecimento superficial acompanhado de um acréscimo na biomassa e na produção primária (variando, respectivamente, de 0,5 a 6  $\text{mg m}^{-3}$  e de 2 a 14  $\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ ); e (iii) a fase de inversão do regime de ventos (S-SW) favorecendo a subsidência e conduzindo a uma situação de oligotrofia (o máximo de clorofila alcançado foi de 2,84  $\text{mg m}^{-3}$  e de produção primária, 3  $\text{mg C h}^{-1}$ ).

As baixas concentrações de clorofila-a observadas durante a “fase de ressurgência”, ou seja, durante as primeiras 96 horas do experimento, correspondem em termos de número de organismos, a um total de células inferior a 260 mil organismos por litro. Neste período, fitoplâncton foi formado predominantemente (95% do total) por organismos menores que 20  $\mu\text{M}$ , principalmente flagelados, cocolitoforídeos e dinoflagelados. As raras diatomáceas do microplâncton presentes

eram típicas de águas frias e profundas tais como *Diploneis* spp, *Navicula* spp, *Paralia sulcata* e o gênero *Pleurosigma*.

Padrão semelhante foi descrito por Valentin et al. (1977) durante um fundeio de quatro dias em uma estação fixa, após a subida da ACAS em superfície. Segundo os autores, o fitoplâncton era quantitativamente muito pobre e dominado por espécies bênticas, como por exemplo, *Diploneis bombus*, *Paralia sulcata*, *Raphoneis surirella*, *Coscinodiscus excentricus*, *Thalassionema nitzschioides* dentre outras, que provavelmente teriam sido ressuspensas do fundo devido à entrada da ACAS sobre a plataforma interna.

Valentin (1984) sugere duas possíveis causas para a reduzida densidade de células fitoplanctônicas observadas em Cabo Frio: (1) a presença de uma água tropical quente; (2) a presença de um afloramento recente de água profunda, onde a comunidade poderia ser reduzida a centenas de células por litro. Este último parece ter sido o motivo da baixa densidade de células encontradas na primeira fase deste experimento.

A defasagem no tempo da resposta do fitoplâncton à entrada de nutrientes tem sido demonstrada e discutida por diversos autores. Barber et al. (1971) relatam que a população fitoplanctônica necessita de certo tempo para assimilar os nutrientes e crescer. Harris (1980) considera que um lapso de tempo da ordem de alguns dias seria uma razoável descrição da defasagem entre as mudanças ambientais e as respostas fisiológicas das algas. Platt et al. (1977) sugerem que na natureza, águas recém ressurgidas só poderão sustentar elevada produtividade quando tiverem sido diluídas até 100 vezes, e o tempo estimado para que isto ocorra seria de aproximadamente de 7 a 10 dias.

Saldanha (1993) realizou bioensaios para avaliar o potencial químico e biológico da ACAS, utilizando as populações fitoplanctônicas naturais da região, como organismos teste. A autora relata que a ACAS, quando misturada à água costeira e sob condições adequadas de luz e temperatura, induz significativos aumentos de biomassa e conclui, que a simples exposição da massa de água da ACAS a condições de luz e temperatura mais elevadas é suficiente para promover o crescimento da sua população autóctone.

A fase produtiva iniciou-se a partir do quarto dia, sendo o microfitoplâncton a fração de tamanho que respondeu ao aumento de nutrientes no meio, apresentando um pico de biomassa ( $10,9 \text{ mg m}^{-3}$ ) a 40 metros de profundidade, formado principalmente por diatomáceas, no dia 17/2 e outro em superfície ( $26,7 \text{ mg m}^{-3}$ ) no dia 19/02, causado por dinoflagelados. Em termos do número de organismos, o fitoplâncton aumentou de 3,6 vezes o total de indivíduos observados na primeira fase. A figura 16 evidencia a nítida correlação entre o aumento da biomassa clorofiliana e do total de organismos do fitoplâncton, e mostra claramente a resposta do microfitoplâncton ao aumento dos nutrientes, tanto em termos de clorofila-a como do número de células.

Com relação às frações nano e microfitoplanctônicas, a maior estabilidade do nanoplâncton quando comparada à grande variabilidade do microfitoplâncton, no tempo e no espaço, parece relacionada diretamente a concentração de nutrientes e à intensidade dos movimentos verticais (Fig. 16). As taxas de assimilação do nanoplâncton são duas ou mais vezes maiores do que as do microfitoplâncton, portanto em condições de ressurgência, o nanoplâncton deve ser limitado principalmente pela remoção seletiva do forrageio, quando comparado ao microfitoplâncton (MALONE, 1971).

A turbulência no ambiente aquático tem um papel decisivo na determinação das populações fitoplanctônicas. Em regiões mesotróficas e eutróficas, com a região de Cabo Frio, freqüentemente sob a influência enriquecedora da ACAS, o excesso de nutrientes no meio faz com que as células de tamanho maiores do microfitoplâncton sejam favorecidas na competição com as menores. A disponibilidade de nutrientes e sua manutenção na zona eufótica são amplamente dependentes dos movimentos ciclônicos. A natureza altamente dinâmica desta região, faz com que estas células sejam oportunistas, capazes de crescer e multiplicar rapidamente, somente quando as condições temporárias de concentrações de nutrientes, disponibilidade de luz e turbulência adequadas são alcançadas.

As concentrações de clorofila encontradas nesta fase foram bastante elevadas se comparadas aos valores observados por Gonzalez-Rodriguez et al. (1992) para a fase produtiva, na qual biomassas de clorofila-a da ordem de 0,5 a 6 mg m<sup>-3</sup> foram observadas. Picos semelhantes de clorofila-a (variando de 13,0 a 25,5 mg m<sup>-3</sup>) foram encontrados próximo à ilha de Cabo Frio por Moser e Giancesella-Galvão (1997), durante o verão de 1991. No entanto, as autoras ressaltaram que as florações foram observadas em superfície, próximo ao continente, desacopladas da ACAS, que se encontrava abaixo de 40 metros de profundidade.

A extensão da turbulência na coluna de água parece determinar a dominância dos diferentes grupos fitoplânctônicos (MARGALEF, 1978; SMAYDA, 1980). Os autores ressaltam que as adaptações morfológicas e fisiológicas das células fitoplanctônicas conferem a certos grupos de espécies vantagens adaptativas para competir durante uma contínua transição entre uma condição de mistura vertical turbulenta à outra de estratificação da coluna de água.

Margalef (1978) descreve a modificação progressiva das espécies, através da substituição de espécies de determinada morfologia por outras, partindo de uma fase inicial com forte mistura vertical que favorece a dominância das diatomáceas, a uma fase madura, na qual a estratificação da massa de água favorece dinoflagelados ou flagelados.

O fato da turbulência ou mistura vertical intensa beneficiar as diatomáceas resultando no aumento da biomassa deste grupo tem sido enfatizado por vários autores (TILSTONE et al., 2000; GHOSAL et al., 2000; CLOERN e DUFFORD, 2005).

A densidade máxima de diatomáceas observada corresponde quase que exclusivamente a uma floração da espécie *Asterionellopsis glacialis*, (alcançando 98,8% do total de diatomáceas) que floresceu em profundidade, em resposta a entrada da água fria da ACAS com temperaturas de cerca de 14°C (Fig. 17). Macedo e Valentin (1974) encontraram densidades elevadas desta mesma espécie, alcançando dominâncias de cerca de 80% a 100% em profundidade, em uma massa de água fria com temperaturas inferiores a 18°C. Valentin (1983) e Valentin et al. (1985) descrevem também florações de *Asterionellopsis glacialis* em toda coluna de água, alcançando valores de  $6,2 \times 10^5$  cel/L, em fevereiro de 1973 e 1974, seguidos ao afloramento da ACAS em superfície, com temperaturas em torno de 14,5°C. O florescimento desta espécie parece ser comum na região de Cabo Frio, principalmente no período de verão, seguida a ressurgência da ACAS e sua estabilização abaixo da termoclina.

De maneira geral, o aumento das diatomáceas coincidiu com os valores mínimos da relação Si:N sugerindo sua utilização. Durante o restante do experimento, há um excesso de Si em relação às formas nitrogenadas em toda a

coluna de água (Fig. 12). Berland et al. (1973 e 1974) trabalhando em águas recém afloradas no mar Mediterrâneo, sugeriram que a simples diluição da massa de água ressurgida seria suficiente para que certos fatores inibidores fossem diluídos, e que sob certas circunstâncias, o próprio silicato poderia agir com um fator inibidor.

Ainda na fase produtiva, além da proliferação de diatomáceas, em profundidade, os dinoflagelados floresceram na camada de água superficial. Esta floração coincidiu com os períodos de maior relaxamento da ressurgência, nos quais a camada de água quente ao largo é forçada sobre a plataforma interna (Figs. 2 e 18).

Convém ressaltar a brevidade dos acontecimentos de ressurgência em frente à Ilha de Cabo Frio, enfatizado por Valentin (1983) quando descreve que o primeiro pico de biomassa primária ocorre em menos de 12 horas depois do afloramento das águas ricas em nutrientes e não dura mais que um dia; e a sucessão das espécies que caracteriza a evolução biológica das águas profundas durante a deriva, não dura mais que 20 horas.

Porras e Figueiras (2000) sugeriram a subsidência como um dos principais processos oceanográficos responsáveis pela dominância de dinoflagelados em regiões de ressurgência costeiras. O fenômeno de “marés vermelhas” in Rias Baixas, na costa noroeste da Espanha é bastante conhecido e recorrente (FIGUEIRAS e RIOS , 1993; FIGUEIRAS e NIELL, 1987; FIGUEIRAS et al., 1994). Alguns autores sugerem que o desenvolvimento destas florações ocorre no interior do estuário (FIGUEIRAS et al., 1994); outros que as estas são introduzidas nas Rias durante os períodos de subsidência através da reversão da circulação estuarina (FRAGA et al.,1988 e 1990); enquanto outros, ressaltam que a seqüência de ressurgência seguida por subsidência seria um mecanismo importante na geração

de marés vermelhas nos sistemas de ressurgência costeiros (TILSTONE et al., 1994).

Figueiras e Rios (1993) sugeriram que ressurgências fracas injetariam nutrientes abaixo da zona eufótica e favorecendo o crescimento de dinoflagelados móveis; enquanto ressurgências intensas exportariam uma elevada biomassa fitoplanctônica para a plataforma continental externa (VARELA, 1992).

Observando-se a seqüência dos eventos ocorridos na estação fixa, podemos especular que a fraca intensidade da ressurgência, seguida de intermitentes e breves períodos de subsidência, teriam favorecido o florescimento dos dinoflagelados na massa de água de temperatura elevada, acima da termoclina, empurrada em direção à costa (Fig. 18).

A floração de dinoflagelados em superfície foi ocasionada principalmente pela espécie *Scrippsiella trochoidea* (alcançando 89% do total dos dinoflagelados – Fig. 19b) e em menor abundância pela ordem Gymnodiniales (maiores que 20  $\mu$ M) mais representados principalmente no final do experimento (Fig. 19c). A figura mostra ainda, que a floração de dinoflagelados ocorreu na camada de água onde a relação N:P está mais elevada, indicando uma menor limitação das formas nitrogenadas em superfície. *Scrippsiella trochoidea* é uma espécie não tóxica típica de águas costeiras, bastante comum em baías e regiões costeiras, de todo mundo. Portanto, espera-se que necessite de concentrações mais elevadas de nutrientes.

Muitas espécies neríticas produzem estágios de resistência bênticos, deste modo, os sedimentos dos ecossistemas costeiros contém um reservatório de esporos ou células de repouso de diatomáceas e cistos de dinoflagelados que propiciam um rápido inoculo para o início das florações (CLOERN e DUFFORD, 2005).

