

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
CENTRO DE ESTUDOS GERAIS
INSTITUTO DE BIOLOGIA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA MARINHA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA MARINHA**

WANDERSON FERNANDES DE CARVALHO

**Produção Bacteriana e Fitoplancônica da Região de Ressurgência de
Arraial do Cabo, RJ.**

**ORIENTADOR
Dra. Eliane Gonzalez Rodriguez.**

**Niterói – RJ
2000**

589.48253
c 253p
+

(sexto dia de coleta), tornando-se completamente fechado, com chuva e condições do mar muito adversas. O dia seguinte (04 / 10) manteve as mesmas características, alterando apenas a direção e a força do vento, um NW fraco de 6 nós. Encerrando esse período, nos últimos quatro dias de amostragem os ventos E e NE se alternaram dando a esses dias as seguintes condições meteorológicas: 05 e 06 / 10 – tempo encoberto a bom com ventos de E e NE fracos (2 e 8 nós, respectivamente) e 07 e 08 / 10 – ventos de E e NE fortes (18 e 20 nós) com tempo bom, dia claro com muito sol e poucas nuvens.

4.3.1.2 – CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS:

4.3.1.2.1 – TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA:

De forma semelhante ao observado no período de inverno, a direção do vento também variou muito no período de verão, o que provocou uma variação não menos intensa na transparência da água e conseqüentemente na espessura da camada eufótica. Essa variação ocorreu sempre com um dia de atraso em relação ao vento que a provocou.

A profundidade média da camada eufótica para todo o período foi de 26 metros ($DP \pm 5.2$), com um máximo de 33,9 no dia 07 de outubro e mínimo de 19,0 metros nos dias 29 de setembro e 08 de outubro (Fig. 15).

o tempo passou de nublado a bom com nuvens passageiras rápidas. O segundo dia de amostragem seguiu a tendência do dia anterior, com tempo bom, céu azul com poucas nuvens, porém com mudança na direção do vento, que passou a leste (E) mantendo a intensidade de 20 nós. O vento continuou girando, passando a oeste (W) fraco (6 nós) no terceiro dia de coleta com o tempo permanecendo claro, mas a diminuição na intensidade e as rápidas mudanças na direção do vento demonstravam a possibilidade da entrada de uma nova frente fria. O dia 12 / 06 / 99 seguiu com o mesmo vento e a mesma intensidade, porém, nublado. A situação só não progrediu para uma frente fria no dia seguinte em função da entrada de um NE fraco (7 nós) que abriu novamente o tempo, deixando o dia claro. Essa situação mostrou-se instável, o sexto dia de coleta foi marcado pela entrada de um vento noroeste (NW) fraco (5 nós) que normalmente vem acompanhado de mau tempo, no entanto o tempo continuou bom até o fim do dia. Os reflexos do NW só foram sentidos no dia seguinte (15 / 06 / 99), embora tenha ocorrido uma nova entrada do NE (fraco, 6 nós), o tempo amanheceu fechado e com chuva. O vento mudou mais uma vez de direção no oitavo dia de coleta (16 / 06 / 99), passando à direção E com uma intensidade média (10 nós) e o tempo passando de nublado a bom. As condições meteorológicas permaneceram boas nos últimos dois dias de experimento. No nono dia com um vento W com força média (13 nós) e dia claro e no décimo dia com um vento norte (N) fraco (6 nós) que trouxe um dia muito claro, com um céu de azul profundo sem nuvens e mar calmo.

faixa que ia do fundo aos 30 metros. A concentração média para esse intervalo foi de $0,25 \mu\text{mol.l}^{-1}$, 2,2 vezes menor que a média do primeiro intervalo que foi de $0,55 \mu\text{mol.l}^{-1}$. De forma semelhante ao NO_3^- os maiores valores foram registrados próximos ao fundo decrescendo em direção a superfície (Fig. 20).

Diferente do que ocorreu no primeiro momento, a distribuição do NO_2^- nesse segundo intervalo foi muito semelhante ao padrão observado na distribuição do NO_3^- e mais ainda com a do PO_4^{3-} . Nesta fase do experimento, o NO_2^- apresentou três dias de concentrações muito baixas em quase toda coluna, exceto entre 40 e 50 metros, repetindo o mesmo padrão já descrito para o nitrato e fosfato. Tal como ocorreu com o PO_4^{3-} , as concentrações do nitrito voltaram a se elevar no oitavo dia, a partir do fundo, progredindo para superfície nos dias subseqüentes (Fig. 21). As concentrações de NO_2^- variaram entre $0,01$ e $0,29 \mu\text{mol.l}^{-1}$.

Terceiro momento: compreende os dois últimos dias do experimento, que são marcados pela retomada da subida das águas frias e ricas em nutrientes vindas do fundo. De fato, os efeitos dessa nova subida da ACAS já podem ser observados no oitavo e nono dias, influenciando nas concentrações do PO_4^{3-} e do NO_2^- e num ligeiro resfriamento da água, entretanto, esses efeitos só são observados próximos do fundo, aos 50 metros. Apenas a partir do décimo dia de coleta é que essa nova situação de ressurgência atinge quase toda coluna d'água, alterando completamente sua estrutura térmica, salina e elevando as concentrações dos nutrientes. Logo, podemos comparar a situação estabelecida nesse último momento da série temporal com o primeiro.

O NO_3^- teve uma elevação considerável nesses dias, porém as concentrações, que variaram de $0,68$ a $7,82 \mu\text{mol.l}^{-1}$, não alcançaram os altos valores registrados no primeiro momento e tiveram sempre uma orientação crescente da superfície

4.4.1.2.2 – TEMPERATURA:

A temperatura esteve elevada nestas 24 h de coleta, variando entre 17,45 e 22,20 °C, característica das AC. Na camada entre 0 e 40 metros a temperatura esteve sempre acima dos 18,00 °C, ao passo que as temperaturas abaixo desse valor ocorreram sempre aos 50 metros, a partir da terceira amostragem, uma vez que nas duas primeiras coletas a temperatura mínima esteve acima dos 19,00 °C (Fig. 27).

4.4.1.2.3 – SALINIDADE

Em conformidade com a temperatura, a salinidade também não apresentou muita variação nesse período de 24 horas. As concentrações de sal registradas nas sete coletas realizadas variaram de 35,64 a 36,24, confirmando a presença de AC com influência de CB misturadas a ela (Valetin et al., 1983). As maiores salinidades (> 35,90) foram registradas na camada inferior (entre 30 e 50 m) nas três primeiras coletas e a partir dos 20 metros nas últimas quatro coletas (Fig. 28).

4.4.1.2.4 – CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO:

As concentrações de oxigênio dissolvido estiveram entre 3,85 e 5,60 ml.l⁻¹. Em função do OD a coluna ficou dividida em duas camadas: as menores concentrações foram registradas na camada inferior (30 a 50 m), enquanto as altas concentrações foram medidas na camada superior (0 a 30 m) com picos na primeira coleta

LISTA DE TABELAS:

	n.º página
Tabela 01 – Estatística descritiva dos dados do experimento de inverno.	32
Tabela 02 – Estatística descritiva dos dados do experimento de verão.	48
Tabela 03 – “Factor Loadings” da análise de componentes principais extraídos para o experimento de inverno. São considerados significativos os valores $> 0,38$	72
Tabela 04 – Distâncias quadradas de Mahalanobis entre os grupos de amostras do experimento de inverno, determinadas pela análise de discriminante (Valores de F para a função discriminantes = 7, 71).	75
Tabela 05 – Sumário da análise discriminante entre os três grupos de amostras propostos para o experimento de inverno (Wilks’ Lambda= 0,035; F (14, 142)= 43,932; p < 0,000).	76
Tabela 06 – Sumário da regressão múltipla para a BB como variável dependente (n= 64; R= 0,86; R ² = 0,74; p= 0,00000; F (9, 55)= 17,235 e erro padrão estimado = 7,12).	77
Tabela 07 – Sumário da regressão múltipla para a PB como variável dependente (n= 68; R= 0,94; R ² = 0,88; p= 0,000; F (8, 59) = 53,131 e erro padrão estimado = 0,026).	77

3.2 – PARÂMETROS AMBIENTAIS:

3.2.1 – CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS:

Registros de direção, intensidade dos ventos e precipitação foram obtidos na estação meteorológica da Base Aérea Naval de São Pedro da Aldeia (BAeNSPA).

As condições do tempo: cobertura de nuvens e insolação, foram feitas por observação direta e registradas nas anotações de bordo.

3.2.2 – RADIAÇÃO SOLAR:

As radiações solares máxima, mínima e a integrada, foram registradas continuamente, a intervalos de meia hora, por meio de um sensor esférico, LI -193 SA acoplado ao DATALOGGER LI -1000 da LI-COR durante todo o período dos experimentos. O sensor foi fixado próximo à área onde as incubações foram realizadas, em um ponto alto sem nenhum obstáculo para luz, de forma a não haver interferência por sombreamento nos registros de luz durante o dia.

3.2.3 – CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS:

Em todo o período de amostragem foram medidos diariamente os seguintes

4.2.1.2.2 – TEMPERATURA:

Como era esperado, em função da época do ano, não houve nenhum evento de ressurgência total (afloramento completo da ACAS) nesse período. A temperatura da água se manteve alta e com pouca variação ($21,00 \pm 1,16 \text{ }^\circ\text{C}$), sobre tudo na superfície, apenas no terceiro e quarto dias houve uma subida parcial de uma massa d'água mais fria, com formação de uma termoclina leve a partir dos 20 metros ($18,92 \text{ }^\circ\text{C}$) indo até o fundo ($17,70 \text{ }^\circ\text{C}$). No quinto dia, a termoclina estava a 40 metros e no sexto dia voltou à situação inicial, com temperaturas entre $21,00$ e $22,00 \text{ }^\circ\text{C}$ em toda coluna d'água. Um ligeiro resfriamento ($18,50$ a $20,00 \text{ }^\circ\text{C}$) foi observado do sétimo ao décimo dias entre as profundidades de 40 e 50 metros. Em todo período, a temperatura mínima registrada foi $17,70 \text{ }^\circ\text{C}$ (4º dia, 20 à 50 m) e a máxima $22,00 \text{ }^\circ\text{C}$ (Tab. 01, Fig. 04).

Tabela 01 – Estatística descritiva dos dados do experimento de inverno.

Variáveis	n	Média	Dey. Pad.	Mínimo	Máximo
TEMP (°C)	80	21,01	1,16	17,70	22,10
SAL	80	35,69	0,19	35,02	36,03
O2 (ml.l ⁻¹)	80	4,88	0,46	4,25	7,31
NO3 (μmol.l ⁻¹)	80	1,67	1,33	0,00	5,23
NO2 (μmol.l ⁻¹)	80	0,29	0,19	0,00	0,68
NH4 (μmol.l ⁻¹)	80	1,65	1,02	0,62	4,96
PO4 (μmol.l ⁻¹)	80	0,37	0,11	0,22	0,74
CLOR-a (mgC.m ⁻³)	80	0,66	0,61	0,11	3,34
PP (mgC.m ⁻³ .h ⁻¹)	80	2,95	4,65	0,00	23,39
BB (mgC.m ⁻³)	80	69,91	115,86	15,43	771,60
PB (mgC.m ⁻³ .h ⁻¹)	80	0,12	0,15	0,02	1,13

os efeitos do acúmulo da concentração de dióxido de carbono da atmosfera nos ciclos oceânicos e finalmente nas mudanças climáticas (Moriarty *et al.*, 1997). No âmbito dos estudos do ciclo do carbono, as bactérias têm assumido papel proeminente, uma vez que são organismos “onipresentes” em grande número nos ambientes marinhos e possuem a habilidade ímpar de usar muitos materiais orgânicos, dissolvidos e particulados, que estão indisponíveis a outros organismos, seja pela forma química ou pela concentração em que se encontram, e com isso têm um impacto considerável no movimento de matéria e energia ao longo dos oceanos (Pomeroy, 1992). Kähler *et al.* (1997) sugerem que se as bactérias forem tão eficientes em capturar o material dissolvido e responder rapidamente ao substrato viável quanto se tem estimado, elas são o agente mais provável da degradação do carbono orgânico dissolvido, como propõem Ducklow *et al.* (1993); Bianchi *et al.*, (1998) e Gasol *et al.* (1998). O carbono orgânico dissolvido é um dos maiores reservatórios de carbono da terra e Ducklow *et al.* (op. cit.) estimaram que esse reservatório de carbono é duas vezes o tamanho do reservatório de dióxido de carbono atmosférico, o que torna seu comportamento de interesse no contexto do ciclo global do carbono; entretanto pouco se sabe sobre o carbono orgânico dissolvido e sua importância para o ciclo do carbono nos oceanos (Ducklow *et al.*, 1993; Kähler *et al.*, 1997).

A despeito dos grandes progressos que têm havido em direção da quantificação e compreensão da importância (relativa e absoluta) dos microrganismos no fluxo total do carbono e de seu papel na dinâmica trófica, os estudos ainda estão restritos a poucas áreas, o que gera uma demanda de trabalhos em regimes oceânicos diversos (McManus & Peterson, 1988; Pomeroy, 1992; Ducklow *et al.*, 1993; Caron *et al.*, 1995; Kähler *et al.*, 1997) para se ter uma visão ampla e precisa dos papéis dos microrganismos no ciclo do carbono através de suas relações tróficas.

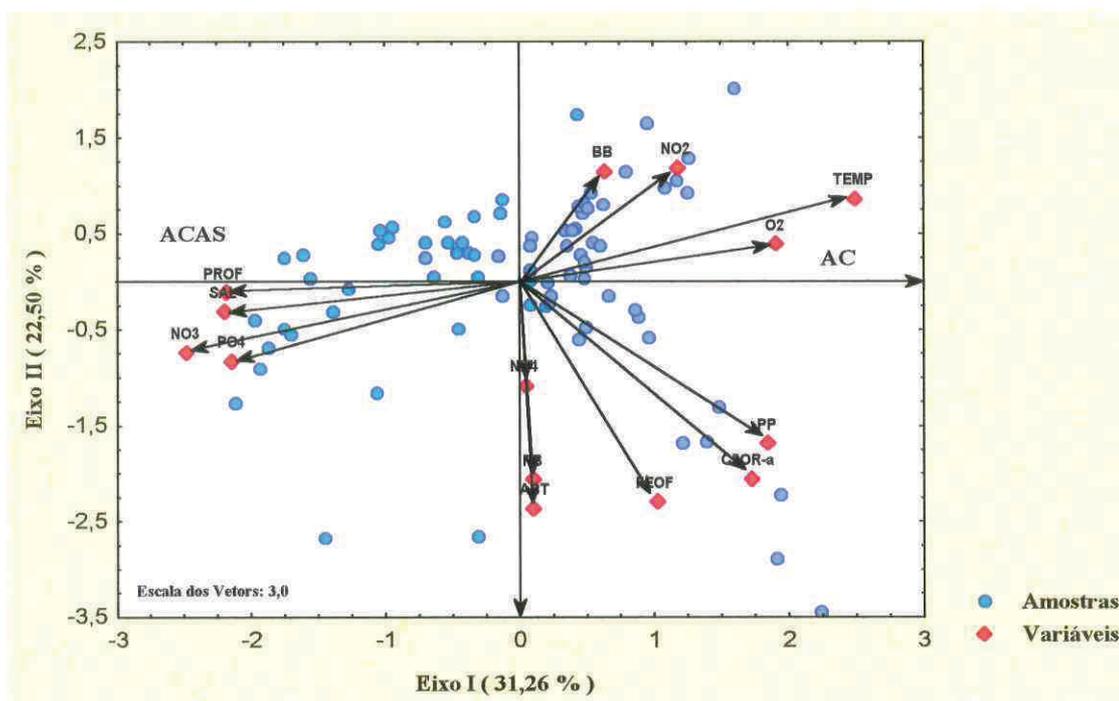


Figura 37 - Análise de componentes principais do experimento de inverno: plano fatorial dos eixos I e II, representando as amostras e variáveis.

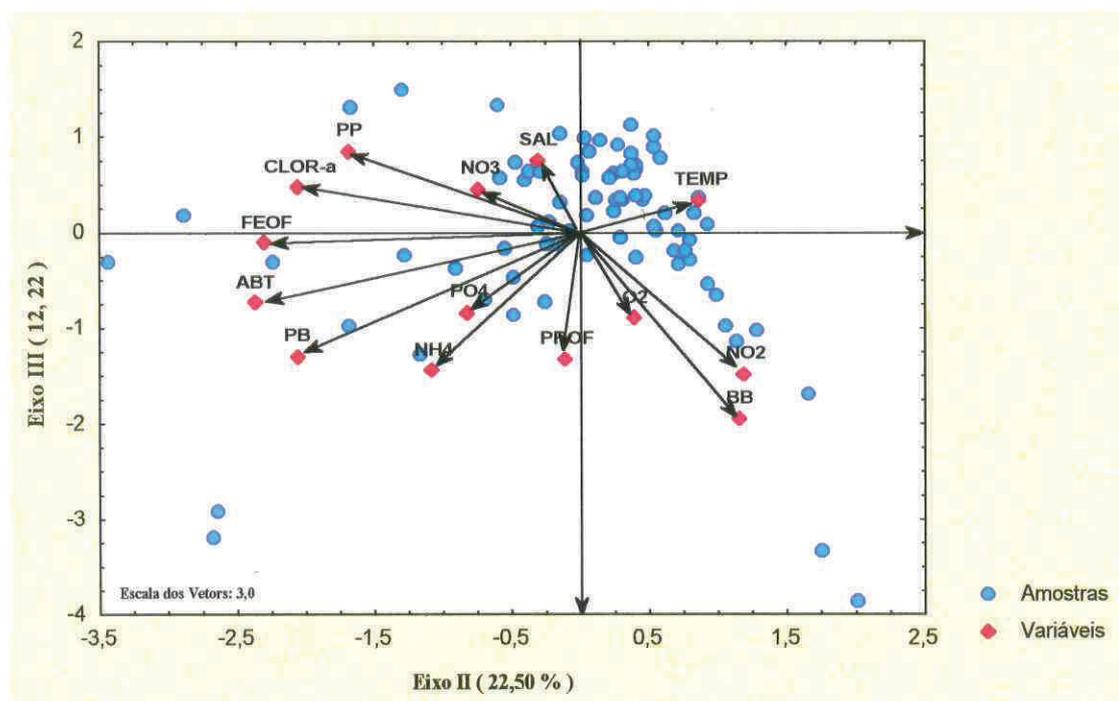


Figura 38 - Análise de componentes principais do experimento de inverno: plano fatorial dos eixos II e III, representando as amostras e variáveis.