Além da forma de vida livre foram observados cistos espinhosos de *Scrippsiella trochoidea* durante a observação e contagem ao microscópio invertido. Segundo Cloern e Dufford (2005), *Scrippsiella trochoidea* possui uma estratégia de vida produzindo estágios de resistência com curtos períodos de dormência, apresentando repetidos ciclos ao longo do ano, alternando entre os estágios vegetativos pelágicos e estágios de repouso bênticos.

A maior parte dos trabalhos realizados na região de cabo Frio ressalta a dominância das diatomáceas (MOREIRA-FILHO, 1965; MACEDO e VALENTIN, 1974; MACEDO et al., 1975; VALENTIN et al., 1977, VALENTIN, 1983 e 1984, VALENTIN et al., 1985, 1986; VALENTIN, 1988 e VALENTIN et al., 1991) sobre os demais grupos do fitoplâncton. Valentin (1988) ressalta que a dominância das diatomáceas sobre os dinoflagelados constitui um bom índice biológico do caráter nerítico das águas e, que em Cabo Frio, este índice revela a influência do fator eutrofizante da ressurgência, que pode ser exportado para a plataforma adjacente em função da deriva das águas de ressurgência. Ressalta ainda que a presença da água tropical quente, com características oligotróficas, fitoplâncton muito pobre e dominado pelos dinoflagelados, é sentida ao largo, além da isóbata de 100 metros.

Neste trabalho os dinoflagelados ultrapassaram numericamente o total das diatomáceas representando grande parte do microfitoplâncton na fase produtiva, reforçando a contribuição da AT na camada de água costeira ao largo, mais acentuada no último dia do experimento. As temperatura e salinidade mais elevadas registradas em superfície, no final do experimento, parecem sugerir a inversão do regime dos ventos, e a subsequente subsidência da ACAS.

Yoneshigue-Braga et al. (1979) e González-Rodríguez et al. (1992) concluíram que a ressurgência de Cabo Frio é menos produtiva e apresenta menores teores de

sais nutritivos do que a de outras regiões conhecidas, como as ressurgências do Oregon, do noroeste da África, do Peru e de Benguela. As hipóteses apresentadas para a aparente baixa eficiência do sistema de Cabo Frio, em função das baixas biomassas fitoplanctônicas observadas, foram: (1) a dispersão da biomassa devido às intensas correntes de advecção; (2) a forte herbivoria que tem sido estimada em cerca de 50% nesta região.

## 6. CONCLUSÕES

- A biomassa fitoplanctônica em termos de clorofila-a e do número de organismos é condicionada pela hidrodinâmica das massas de água na plataforma em frente à Ilha de Cabo Frio.
- A resposta do fitoplâncton a ressurgência da ACAS apresentou duas fases distintas: (i) fase inicial, na qual o total de organismos e a biomassa clorofiliana foram inferiores a  $2,6 \times 10^5$  cel/L e  $1 \text{ mg m}^{-3}$ , respectivamente, com o predomínio do nanoplâncton; (ii) segunda fase, na qual o total de organismos do fitoplâncton alcançou  $9,5 \times 10^5$  cel/L, apresentando picos elevados de biomassa clorofiliana, atingindo  $26,7 \text{ mg m}^{-3}$ , com o predomínio dos organismos do microfitoplâncton.
- A baixa biomassa fitoplanctônica observada na primeira fase é explicada pela defasagem existente entre as mudanças ambientais e as respostas fisiológicas das algas e/ou pelo tempo necessário para que uma água recém ressurgida sofra diluição e possa sustentar elevada produtividade.
- O crescimento do microfitoplâncton na segunda fase apresentou respostas distintas, uma em superfície e outra em profundidade: (i) o crescimento da diatomácea *Asterionellopsis glacialis* na água fria e profunda parece ter sido condicionado pela presença da água recém ressurgida da ACAS; (ii) a floração dos dinoflagelados *Scrippsiella trochoidea* e Gymnodiniales em superfície parece ter sido determinado pelo relaxamento da ressurgência, fazendo com que a massa de água de plataforma formada fosse empurrada em direção à costa.

- A ressurgência da ACAS é a principal fonte de nutrientes nesta região e as respostas do fitoplâncton decorrentes da presença desta massa de água parecem ligadas à intensidade e à dinâmica dos processos físicos, tais como: (i) a intensidade da ressurgência; (ii) a estabilização da ACAS sobre a plataforma interna; e (iii) a intermitência dos processos de ressurgência e subsidência desta massa de água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDAR, E.; GAETA, S. A. ; GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F.; KUTNER, M. B. B.; TEIXEIRA, C. Ecosistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila *a* e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba (SP). **Publ. Esp. Inst. Oceanogr.**, São Paulo, n. 10, p. 9-43. 1993.

AZAM, F.; FENCHEL, T.; FIELD, J. C.; GRAY, J. S.; MEYER-REIL, L. A.; THINGSTAD, F. The ecological role of watercolumn microbes in the sea. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v.10, p. 257-263. 1983.

BALECH, E. Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. **Publ. Esp. Inst. Oceanogr**, Madrid, n. 1. 1988.

BANSE, K. The nitrogen-to-phosphorus ratio in the photic zone of the sea and elemental composition of the plankton. **Deep-Sea Res.**, v. 21, p. 767-771. 1974.

BARBER, R. T.; DUGDALE, R. L.; McISAAC, J. J.; SMITH, R. L. Variations in phytoplankton growth associated with the source and conditioning of upwelling water. **Inv. Pesq.**, v. 35, p. 171-193. 1971.

BERLAND, B. R.; BONIN, D. J.; MAESTRINI, S. Y. Mise en évidence de facteurs réglant la productivité du phytoplancton des eaux de surface dans la partie nord occidentale de la mer Méditerranée (campagne 'Mediprod I' du N. O. Jean Charcot, 1969) au moyen de tests biologiques. **Annales de l' Institut de Oceanographie**, v. 50, p. 5-25. 1974.

BERLAND, B. R.; BONIN, D. J.; MAESTRINI, S. Y.; POINTIER, J. P. Etude de la fertilité des aux marines an moyen de tests biologiques effectués avec des cultures d' algues. IV. Eaux côtières mediterraneennes. **Int. Revue. Ges. Hydrobiol.**, v. 58, p. 473-500. 1973.

BLANTON, J.O.; ATKINSONM, L.P.; DE CASTILLEJO, F.F; MONTERO, A. L. Coastal upwelling off the Rías Bajas, Galicia Northwest Spain. 1. Hidrographic studies. **Rapp. P. Réun. Cs. Int. Explor. Mer.** v.183, p.79-90. 1984.

BOUGIS, P. **Écologie du plancton marin**. Collection D' Écologie, 2. Paris, Masson et Cie, Éditeurs. 1974. 196 p.

BRAGA, E. S. **Estudo dos nutrientes dissolvidos nas águas da Enseada das Palmas, Ilha Anchieta (Ubatuba, SP), com ênfase as formas nitrogenadas e contribuição por aportes terrestres e atmosféricos.** 1989. 207 p. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1989.

BRAND, T.; RAKESTRAW, N. W.; RENN, C. E. Further experiments on the decomposition and regeneration of nitrogenous organic material in sea water. **Biol. Bull.**, v. 77, p. 285-296.

CASTRO FILHO, B. M.; MIRANDA, L. B.; MIYAO, S. Y. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 135-151, 1987.

CLOERN, J.; DUFFORD, R. Phytoplankton community ecology: principles applied in San Francisco Bay. **Mar. Ecol. Progr. Ser.**, v. 285, p. 11-28. 2005.

CUPP, E. E. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. University of California Press, Berkeley and Los Angeles. 237 p. 1943.

CUSHING, D. H. Upwelling and production of fish. **Adv. Mar. Biol.** v. 9, p.255-334. 1971.

DUGDALE, R. C.; GOERING, J. J. Uptake of new regenerated forms of nitrogen in primary productivity. **Limnol. Oceanogr.**, v.12, p. 96-206. 1967.

FALKOWSKI, P. G.; KATZ, M. E.; KNOLL, A. H.; QUIGG, A.; RAVEN, J. A.; SCHOFIELD, O.; TAYLOR, F. J. R. The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. **Science**, v. 305, p. 354-360. 2004.

FIGUEIRAS, F. G.; JONES, K. J.; MOSQUERA, A. M.; ÀLVAREZ-SALGADO, X. A. ; EDWARDS, A. ; MCDUGALL, N. Red tide assemblage formation in an estuarine upwelling ecosystem: Ría de Vigo. **J. Plankton Res.**, v. 16, n. 7, p. 857-878. 1994.

FIGUEIRAS, F. G.; NIELL, F. X. Composición Del fitoplancton de la Ría de Pontevedra (NO España). **Inv. Pesq.**, v. 51, n. 3, p. 371-409. 1987.

FIGUEIRAS, F. G.; RÍOS, A. F. Phytoplankton succession, red tides and the hydrographic regime in the Rías Bajas of Galicia. In: SMAYDA, T. J.; SHIMIZU, Y. (eds). **Toxic phytoplankton blooms in the sea.** Elsevier Science Publishers B. V. p. 239-244. 1993.

FRAGA, S.; REGUERA, B.; BRAVO, I. *Gymnodinium catenatum* bloom formation in the Spanish Rías. In: GRANÉLI, E.; SUNDSTRÖM, B.; EDLER, L.; ANDERSON, D. (eds). **Toxic marine phytoplankton**. Elsevier, New York. p. 149-154. 1990.

FRAGA, S.; ANDERSON, D. M.; BRAVO, I.; REGUERA, B.; STEIDINGER, K. A. ; YENTSCH, C. M. Influence of upwelling relaxation on dinoflagellates and shellfish toxicity in the Ría de Vigo, Spain. **Estar. Coast. Shelf Sci.**, v. 27, p. 349-361. 1988.

FUHRMAN, J. Bacterioplankton roles in cycling of organic matter: the microbial food web. In: FALKOWSKI, P. G.; WOODHEAD, A. D. (eds). **Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea**. Plenum Press, New York. p.361-384. 1992.

GHOSAL, S.; ROGERS, M.; WRAY, A. The turbulent life of phytoplankton. Proceedings of the Summer Program. **Center for Turbulence Research**. p. 31-45, 2000.

GOLDMAN, J. C. Physiological processes nutrient availability and the concept of relative growth rate in the marine phytoplankton ecology. In: FALKOWSKI. **Primary Production in the sea**. Plenum Publ. Corp. p. 179-193. 1980.

GONZALEZ-RODRIGUEZ, E. Yearly variation in primary productivity of marine phytoplankton from Cabo Frio (RJ, Brazil) region. **Hydrobiologia** v. 294, p. 145–156, 1994.

GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; VALENTIN, J. L.; ANDRÉ, D. L.; JACOB, S. A. Upwelling and downwelling at Cabo Frio (Brasil): comparison of biomass and primary production responses. **J. plankt. Res.**, v. 14, n 2, p. 289-306, 1992.

GOTSCHALK, C. C.; ALLDREDGE, A. L. Enhanced primary production and nutrient regeneration within aggregated marine diatoms. **Mar. Biol.**, v. 103, p. 119-129, 1989.

GRASSHOFF, K.; EKHARDT, M.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. 2<sup>nd</sup> ed. Basel: Verlag Chemic, 1983. 419 p.

HARRIS, G. P. Temporal and spatial scales in phytoplankton ecology. Mechanisms, methods, models and management. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, v. 37, p. 877-900. 1980.

HASLE, G. R.; TOMAS, C. R. Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press. 385 p. 1996.

HOWARTH, R. W. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. **A . Rev. Ecol.**, v. 19, p. 89-110. 1988.

IVANOFF, A . **Introduction à l' Océanographie – propriétés physiques et chimiques des eaux de mer**. Librairie Vuibert, Paris. v.1. 1975.

JACQUES, G.; TRÉGUER, P. **Ecosystems pelagiques Marins**. Collection D'Écologie, 19. Masson, Paris. 243p. 1986.