Carvalho, Wanderson Fernandes

Produção bacteriana e fitoplanctônica da região de ressurgência de Arraial do Cabo, RJ. / Wanderson Fernandes de Carvalho. Niterói, 2000.

138 pp.

Dissertação (Mestrado em Biologia Marinha) – Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha – Instituto de Biologia – Universidade Federal Fluminense, 2000.

1. Produção bacteriana	2. Produção primária	3. Ressurgência
4. Arraial do Cabo	I. Título	

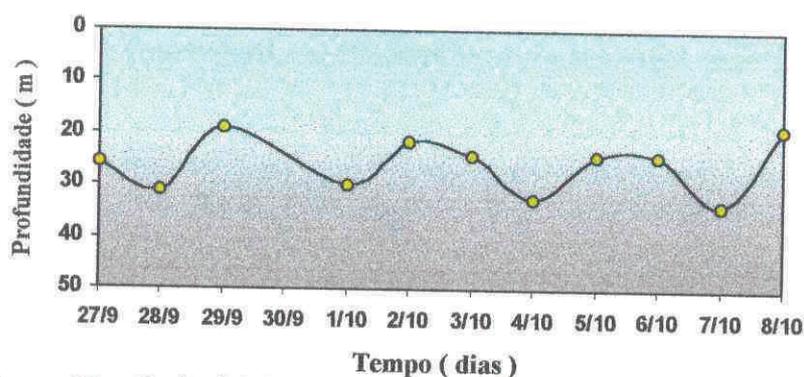


Figura 15 – Profundidade (m) onde a luz alcança 1% da luz incidente na superfície, ao longo do tempo (27 de setembro à 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.

4.3.1.2.2 – TEMPERATURA:

Em função da temperatura, esta fase do trabalho pode ser dividida em três momentos distintos: o **primeiro**, vai do início do experimento ao quinto dia de amostragem, com uma situação de ressurgência quase total, uma vez que a camada superior apresentou uma água resultante da mistura entre a **CB** e a **ACAS** (18,10 e 19,90 °C). Nos quatro primeiros dias houve a presença constante de uma termoclina acentuada. No primeiro, segundo e quarto dias de coleta a termoclina esteve entre a superfície e 10 metros e um pouco mais profunda no terceiro dia, entre a superfície e 30 metros. A variação da temperatura na camada sobre a termoclina foi de 18,18 a 19,60 °C enquanto na camada abaixo, variou entre 13,00 e 14,00 °C. No quinto dia houve ressurgência completa da **ACAS** (homotermia fria), com a temperatura chegando a 15,16 °C na superfície e 14,01 °C aos 50 metros. O **segundo momento**, compreendido entre o sexto e o oitavo dias de coleta demonstrou mais uma vez a forte instabilidade do sistema hidrológico da área e suas rápidas respostas às mudanças meteorológicas. No sexto dia de coleta, a coluna d'água apresentou uma temperatura entre 19,79 e 17,00 °C da superfície até

Tabela 08 – “Factor Loadings” da análise de componentes principais extraídos para o experimento de verão. São considerados significativos os valores $> 0,38$	79
Tabela 09 – Distâncias quadradas de Mahalanobis entre os grupos de amostras do experimento de verão, determinadas pela análise de discriminante (Valores de F para a função discriminantes = 7, 71).	80
Tabela 10 – Sumário da análise discriminante entre os três grupos de amostras propostos para o experimento de inverno (Wilks’ Lambda= 0,018; F (22, 150)= 43,942; $p < 0,000$).	82
Tabela 11 – Sumário da regressão múltipla para a BB como variável dependente ($n= 64$; $R= 0,99$; $R^2= 0,98$; $p= 0,000$; F (8, 55) = 296,10 e erro padrão estimado = 7,04).	83
Tabela 12 – Sumário da regressão múltipla para a PB como variável dependente ($n= 74$; $R= 0,81$; $R^2= 0,0,65$; $p= 0,000$; F (8, 65) = 14,913 e erro padrão estimado = 0,018).	84
Tabela 13 – Sumário da regressão múltipla para a PB como variável dependente ($n= 16$; $R= 0,99$; $R^2= 0,98$; $p= 0,0001$; F (9, 6) = 40,541 e erro padrão estimado = 0,003).	85
Tabela 14 – Sumário da regressão múltipla para a BB como variável dependente ($n= 15$; $R= 0,96$; $R^2= 0,92$; $p= 0,003$; F (7, 7) = 10,778 e erro padrão estimado = 5,96).	85
Tabela 15 – Concentração de nutrientes nas profundidades de coleta (superfície e no fundo).	103

aos 10 metros e entre 0 e 5 metros na quarta coleta, formando um grande núcleo de altas concentrações de **OD** entre a primeira e a quinta coleta (Fig. 29).

4.4.1.2.5 – NUTRIENTES:

As concentrações de nutrientes nesta fase foram bem mais baixas que as observadas nos experimentos do ciclo sazonal, como não poderia deixar de ser, uma vez que a massa d'água dominante nessa fase foi a **AC** misturada a **AT**, que é caracteristicamente oligotrófica. Entretanto, o padrão de distribuição dos nutrientes seguiu o padrão já observado nos experimentos do ciclo sazonal, ou seja, maiores concentrações na camada inferior, mais influenciada por águas mais ricas provindas do fundo, enquanto as menores concentrações ocorreram na camada superior.

O NO_3^- variou de 0,11 a 5,84 $\mu\text{mol.l}^{-1}$, e sua distribuição acompanhou o padrão descrito acima. As maiores concentrações registradas entre 30 e 50 metros até a quinta coleta, com o pico ocorrendo aos 40 metros na quinta coleta, essa água mais rica chegou a camada superior na sexta coleta, 04:00 horas do dia 30 de junho, coincidindo com a ligeira diminuição da temperatura. Na última coleta (08:00 h do dia 30 / 06 / 99) foi registrado o recuo dessa água para a camada onde vinham sendo observadas as maiores concentrações (Fig. 30). O PO_4^{3-} seguiu a tendência de distribuição do nitrato, o que tem sido comum nos experimentos já descritos, concentrações mínimas na camada superior e valores acima da média (0,29 $\mu\text{mol.l}^{-1}$) na faixa entre 30 e 50 metros com uma maior subida na sexta coleta e recuo na última amostragem. A diferença está na presença de três picos: na primeira e terceira coleta, ambos aos 50 metros e aos 40 metros na quinta coleta

parâmetros hidrológicos: temperatura, salinidade, nutrientes, transparência da água e concentração de oxigênio. Todos os parâmetros hidrológicos foram medidos por meio de técnicas clássicas, descritas mais adiante, e com o lançamento de um CTD (Conductivity, Temperature and Depth) **SBE-19 SEACAT Profiler**. A esse CTD estão acoplados os seguintes sensores: **WETLabs–WETStar, LI-COR LI-1 93AS e SBE 23Y** que medem respectivamente: fluorescência, Luz (PAR – Radiação Fotossinteticamente Ativa) e concentração de oxigênio dissolvido. O CTD foi lançado antes de cada coleta, a fim de se obter uma visão prévia da estrutura hidrológica e o pico de fluorescência, no momento da coleta.

3.2.3.1 – TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA:

Além do perfil de luz da coluna d'água fornecido pelo CTD, diariamente foi feito o lançamento do disco de Secchi a fim de determinar os limites da camada eufótica (estabelecidos entre zero metro e a profundidade onde é registrado apenas 1 % da luz incidente na superfície) determinado em função da profundidade de desaparecimento do

disco de Secchi, utilizando a seguinte fórmula:
$$Z_{1\%} = \frac{\text{LN}(0,001)}{K}$$

Onde:

Z_1 - Profundidade onde ocorre apenas 1 % da luz incidente na superfície;

LN - Logaritmo Neperiano;

K - Coeficiente de desaparecimento da luz, dado por: $K = \frac{1,7}{ZS}$

4.2.1.2.3 – SALINIDADE:

A salinidade variou de 35,15 à 36,03, com dois núcleos de salinidade mais elevada (35,85 e 36,03), o primeiro foi observado entre o segundo e o quarto dias, e o segundo entre o sexto e o décimo dias de amostragem, ambos entre as profundidades de 20 e 50 metros, confirmando a presença e a influência da ACAS nessa faixa inferior da coluna d'água. As menores salinidades (35,80 a 35,15), características da AC estiveram nas águas superficiais, acima dos 20 metros, exceto no primeiro e entre o quarto e o sexto dias, quando esses valores foram observados até o fundo (Fig. 05).

4.2.1.2.4 – CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO:

O oxigênio dissolvido variou de 4,25 a 7,31 ml.l^{-1} em todo o período. O primeiro dia de coleta foi o que registrou as maiores concentrações em toda coluna d'água, incluindo o pico aos 30 metros (7,31 ml.l^{-1}). Em contraste, no segundo dia, da superfície ao fundo, foram registrados os menores valores (4,25 e 4,57 ml.l^{-1}). As concentrações voltaram a subir a partir do terceiro dia, na superfície (5,00 a 6,01 ml.l^{-1} entre 2 e 15 m) e, progressivamente, se estendeu para o fundo, chegando no quinto e sexto dias a uma distribuição em toda coluna d'água de concentrações em torno da média (Tab. 01). A partir do sétimo dia de amostragem as maiores concentrações de OD foram registradas na superfície, permanecendo assim até o final do período (Fig. 06).

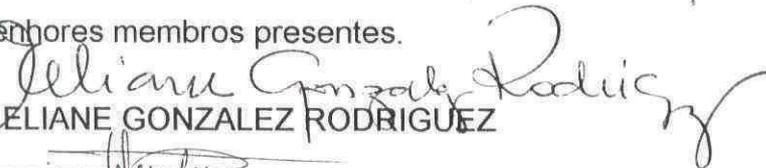
Com a mesma visão e necessidade de compreensão dos processos oceanográficos físicos, químicos e biológicos descritos anteriormente, é que o ecossistema da região de Arraial do Cabo vem sendo intensivamente estudado desde 1972. O fenômeno da ressurgência que ocorre nessa região dá suporte a um intrincado ecossistema, com inúmeros ambientes, incontáveis espécies de organismos e sobre tudo, a uma alta produção biológica (Valentin, 1992). De maneira geral, pode-se dizer que a biodiversidade da região de Arraial do Cabo reflete a influência da ressurgência sobre os diversos componentes do ecossistema marinho. Graças a ela, a biota se enriquece com a presença de espécies indicadoras de água fria, comuns em oceanos temperados (Valentin, 1984). Porém, a ressurgência dessa região não é permanente, ao contrário de outras regiões do planeta, ocorrendo de forma intermitente, sendo condicionada ao regime de ventos da região. O que nos remete a um importante questionamento: se a alta produção da região se deve ao fenômeno de ressurgência, como a comunidade se mantém nos períodos de ausência da ressurgência? A observação de dados de biomassa de zooplâncton demonstra que existem fontes que sustentam esta biomassa, uma vez que ela é razoavelmente constante ao longo do ano (Monteiro-Ribas, 1988).

Uma das tentativas de responder essa e outras perguntas é a utilização dos dados obtidos nessas quase três décadas de estudos para elaboração de modelos ecológicos. A análise de modelos matemáticos é uma ferramenta efetiva na investigação de complexos ecossistemas naturais. Eles podem ter valor preditivo e permitir a compreensão das interações em um ecossistema (Valentin, 1987; 1992). Entretanto, para que esses modelos sejam eficientes, é necessário que sejam “alimentados” com uma série de informações, de boa qualidade, a respeito das relações entre os compartimentos, ao longo do tempo e sob



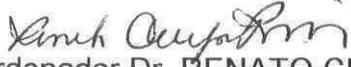
**ATA DA 22ª APRESENTAÇÃO DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM BIOLOGIA MARINHA,
NITERÓI, 27 de junho de 2000**

Aos vinte e sete dias do mês de junho de dois mil, às quatorze horas, na Sala de Aula do Mestrado em Biologia Marinha da UFF, deu-se início a apresentação da Defesa de Dissertação intitulada "PRODUÇÃO BACTERIANA E FITOPLANCTÔNICA DA REGIÃO DE RESSURGÊNCIA DE ARRAIAL DO CABO, RJ, do aluno do Curso de Mestrado em Biologia Marinha da Universidade Federal Fluminense - UFF, WANDERSON FERNANDES DE CARVALHO. Fizeram parte da banca examinadora: Presidente: Dra. ELIANE GONZALEZ RODRIGUEZ (Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira), Dr. JEAN LOUIS VALENTIN (Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro) & MIRIAN ARAÚJO CARLOS CRAPEZ (Instituto de Biologia, UFF). Após apresentação do trabalho e argüição feita pela banca examinadora, os trabalhos foram encerrados, tendo o aluno obtido nota 10,0, correspondente ao conceito A em sua Tese. E, para constar, eu, RENATO CRESPO PEREIRA (Coordenador), lavrei a presente ata que vai por mim assinada, juntamente com os senhores membros presentes.


Dra. ELIANE GONZALEZ RODRIGUEZ


Dr. JEAN LOUIS VALENTIN


Dra. MIRIAN ARAÚJO CARLOS CRAPEZ


Coordenador Dr. RENATO CRESPO PEREIRA

para o fundo (Fig. 19). O mesmo ocorreu com o PO_4^{3-} , que variou de 0,20 a 0,68 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ (Fig. 20). Para o NO_2^- , diferentemente dos demais nutrientes, foram registrados os maiores valores em todo o experimento. Suas concentrações variaram de 0,05 a 0,67 $\mu\text{mol.l}^{-1}$, sendo que a média nesse intervalo (0,38 $\mu\text{mol.l}^{-1}$) foi duas vezes maior que as médias do primeiro intervalo e de todo o período (Tab. 02).

Dos nutrientes considerados nesse estudo o NH_4^+ foi o que apresentou um padrão de distribuição espaço-temporal bem diferenciado em todo o período de coleta. Logo, se levarmos em consideração apenas a amônia, o experimento pode ser dividido em duas fases: uma de maior e outra de menor enriquecimento nas concentrações de amônia. Essa diferença na distribuição das concentrações de NH_4^+ deve-se ao fato de a amônia estar, aparentemente, mais bem relacionada com as temperaturas mais altas, ao passo que os demais nutrientes estão melhor relacionados com as águas frias da ACAS. Contudo, os maiores valores de NH_4^+ foram registrados no primeiro momento da série temporal. O primeiro dia de amostragem (27 / 09) registrou uma homogeneidade da coluna em relação a amônia, a despeito da estratificação térmica encontrada nesse dia, com valores em torno da média geral, $1,19 \pm 0,85 \mu\text{mol.l}^{-1}$, exceto na profundidade de 40 metros, onde apresentou uma concentração de $2,26 \mu\text{mol.l}^{-1}$. Os valores registrados no segundo dia de coleta foram mais baixos (em torno de $1,00 \mu\text{mol.l}^{-1}$) em quase toda coluna d'água exceto na superfície, que apresentou um dos dois picos ($5,58 \mu\text{mol.l}^{-1}$) que ocorreram no experimento. Com o recuo da ACAS e o aquecimento da água de quase toda coluna no dia seguinte, as concentrações de NH_4^+ voltaram a se elevar, registrando nesse dia as maiores concentrações de todo o período, sobretudo entre os 20 e 50 metros, incluindo o segundo e maior pico ($6,08 \mu\text{mol.l}^{-1}$) aos 40 metros. No quarto dia voltou a haver uma situação de homogeneidade, no que diz respeito as concentrações de amônia, uma vez que a

A análise discriminante demonstrou que existe distância significativa entre os grupos propostos pela ACP (Tab. 04; Fig. 37) e que 98,75 % das amostras classificadas a priori, com base na ACP, foram classificadas corretamente, com um percentual de acerto de 100 % para as amostras de águas frias e quentes e 96,15 % para as amostras de água intermediária. O modelo de extração das funções discriminantes (eixos) teve um alto poder discriminatório. Todas as variáveis inseridas na ACP foram submetidas à análise discriminante como possíveis estruturadoras dos grupos, as que foram selecionadas dentre elas como tendo influência discriminadora significativa (baixa redundância), e incluídas no modelo de determinação das funções discriminantes foram: **TEMP**, **PO₄³⁻**, **SAL**, **PROF**, **O₂**, **CLOR-a** e **PP** , dispostas numa ordem crescente de redundância respectivamente (Tab. 05; Fig. 39).

Tabela 04 – Distâncias quadradas de Mahalanobis entre os grupos de amostras do experimento de inverno, determinadas pela análise de discriminante (Valores de F para a função discriminantes = 7, 71).

	fria	mix	quente
fria		51,13	107,51
mix	51,13		31,35
quente	107,51	31,35	

- Tabela 16** – Sumário da regressão múltipla para a **PB** como variável dependente, nas réplicas do tratamento de 0 % ($n= 8$; $R= 0,97$; $R^2= 0,93$; $p< 0,008$; $F (3, 4) = 18,45$ e EP estimado = 0,095). 114
- Tabela 17** – Resultados médios para as relações entre a produção bacteriana e a produção primária: média geral, e nas diferentes fases do desenvolvimento fitoplanctônico. 115
- Tabela 18** – Relação diária entre a produção bacteriana e a produção primária nos quatro tratamentos. 115
- Tabela 19** – Sumário da regressão múltipla para a **PB** como variável dependente, nas réplicas do tratamento de 35 % ($n= 8$; $R= 0,74$; $R^2= 0,55$; $p< 0,036$; $F (1, 6) = 7,22$ e EP estimado = 0,35). 116
- Tabela 20** – Sumário da regressão múltipla para a **PB** como variável dependente, nas réplicas do tratamento de 70 % ($n= 8$; $R= 0,92$; $R^2= 0,84$; $p< 0,045$; $F (3, 4) = 7,048$ e EP estimado = 0,31). 116
- Tabela 21** – Sumário da regressão múltipla para a **PB** como variável dependente, nas réplicas do tratamento de 100 % ($n= 8$; $R= 0,93$; $R^2= 0,87$; $p< 0,029$; $F (3, 4) = 9,09$ e EP estimado = 0,39). 117
- Tabela 22** – Sumário da regressão múltipla para a **PB** como variável dependente, no conjunto geral de dados obtidos nos quatro tratamentos ($n= 32$; $R= 0,71$; $R^2= 0,51$; $p< 0,002$; $F (5, 26) = 5,39$ e EP estimado = 0,46). 118

Onde:

ZS - Profundidade de desaparecimento do disco de Secchi.