JACQUES, G.; MINAS, M. Production primaire dans le secteur indien de l' océan Antarctique en fin d' été. **Oceanologica Acta**, v. 4, n. 1, p. 33-41. 1981.

LE CORRE, P.; MINAS, H. J. Distribution et évolution des éléments nutritifs dans le secteur indien de l' Océan Antarctique en fin de période estivale. **Oceanologica Acta**, v. 6, n. 4, p. 365-381. 1983.

KOROLEFF, F. Determination of Trace Metals. In: GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. (ed). **Methods of seawater analysis**. (2nd ed.). Verlag Chemie, 1983 (a). p. 236-238.

KOROLEFF, F. Determination of phosphorus. Chemistry of the element in seawater. In: GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. [eds]. **Methods of seawater analysis**. (2nd ed.). Verlag Chemie, 1983 (b). p. 125- 139.

LALLI, C. M.; PARSONS, T. R. **Biological Oceanography: an introduction**. Butter – Heinemann. Pergamon Press, 1993. 301 p.

LUND, J. W. G.; KIPLING, C.; LE GREN, E. D. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. **Hydrobiologia**, v. 11, p. 143-170, 1958.

MACEDO, F. E.; VALENTIN, J. L. O plâncton na ressurgência de Cabo Frio (Brasil) – III Primeiras observações sobre o microfitoplâncton. **Inst. Pesq. Mar.**, Rio de Janeiro, n. 84, 10 p., 1974.

MACEDO, F. E., TENENBAUM, D. R.; VALENTIN, J. L. O plâncton na ressurgência de Cabo Frio (Brasil). VI Composição florística e variação de comportamento na água da estação fixa oceânica (período de 18/04/1973 a 28/02/1974). **Inst. Pesq. Mar.**, Rio de Janeiro, n. 087, 9 p. , 1975.

MALONE, T. C. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in the California current system. **Fish. Bull.**, v. 69, n. 4, p. 799-820. 1971.

MANN, K.H.; LAZIER, J.R.N. **Dynamics of marine ecosystems: Biological – Physical Interactions in the Oceans**. Blackwell Scientific Publications, 1991. 466 p.

MARGALEF, R. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. *In*: BUZZATI-TRAVERSO, A. A. (ed.) **Perspectives in marine biology**. California: University Press. 1960. p. 323-349.

MASCARENHAS Jr, A . S.; MIRANDA, L. B.; ROCK, N. J. A study of the oceanographic conditions in the region of Cabo Frio. *In*: COSTLOW Jr, J. D. (ed). **Fertility of the sea**. New York. Gordon & Breach, v. 1, p. 285-308.

MATSUURA, Y. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). **Ciênc. Cult.**, v. 38, n. 8, p. 1439-1450. 1986.

MIRANDA, L. B.; KATSURAGAWA, M. Estrutura térmica na região sudeste do Brasil (outubro-novembro de 1988). **Publ. Esp. Inst. Oceanogr.**, São Paulo, n. 8, p. 1-14. 1991.

MOREIRA-FILHO, H. Contribuição ao estudo das diatomáceas da região de Cabo Frio (Estado do Rio de Janeiro – Brasil). **An. Acad. Brás. Cien.**, v. 37, p. 231-238, 1965.

MOREIRA DA SILVA, P. C. O fenômeno da ressurgência na costa meridional brasileira. **Inst. Pesq. Mar.**, Rio de Janeiro, n. 24, 38 p., 1968.

MOREIRA DA SILVA, P. C. A ressurgência em Cabo Frio (I). **Inst. Pesq. Mar.**, n. 78, 1973.

MOSER, G. A. O.; GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F. Biological and Oceanographic upwelling indicators at Cabo Frio (RJ). **Rev. Bras. Oceanogr.**, v. 45 (1/2): 11-23, 1997.

PARSONS, T. R.; STRICKLAND, J. D. H. Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments, with revised equations for ascertaining

chlorophylls and carotenoids. **Journal of Marine Research**. v. 21, n. 3, p.155-163, 1963.

PETRIE, B.; TOPLISS, B.J.; WRIGHT, D.W. Coastal upwelling and eddy development off Nova Scotia. **J. Geophys. Res.** v. 29, n. (C12), p. 12979-12991, 1987

PLATT, T.; SUBBA RAO, D. V.; DENMAN, K. L. Quantitative stimulation of phytoplankton productivity by deep-water admixture in coastal inlet. **Estuar. Coast. Mar. Sci.**, v. 5, p. 567-573, 1977.

PORRAS, P.; FIGUEIRAS, F. G. Coastal downwelling and dinoflagellate dominance in the Rías of Galicia. In:Harmful Algal Blooms. **Abstracts**. 2000.

REDFIELD, A . C. **On the proportions of organic derivatives in the sea water and their relation to the composition of plankton**. In: DANIEL, R. J. (ed). James Liverpool, Liverpool University Press. P. 176-192. 1934.

REDFIELD, A . C.; KETCHUM, B. H.; RICHARDS, F. A . The influence of organisms on the composition of sea water. In: **The sea**. (ed). Hill, Interscience. New York, Lond., v. 2, p. 26-77.1963.

RICHARDS, F. A .; THOMPSON, T. G. The estimation and characterization of plankton populations by pigment analyses. II. A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments. **J. Mar. Res.**, v. 11. p. 156-172. 1952.

RICHARDS, F. A . Dissolved silicate and related properties of some western North Atlantic and Caribbean waters. **J. Mar. Res.**, v. 17, p. 449-465. 1958.

RODRIGUES, R. F. Evolução da massa d' água durante a ressurgência em Cabo Frio. **Inst. Pesq. Mar.**, Rio de Janeiro, n. 115, p. 1-31, 1977.

SALDANHA, F. M. P. **Simulação da mistura vertical de massas de água da região de Ubatuba (SP): efeitos sobre a produção primária e biomassa fitoplanctônica**. 1993. v1 177p, v2 80p. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

SIEBURTH, L., BERRY-LOWE, S., AND SCHMIDT, G. W. **Plant Cell**, v. 3, p.175-189. 1991.

SMAYDA, T. J. Phytoplankton species succession. In: MORIS, I. (ed). **The physiological ecology of phytoplankton I**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1980. p. 493-570.

SMETACEK, V. S. Plankton characteristics. In: POSTMA, H. & ZILSTRA, J. J. (eds) **Ecosystems of the world**. Amsterdam, Elsevier: Continental Shelves, 1988. v. 2, p. 93-130.

SOLORZANO, L. Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. **Limnology and Oceanography**, Seattle, v. 14, p. 799-801, 1969.

STRICKLAND, J. D. H.; HOLM-HANSEN, O.; EPPLEY, R. W.; LINN, R. J. The use of a deep tank in plankton ecology. I. Studies of the growth and composition of phytoplankton crops at low nutrients levels. **Limnol. Oceanogr.**, v. 14, p. 23-24. 1969.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A practical hand-book of Seawater Analysis**. Bulletin Fishery Research Canada, v. 167, 310 p, 1972.

STRICKLAND, J. D. H. Production of organic matter in the primary stages of marine food chain. In: RILEY, J. P. & SKIRROW, G. S. (ed) **Chemical oceanography**. London: Academic Press, 1965. p. 478-610.

TILSTONE, G. H.; MÍGUEZ, B. M.; FIGUEIRAS, F. G.; FERMÍN, E. G. Diatoms dynamics in a coastal ecosystem affected by upwelling: coupling between species succession, circulation and biogeochemical processes. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 205, p. 23-41, 2000.

TILSTONE, G. H.; FIGUEIRAS, F. G.; FRAGA, F. Upwelling-downwelling sequences in the generation of red tides in a coastal upwelling system. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 112, p. 241-253. 1994.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik, Mitt. int. Ver. Theor. angew. **Limnol**, v. 9, p. 1–38, 1958.

VALENTIN, J. L. **L'écologie du plâncton dans la remontée de Cabo Frio (Brésil)**. 1983. 258 p. These (Docteur es sciences) – Faculte des Sciences de Luminy, L'Universite D' Aix – Marseille 2, 1983.

VALENTIN, J.L. Analyse des paramètres hydrobiologiques dans la remontée de Cabo Frio (Brésil). **Mar. Biol.** v. 82, p. 259–276, 1984.

VALENTIN, J. L. **A dinâmica do plâncton na ressurgência de Cabo Frio – RJ.** In: Memórias do III Encontro Brasileiro de Plâncton, 1988, Caiobá, PR. p. 26-35.

VALENTIN, J. L. A ressurgência fonte de vida dos oceanos. **Ciência Hoje**, v. 18, n.102, p. 19-25, 1994.

VALENTIN, J.L., ANDRE, D.L., JACOBS, S.A., 1987. Hydrobiology in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: two-dimensional structure and variability during a wind cycle. **Contin. Shelf Res**, v. 7, n. 1, p. 77–88, 1987.

VALENTIN, J. L.; BARTH, R.; CARIS, M. E.; MACEDO-SAIDAH, F. E.; MONTEIRO RIBAS, W.; MUREB, M. A .; PESSOTTI, E., TENENBAUM, D. R. Evolução das características biológicas nas águas da ressurgência de Cabo Frio (Brasil) durante um fundeio de 4 dias na estação fixa. **Inst. Pesq. Mar.**, Rio de Janeiro, nº 105, 15 p.,1977.

VALENTIN, J.L., LINS DA SILVA, N.M., BASTOS, C.T.B.N. Les diatome´es dans l'upwelling de Cabo Frio (Brésil): liste d'espèces et étude écologique. **J. Plankton Res**, v. 7, p. 313–337, 1985.

VALENTIN, J. L.; LINS DA SILVA, N.; MONTEIRO-RIBAS, W. M.; MUREB, M. A .; BASTOS, C. T. B. T.; TENEMBAUM, D. R.; ANDRÉ, D. L.; JACOB, S. A .; PESSOTTI, E. Le plâncton dans l'upwelling de Cabo Frio (Brésil): microrépartition spatio-temporelle à une station fixe. **Ann. Inst. Océanogr.**, Paris, v. 62, n. 1, p. 117-135. 1986.

VALENTIN, J. L.; MACEDO-SAIDAH, F. E.; TENENBAUM, D. R.; SILVA, N. M. L. A diversidade específica para análise das sucessões fitoplanctônicas. Aplicação ao ecossistema da ressurgência de Cabo Frio (RJ). **Nerítica**. Curitiba: Editora da UFPR, v. 6, n. (1-2), p. 7-26, 1991.

VARELA, M. Upwelling and phytoplankton ecology in Galician (NW Spain) Rías and shelf water. **Bol. Inst. Esp. Oceanogr.**, v. 8, n. 1, p. 57-74. 1992.

VEDERNIKOV, V. I. Dependence of the assimilation number and concentration of chlorophyll a on water productivity in different temperature region of the World Ocean. **Oceanological Academy of Science**, v. 15, p. 482-484. 1975.

YONESHIGUE-BRAGA, Y.; MAESTRINI, S. Y.; GONZALEZ-RODRIGUEZ, E. Fertilité et facteurs nutritionnels limitant la croissance des producteurs primaires des eaux de l' upwelling de Cabo Frio (Brésil). Étude préliminaire. **C. R. Acad. Sc.** Paris, v. 288, p. 135-138. 1979.