As profundidades calculadas a partir das fórmulas acima foram comparadas com as fornecidas pelo CTD a fim de verificar a acurácia do método.

3 . 2 . 3 . 2 – TEMPERATURA:

Os perfis de temperatura da coluna d'água foram registrados através de termômetros de inversão acoplados à garrafa de Nansen. As garrafas eram colocadas nas profundidades de coleta, aguardavam um tempo médio de três minutos antes de serem desarmadas a fim de que os termômetros estivessem adequadamente estabilizados e as tomadas de temperatura fossem o mais precisas quanto possível. Todas as medidas obtidas através dos termômetros de inversão foram comparadas as medidas do CTD, o que garantiu uma maior confiabilidade dos dados obtidos.

3 . 2 . 3 . 3 – SALINIDADE:

250 ml de água foram colocados em frascos de vidro com tampa esmerilhada, bem fechados, a fim de evitar evaporação e alterações nas concentrações de sais da amostra, e estocados à temperatura ambiente ao abrigo da luz até as leituras no laboratório. As amostras foram analisadas em um Salinômetro de indução Beckman,

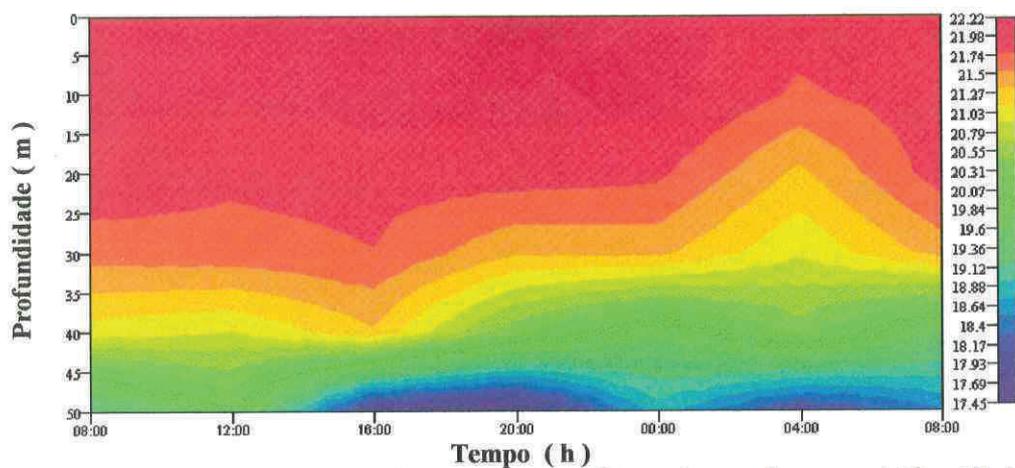


Figura 27 – Distribuição da temperatura (°C), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.

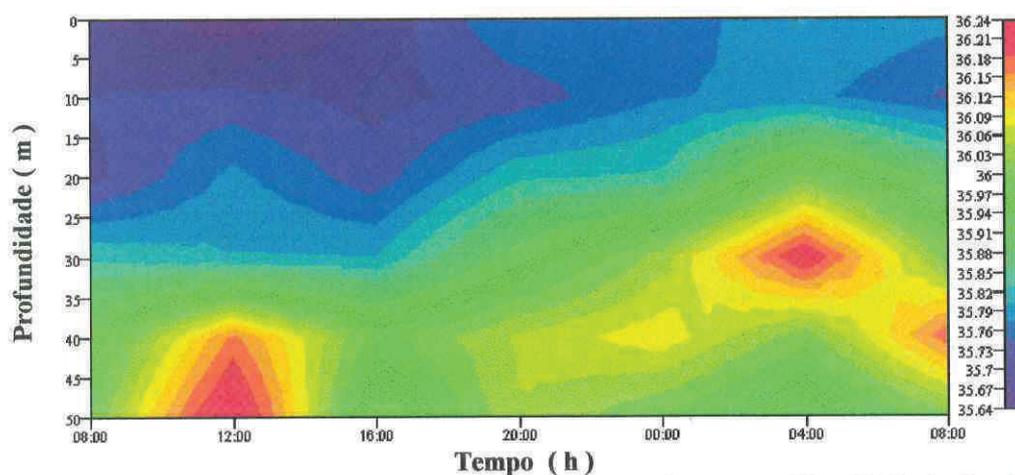


Figura 28 – Distribuição da salinidade, ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.

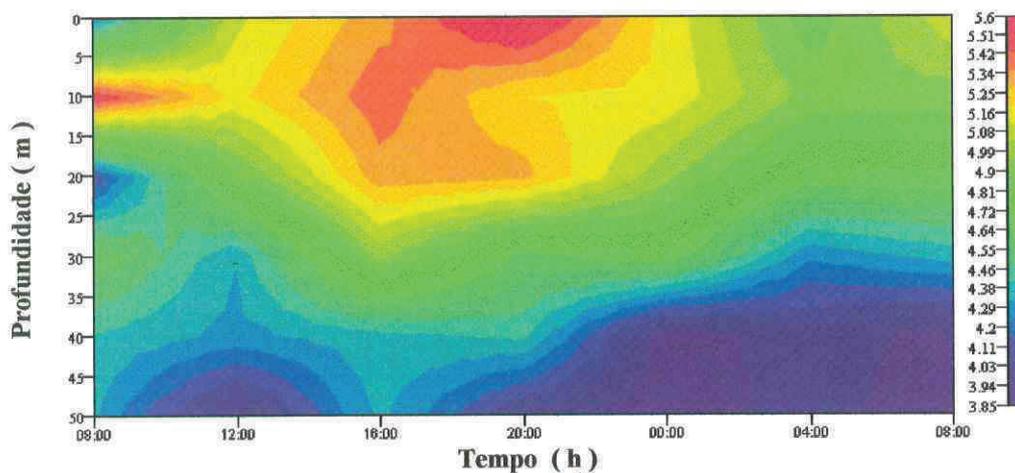


Figura 29 – Distribuição de oxigênio (ml.l⁻¹), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.

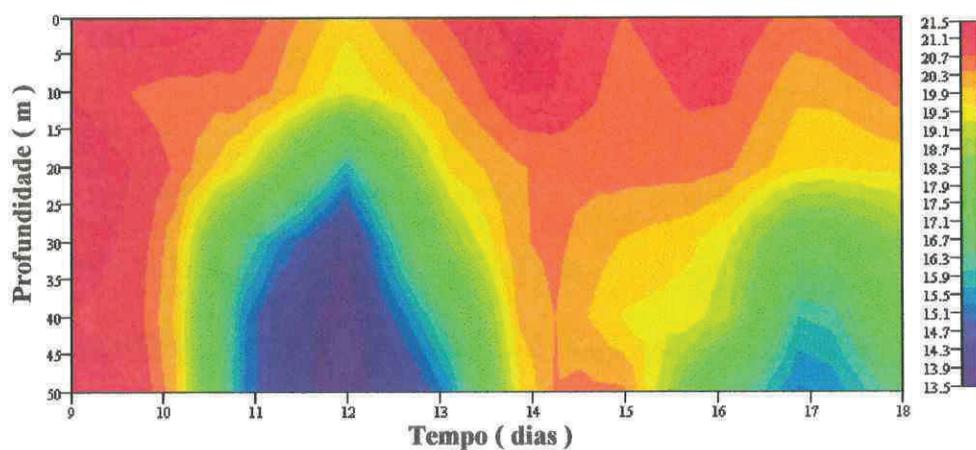


Figura 04 – Distribuição da temperatura (°C), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.

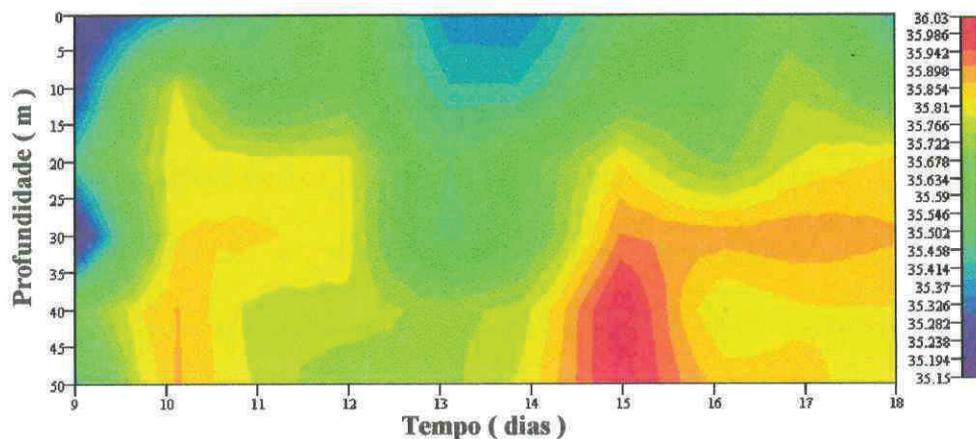


Figura 05 – Distribuição da salinidade, ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.

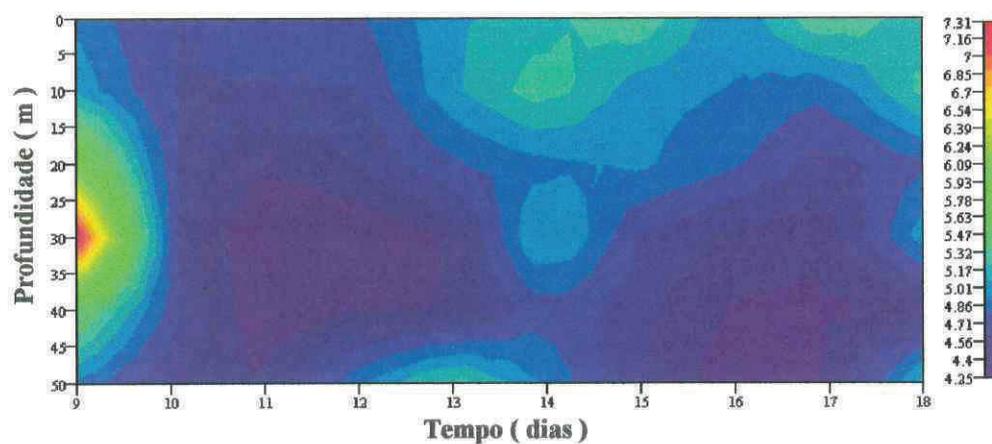


Figura 06 – Distribuição das concentrações de oxigênio dissolvido (ml.l^{-1}), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.

temperatura voltou a diminuir no fundo, estratificando a coluna e deslocando a termoclina cada vez mais para cima (Fig. 22). Os valores de NH_4^+ , para este dia, estiveram em torno de $1,00 \mu\text{mol.l}^{-1}$. O quinto dia marca o início da fase das menores concentrações de NH_4^+ em toda coluna d'água. Desse momento até o sétimo dia as concentrações de amônia estiveram sempre entre $0,59$ e $1,00 \mu\text{mol.l}^{-1}$. Somente a partir do oitavo dia, a coluna d'água voltou a apresentar concentrações acima de $1,00 \mu\text{mol.l}^{-1}$, sempre na camada inferior, que teve uma espessura variável. Os valores desse intervalo variaram entre $0,49$ e $1,69 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ($\bar{X} = 1,00 \pm 0,25$).

4.3.2 – PARÂMETROS BIÓTICOS:

4.3.2.1 – CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA:

As concentrações de Clorofila-a nesse período foram baixas, variando entre $0,12$ e $8,59 \text{ mgClor-a.m}^{-3}$. Seus valores de **CLOR-a** estiveram sempre abaixo da média em todos os perfis (Tab. 02), exceto no terceiro e sexto dias quando as concentrações variaram em torno da média geral, e no décimo dia, quando as concentrações nas amostras foram em média seis vezes maior que a média geral.

4.3 – EXPERIMENTO DE VERÃO (27 / 09 a 08 / 10 de 1999):

4.3.1 – PARÂMETROS AMBIENTAIS:

4.3.1.1 – CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS:

Como é característico dessa época do ano, os ventos NE e E dominaram o período em que o experimento foi realizado.

O primeiro dia de coleta (27 / 09) foi marcado por um forte SW (20 nós), vento adverso ao fenômeno de ressurgência e que normalmente vem acompanhado de frentes frias, entretanto, o tempo estava bom, resultado do vento NE de intensidade média (14 nós) que soprou no dia anterior (26 de setembro de 1999). O dia 28 / 09 amanheceu com calmaria (vento de intensidade 0) e tempo bom. O terceiro dia da série temporal teve vento de direção NE e intensidade média (12 nós) e tempo passando de encoberto a bom. No dia 30 / 09 não foi possível a realização das coletas em função de problemas mecânicos na embarcação que estava sendo utilizada. Neste dia, o vento teve direção sueste (SE), intensidade de 8 nós e tempo encoberto. No dia seguinte (01 / 10) voltou a ter direção NE e forte intensidade (20 nós) com o tempo passando de encoberto a bom. Essa "configuração" meteorológica era a esperada, uma vez que estas são as condições que acabam por forçar a ressurgência, infelizmente essa situação se inverteu nos três dias subsequentes (02, 03 e 04 / 10), com a entrada de um SW de intensidade média (10 a 12 nós). O tempo se manteve bom no dia 02 / 10 se alterando drasticamente no dia 03 / 10

o fundo, um contraste com o perfil do dia anterior. A temperatura se elevou ainda mais no sétimo e oitavo dias, quando a temperatura variou entre 20,30 e 21,29 °C em uma situação de subsidência total das águas frias da ACAS e a ocupação da coluna pela AC (homotermia quente). O terceiro momento ocorreu nos três últimos dias de coleta, marcado pelo início de uma nova situação de ressurgência. As águas da superfície mantiveram-se em torno dos 21 °C, entretanto, foi registrado um ligeiro resfriamento na camada do fundo, entre 40 e 50 metros, no nono dia. Esse resfriamento continuou progredindo para camada superior no décimo dia de coleta, alargando a faixa de água mais fria, do fundo até os 30 metros, como resultado da subida da ACAS influenciada pelo vento NE do dia anterior. Com a permanência dos ventos de direção E e NE e o aumento de sua intensidade, o último dia de coleta foi marcado por uma situação de ressurgência, muito embora não muito intensa, com temperaturas que variaram entre 18,48 °C na superfície e 15,30 °C no fundo (Fig. 16).

A variação total da temperatura em toda coluna d'água e para todo o período foi de 13,50 a 21,50 °C, com uma média de $18,41 \pm 2,60$ °C

4.3.1.2.3 – SALINIDADE

A distribuição da salinidade confirma a relação entre as massas d'água evidenciada pelos perfis de temperatura. A variação total da salinidade foi de 35,08 a 36,00 com uma salinidade média da coluna d'água em todo o período de 35,50 (DP \pm 0.24). A coluna d'água se apresentou estratificada nos dois primeiros dias do experimento: na camada superior, da superfície aos 10 metros, a massa d'água apresentou uma salinidade

várias condições hidrológicas e climáticas diferentes, do ambiente que se pretende modelar.

Esses modelos têm sido utilizados largamente como ferramentas importantes para simular a realidade de diversos ecossistemas, permitindo uma previsão de reações do meio a modificações em determinados parâmetros bióticos e abióticos provocadas por forças naturais ou por ação antrópica direta ou indiretamente. As informações obtidas a partir dos modelos ecológicos ajudam na compreensão da dinâmica entre o meio biótico e abiótico do ecossistema simulado, permitindo desta maneira, conhecer sua maleabilidade à mudanças em determinados parâmetros, a resposta da cadeia trófica a essas mudanças e de posse dessas informações, projetar a utilização dos recursos desse ecossistema de forma máxima, contudo, sem danificá-lo.

A crescente importância dos microrganismos, sobre tudo das bactérias, observada em diversos regimes oceanográficos como fonte de energia, e a atuação de uma alça microbiana eficiente (Pomeroy, 1992; Li *et al.*, 1993; Lochte *et al.*, 1997) poderiam preencher algumas das lacunas existentes no conhecimento das relações tróficas da região de Arraial do Cabo. Este conhecimento é importante para o aprimoramento dos modelos biológicos existentes para essa região, considerando que a influência desse compartimento trófico nunca foi estimada nessa área.

Se o bacterioplâncton da região de Arraial do Cabo segue os padrões observados em outras áreas do planeta, sobretudo o de outras áreas de ressurgência, tendo a mesma capacidade de reciclar matéria orgânica proveniente do fitoplâncton e de outras fontes, é possível que a biomassa bacteriana seja um dos principais recursos alimentares para a manutenção da biomassa zooplânctônica, e conseqüentemente a de outros níveis tróficos, nessa região. Trabalhos realizados no Atlântico Sul e no Atlântico Norte,

O eixo II contribuiu com 22,50 % da variância explicada. Esse componente é formado pelas seguintes variáveis: nitrito (NO_2^-) e biomassa bacteriana (**BB**), esta última mais relacionada ao eixo, embora não tenha a projeção mais extrema (maior correlação), com correlação positiva. Na porção negativa estão a atividade bacteriana total (**ABT**), feofitina (**FEOF**), produção bacteriana (**PB**), Clorofila-a (**CLOR-a**), produção primária (**PP**) e amônia (NH_4^+), sendo que as mais relacionadas ao eixo são a **ABT**, **PB** e NH_4^+ (Tab. 03). Esse eixo demonstra a variação das amostras em função da influência das variáveis bióticas. As amostras de águas frias e misturadas não sofreram influência muito forte desse componente, com exceção de umas poucas amostras (d7, e7, e8 e b8) que tiveram uma projeção negativa neste eixo. Em contra partida, o grupo formado pelas amostras de água quente sofreram sensível influência, podendo ser dividido em dois subgrupos, um com coordenadas positiva no eixo e com relação direta com o NO_2^- e **BB**, enquanto o outro grupo teve coordenadas negativas no eixo e relação direta com **ABT**, **FEOF**, **CLOR-a**, **PP**, **PB** e NH_4^+ (Fig. 37).