## FIGURAS

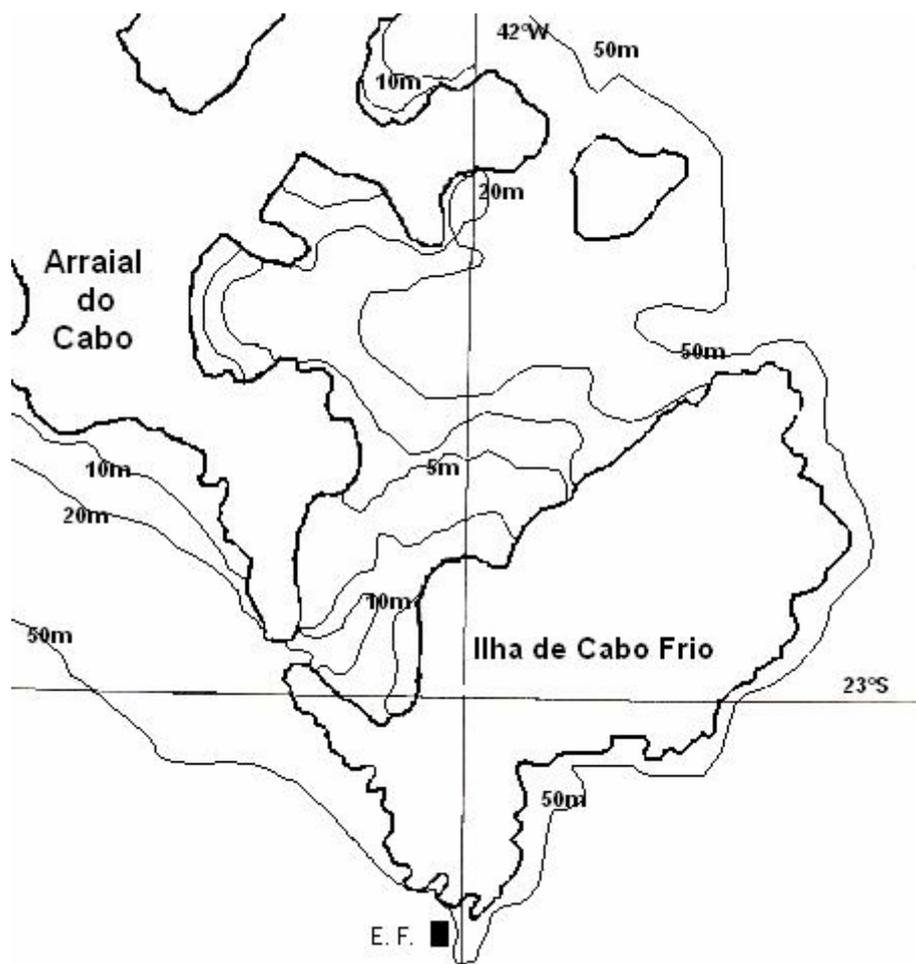


Figura 1 – Área de estudo e localização da estação fixa (E. F.), na área de Cabo Frio, Rio de Janeiro.

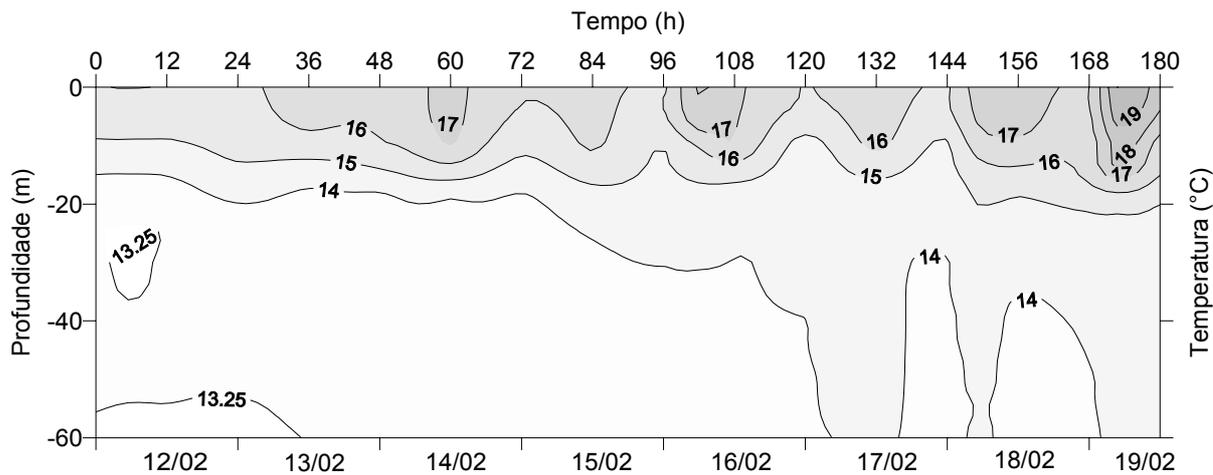


Figura 2 - Perfil vertical da temperatura na estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

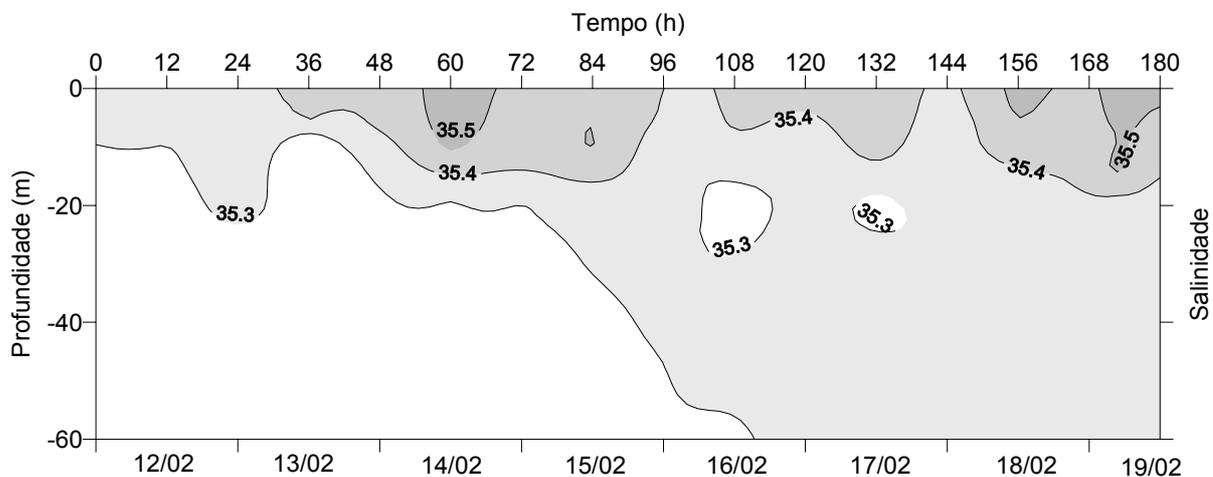


Figura 3 - Perfil vertical da salinidade em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

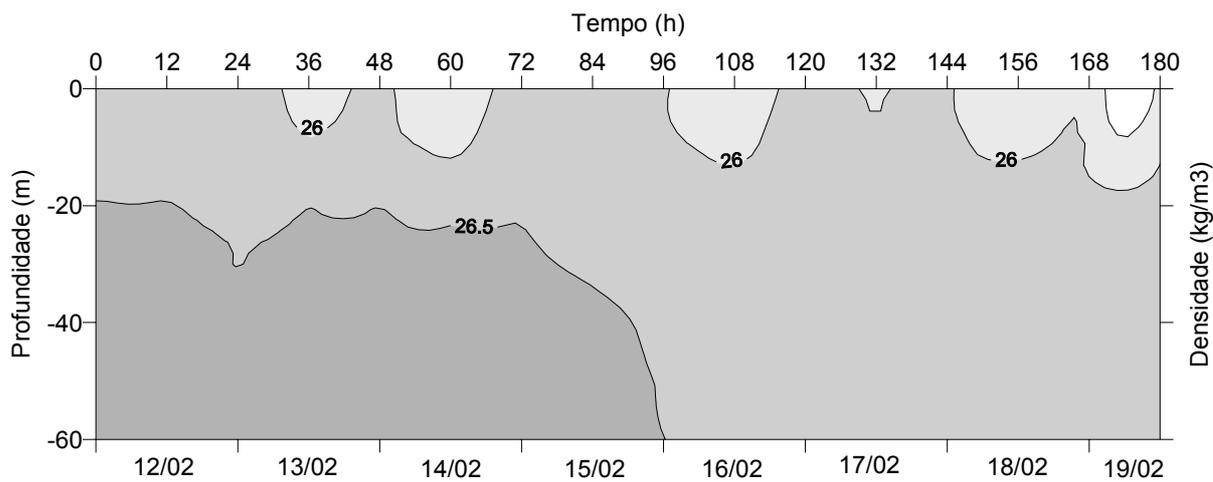


Figura 4 - Perfil vertical da densidade em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

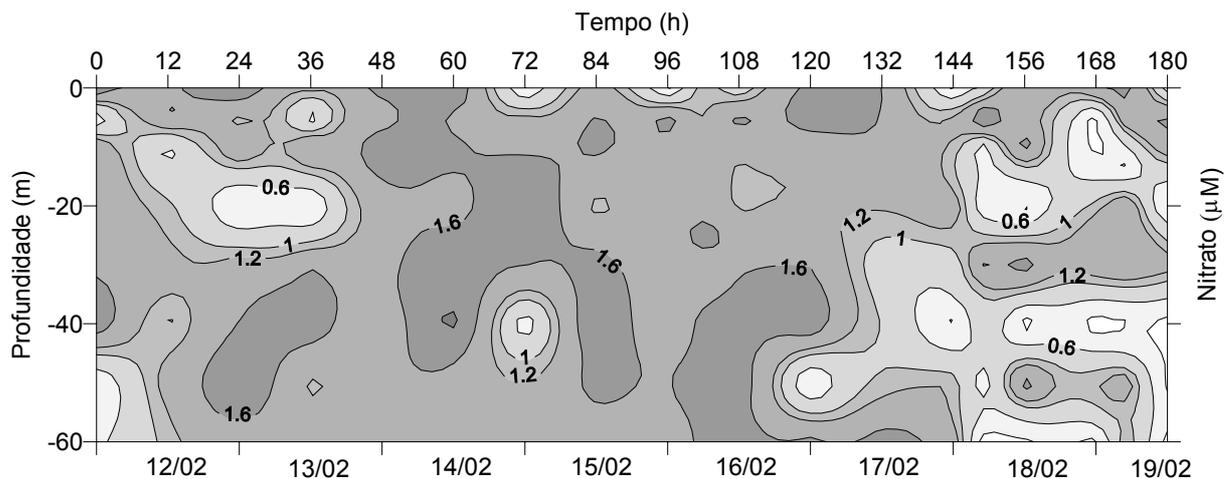


Figura 5 - Perfil vertical do nitrato em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

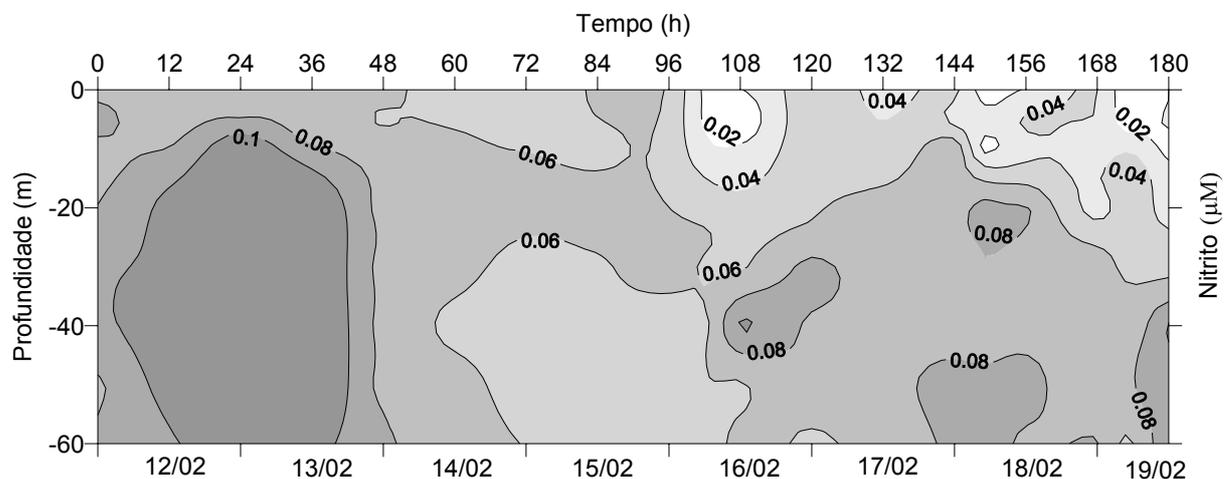


Figura 6 - Perfil vertical de nitrito em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