O eixo III contribuiu com 12,22 % da variância explicada. Esse eixo é formado pela **BB**, NO_2^- , NH_4^+ , **PROF** e **PB**, todos com correlação negativa. As demais variáveis tiveram projeção abaixo da distância mínima de significância (0,38) para os eixos. Este eixo representa a relação entre as variáveis do bacterioplâncton e a variação da amônia e do nitrito ao longo de um gradiente de profundidade. A variância explicada por esse componente está ligada a ordenação de algumas amostras de profundidades médias e fundas (a3, a4, a5, a6, a7, a8, b8, e4, e5, e6, e7, e8 e i8) que apresentaram maiores valores de **BB** e **PB** com uma relação direta com o NH_4^+ e o NO_2^- e inversa com a temperatura, muito embora esta não tenha correlação significativa com o eixo (Tab. 03; Fig. 38).

modelo RS - 7C.

3.2.3.4 – NUTRIENTES:

Os nutrientes analisados neste experimento foram: nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), amônia (NH_4^+) e fosfato (PO_4^{3-})

Das amostras coletadas com Garrafa de Nansen, de cada profundidade amostrada, foram retirados 500 ml de água, colocados em frascos de polipropileno opacos, e conservados na geladeira à 10,00 °C até serem levadas para análise. Em laboratório, as concentrações de nutrientes foram determinados pelos métodos descritos por STRICKLAND & PARSONS (1972).

3.2.3.5 – CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO:

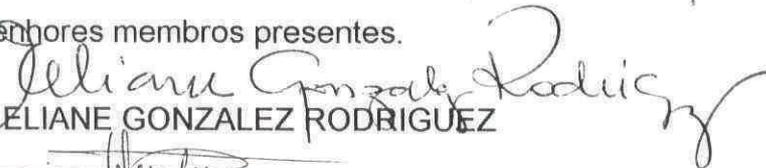
Para as medições das concentrações de O_2 , 125 ml de água foram colocados em frascos de vidro, com o cuidado de não abrir muito a torneira da garrafa de Nansen, e deixar a amostra fluir pelas paredes do frasco, a fim de não haver oxigenação da água, então fixadas com a adição de 1 ml de iodeto alcalino (KI) e 1 ml de sulfato de manganês (MnSO_4) e postas ao abrigo da luz. As dosagens foram obtidas por titulação usando o método de Winkler descritos por STRICKLAND & PARSONS (op. cit.).

(Fig. 31). O NO_2^- apresentou um padrão de distribuição diferenciado do nitrato e do fosfato, o que também tem sido comum. A variação esteve entre 0 e $0,46 \mu\text{mol.l}^{-1}$ com uma concentração média de $0,14 \mu\text{mol.l}^{-1}$. Na primeira coleta a estratificação da coluna d'água, em função do NO_2^- , ficou igual a dos outros nutrientes já descritos, valores mínimos na camada superficial (0 a 30 m) e as maiores concentrações na camada inferior (30 a 50 m). Na segunda coleta foi observado uma subida dessa massa d'água mais rica em NO_2^- até os 20 metros, apresentando um pico aos 40 metros. Na terceira e quarta coleta as maiores concentrações voltaram a estar entre 30 e 50 metros com a manutenção do pico aos 40 metros. A partir do quinta amostragem houve uma mudança interessante na distribuição do NO_2^- . Uma faixa de concentrações abaixo da média ($0,14 \mu\text{mol.l}^{-1}$) formou-se na faixa inferior (entre 40 e 50 m) no quinto dia, formando três estratos bem definidos na coluna, dois deles: um superior (entre 0 e 20 m) e um inferior (descrito acima) com baixas concentrações, e um na camada intermediária com concentrações acima da média. Na sexta coleta a distribuição continuou mudando, a faixa inferior de baixas concentrações permaneceu e se intensificou, sendo registrada concentração $0,00 \mu\text{mol.l}^{-1}$ de nitrito aos 50 metros, porém a faixa correspondente na camada superior desapareceu com concentrações mais altas indo da superfície até aos 40 metros e um pico aos 20 metros. A última coleta repetiu o padrão do quinta coleta, com três estratos de concentração (Fig. 32).

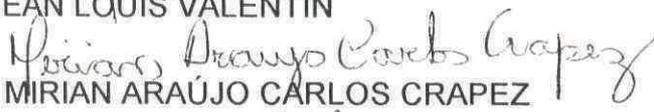


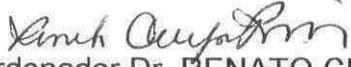
**ATA DA 22ª APRESENTAÇÃO DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM BIOLOGIA MARINHA,
NITERÓI, 27 de junho de 2000**

Aos vinte e sete dias do mês de junho de dois mil, às quatorze horas, na Sala de Aula do Mestrado em Biologia Marinha da UFF, deu-se início a apresentação da Defesa de Dissertação intitulada "PRODUÇÃO BACTERIANA E FITOPLANCTÔNICA DA REGIÃO DE RESSURGÊNCIA DE ARRAIAL DO CABO, RJ, do aluno do Curso de Mestrado em Biologia Marinha da Universidade Federal Fluminense - UFF, WANDERSON FERNANDES DE CARVALHO. Fizeram parte da banca examinadora: Presidente: Dra. ELIANE GONZALEZ RODRIGUEZ (Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira), Dr. JEAN LOUIS VALENTIN (Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro) & MIRIAN ARAÚJO CARLOS CRAPEZ (Instituto de Biologia, UFF). Após apresentação do trabalho e argüição feita pela banca examinadora, os trabalhos foram encerrados, tendo o aluno obtido nota 10,0, correspondente ao conceito A em sua Tese. E, para constar, eu, RENATO CRESPO PEREIRA (Coordenador), lavrei a presente ata que vai por mim assinada, juntamente com os senhores membros presentes.


Dra. ELIANE GONZALEZ RODRIGUEZ


Dr. JEAN LOUIS VALENTIN


Dra. MIRIAN ARAÚJO CARLOS CRAPEZ


Coordenador Dr. RENATO CRESPO PEREIRA

e NO_2^- e em uma relação inversa – **ABT**, **TEMP.**, **PP**, **SAL** e NH_4^+ . Além dessas variáveis também foi incluída no modelo a feofitina, que embora não tenha tido significância estatística (Tab. 06).

Tabela 06 – Sumário da regressão múltipla para a **BB** como variável dependente ($n=64$; $R=0,86$; $R^2=0,74$; $p=0,00000$; $F(9, 55)=17,235$ e erro padrão estimado = 7,12).

	BETA	Erro padrão de BETA	t (55)	p
PB	1.55	0.16	9.78	0.00
CLOR-a	0.69	0.16	4.28	0.00
NO₂⁻	0.32	0.08	3.87	0.00
ABT	-1.57	0.16	-9.52	0.00
TEMP	-0.40	0.10	-4.03	0.00
PP	-0.37	0.13	-2.94	0.00
SAL	-0.32	0.08	-3.86	0.00
NH₄⁺	-0.19	0.08	-2.21	0.03
FEOF	-0.19	0.12	-1.54	0.13

Para a **PB** foi obtida uma explicação 94,00 % ($p < 0,000$). As variáveis bem correlacionadas a **PB** foram: **CLOR-a** e PO_4^{3-} (com relação direta) e **TEMP**, NO_3^- , NO_2^- e **SAL** com relação inversa. Ainda entraram no modelo a **PP** e a **FEOF** (ambas inversamente correlacionadas) em função do valor de suas contribuições à explicação do modelo, entretanto suas relações com a variável dependente ficaram um pouco abaixo do limite de confiança de 95,00 % (Tab. 07).

Tabela 07 – Sumário da regressão múltipla para a **PB** como variável dependente ($n=68$; $R=0,94$; $R^2=0,88$; $p=0,000$; $F(8, 59)=53,131$ e erro padrão estimado = 0,026).

	BETA	Erro padrão de BETA	t (54)	p
CLOR-a	0.91	0.09	9.98	0.00
PO₄³⁻	0.14	0.07	2.12	0.04
TEMP	-0.76	0.10	-7.43	0.00
NO₃⁻	-0.72	0.12	-6.23	0.00
NO₂⁻	-0.23	0.08	-3.09	0.00
SAL	-0.20	0.06	-3.17	0.00
PP	-0.16	0.08	-1.92	0.06
NH₄⁺	-0.09	0.05	-1.69	0.10

LISTA DE ILUSTRAÇÕES:

	n.º página
Figura 01 – Mapa da área de estudo. (ponto de coleta).	09
Figura 02 – Visão do sistema de incubação <i>in situ</i> simulado.	24
Figura 03 – Profundidade (m) onde a luz alcança 1% da luz incidente na superfície, ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.	31
Figura 04 – Distribuição da temperatura (°C), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.	34
Figura 05 – Distribuição da salinidade, ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.	34
Figura 06 – Distribuição das concentrações de oxigênio dissolvido (ml.l^{-1}), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.	34
Figura 07 – Distribuição das concentrações de nitrato ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.	38
Figura 08 – Distribuição das concentrações de fosfato ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.	38

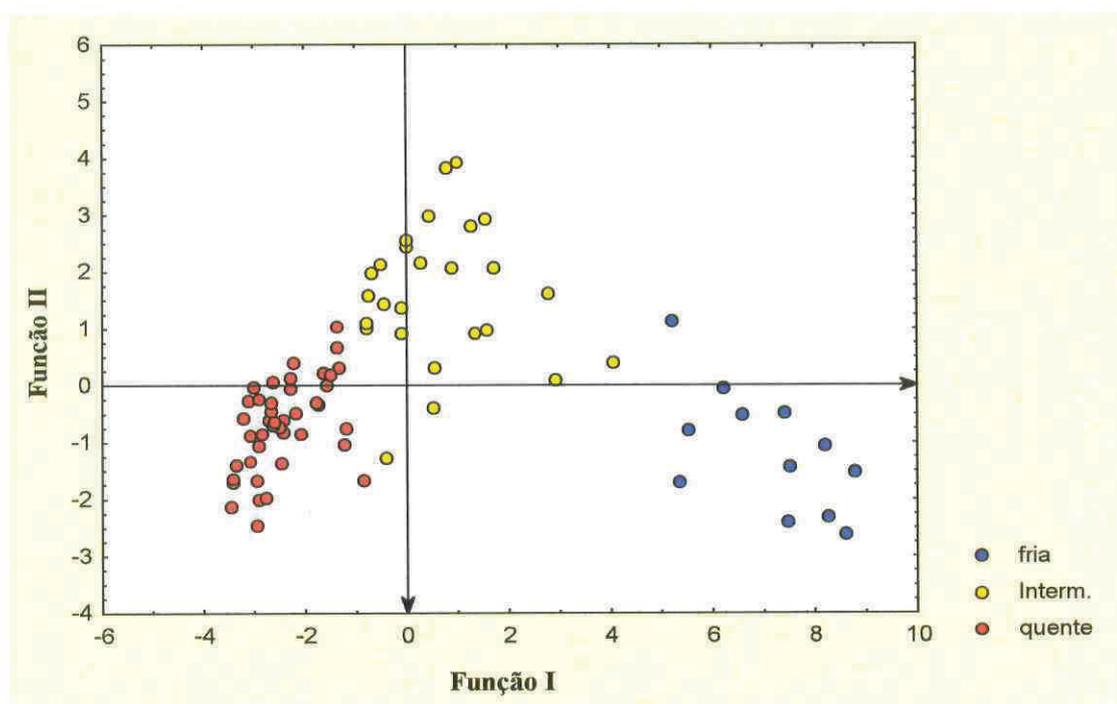


Figura 39 – Análise discriminante entre os grupos de água (fria, misturada e quente) no experimento de inverno.

Tabela 05 – Sumário da análise discriminante entre os três grupos de amostras propostos para o experimento de inverno (Wilks' Lambda= 0,035; F (14, 142)= 43,932; p < 0,000)

	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove -2,71	p	Toler.	Toler. (R ²)
TEMP	0,11	0,32	75,54	0,00	0,93	0,07
PROF	0,05	0,76	11,48	0,00	0,78	0,22
SAL	0,04	0,85	6,09	0,00	0,81	0,19
PO ₄ ³⁻	0,04	0,82	7,58	0,00	0,89	0,11
O ₂	0,04	0,93	2,57	0,08	0,73	0,27
PP	0,04	0,88	4,67	0,01	0,29	0,71
CLOR-a	0,04	0,93	2,75	0,07	0,31	0,69

O modelo ajustado para a **BB**, como variável dependente, teve um **R²** de 0,74 (**p** < 0,000). Em uma ordem decrescente de contribuição para a explicação da **BB**, estiveram as seguintes variáveis correlacionadas a ela: com relação direta – **PB**, **CLOR-a**

confirmam o papel das bactérias nas fases finais do desenvolvimento fitoplanctônico (Li *et al.*, 1993) e em regiões de ressurgência costeira na África do Sul e do Norte, onde o zooplâncton se utiliza desses microrganismos para completar seu ciclo de vida em fases de ausência de ressurgência e baixa produtividade primária (Pomeroy, 1992).

O objetivo desse trabalho foi observar a influência da ressurgência sobre a atividade bacterioplanctônica e estimar a produção e biomassa bacteriana dessa região de Arraial do Cabo, em situações hidrológicas diferentes, e correlacioná-la à produção fitoplanctônica total, estimando assim, sua contribuição não só na produção de biomassa e ciclagem de carbono como também o seu papel como um dos sustentadores desse ecossistema em períodos em que a produção fitoplanctônica é pequena, como por exemplo: situações de ausência de ressurgência e final de “blooms” fitoplanctônicos após uma ressurgência parcial ou completa.

3.3 – PARÂMETROS BIÓTICOS:

3.3.1 – CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA:

Para medir as concentrações de clorofila-a foram filtrados dois litros, em média, das amostras em filtro Millipore de 0,45 µm. Os filtros foram dissolvidos em acetona 90% por 24 horas e então centrifugados. As amostras foram analisadas pelo método espectrofotométrico de RICHARD & THOMPSON (1952) e a concentração de clorofila foi calculada pelas equações da SCOR - UNESCO (1966).

3.3.2 – PRODUÇÃO PRIMÁRIA:

A produção primária foi determinada através da técnica de assimilação do Carbono radioativo introduzida por STEEMANN NIELSEN (1952) e descrita por STRICKLAND & PARSONS (1972).

As amostras foram trazidas ao laboratório, e depois de bem homogeneizadas, foram colocadas em frascos de vidro de 125 ml com tampa esmerilhada, dois transparentes e um preto para cada profundidade e então inoculadas com 20 µCi de ¹⁴C, na forma de bicarbonato de sódio (Na₂CO₃), em cada frasco. Depois de inoculadas, as amostras foram incubadas por 4 horas *in situ* simulado, no período de maior insolação (10:00 às 14:00 h). Essa simulação foi feita com uma caixa de acrílico com água corrente para manter a temperatura (Fig. 02). Para simular o percentual de luz de cada

4.2.1.2.5 – NUTRIENTES:

O início do experimento foi marcado por concentrações mínimas de NO_3^- e PO_4^{3-} (0,00 a 0,66 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ e 0,22 a 0,46 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ respectivamente), pelas maiores concentrações de NH_4^+ (0,50 a 0,68 $\mu\text{mol.l}^{-1}$) de toda a série temporal e, concentrações de NO_2^- ligeiramente acima da média ($0,29 \pm 0,19 \mu\text{mol.l}^{-1}$). As concentrações de NO_3^- , NO_2^- e de NH_4^+ não se alteraram muito no dia seguinte, apenas houve uma ligeira redução nas concentrações de amônia e nitrito, enquanto o nitrato manteve os níveis iniciais. Alteração bem sensível foi a do PO_4^{3-} , que de concentrações próximas do mínimo passaram a concentrações acima da média ($0,36 \pm 0,11 \mu\text{mol.l}^{-1}$). As poucas variações nos parâmetros hidrológicos nesses dois primeiros dias se deve a residência, em toda coluna, das águas quentes da AC. A partir do terceiro dia de amostragem, com a entrada de uma segunda massa d'água no sistema (ACAS) e a formação de uma termoclina a partir dos 20 metros, ocorreram alterações sensíveis nas concentrações dos nutrientes. A camada acima da termoclina, fortemente influenciada pela AC, continuou com baixas concentrações de NO_3^- enquanto a camada abaixo da termoclina, fortemente influenciada pela ACAS, apresentou uma forte elevação nas concentrações desse nutriente, passando de valores mínimos ($0,50 \mu\text{mol.l}^{-1}$) para quase o dobro da média ($1,68 \pm 1,35 \mu\text{mol.l}^{-1}$). O PO_4^{3-} seguiu a tendência do dia anterior, com aumento nas concentrações, sobre tudo no fundo. De forma semelhante o NO_2^- e o NH_4^+ seguiram as tendências dos dias anteriores, ou seja, uma relação inversa a subida da ACAS. Tanto o nitrito quanto a amônia registraram concentrações mínimas na camada inferior, sob forte influência da ACAS, diferindo nas camadas de mistura e superior, onde o NO_2^- apresentou valores acima da média e o NH_4^+ continuou com concentrações mínimas. No quarto dia a ACAS continuou

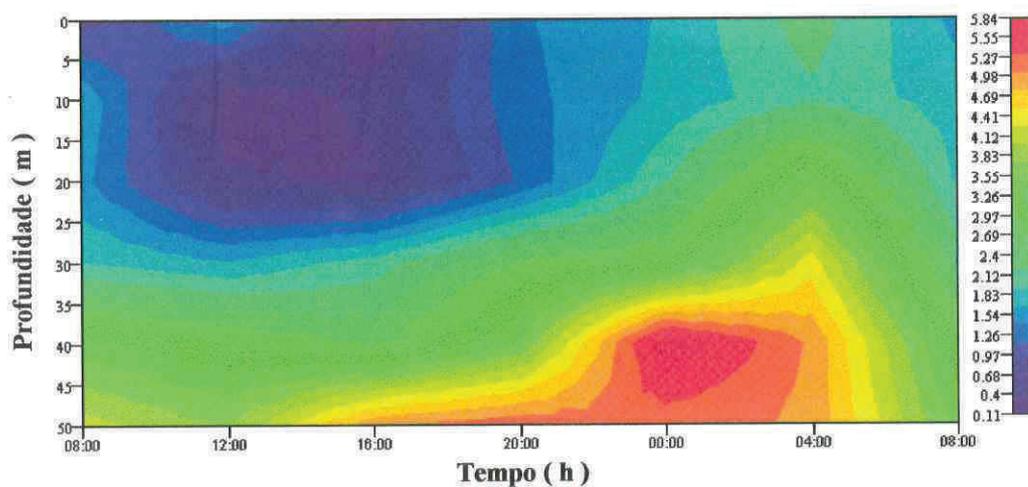


Figura 30 – Distribuição das concentrações de nitrato ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.