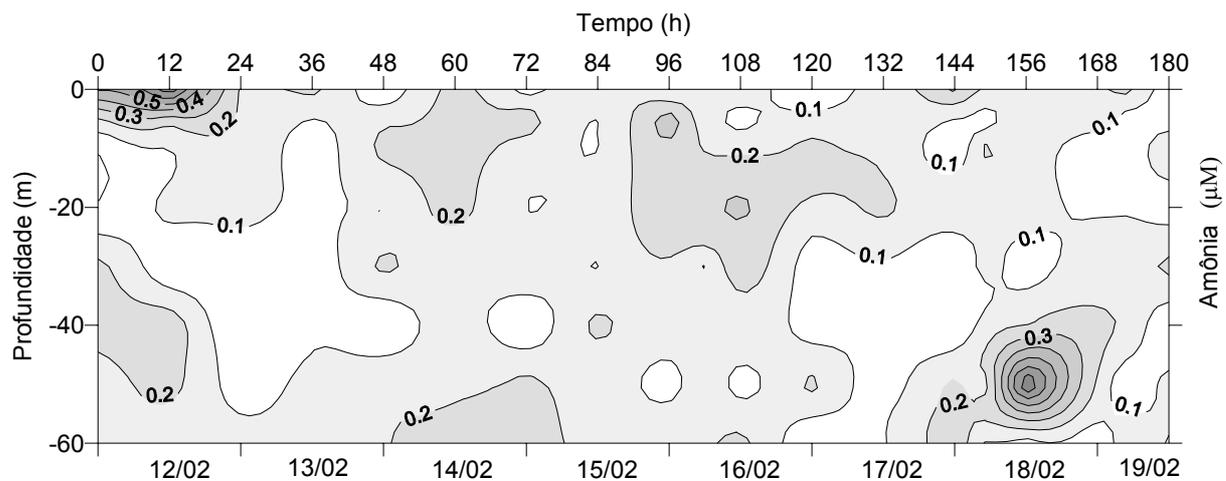


Figura 7 - Perfil vertical de amônia em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

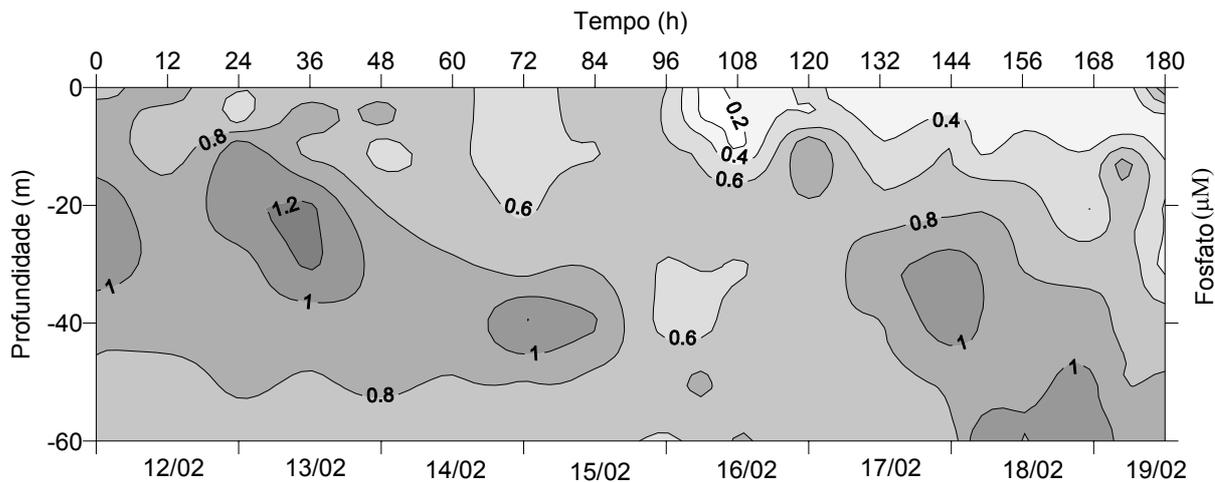


Figura 8 - Perfil vertical de fosfato em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

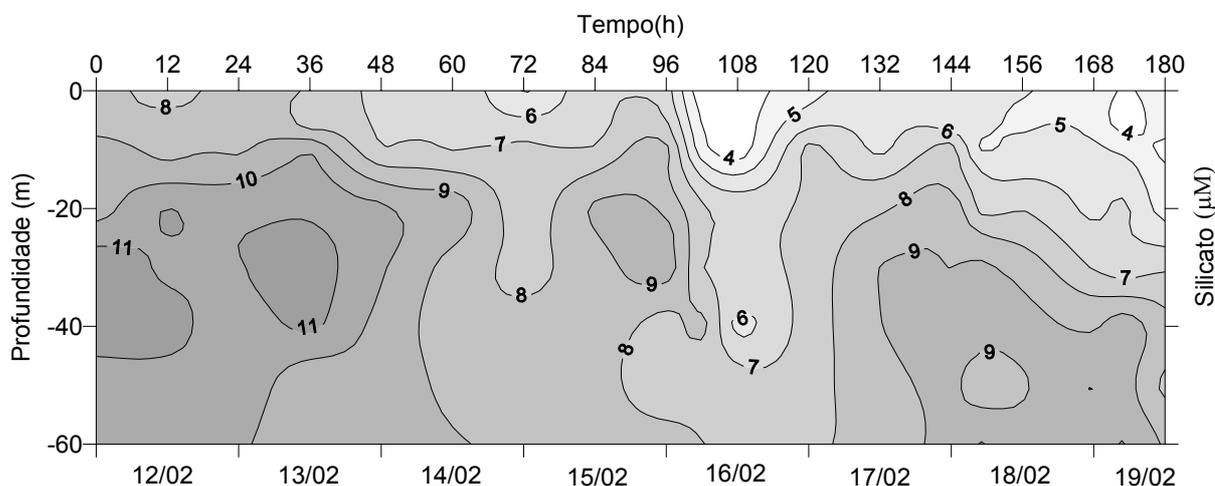


Figura 9 - Perfil vertical de silicato em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

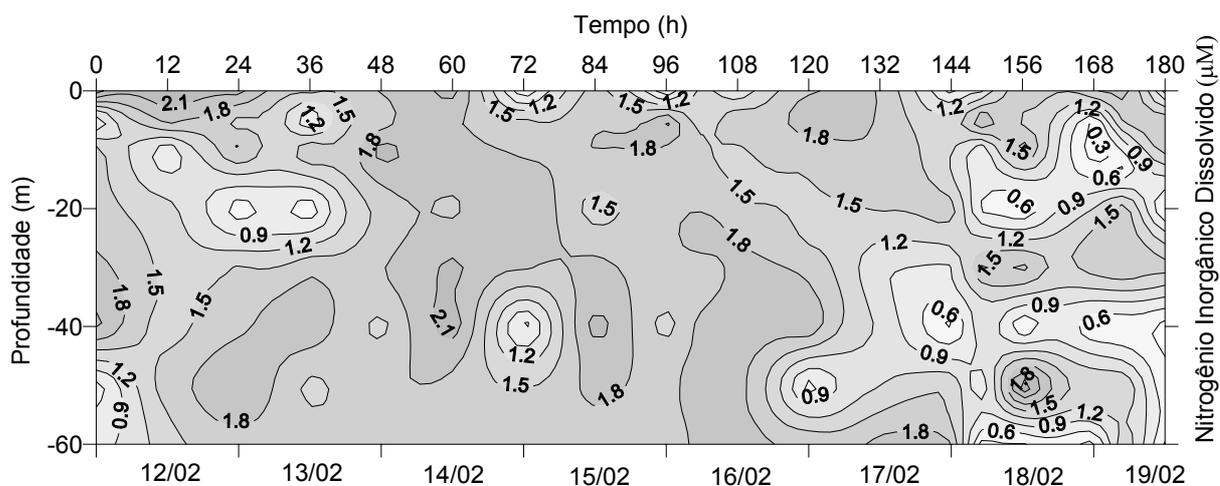


Figura 10 - Perfil vertical de nitrogênio inorgânico dissolvido em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

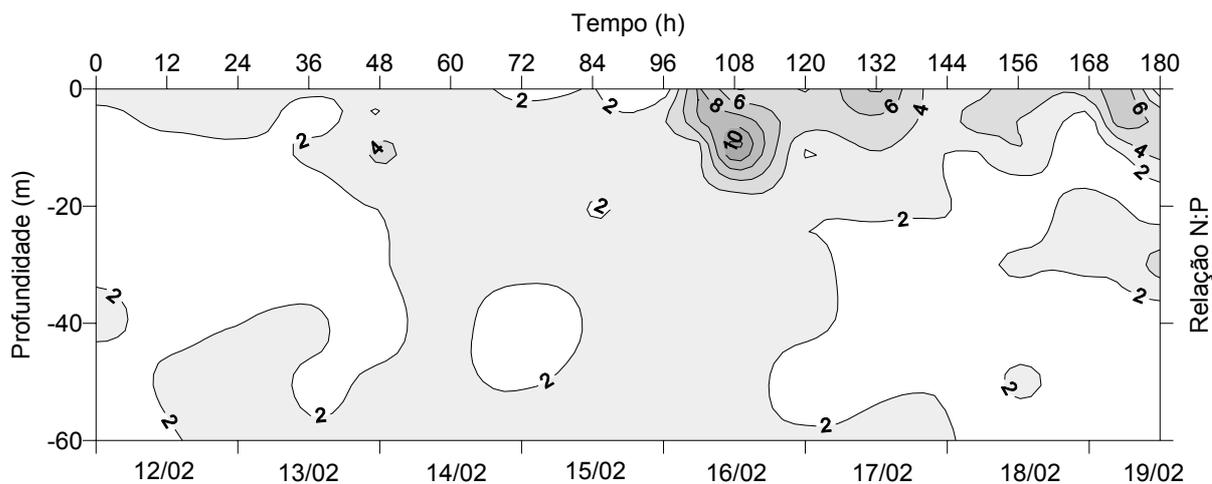


Figura 11 - Perfil vertical da relação N:P em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

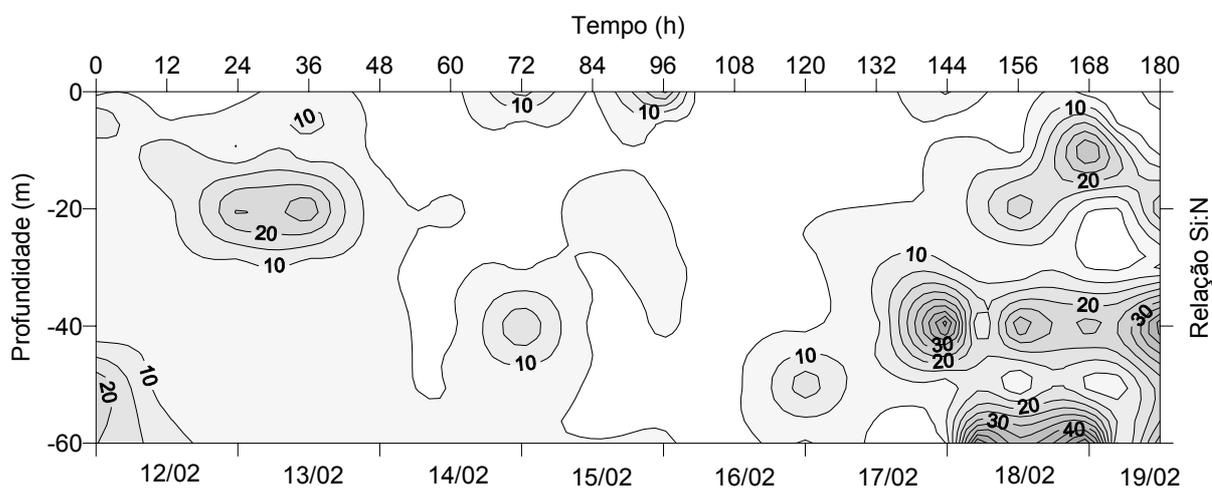


Figura 12 - Perfil vertical da relação Si:N em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ)

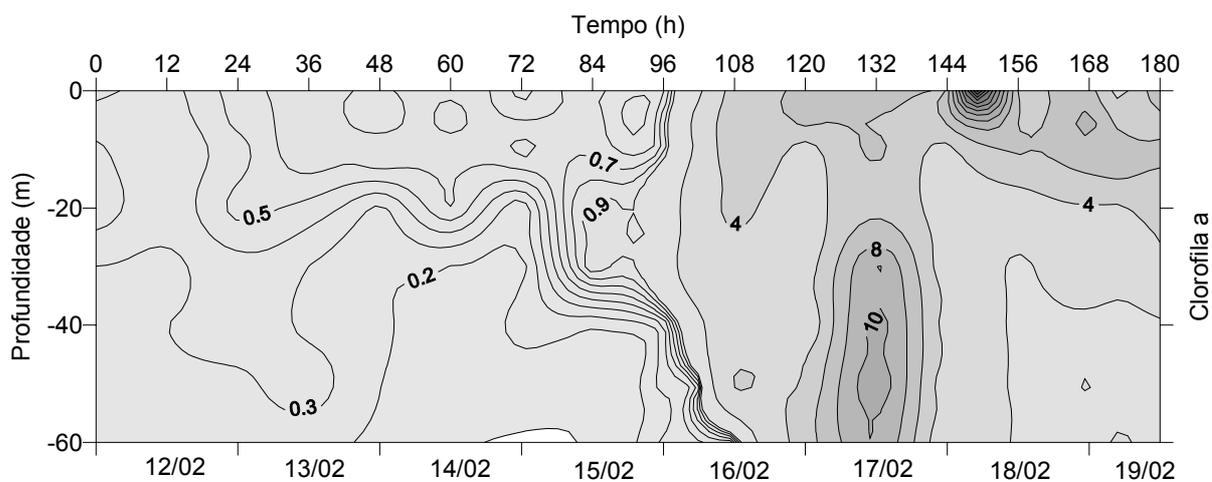


Figura 13 - Perfil vertical de clorofila a em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

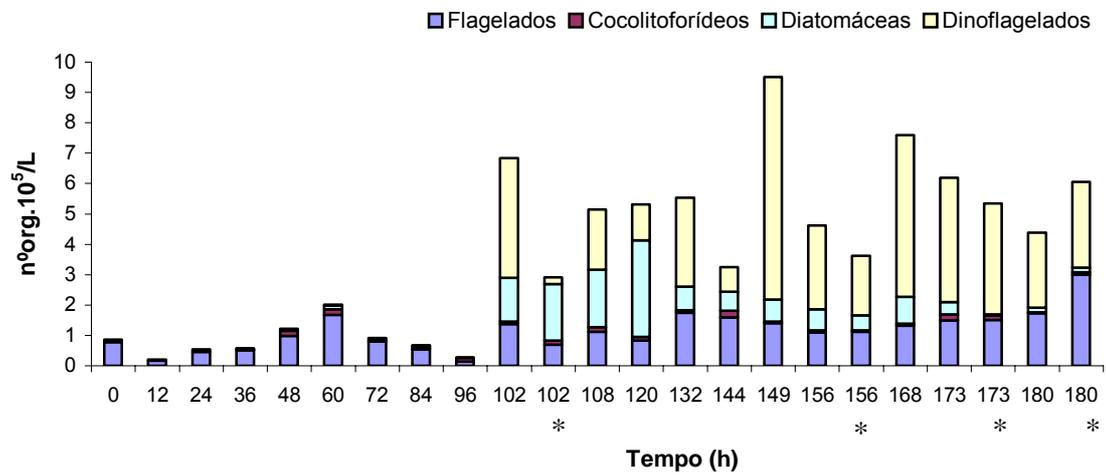
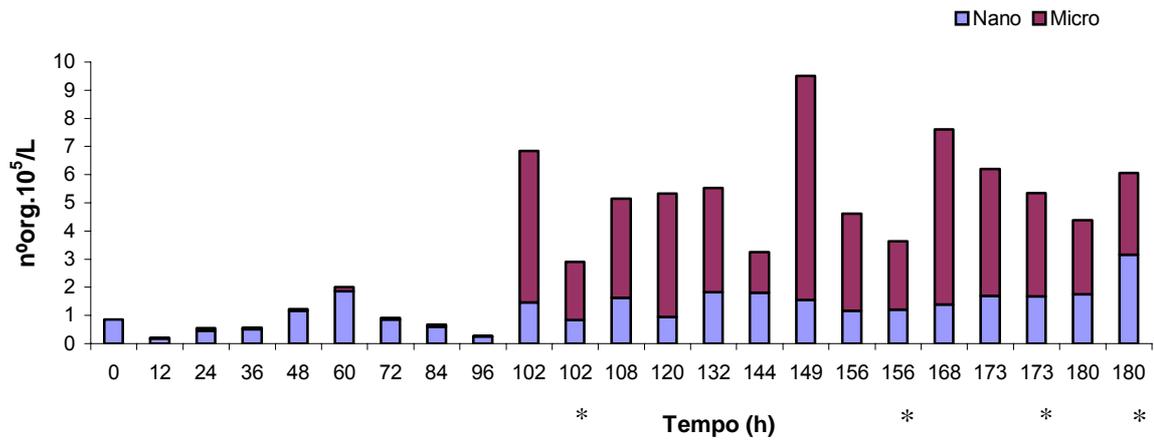


Figura 14 – Contribuição do nanoplâncton e microfítoplâncton (a) e dos diferentes grupos (b) para o total de organismos do fitoplâncton na camada acima da termoclina, em uma estação fixa em frente à Ilha de Cabo Frio. (\* = coleta realizada na termoclina)

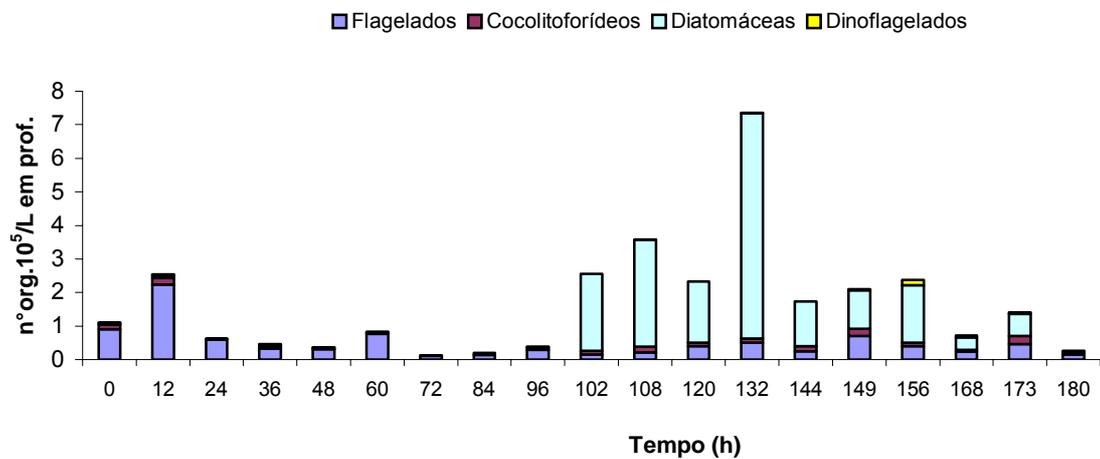
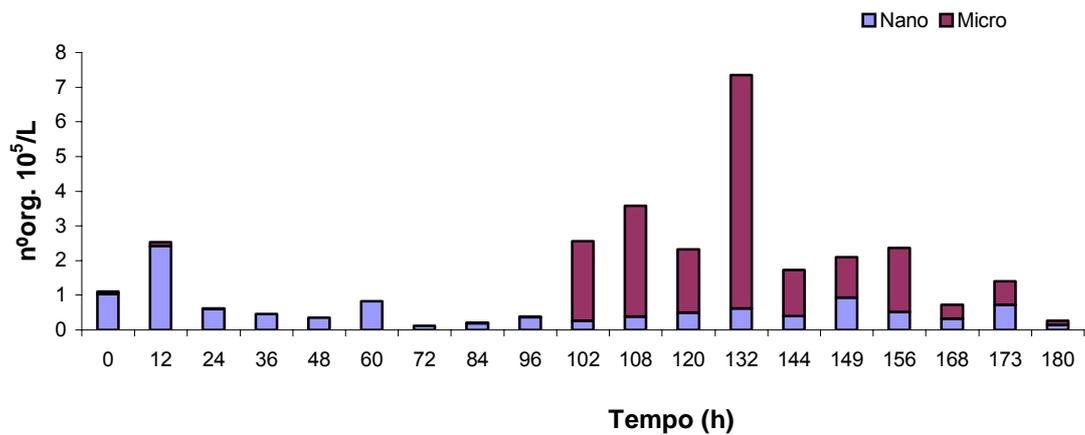


Figura 15 – Contribuição do nanoplâncton e microfitoplâncton (a) e dos diferentes grupos (b) para o total de organismos do fitoplâncton na camada abaixo da termoclina, em uma estação fixa em frente à Ilha de Cabo Frio.