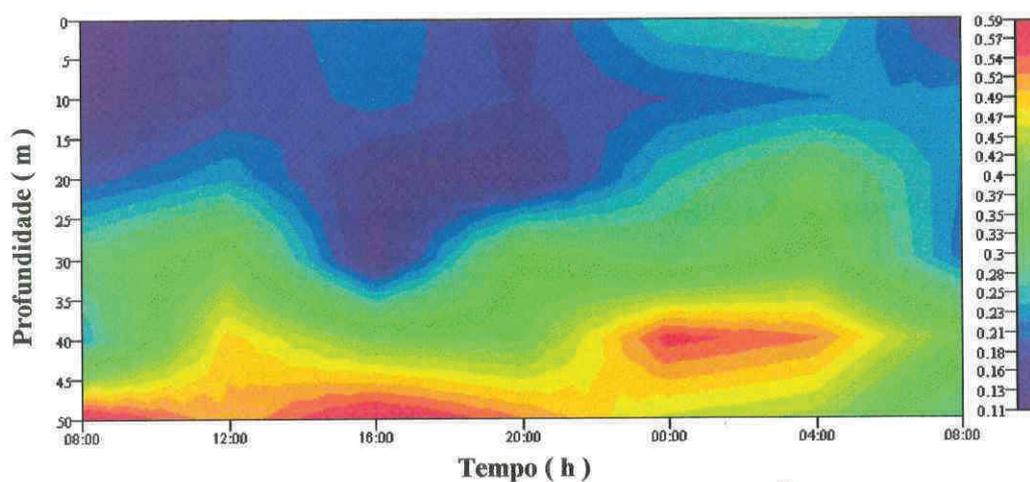


Figura 31 – Distribuição das concentrações de fosfato ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.

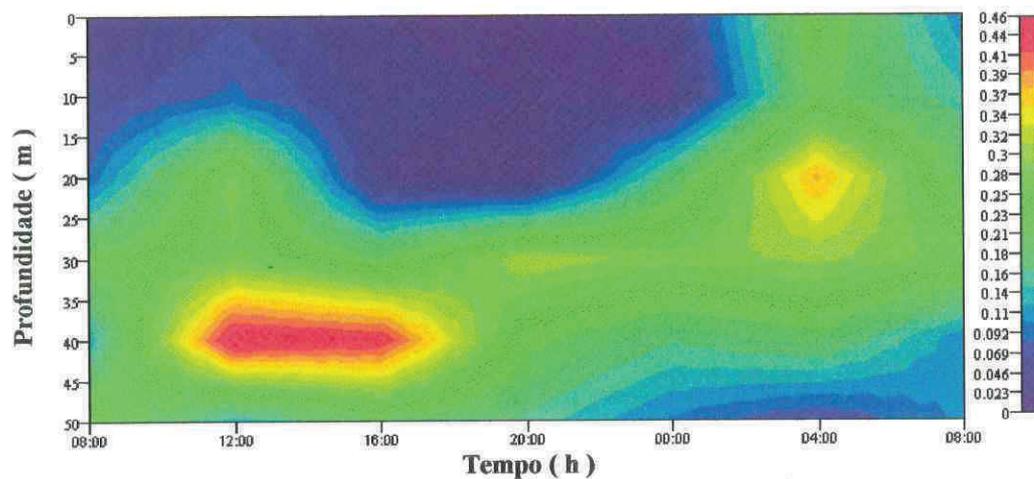


Figura 32 – Distribuição das concentrações de nitrito ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.

Figura 09 – Distribuição das concentrações de amônia ($\mu\text{mol.l}^{-1}$) ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.	38
Figura 10 – Distribuição das concentrações de nitrito ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.	40
Figura 11 – Distribuição das concentrações de Clorofila-a (mgClor-a.l^{-1}), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.	40
Figura 12 – Distribuição da produção primária ($\text{mgC.m}^{-3}\text{h}^{-1}$), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.	40
Figura 13 – Distribuição da biomassa bacteriana (mgC.m^{-3}), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.	42
Figura 14 – Distribuição da produção bacteriana ($\text{mgC.m}^{-3}\text{h}^{-1}$), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.	42
Fig. 15 – Profundidade (m) onde a luz alcança 1% da luz incidente na superfície, ao longo do tempo (27 de setembro à 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.	45
Figura 16 – Distribuição da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.	49

1.1 – HIPÓTESES TESTADAS:

H₁: A ressurgência influencia o padrão de desenvolvimento das bactérias heterotróficas da região de Arraial do Cabo.

H₂: Existe um padrão de relação significativo entre o fitoplâncton e as bactérias na região de ressurgência de Arraial do Cabo.

H₃: O bacterioplâncton da região de ressurgência de Arraial do Cabo pode ser considerado uma fonte relevante de alimento para outros níveis tróficos.

profundidade amostrada, foram utilizados sacos confeccionados com vários tipos de telas, obtendo-se assim vários níveis de luz. A quantidade de luz dentro de cada saco foi determinada por medidas diretas, sob luz natural, com um Li-Cor - LI-1000 DATALOGGER acoplado a um sensor Li - 193 SA Spherical Quantum Sensor. Os níveis de luz de cada profundidade foram calculados a partir do coeficiente de atenuação da luz na água em cada coleta. Uma vez determinado o percentual de luz em cada profundidade, escolhia-se os sacos com os níveis de luz correspondentes aos das profundidades de coleta. Após quatro horas, a incubação era interrompida com a adição de 0,5 ml de formol a 4%. As amostras foram filtradas em filtros Millipore de 0,45 μm e, depois de secas, foram dissolvidas em coquetel de cintilação (Insta Gel X10 - Packard) e analisadas pela técnica de cintilação líquida em um cintilador **Tricarb Pacard 1600**.

3.3.3 - BIOMASSA BACTERIANA:

200 ml das amostras coletadas em garrafa de Van Dorn foram colocados em frascos, lavados previamente com ácido clorídrico a 20 %. As amostras foram fixadas com 2 ml de formol 100 % filtrado a 0.22 μm , de forma que a concentração final de formol na amostra fosse de 0.2 %, e estocadas a temperatura ambiente até a contagem.

A biomassa bacteriana foi determinada pela contagem direta das células em microscópio de epifluorescência, coradas com Laranja de Acridina, utilizando a metodologia de Kepner & Prat (1994) e aplicando sobre as contagens um fator de conversão conservativo de 20 fgC.cel⁻¹ (Lee & Fuhrman, 1987; MacManus e Peterson, 1988; Ducklow *et al.*, 1993; Li *et al.*, 1993; Caron *et al.*, 1995; Romam *et al.*, 1995; Rich

Este trabalho é dedicado à luz que ilumina meus olhos todas as manhãs, minha esposa, a quem dedico também o meu amor mais profundo e sincero.

seu avanço, deslocando a termoclina mais para a superfície. Como reflexo, nesse dia foi registrado o pico de NO_3^- , com valores máximos, do fundo até aos 20 metros, e acima da média (Tab. 01) até a superfície. O NO_2^- , o NH_4^+ e o PO_4^{3-} seguiram o padrão já descrito. No dia seguinte (o quinto da série temporal), houve uma nova mudança na estrutura térmica da coluna d'água (Fig. 04), ocorrendo o inverso do dia anterior. A coluna continuou dividida em duas camadas, entretanto, agora a camada superior voltou a se estender até aos 20 metros e uma espessa camada de mistura se formou dos 20 aos 50 metros. Com o retorno das AC à camada superior, as concentrações de NO_3^- caíram ao mínimo nessa faixa e a valores acima da média ($1,68 \mu\text{mol.l}^{-1}$) na camada de mistura. O PO_4^{3-} teve um padrão semelhante ao nitrato, diminuição das concentrações na camada superior e valores mais altos na inferior, incluindo o pico ($0,68 \mu\text{mol.l}^{-1}$). O NO_2^- e o NH_4^+ mantiveram o padrão de resposta inversa a decida da ACAS. As concentrações de nitrito mantiveram-se nos níveis do dia anterior na camada superior e se elevaram na camada inferior, onde haviam sido mínimos. A amônia por sua vez, apresentou em toda coluna, concentrações em torno dos maiores valores registrados em toda série temporal incluindo dois dos quatro núcleos de altas concentrações, um na camada superior (10 m) e outro na inferior (entre 30 e 50 m). Os dois dias seguintes apresentaram as mesmas características dos dois primeiros dias de experimento, residência das AC em toda coluna d'água (homotermia quente). Essa estruturação da coluna d'água provocou diminuição nas concentrações em todos os nutrientes, mantendo o padrão até aqui observado para o NO_3^- e PO_4^{3-} , porém invertendo a tendência observada até aqui, de relação positiva do NO_2^- e NH_4^+ com a temperatura, uma vez que nesse instante foi registrado um aumento da temperatura sem que tenha havido aumento nas concentrações desses nutrientes, pelo contrário, foram registradas baixas concentrações. Desse momento até o fim do

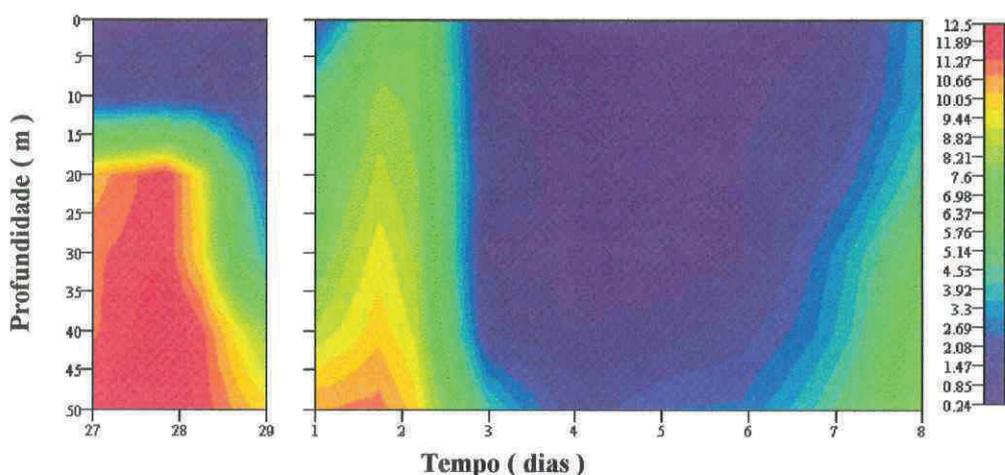


Figura 19 – Distribuição das concentrações de nitrato ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.

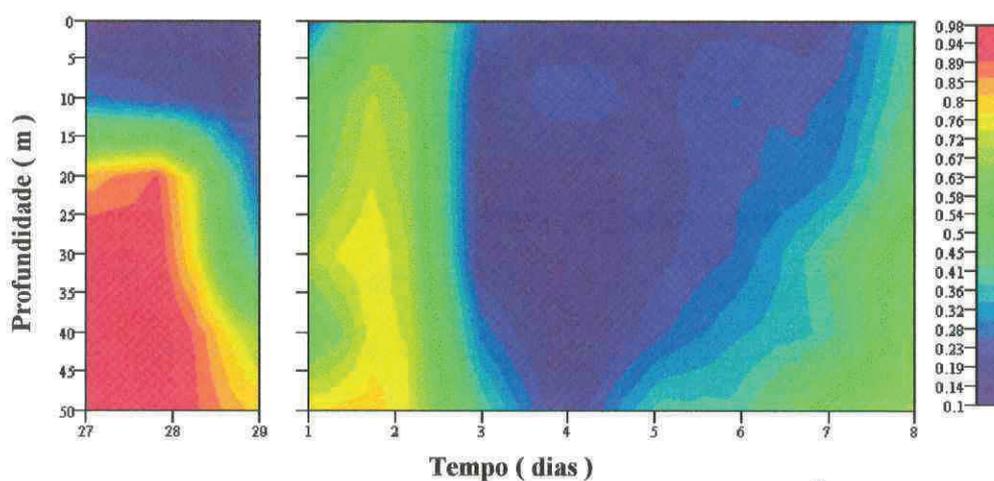


Figura 20 – Distribuição das concentrações de fosfato ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.

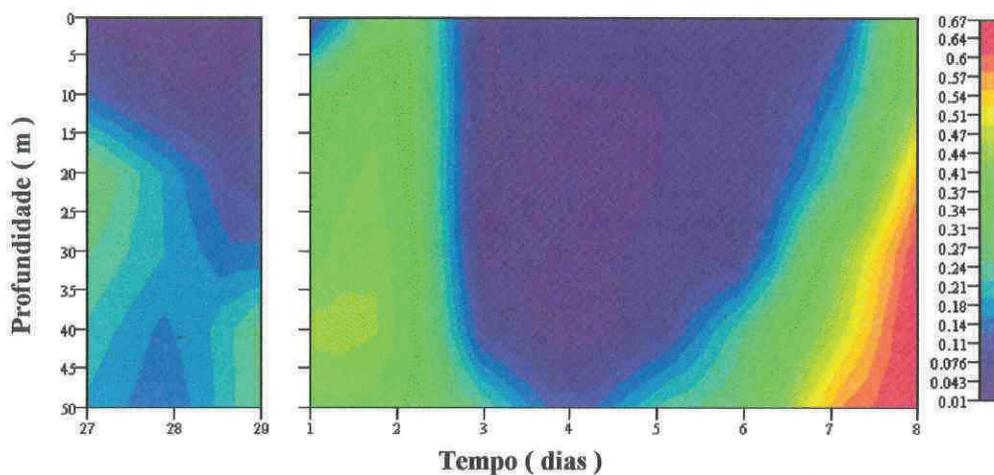


Figura 21 – Distribuição das concentrações de nitrito ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.

4.4.2 – PARÂMETROS BIÓTICOS:

4.4.2.1 – CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA:

O período não apresentou valores muito altos de concentração de **CIOR-a**, a média geral foi de $0,49 \text{ mgCl.a.m}^{-3}$ em um intervalo de variação de $0,11$ a $1,14 \text{ mgCl.a.m}^{-3}$. Na primeira coleta, as maiores concentrações (acima da média) foram registradas em uma camada intermediária, entre 20 e 30 metros, enquanto fora dessa faixa a concentração de **CIOR-a** esteve em torno dos menores valores registrados. A camada inferior da coluna d'água (40 a 50 m) apresentou valores em torno do mínimo em todas as coletas, exceto na quinta coleta, quando uma alta concentração foi registrada aos 40 metros. A segunda coleta apresentou uma distribuição diferente nas camadas superiores, entre 0 e 5 metros as concentrações estiveram em torno da média e a camada intermediária, uma pouco mais estendida (10 a 30 m) que na coleta anterior, continuou com valores altos incluindo um dos dois picos registrados no período. A terceira coleta apresentou um perfil de concentração de **CIOR-a** que contrastou com os resultados de todas as outras coletas. Todas as concentrações deste perfil estiveram abaixo da média. Nas duas amostragens seguintes as concentrações mais altas de **CIOR-a** voltaram a camada superior (0 a 40) incluindo o segundo dos dois picos registrados no período, na quarta coleta aos 20 metros. Na sexta e sétima coletas as maiores concentrações permaneceram na camada superior que neste momento estava compreendida entre 0 e 30 metros ao passo que na camada inferior as concentrações permaneceram em torno do mínimo (Fig. 33).

- Figura 17** – Distribuição da salinidade, ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão. 49
- Figura 18** – Distribuição do oxigênio dissolvido (ml.l^{-1}), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão. 49
- Figura 19** – Distribuição das concentrações de nitrato ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão. 55
- Figura 20** – Distribuição das concentrações de fosfato ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão. 55
- Figura 21** – Distribuição das concentrações de nitrito ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão. 55
- Figura 22** – Distribuição das concentrações de amônia ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão. 57
- Figura 23** – Distribuição das concentrações de clorofila-a (mgClor-a.l^{-1}), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão. 57
- Figura 24** – Distribuição da produção primária ($\text{mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão. 57

II – DESCRIÇÃO DA ÁREA:

A área de estudos está localizada na parte Centro – Sul do litoral brasileiro na região Sudeste, aos 23° 00 S e 42° 00 W no Estado do Rio de Janeiro, no Município de Arraial do Cabo (Fig. 01). Esta região sofre a influência da "Ressurgência", fenômeno que se caracteriza pela subida de águas frias, ricas em nutrientes, de uma profundidade de aproximadamente 300 metros, com temperaturas que variam de 13,00 a 18,00 °C. A ocorrência desse fenômeno deve-se a características topográficas, meteorológicas e hidrológicas, peculiares dessa região.

2.1 – TOPOGRAFIA:

A região, que tem a forma de uma pequena península, é cercada por um cordão de praias arenosas formadas de sílica pura. Essa areia carreada pelo vento formou as dunas e as restingas: de Maçambaba a Oeste, limitada pelo oceano Atlântico do lado externo e a Lagoa de Araruama do lado interno, e as de Cabo Frio ao Norte, tendo ao centro o complexo rochoso sobre o qual está a cidade de Arraial do Cabo e a Ilha de Cabo Frio.

Uma característica importante da topografia nesse ponto do litoral é sua mudança de orientação, de Norte - Sul para Leste - Oeste. Essa inflexão cria uma zona de divergência entre a costa e a Corrente do Brasil. Toda divergência proporciona uma área de menor pressão, facilitando o transporte da água profunda para a superfície. Aliado a isso, verifica-se uma mudança no perfil da plataforma continental: de estreita e íngreme ao Sul de Cabo Frio ela torna-se larga e suave ao Norte (Valentin, 1994). O talude se torna mais

et al. 1997; Moriarty *et al.*, 1997).

3.3.4 – PRODUÇÃO BACTERIANA:

A produção bacteriana foi determinada pela técnica de assimilação do isótopo de leucina (L -[4,5 - ^3H]) descrita por SMITH & AZAM (1992) e adaptada por Farias (não publicada).

Essa técnica consiste das seguintes etapas, descritas como foram aplicadas nesse trabalho:

A. Preparação das amostra para incubação:

↳ **Passo a-** três réplicas e um branco foram retirados de cada amostra e colocadas em tubos (Ependorf) de 2,0 ml com tampa de rosca e o-ring, preparados previamente como a seguir:

- ✓ **a.1** - 5,0 μl de leucina (L -[4,5 - ^3H]; Amersham, TRK 510), foram colocados em todos os tubos;
- ✓ **a.2** - nos tubos onde seriam colocados os brancos, além da leucina foram adicionados 90,0 μl de ácido tricloroacético (TCA) 100 %;

Obs.: Toda essa preparação pode ser feita previamente, porém, os tubos devem aguardar o momento da incubação a uma temperatura de 5 °C.

B. Incubação:

↳ **Passo b.1** - a incubação foi iniciada pela adição de 1,7 ml da amostra em cada tubo;

intermediária da coluna d'água, entre 20 e 30 metros, ficando uma camada superior (0 a 20 m) e uma inferior (30 a 50 m) com valores mínimos. A partir do terceiro dia houve início de uma nova elevação das concentrações de NO_2^- na faixa entre 40 e 50 metros. Essa faixa se estendeu até aos 5 metros no dia seguinte e ocupou toda coluna no quinto dia. As concentrações de NO_2^- variaram entre 0,02 e 0,46 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ (Fig. 21).

O segundo momento compreendeu o intervalo entre o sexto e o nono dia de coleta, quando houve subsidência total da ACAS dando lugar a AC. As concentrações dos nutrientes refletiram essa mudança na estrutura hidrológica tão bem quanto no primeiro intervalo de tempo considerado. As concentrações de NO_3^- registradas nesse momento, em todas as profundidades amostradas, estiveram em torno de um valor médio de 1,03 $\mu\text{mol.l}^{-1}$, que é seis vezes menor que a média (6,12 $\mu\text{mol.l}^{-1}$) do primeiro intervalo. Além disso, as maiores concentrações (acima de 1,00 $\mu\text{mol.l}^{-1}$) desse intervalo foram medidas próximo ao fundo, entre 40 e 50 metros, numa faixa que sofre influência das águas mais ricas da ACAS, por estar em uma zona de interface entre as massas da superfície e do fundo, enquanto na maior parte da coluna, na faixa que vai da superfície até os 40 metros, as concentrações não chegaram a 1,00 $\mu\text{mol.l}^{-1}$, ou seja, se considerarmos apenas essa camada superior a concentração média (0,73 $\mu\text{mol.l}^{-1}$) é 8,4 vezes menor que a média do primeiro momento (Fig. 19).

Ao contrário do que aconteceu no primeiro momento, a distribuição do PO_4^{3-} não acompanhou a distribuição do NO_3^- . A diferença está no instante que se reinicia o enriquecimento, enquanto as concentrações de NO_3^- só voltaram a se elevar a partir do nono dia, na faixa próxima ao fundo, as concentrações de PO_4^{3-} voltaram a se elevar a partir do oitavo dia. No nono dia essa subida nos teores de fosfato já se estendia por uma

4.3.2.2 – PRODUÇÃO PRIMÁRIA:

A taxa de produção média da coluna d'água para a série temporal do experimento de verão foi de $2,48 \pm 3,58 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ em um intervalo de variação total de 0,00 a $19,73 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ (Tab. 02). Quando consideramos, separadamente, a zona eufótica, que teve uma profundidade máxima variando entre 19 e 35 metros em todo período (Fig. 14), a taxa média de **PP** sobe para $3,88 \pm 3,90 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$, aproximadamente o dobro da média geral e 16,81 vezes maior que a média da camada inferior (Tab. 02). Três núcleos de produções mais altas podem ser observados na distribuição ao longo do tempo. O primeiro e mais intenso ocorreu entre o segundo e o quarto dia com o pico mais pronunciado de **PP** ($19,73 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$), aos cinco metros de profundidade no terceiro dia . O segundo núcleo foi registrado no sexto dia entre a superfície e dez metros com valores intermediários ($7,91 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$). O terceiro e mais tênue dos três núcleos ($6,14 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$) ocorreu no final do período, no nono e décimo dias de coleta, entre dois e cinco metros (Fig. 24).

4.3.2.3 – BIOMASSA BACTERIANA:

A biomassa bacteriana se distribuiu em faixas bem distintas da coluna d'água ao longo do tempo. Ocorreram seis núcleos de maior biomassa nesse período: três na superfície, dois na camada intermediária e um no fundo. A camada superficial, compreendida entre 0 e 5 metros, apresentou uma **BB** constante, com valores em torno da média (Tab. 02), nos primeiros seis dias, exceto do segundo ao quarto dia, entre 0 e 2

4.4 – CICLO DIURNO (29 a 30 junho de 1999):

4.4.1 – PARÂMETROS AMBIENTAIS:

4.4.1.1 – CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS:

Esta etapa do trabalho foi realizada com boas condições de tempo nos primeiros dois terços. As coletas, iniciadas as 08:00 h da manhã do dia 29 / 06 / 99, foram feitas com dia claro e vento NE fraco (08 nós) que soprou até 03:00 h do dia seguinte, quando mudou para um forte SW (26 nós), nublando o tempo e deixando o mar muito agitado.

4.4.1.2 – CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS:

4.4.1.2.1 – TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA:

Levando em consideração a profundidade média de desaparecimento do disco de Secchi, a profundidade máxima (média) da camada eufótica foi de 35 metros, em todo período.

“Disse Deus: haja luz; e houve luz. E viu Deus que a luz era boa”.
Gênesis 1: 3 e 4a.

“Disse Deus: haja firmamento no meio das águas e separação entre
águas e águas”.
Gênesis 1: 6

“Disse também Deus: povoem-se as águas de enxames de seres viventes”.
Gênesis 1: 20a.

Assim Deus criou meu campo e objetos de estudo.

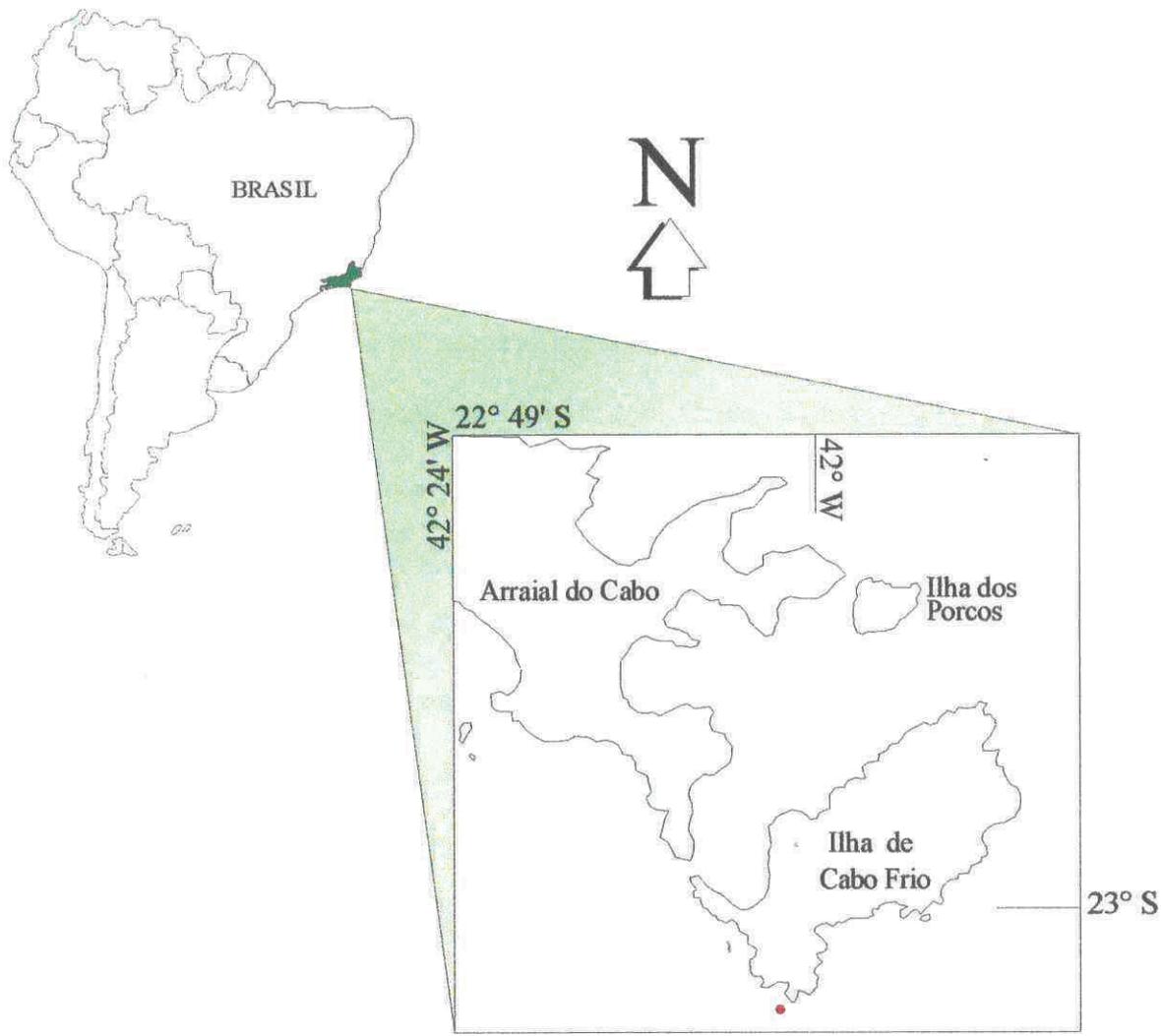


Figura. 01 – Mapa da área de estudo. (● ponto de coleta)



Figura. 2 - Visão do sistema de incubação *in situ* simulado.

4.2.2.2 – PRODUÇÃO PRIMÁRIA:

A produção primária foi medida nas amostras das duas primeiras coletas, em função de ser neste intervalo (início da primeira coleta – 08:00 h e o final do intervalo da segunda – 16:00 h) o período de maior insolação do dia. Muito embora a camada eufótica tenha alcançado uma profundidade média de 35 metros, as maiores taxas de produção primária foram registradas apenas entre 0 e 20 metros. A variação total da PP nas duas incubações foi de 0,02 a 3,32 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ com uma média geral de 1,28 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$, no entanto a média para camada eufótica foi de 1,91 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$, com o pico tendo ocorrido aos 20 metros na primeira coleta (08:00 h do dia 29 / 06 / 99), enquanto a PP média da camada inferior (30 a 50 m) foi apenas de 0,24 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ com o registro da menor taxa de produção desse experimento ocorrendo nessa faixa, aos 50 metros da segunda coleta (Fig. 34).

4.4.2.3 – BIOMASSA BACTERIANA:

A biomassa bacteriana teve uma distribuição muito interessante. Foram registrados cinco pontos de maior biomassa durante o experimento e fora desses cinco núcleos a BB esteve abaixo ou em torno da média geral (216,96 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}$). Os núcleos de maior biomassa foram registrados respectivamente: na primeira coleta aos 30 metros, na quarta coleta aos 20 e 50 metros, entre 0 e 10 metros na quinta coleta e aos 30 metros na última coleta, semelhante ao que já havia sido registrado na primeira amostragem (Fig. 35).

experimento o NO_2^- e o NH_4^+ passaram a responder às variações da temperatura de forma semelhante a dos outros dois nutrientes medidos. Em função dos ventos que dominaram a região nos últimos dias do experimento, houve uma nova subida de águas frias (Fig. 04) e novo enriquecimento da coluna d'água. O NO_3^- apresentou concentrações crescentes, em torno da média (Tab. 01), da superfície para o fundo, onde esteve um segundo pico, menos intenso, no nono dia (Fig. 07). O PO_4^{3-} seguiu padrão semelhante ao do nitrato até o nono dia, maiores valores na camada inferior, concentrações em torno da média (Tab. 01) na camada de mistura e valores mínimos na faixa superior. No décimo e último dia, as concentrações de fosfato estiveram em torno do valor mínimo ($0,30 \mu\text{mol.l}^{-1}$) na camada que vai dos 10 aos 50 metros e um núcleo de concentrações acima da média na faixa entre 0 e 5 metros (Fig. 08). O NH_4^+ teve concentrações em torno da média ($1,65 \pm 1,01 \mu\text{mol.l}^{-1}$) no oitavo e décimo dias, e concentrações acima da média (Tab. 01) dos 5 aos 50 metros, incluindo os outros dois picos mais intensos, aos 10 e aos 50 metros, no nono dia (Fig. 09). As concentrações de NO_2^- estiveram ligeiramente abaixo da média (Tab. 01) da superfície aos 40 metros e uma concentração média aos 50 metros, no oitavo dia. No dia seguinte a situação foi inversa, valores acima da média entre 0 e 40 metros e um valor baixo no fundo. O último dia foi marcado por uma nova inversão nas concentrações do nitrito, valores mínimos na camada entre 0 e 40 metros e uma concentração acima da média no fundo (Fig. 10).

4.5.2 – EXPERIMENTO DE VERÃO:

Essa fase do experimento sazonal confirmou o padrão evidenciado no experimento de inverno, ou seja, a estruturação do ambiente em torno de um gradiente de temperatura, porém nessa fase, todos os três grupos de amostras ficaram mais bem definidos, com "fronteiras" bem delineadas nos planos fatoriais da ACP. Esta explicou 61,68 % da variância total dos dados, dispostos em uma matriz de 14 variáveis por 88 amostras, na extração de quatro eixos ou componentes principais.

O eixo I contribuiu com uma explicação de 34,08 % da variação total e teve correlacionadas significativamente a si, em uma relação positiva, as seguintes variáveis (dispostas em uma ordem decrescente de importância): PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- e PROF., confirmando o enriquecimento provocado pela subida da ACAS nas amostras de maior profundidade e nas amostras de camadas superficiais (a5, b5, d4, d5, e1, e2, e3, e4 e e5) nos eventos de ressurgência de maior intensidade. Com correlação negativa, forçaram o eixo a TEMP, O2 e PP (Tab. 08), confirmando a relação descrita acima de maneira inversa, a subsidência das águas frias e a ocupação das camadas superficiais, e em alguns momentos, de toda coluna por águas quentes, aumentando a produção fitoplanctônica seguida do aumento da concentração de oxigênio dissolvido. No centro do eixo estão as amostras típicas de águas misturadas, com as características (físico-químicas e biológicas) intermediárias (Fig. 40).

- Figura 25** – Distribuição da biomassa bacteriana (mgC.m^{-3}), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão. 59
- Figura 26** – Distribuição da produção bacteriana ($\text{mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão. 59
- Figura 27** – Distribuição da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno. 63
- Figura 28** – Distribuição da salinidade, ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno. 63
- Figura 29** – Distribuição de oxigênio (ml.l^{-1}), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno. 63
- Figura 30** – Distribuição das concentrações de nitrato ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno. 65
- Figura 31** – Distribuição das concentrações de fosfato ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno. 65
- Figura 32** – Distribuição das concentrações de nitrito ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno. 65

“Tudo quanto te vier à mão para fazer, faze-o conforme as tuas forças e de todo teu entendimento, porque para sepultura para onde vais, não há obra, nem projetos, nem conhecimento, nem sabedoria alguma”.

Eclesiaste 9: 10

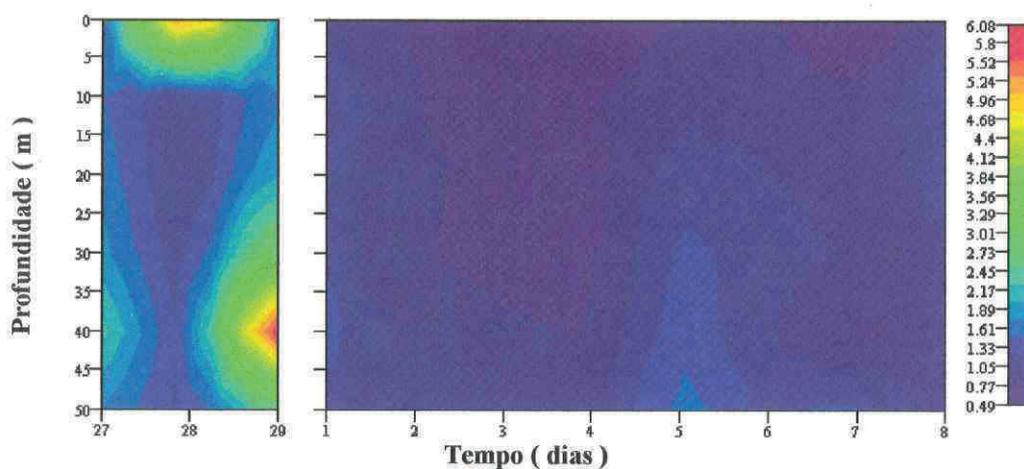


Figura 22 – Distribuição das concentrações de amônia ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.