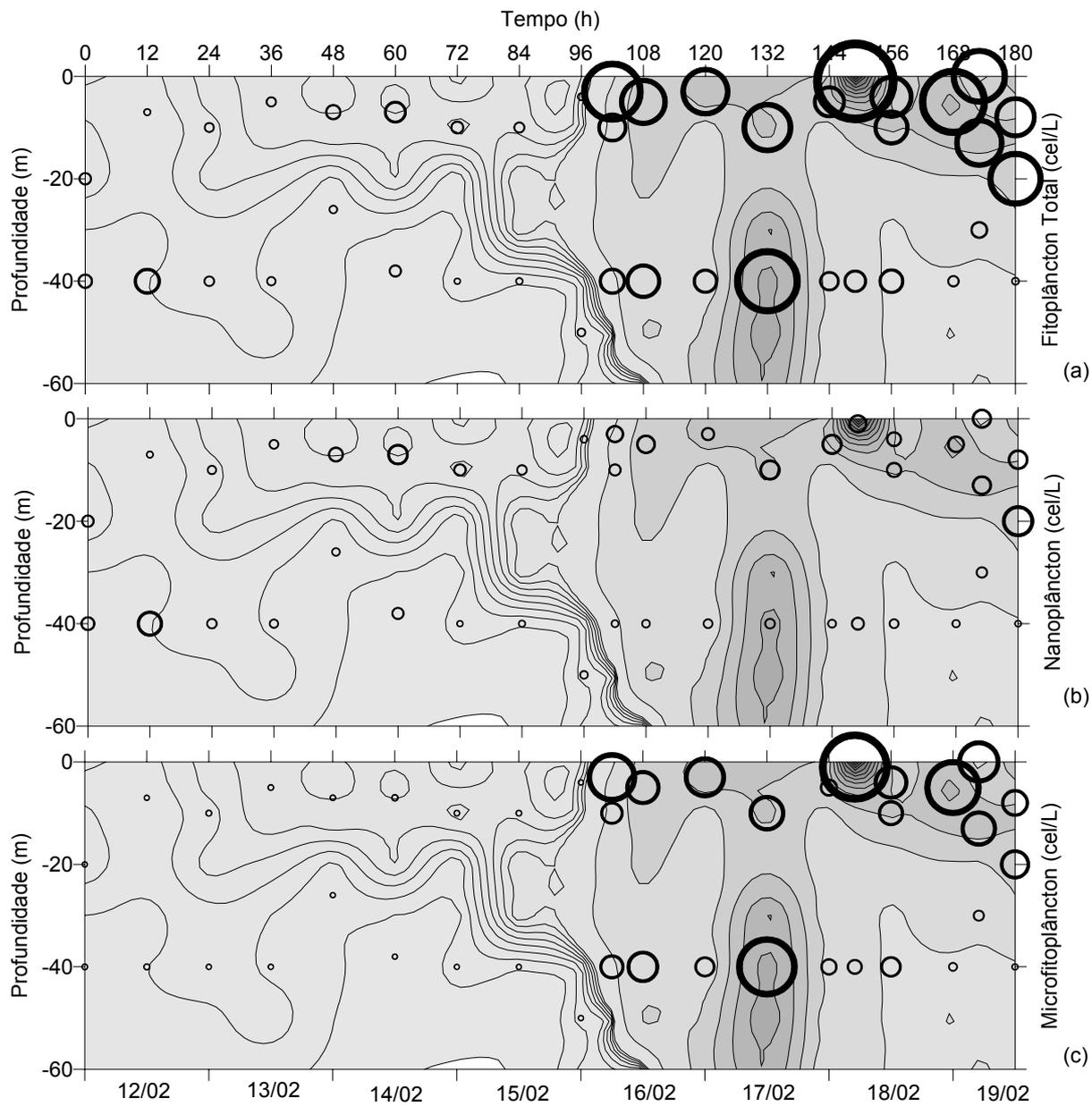


Figura 16 - Distribuição do fitoplâncton total (a), nanoplâncton (b) e microfitoplâncton (c) sobre o perfil vertical da clorofila a, em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

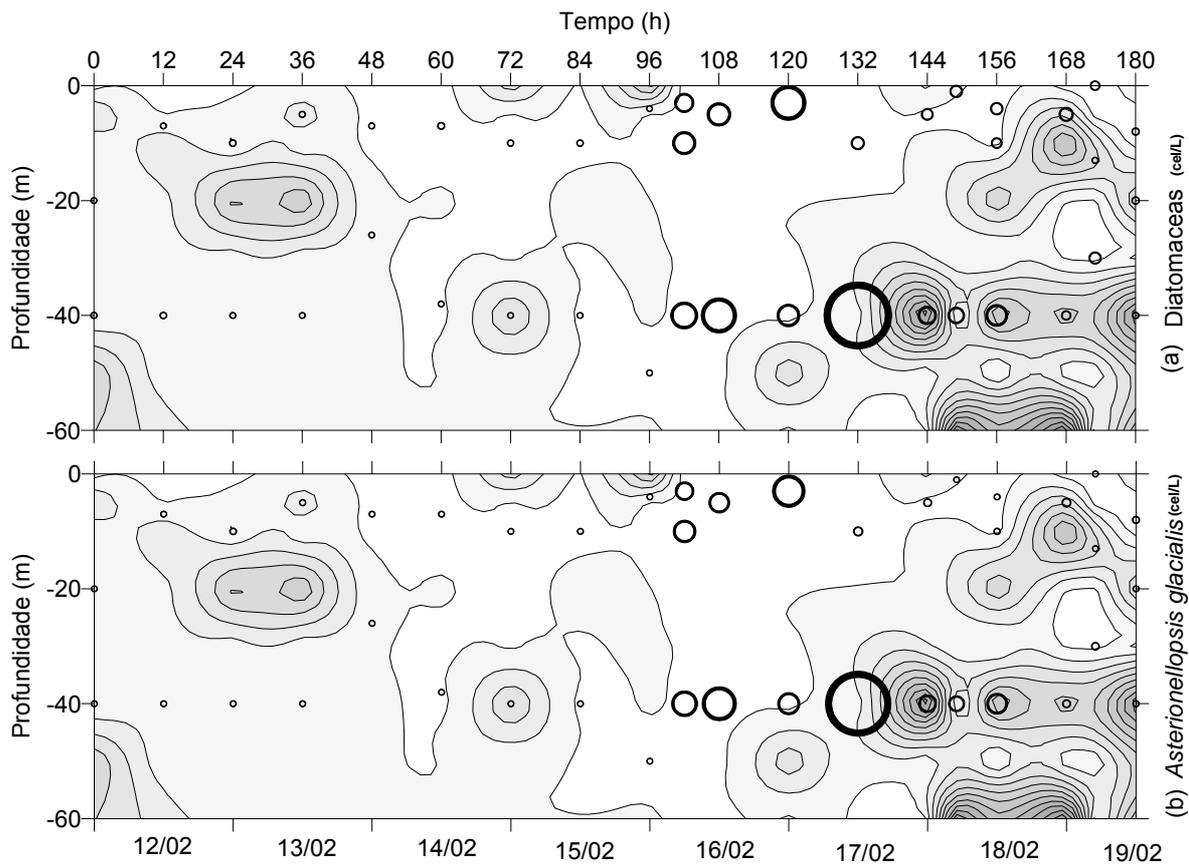


Figura 17 - Distribuição do total de diatomáceas (a) e da espécie *Asterionellopsis glacialis* (b) sobre o perfil vertical da relação Si:N em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

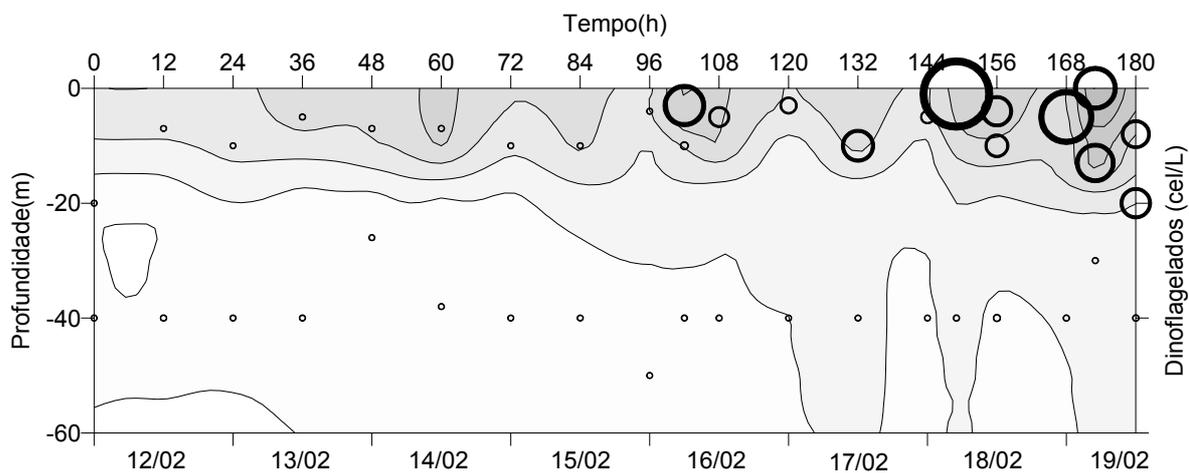


Figura 18 - Distribuição do total de dinoflagelados sobre o perfil vertical da temperatura em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

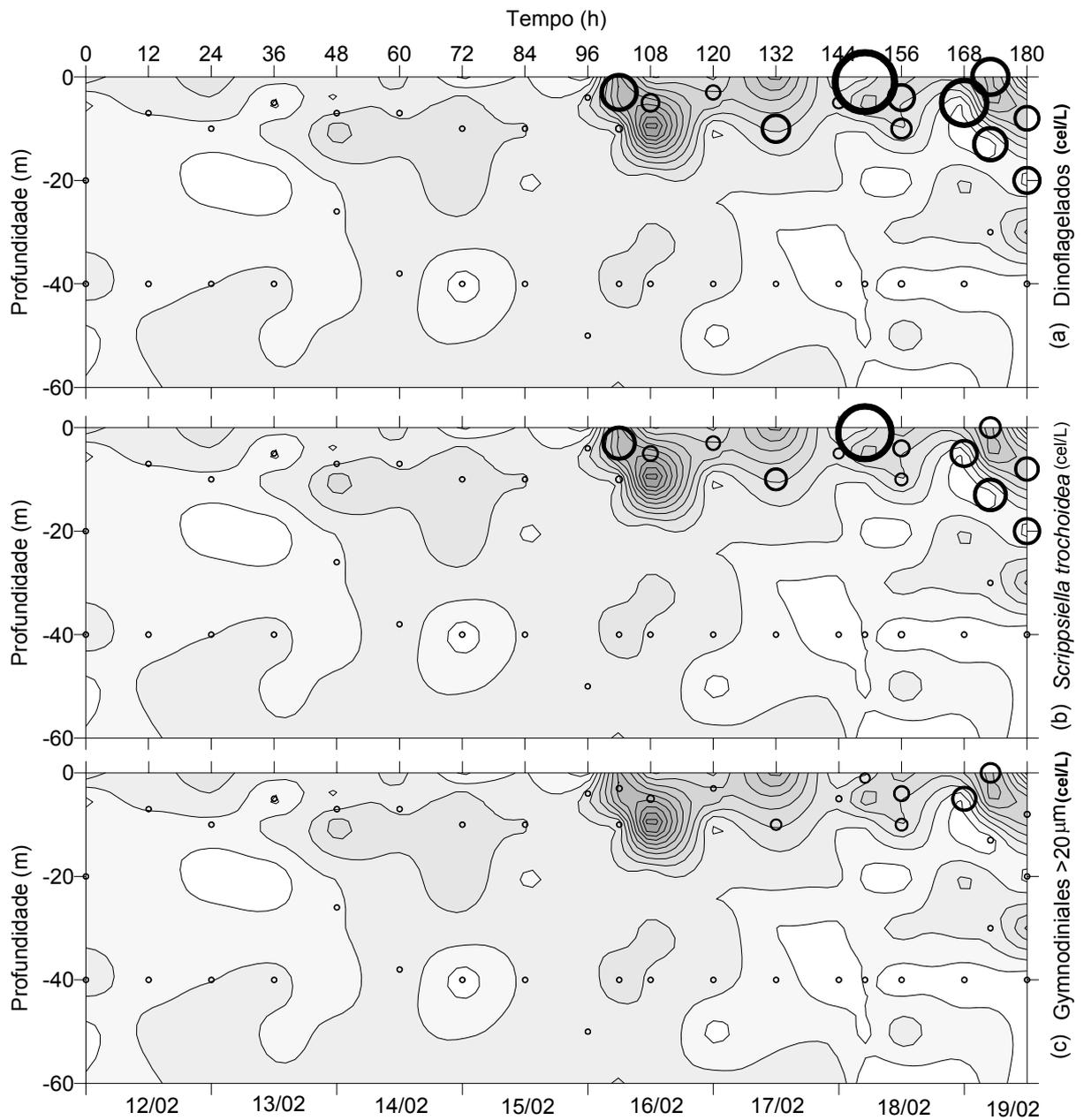


Figura 19 - Distribuição do total de dinoflagelados (a), *Scrippsiella trochoidea* (b) e Gymnodiniales > 20 μm, sobre o perfil vertical da relação N:P em uma estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio (RJ).

## **APÊNDICES**

APÊNDICE A - Resultados das contagens do número de organismos por litro, encontrados nas amostras coletadas, acima da termoclina, na estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio.