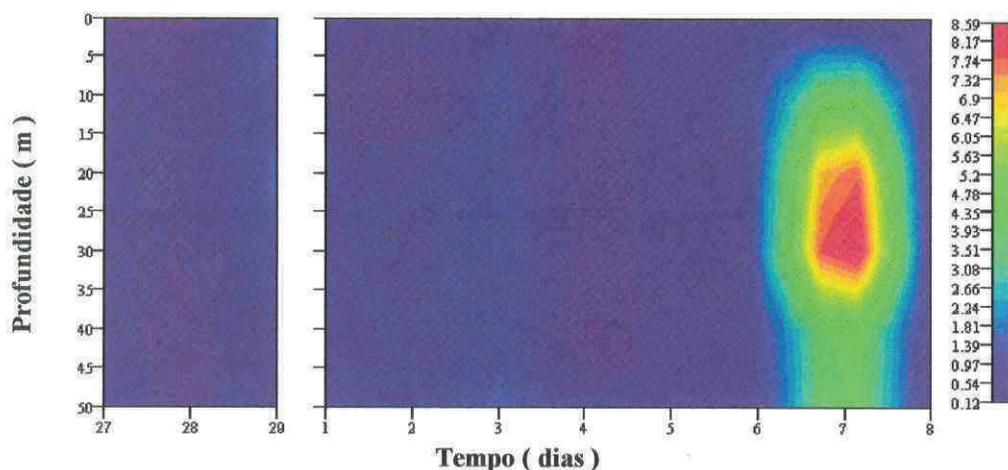


Figura 23 – Distribuição das concentrações de clorofila-a (mgClor-a.m^{-3}), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.

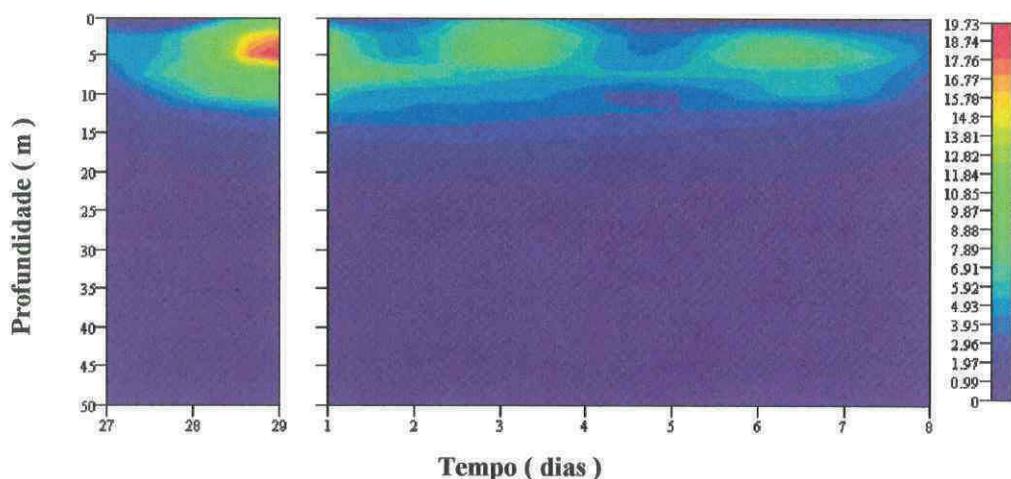


Figura 24 – Distribuição da produção primária ($\text{mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.

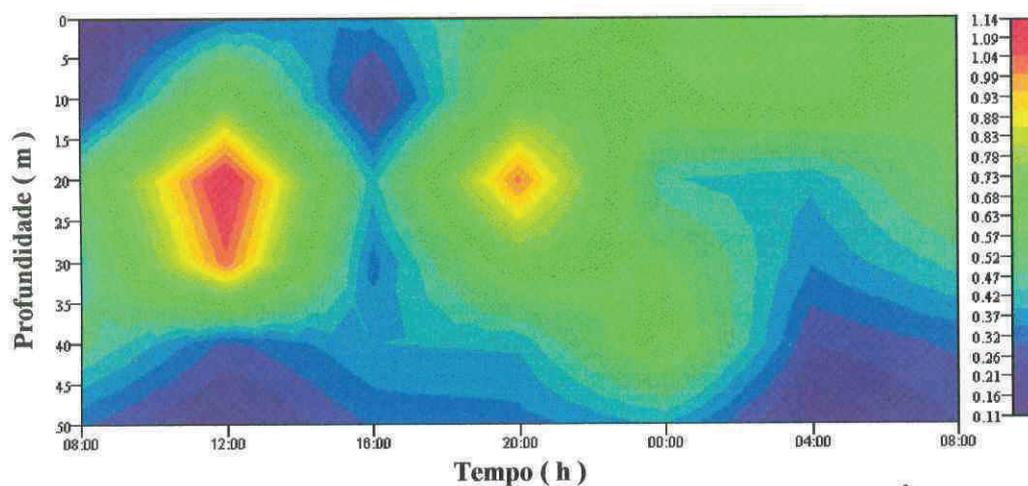


Figura 33 – Distribuição das concentrações de clorofila-a (mgCLOR-a.m^{-3}), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.

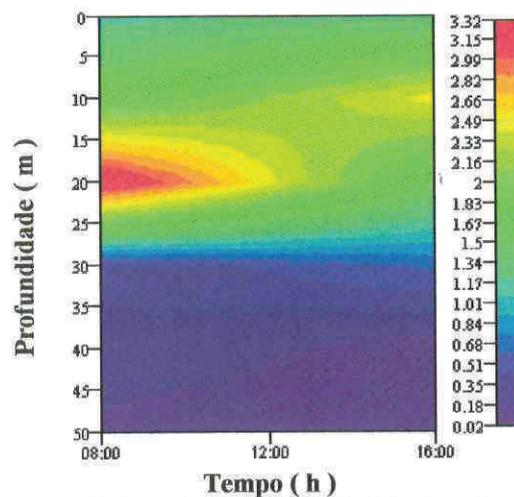


Figura 34 – Distribuição da produção primária ($\text{mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.

Figura 33 – Distribuição das concentrações de clorofila-a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.	68
Figura 34 – Distribuição da produção primária ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.	68
Figura 35 – Distribuição da biomassa bacteriana ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}$), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.	70
Figura 36 – Distribuição da produção bacteriana ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.	70
Figura 37 – Análise de componentes principais do experimento de inverno: plano fatorial dos eixos I e II.	74
Figura 38 – Análise de componentes principais do experimento de inverno: plano fatorial dos eixos II e III.	74
Figura 39 – Análise discriminante entre os grupos de água (fria, intermediária e quente) no experimento de inverno.	76
Figura 40 – Análise de componentes principais do experimento de verão: plano fatorial dos eixos I e II.	81

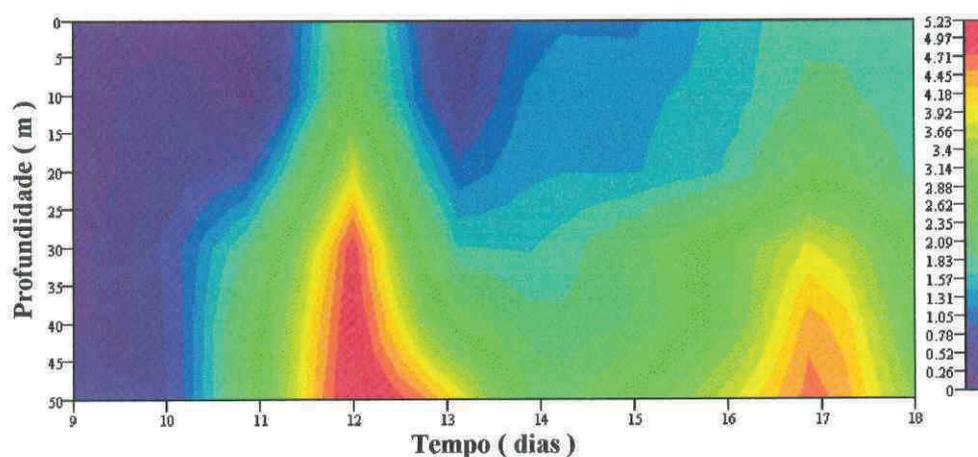


Figura 07 – Distribuição das concentrações de nitrato ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.

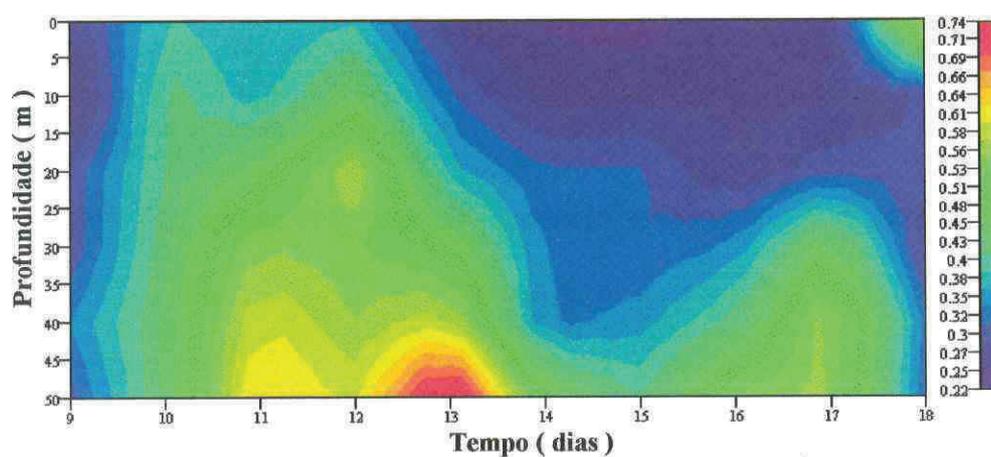


Figura 08 – Distribuição das concentrações de fosfato ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.

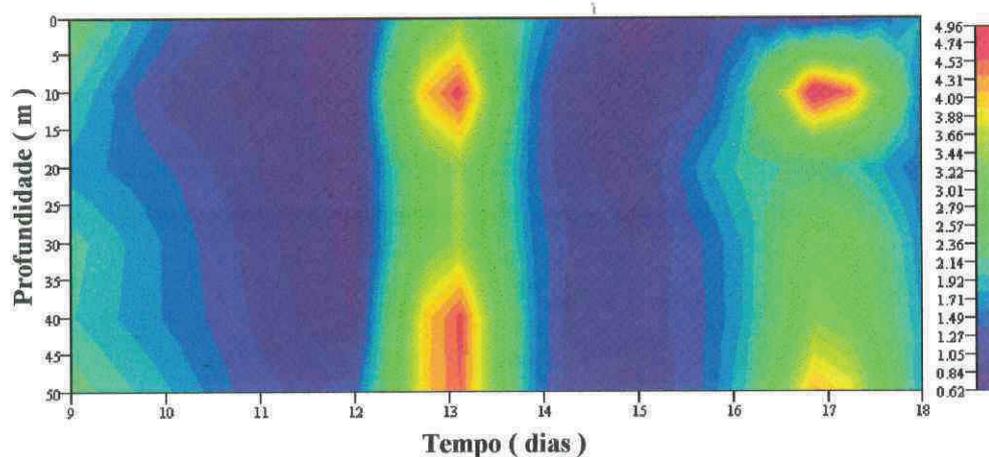


Figura 09 – Distribuição das concentrações de amônia ($\mu\text{mol.l}^{-1}$) ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.

suave em função da aproximação da costa das isóbatas de 50 e 100 metros nesse ponto, formando uma "rampa" que facilita o afloramento das águas profundas.

2.2 – METEOROLOGIA:

O clima da região é regido por duas forçantes meteorológicas principais, o deslocamento dos anticiclones: tropical, centrado sobre o Atlântico Sul e o Polar, uma massa fria originária da Argentina. Entre os dois, forma-se uma zona de pressão mínima que corresponde às frentes frias. Da direção e do deslocamento dessas frentes dependem as mudanças no tempo (ventos, temperatura, precipitações, etc.).

O ano nesta região pode ser dividido em duas estações: **(1) Inverno Austral** - vai de junho a setembro, com o domínio dos ventos S - SW, frentes frias rápidas geralmente acompanhadas de chuva, temperaturas atmosféricas mais baixas e uma situação de subsidência e homotermia (quente) da coluna d'água, com a temperatura da água podendo variar de 20,00 a 23,00 °C; **(2) Verão Austral** - de outubro a março, com domínio dos ventos E - NE, temperatura atmosférica mais alta, céu sem nuvens, insolação máxima e situação de ressurgência quase permanente, com temperaturas inferiores a 18,00 °C em toda coluna d'água (Valentin, 1978).

A duração das fases interfrontais varia de alguns dias no inverno a algumas semanas no verão.

AGRADECIMENTOS:

Quero agradecer, antes de tudo e de todos, a Deus e a meu Senhor e Salvador Jesus Cristo, por todas as bênçãos com que me têm agraciado, das quais não sou merecedor de nenhuma, por ter concluído mas esta etapa de minha vida e pelas pessoas que colocou junto a mim e que tornaram possível mais essa conquista.

À minha esposa, pelo imensurável incentivo, carinho, compreensão e participação em todos os momentos, inclusive na elaboração do abstract desse trabalho.

Aos meus pais, pela educação, pelos valores e por todos os recursos que propiciaram-me chegar até aqui, sobre tudo o amor e a amizade que sempre dedicaram a mim e a minha irmã.

À doutora, Chefe do Departamento de Oceanografia do IEAPM, minha orientadora, mas sobre tudo minha amiga, Eliane, por essa e todas as oportunidades que me deu nas áreas científica e profissional e pela paciência de me aturar durante esses anos de convívio.

Aos Exmo. Vice-Almirante Marcílio Boavista da Cunha, Contra-Almirante Napoleão Bonaparte Gomes e Contra-Almirante Ricardo Sergio Paes Rios pelo apoio logístico oferecido pelo IEAPM.

Às minhas amigas, Jurema, por ter aberto as portas para minha entrada no IEAPM e Maria Helena por ter me ajudado a dar os primeiros passos na pesquisa científica.

Ao Prof. Rodolfo Paranhos da UFRJ pela ajuda na aquisição da leucina e por ter aberto as portas de seu laboratório para que eu pudesse ter contato com a técnica de estimativa da produção bacteriana.

A Luciane (assistente do Prof. Rodolfo) pela atenção dispensada ao me passar a metodologia da produção bacteriana.

Ao Dr. Per Carlsson e a Dra. Edna Granéli pela inestimável ajuda na implementação da técnica utilizada para medir a produção bacteriana e pelo material que possibilitou uma parte dos experimentos desse trabalho.

Ao Dr. Flávio pela imprescindível ajuda na correção do resumo e do abstract, além é claro, da participação na minha formação acadêmica e pelo incentivo de sempre.

↪ **Passo b.2** - cada incubação durou 1 hora uma vez que a região estudada é considerada oligotrófica. Quando o ambiente é eutrófico a incubação deve durar apenas 30 minutos;

✓ **b.2.1** - o tempo de incubação começa a ser contado no momento em que é colocada a amostra no tubo da primeira réplica da primeira amostra;

✓ **b.2.2** - deve-se cronometrar o tempo que levará para colocar as amostras do primeiro ao último tubo;

↪ **Passo b.3** - após todos os tubos terem recebido as amostras foram agitados em um vórtex;

↪ **Passo b.4** - as incubações foram feitas no escuro a temperatura ambiente;

↪ **Passo b.5** - encerrado o tempo, a incubação foi interrompida pela adição de 90 µl de TCA 100 % **nas réplicas**.

✓ **b.5.1** - para que todas as amostras tenham o mesmo tempo de incubação, deve-se levar o mesmo tempo na adição do TCA que se levou para a distribuição das amostras em todos os tubos (**passo b.2.2**);

✓ **b.5.2** - nesse passo, os brancos **NÃO** recebem TCA;

↪ **Passo b.6** - após todos os tubos terem recebido TCA foram agitados novamente;

C. Preparação das amostras para "leitura" no cintilador:

↪ **Passo c.1** - os tubos foram marcados de forma que ao serem colocados na centrífuga as marcas ficaram voltados para cima;

↪ **Passo c.2** - as amostras foram centrifugadas por 10 minutos a uma velocidade de 13.000 RPM;

metros, quando foram registrados os três picos na superfície. Ainda dentro desse período, foi registrado no primeiro dia, na faixa entre os 30 e 50 metros, valores razoáveis de **BB**, incluindo o núcleo do fundo (50 m) e um dos núcleos da camada intermediária (entre 20 e 30 m) no quarto dia. O outro núcleo que foi observado na camada intermediária, ocorreu no nono dia aos 20 metros. Além desses núcleos de maiores valores de biomassa, as amostras das outras profundidades registraram valores abaixo da média ou próximos dos valores mínimos para todo o período (Fig. 25).

4 . 3 . 2 . 4 – PRODUÇÃO BACTERIANA:

Foram observados dois picos de **PB**, um menos intenso no início (segundo dia) e o outro, mais forte, no final (décimo primeiro dia) das amostragens. O primeiro e o oitavo dia de coleta foram os que apresentaram as menores taxas de **PB** em toda coluna d'água. As maiores taxas de produção foram registradas do segundo ao sexto dia e no nono e décimo primeiro dias, em faixas distintas da coluna. A exceção foi o terceiro dia que apresentou uma produção em torno da média (Tab. 02), da superfície até aos 40 metros. No quarto dia, essas maiores taxas foram observadas entre a superfície e os 5 metros aos 20 e aos 40 metros. O quinto dia manteve a distribuição vertical do dia anterior, entretanto, os valores na faixa da superfície foram ligeiramente maiores. No sexto dia, apenas a camada dos 20 metros manteve os valores dos dias anteriores, já as faixas da superfície e do fundo diminuíram sensivelmente as taxas de **PB**. No sétimo dia foram medidas taxas de produção abaixo da média em toda coluna, seguindo a tendência de declínio da **PB** que pode ser observada desde do quarto dia, quando algumas profundidades vinham

4.4.2.4 – PRODUÇÃO BACTERIANA:

As taxas de produção bacteriana foram baixas nessa fase, com uma média de $0,06 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ ($1,44 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$) para uma variação de 0,02 a $0,14 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ distribuída através da coluna d'água em três camadas de espessura variável. A camada intermediária foi a que apresentou as menores taxas de **PB**, tendo as amostras de 40 metros sempre com valores mínimos representando o ponto divisor da coluna. Entretanto nas duas primeiras coletas essa faixa esteve entre 40 e 50 metros, com a coluna dividida em apenas duas camadas. Na terceira e sexta coleta, variou de 20 a 40 metros, enquanto a última coleta apresentou uma baixa **PB** em quase toda coluna exceto entre 0 e 5 metros e aos 20 metros onde a **PB** foi acima da média. Evidentemente as maiores taxas de **PB** foram registradas na camada superior, em todas as coletas, e na camada inferior entre a terceira e sexta coleta. Dois picos de produção foram registrados: o primeiro e mais intenso ocorreu na terceira coleta na camada inferior (50 m), e como ocorreu nos outros experimentos, esse pico coincidiu com a subida de uma massa d'água com temperatura baixa. O outro pico, menos intenso, ocorreu na quarta coleta aos 10 metros, profundidade que teve uma produção constante acima da média em quase todo experimento, exceto na primeira e na última coleta (Fig. 36).