DEPROAS - Verão 2003																							%	
PROFUNDIDADE (m)	20	7	10	5	7	7	10	10	4	3	10	5	3	10	5	1	4	10	5	0	13	8	20	
TEMPO (hs)	0	12	24	36	48	60	72	84	96	102	102	108	120	132	144	149	156	156	168	173	173	180	180	
MICROFITOPLANCTON - SUPERFÍCIE																								
Asterionellopsis glacialis	0	0	7600	3200	0	0	400	0	0	138800	185000	163600	295600	36000	22400	0	0	4800	32000	0	0	13400	0	52%
Bacillaria paxillifera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	6400	4800	0	3600	0	0	0	0	0	0	0	0	17%
Bacteriastrium sp.	0	0	0	0	1400	0	0	0	0	0	0	3600	0	0	9200	0	0	0	0	0	0	0	0	13%
Chaetoceros dydimus	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	9%
Chaetoceros spp	0	0	1200	0	0	11000	0	0	0	0	0	0	5600	42000	2400	65600	70000	42000	54800	40000	0	0	6200	48%
Detonula pumila	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	4%
Diatomácea Cêntrica não identificada >20 µm	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	7200	0	0	400	0	0	1600	0	0	3200	0	1600	26%
Guinardia flaccida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	9%
Guinardia striata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	4%
Navicula spp.	0	200	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9%
Nitzschia longíssima	0	0	0	200	200	0	0	0	0	800	300	800	1600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26%
Pleurosigma sp1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	9%	
Pleurosigma spp	0	0	0	0	0	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	0	0	0	9%	
Proboscia alata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4%	
Thalassiosira punctigera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	0	1200	0	0	0	0	0	0	0	0	9%	
Thalassiosira rotula	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4%	
Thalassiosira cf. subtilis	0	0	0	200	0	0	5200	6200	0	3600	0	400	8800	0	22800	0	0	0	0	0	0	600	7400	39%
Thalassiosira spp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5600	0	2000	1600	0	0	0	0	13%	
Ceratium furca	0	400	400	0	0	200	0	0	0	800	600	400	800	0	2400	0	2000	2000	3200	800	200	200	61%	
Gymnodiniales >20 mm	0	0	0	2200	2800	1800	500	600	300	8800	0	25200	2400	74000	10400	61600	129600	91200	242000	186000	7600	7800	1200	83%
Noctiluca scintillans	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4%
Prorocentrum gracile	0	200	0	0	0	0	300	0	200	0	0	0	0	0	800	0	1200	1200	1600	0	0	0	30%	
Prorocentrum micans	0	0	0	0	0	0	0	200	0	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	0	13%
Prorocentrum sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2400	100	800	0	0	0	0	0	400	0	0	0	400	0	22%
Protoperidinium sp 1	200	0	0	0	200	0	0	0	0	3600	400	4400	800	0	1200	0	0	0	0	2000	2400	1400	43%	
Protoperidinium sp 2	200	0	0	0	0	0	0	0	0	900	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13%
Protoperidinium sp 3	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4%	
Protoperidinium spp.	0	0	0	200	0	1000	0	100	0	0	0	0	0	0	2400	0	2000	3200	16000	0	0	0	30%	
Scrippsiella trochoidea	0	0	0	0	0	200	100	0	300	358800	19600	130000	116000	218000	70400	658000	146000	95200	284000	204000	351200	237000	272400	74%
gymnodiniales 15-17,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20800	0	1600	0	0	0	0	0	0	0	0	2400	0	0	13%
<b>TOTAL MICROFITOPLÂNCTON</b>	<b>800</b>	<b>800</b>	<b>9200</b>	<b>6200</b>	<b>4800</b>	<b>14800</b>	<b>6500</b>	<b>7100</b>	<b>800</b>	<b>538800</b>	<b>207700</b>	<b>352800</b>	<b>436800</b>	<b>370800</b>	<b>144000</b>	<b>794400</b>	<b>345600</b>	<b>242000</b>	<b>621600</b>	<b>450800</b>	<b>367200</b>	<b>263200</b>	<b>291200</b>	
<b>NANOPLANCTON</b>																								
Flagelados 2,0 - 5,0 µm	54752	9440	39648	47200	88736	89680	72688	46256	13216	123664	66080	107616	77408	62304	139712	134992	33948	31152	52864	64192	139712	162368	271872	100%
Flagelados 5,0 - 7,5 µm	11328	3776	5664	1888	7552	67024	5664	8496	0	13216	2832	1888	3776	105728	9440	4720	75520	77408	71744	81184	7552	7552	26432	96%
Flagelados 7,5 - 10,0 µm	11328	3776	0	1888	1888	6608	1888	0	0	944	0	1888	944	6608	9440	0	944	2832	7552	3776	3776	1888	1888	78%
Flagelados 10,0 - 12,5 µm	0	0	0	0	0	3776	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4%
Coccolitoforídeos 5,0 - 7,5 µm	0	0	0	0	0	18880	2832	0	8496	5664	11328	7552	9440	4720	11328	3776	3776	2832	4720	19824	9440	3776	3776	74%
Coccolitoforídeos 7,5 - 10,0 µm	0	0	0	0	16992	0	1888	2832	2832	1888	2832	7552	944	2832	11328	2832	1888	1888	1888	0	3776	0	3776	70%
Coccolitoforídeos 10,0 - 12,5 µm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2832	0	0	0	0	0	0	0	1888	0	0	9%
Gymnodiniales < 20 µm	7552	1888	0	0	1888	0	0	2832	1888	0	0	35872	0	0	0	9440	0	4720	0	0	1888	0	7552	43%
<b>TOTAL NANOPLÂNCTON</b>	<b>84960</b>	<b>18880</b>	<b>45312</b>	<b>50976</b>	<b>117056</b>	<b>185968</b>	<b>84960</b>	<b>60416</b>	<b>26432</b>	<b>145376</b>	<b>83072</b>	<b>162368</b>	<b>95344</b>	<b>182192</b>	<b>181248</b>	<b>155760</b>	<b>116076</b>	<b>120832</b>	<b>138768</b>	<b>168976</b>	<b>168032</b>	<b>175584</b>	<b>315296</b>	
<b>FITOPLANCTON TOTAL</b>	<b>85760</b>	<b>19680</b>	<b>54512</b>	<b>57176</b>	<b>121856</b>	<b>200768</b>	<b>91460</b>	<b>67516</b>	<b>27232</b>	<b>684176</b>	<b>290772</b>	<b>515168</b>	<b>532144</b>	<b>552992</b>	<b>325248</b>	<b>950160</b>	<b>461676</b>	<b>362832</b>	<b>760368</b>	<b>619776</b>	<b>535232</b>	<b>438784</b>	<b>606496</b>	

APÊNDICE B - Resultados das contagens do número de organismos por litro, encontrados nas amostras coletadas, abaixo da termoclina, na estação fixa, em frente à Ilha de Cabo Frio

DEPROAS - Verão 2003																				%
PROFUNDIDADE (m)	40	40	40	40	26	38	40	40	50	40	40	40	40	40	40	40	40	30	40	
TEMPO(hs)	0	12	24	36	48	60	72	84	96	102	108	120	132	144	149	156	168	173	180	
MICROFITOPLANCTON - FUNDO																				
Asterionellopsis glacialis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	220800	314000	179200	664000	126400	110400	166000	22400	19600	3000	53%
Bacillaria paxillifera	0	4000	0	0	0	0	0	0	0	2400	0	0	4000	0	2800	0	0	0	0	21%
Bacteriastrium sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5600	0	0	5%
Chaetoceros dydimus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2800	0	0	5%
Chaetoceros spp	800	0	0	0	0	0	0	0	0	5200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11%
Diploneis spp	1400	1600	400	200	0	0	0	0	0	0	400	400	0	400	0	0	400	0	0	42%
Diatomácea Cêntrica não identificada >20 µm	200	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1200	400	0	1200	0	0	26%
Navicula spp.	1200	1000	200	0	0	100	0	0	0	0	400	0	0	0	0	400	400	0	0	37%
Nitzschia longissima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	800	800	0	400	400	400	0	0	32%
Nitzschia lorenziana	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5%
Paralia sulcata	0	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4000	0	0	0	11%
Pleurosigma sp1	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	0	0	11%
Pleurosigma sp2	0	0	0	0	0	100	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	400	0	0	16%
Pleurosigma spp	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5%
Thalassiosira punctigera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	1200	0	800	1600	0	0	21%
Thalassiosira cf. subtilis	0	0	400	200	0	0	0	100	1900	400	3600	400	2800	3600	400	0	1200	47200	2600	68%
Thalassiosira spp	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5%
Ceratium furca	0	0	400	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11%
Dinophysis acuminata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	0	0	0	0	0	5%
Gymnodiniales >20 µM	600	1200	200	600	200	300	0	200	100	400	400	400	0	0	400	400	1600	400	0	79%
Noctiluca scintillans	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5%
Prorocentrum micans	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	0	0	0	0	5%
Prorocentrum sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	0	5%
Protooperidinium sp 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	0	0	0	5%
Protooperidinium sp 2	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	800	0	0	0	0	0	0	0	0	11%
Protooperidinium sp 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	5%
Protooperidinium spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5%
Scrippsiella trochoidea	1200	1200	0	0	0	0	100	0	0	0	400	0	400	0	2000	12400	2000	800	5400	53%
gymnodiniales 15-17,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>TOTAL MICROFITOPLÂNCTON</b>	<b>6800</b>	<b>10800</b>	<b>1600</b>	<b>1200</b>	<b>200</b>	<b>700</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>2000</b>	<b>229600</b>	<b>320800</b>	<b>181200</b>	<b>672800</b>	<b>133200</b>	<b>117200</b>	<b>184800</b>	<b>40400</b>	<b>68400</b>	<b>11200</b>	
<b>NANOPLANCTON</b>																				
Flagelados 2,0 - 5,0 µm	24544	106672	41536	32096	30208	60416	9440	14160	27376	13216	13216	39648	46256	22656	62304	33984	20768	39648	13216	100%
Flagelados 5,0 - 7,5 µm	57584	103840	11328	0	0	14160	1888	0	944	5664	0	944	5664	0	3776	1888	5664	3776	944	83%
Flagelados 7,5 - 10,0 µm	7552	13216	7552	0	0	944	0	0	0	0	1888	0	944	0	1888	1888	944	0	0	39%
Flagelados 10,0 - 12,5 µm	0	0	0	0	0	944	0	0	0	944	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9%
Coccolitoforídeos 5,0 - 7,5 µm	8496	0	0	0	0	3776	0	2832	8496	10384	16992	11328	6608	13216	11328	6608	4720	24544	0	74%
Coccolitoforídeos 7,5 - 10,0 µm	5664	18880	0	7552	5664	944	0	2832	0	944	0	0	3776	1888	11328	3776	1888	0	0	52%
Coccolitoforídeos 10,0 - 12,5 µm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	944	0	0	0	0	0	0	4%
Gymnodiniales < 20 µm	0	0	0	5664	0	944	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1888	2832	1888	0	22%
<b>TOTAL NANOPLÂNCTON</b>	<b>103840</b>	<b>242608</b>	<b>60416</b>	<b>45312</b>	<b>35872</b>	<b>82128</b>	<b>11328</b>	<b>19824</b>	<b>36816</b>	<b>26432</b>	<b>37760</b>	<b>50976</b>	<b>62304</b>	<b>39648</b>	<b>92512</b>	<b>51920</b>	<b>32096</b>	<b>71744</b>	<b>15104</b>	
<b>FITOPLANCTON TOTAL</b>	<b>110640</b>	<b>253408</b>	<b>62016</b>	<b>46512</b>	<b>36072</b>	<b>82828</b>	<b>11528</b>	<b>20324</b>	<b>38816</b>	<b>256032</b>	<b>358560</b>	<b>232176</b>	<b>735104</b>	<b>172848</b>	<b>209712</b>	<b>236720</b>	<b>72496</b>	<b>140144</b>	<b>26304</b>	

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)