Figura 41 – Análise de componentes principais do experimento de verão: plano fatorial dos eixos III e IV.	81
Figura 42 – Análise discriminante entre os grupos de água (fria, intermediária e quente) no experimento de verão.	82
Figura 43 – Visão frontal de uma das estantes de incubação (A) e visão geral dos quatro tratamentos (B).	101
Figura 44 – Perfil de temperatura no momento da coleta de amostras para os experimentos de laboratório.	103
Figura 45 – Perfis de produção primária, concentração de clorofila-a e produção bacteriana do tratamento de 0 %, no experimento de laboratório.	105
Figura 46 – Perfis de nitrato, nitrito, amônia e fosfato do tratamento de 0% do experimento de laboratório.	106
Figura 47 – Perfis de produção primária, concentração de clorofila-a e produção bacteriana do tratamento de 35 %, no experimento de laboratório.	107
Figura 48 – Perfis de nitrato, nitrito, amônia e fosfato do tratamento de 35 % do experimento de laboratório.	108

2.3 – HIDROLOGIA:

A hidrologia dessa região é altamente instável, com variações bruscas e rápidas em função do seu regime de ventos que influencia profundamente as relações (alternância, superposição e mistura) entre as massas d'água presentes nessa área.

Compõem o sistema hidrológico da região, principalmente, as seguintes massas d'água: Corrente do Brasil (**CB**), Águas Costeiras (**AC**) e Água Central do Atlântico Sul (**ACAS**). Essas águas são muito diferentes quanto a origem e composição físico-química.

2.3.1 – A CORRENTE DO BRASIL:

Esta corrente de água superficial é uma vertente da parte sul da Corrente Equatorial que desce em direção ao Sul do Brasil seguindo o talude continental. Suas águas são quentes, com temperaturas que podem variar entre 19,00 e 26,50 °C, salinidades maiores que 36,00 (Valentin *et al.*, 1976) e baixas concentrações de nutrientes. Essa massa d'água também é chamada de "Água Tropical do Atlântico Sul".

2.3.2 – ÁGUAS COSTEIRAS:

As Águas Costeiras são constituídas pela mistura das águas da Corrente do Brasil, da **ACAS** e águas sob forte influência do continente (Moreira da Silva, 1975). Esta

Tabela 08 – “Factor Loadings” da análise de componentes principais extraídos para o experimento de verão. São considerados significativos os valores $> 0,38$.

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4
PROF	0,66	-0,25	0,11	-0,11
TEMP	-0,92	-0,06	0,18	0,09
O ₂	-0,84	0,13	-0,08	-0,03
SAL	-0,05	0,36	0,07	-0,55
NO ₂ ⁻	0,78	0,09	0,29	-0,09
NO ₃ ⁻	0,94	-0,05	-0,17	0,03
NH ₄ ⁺	0,18	0,27	-0,34	-0,57
PO ₄ ³⁻	0,94	-0,11	-0,13	0,01
PB	0,18	0,88	0,36	-0,03
BB	-0,06	0,30	-0,55	-0,56
ABT	0,22	0,71	0,60	0,23
PP	-0,51	0,27	-0,04	-0,12
CLA	-0,07	-0,37	0,57	-0,57
FEOF	-0,14	-0,49	0,57	-0,42

O eixo II explicou 15,19 % da variância. Foi formado pela correlação positiva, significativa, com a PB e ABT e negativa com a CLOR-a e a FEOF. A oposição dessas variáveis no eixo fatorial sugere que as bactérias estão utilizando a matéria orgânica particulada e dissolvida proveniente do fitoplâncton como substrato. Essa visão do segundo eixo confirma o papel dos fatores biológicos como importantes descritores das variações do meio que os circunda. Esse papel fica mais evidente ainda na interpretação do eixo 3 a seguir (Tab. 08; Fig. 40).

O eixo III teve uma contribuição ligeiramente menor que a do eixo II, com 12,41 % da variância explicada. Foi formado pela correlação positiva com a ABT, FEOF e CLOR-a em amostras que tiveram maior atividade bacteriana e maiores concentração de clorofila e feofitina, reafirmando a ligação entre a atividade bacteriana e o substrato proveniente do fitoplâncton. A porção negativa foi formada pela BB. Essa relação inversa entre a ABT, CLOR-a, FEOF e a BB sugere o aumento da biomassa bacteriana, em águas

característica da **CB**, com valores em torno dos 36,00, enquanto na camada inferior a salinidade esteve em torno dos 35,40, demonstrando juntamente com os dados de temperatura, a presença da **ACAS** com origem em águas subtropicais profundas com influência nerítica (Valentin, 1983). Do terceiro ao sexto dias de coletas, a coluna d'água apresentou uma salinidade entre 35,08 e 35,7 demonstrando o domínio da **ACAS** (águas subtropicais profundas), sobre tudo no quinto dia, quando foi registrado uma salinidade média de 35,30, um dos menores valores de todo o período, em toda coluna d'água. No sétimo dia foram registradas baixas concentrações (35,19 a 35,37) da superfície ao fundo, essas baixas concentrações foram determinadas pela presença de águas resultantes da mistura de **AC** e água tropical (**AT**) dominando toda coluna d'água . A partir do oitavo dia (05 / 10), quando a temperatura da camada inferior registrou um ligeiro resfriamento indicando uma nova subida de águas frias, as concentrações de sais voltaram a se elevar. Essa salinidade mais alta foi registrada em uma faixa mais espessa, do fundo aos 20 metros, recuando até aos 30 metros no nono dia. No dia seguinte, as águas mais salinas da **ACAS** provenientes do fundo já alcançavam os 10 metros, dividindo a coluna d'água em duas camadas, a camada superior dominada pela **AC** e a inferior pela **ACAS**, que acabou dominando completamente a coluna no último dia (Fig. 17).

4.3.1.2.4 – CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO:

As concentrações de **OD** tiveram o mesmo padrão de distribuição dos demais parâmetros hidrológicos, apresentando uma visível estratificação da coluna d'água

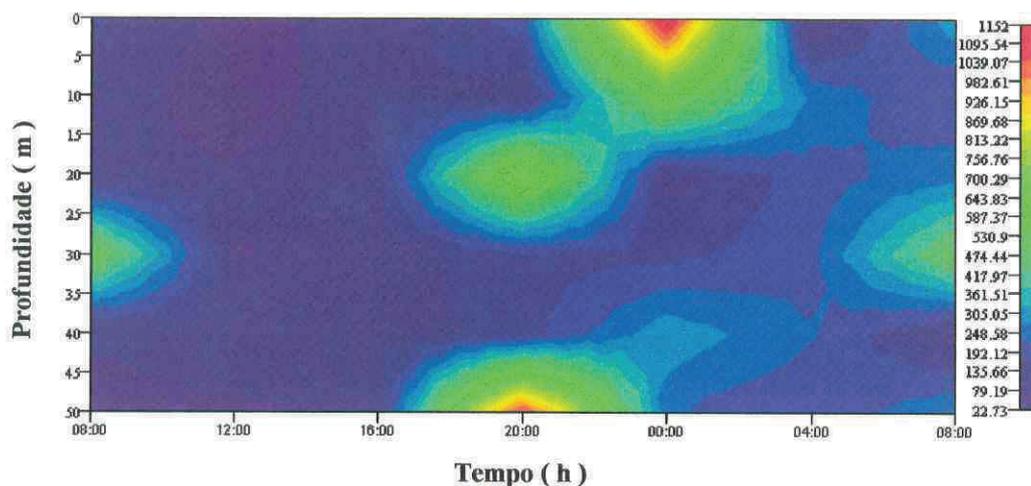


Figura 35 – Distribuição da biomassa bacteriana (mgC.m^{-3}), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.

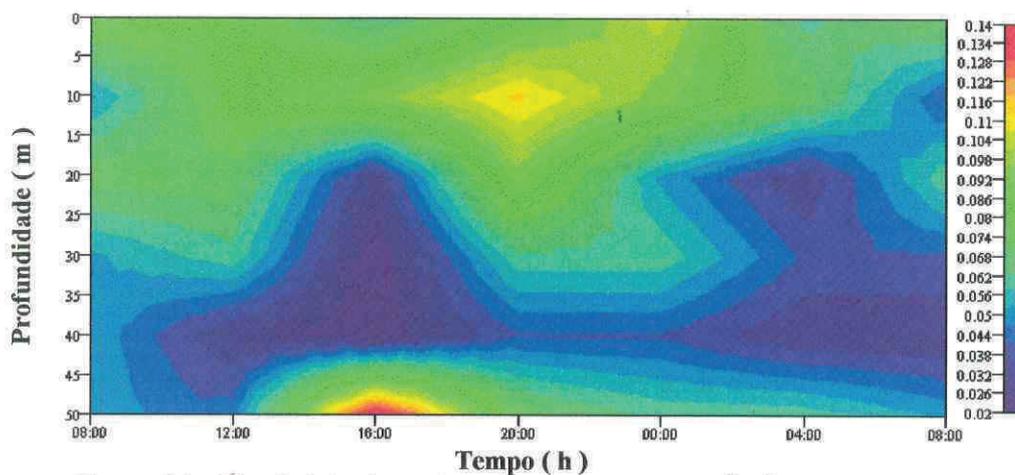


Figura 36 – Distribuição da produção bacteriana ($\text{mgC.m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$), ao longo do tempo (29 a 30 de junho de 1999), no ciclo diurno.

À Dra. Mirian Crapez pela coorientação, pelas informações e bibliografia, pela cessão do microscópio de epifluorescência, sem o qual as contagens das células bacterianas não poderiam ser realizadas, e sobretudo pela simpatia contagiante de sempre.

Aos amigos da Divisão de Química do IEAPM, Dagles, Márcia, Pedro, Marcos e Laudemir, pela inestimável ajuda nas coletas e análises químicas e pelo bom humor de sempre, mesmo enjoando no navio ou trabalhando no final de semana.

Aos competentes Daniel e Daniela (Dani), do laboratório de microbiologia do Departamento de Biologia Marinha da UFF, sem os quais não conseguiria contar as minhas amostras nem em uma década.

A tripulação do Batelão Miguel dos Santos e NPq. Diadorim, sem a qual não haveria amostra alguma.

Ao meu amigo “tricolor”, Ricardo Gaelzer, pelas excelentes trocas de idéias e pela descontração que foram muito importante, sobretudo na reta final. Viva o Fluzão !!!!

Aos demais amigos da Divisão de Biologia do IEAPM, Karen, Mônica, Wandinha, Beth, Olga, Roberto (SG), Eduardo (Edu), Luciano (Shalan), Ricardo Colinho, Robson, Edson, Cadú, Zé Bola, Fabiana, Lais, Giamarco, Marteleto, Luciano (Primo) e “seu Zé”, pela colaboração efetiva e pelo incentivo em todo o tempo.

À Coordenadoria da Pós-Graduação de Biologia Marinha da UFF pela viabilização de parte do material necessário a realização deste trabalho e a todos os professores pelo conhecimento e pelo incentivo.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida durante o curso.

A galera da turma de 1998, Graça, Cristiane, Eider, Joel e Luiz Eduardo pelo excelente convívio.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente nessa importante fase de minha vida, mas que nesse momento não vêm a minha exaurida memória.

Muito obrigado !!!

- ↪ **Passo c.3** - aspirou-se os tubos pelo lado oposto ao das marcas;
- ↪ **Passo c.4** - as amostras foram "lavadas" com a adição de 1,7 ml de TCA a 5 %;
- ↪ **Passo c.5** - repetiu-se os passos c.2 e c.3;
- ↪ **Passo c.6** - foi adicionado 1,0 ml de líquido de cintilação (Ultima Gold - Packard);
- ↪ **Passo c.7** - após todos os tubos terem recebido líquido de cintilação foram agitados no vórtex e lidos após 24 horas.

Nesse ponto é pertinente que algumas considerações importantes a respeito da concentração final (**CF**) de leucina e da atividade específica (**AE**) do isótopo nas amostras sejam feitas:

Ao adicionarmos 5,0 μ l de leucina em 1,7 ml de amostra, esta terá uma dada **CF** e uma **AE**, ambas variam em função da diluição aplicada ao isótopo. A diluição da leucina radioativa ("Hot Leucina") pode ser feita de duas formas: com água MQ ou com uma solução de leucina não radioativa ("Cold Leucina"), esta última foi a escolhida por nós por ser a mais aconselhável, uma vez que previne a limitação da **PB** pela falta de substrato.

Para determinar qual a diluição a ser aplicada, e conseqüentemente a **AE** do isótopo e a **CF** de leucina nas amostras, é necessário ter uma estimativa da atividade bacteriana do local estudado, a fim de não se correr o risco de oferecer uma concentração baixa de substrato à comunidade bacteriana amostrada e conseqüentemente subestimar sua taxa de produção. Para tanto foi realizado um experimento para determinar a curva de saturação por leucina, para a comunidade da região amostrada, como se segue:

Cinco soluções do isótopo foram preparadas de forma que ao adicioná-las

Figura 49 – Perfis de produção primária, concentração de clorofila-a e produção bacteriana do tratamento de 70 %, no experimento de laboratório. 109

Figura 50 – Perfis de nitrato, nitrito, amônia e fosfato do tratamento de 70 % do experimento de laboratório. 110

Figura 51 – Perfis de produção primária, concentração de clorofila-a e produção bacteriana do tratamento de 100 %, no experimento de laboratório. 111

Figura 52 – Perfis de nitrato, nitrito, amônia e fosfato do tratamento de 100 % do experimento de laboratório. 112

massa d'água é quente (temperatura $> 22,00\text{ }^{\circ}\text{C}$), apresenta salinidade menor que 34,00 (Valentin *et al.*, 1976) e também é oligitrófica.

As baixas salinidades podem ser explicadas pela influência das águas da baía de Guanabara quando sob ação de marés e correntes escoam em direção leste (Valentin, 1984). Com a influência do vento NE, existe a possibilidade de uma influência das águas do rio Paraíba do Sul (ao Norte de Cabo Frio) na hidrologia da região de Cabo Frio.

2.3.3 – ÁGUA CENTRAL DO ATLÂNTICO SUL:

É uma massa d'água que se origina na Convergência Subtropical, encontro da Corrente do Brasil com as águas frias da Corrente das Malvinas na altura do rio da Prata, onde a Corrente das Malvinas, por ser mais densa, mergulha sob a Corrente do Brasil dando assim origem à Água Central do Atlântico Sul. Esta massa d'água tem uma temperatura bem mais baixa ($< 18,00\text{ }^{\circ}\text{C}$) que as outras já descritas, salinidade entre 34,50 e 36,00 (Valentin *et al.*, 1976) e é rica em nutrientes. Circula entre a Corrente do Brasil e a Corrente da Antártica (mais fria e profunda à 800 metros), das quais sofre influência, a uma profundidade aproximada de 300 metros (Valentin, 1994).

2.4 – O FENÔMENO DE RESURGÊNCIA:

Além dos fatores topográficos e meteorológicos já citados existe um

4.2.2 – PARÂMETROS BIÓTICOS:

4.2.2.1 – CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA:

Os dados dos primeiros quatro dias de coleta demonstram uma baixa concentração de CLOR-a (0,11 a 0,48 mg.m⁻³) em toda coluna d'água. No quinto dia houve uma forte elevação nas concentrações, com os maiores valores (0,95 a 3,34 mg.m⁻³) na superfície (até 20 m) decrescendo razoavelmente (0,73 a 0,85 mg.m⁻³) com a profundidade. Os valores mantiveram-se mais altos (0,54 a 2,50mg.m⁻³) na superfície até o sétimo dia, decrescendo bruscamente do oitavo dia até o final do experimento (Fig. 11).

4.2.2.2 – PRODUÇÃO PRIMÁRIA:

A PP variou de 0,00 a 23,39 mgC.m⁻³.h⁻¹ com um valor médio geral de 2,95 ± 4,65 mgC.m⁻³.h⁻¹. A camada eufótica chegou a uma profundidade máxima de 26 metros e uma taxa PP média ($\bar{X}=4,66 \pm 5,18$ mgC.m⁻³.h⁻¹) nessa camada, de quase duas vezes maior que a média geral . Os maiores valores de PP (> 0,5 mgC.m⁻³.h⁻¹) ocorreram sempre entre a superfície e os 10 metros nos primeiros sete dias e, até aos 20 metros, do oitavo dia ao fim do período, enquanto os menores valores (< 0,5 mgC.m⁻³.h⁻¹) ocorreram na faixa inferior da coluna d'água, entre os 30 metros e o fundo. O pico de 23,39 mgC.m⁻³.h⁻¹, ocorreu no quinto dia aos 2 metros de profundidade (Fig. 12).

SUMÁRIO:

	Página
LISTA DE TABELAS	XIII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	XVI
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XXIII
RESUMO	XXIV
ABSTRACT	XXV
I INTRODUÇÃO	I
II DESCRIÇÃO DA ÁREA	8
III METODOLOGIA	15
3.1 COLETAS DAS AMOSTRAS	15
3.2 PARÂMETROS AMBIENTAIS	17
3.2.1 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	17
3.2.2 RADIAÇÃO SOLAR	17
3.2.3 CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS	17
3.2.3.1 TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA	18
3.2.3.2 TEMPERATURA	19
3.2.3.3 SALINIDADE	19
3.2.3.4 NUTRIENTES	20
3.2.3.5 CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO	20
3.3 PARÂMETROS BIÓTICOS	21

importante mecanismo físico que leva à ocorrência não só da ressurgência de Arraial do Cabo, bem como de todas as ressurgências, incluindo as de grande amplitude, que ocorrem no mundo.

O vento que sopra na superfície do mar provoca, além de ondas, uma "corrente de deriva" de águas superficiais, cujo o deslocamento se transmite, pelo jogo de forças de fricção interna (viscosidade e turbulência), às águas das camadas subjacentes. A direção dessa corrente sofre a influência da chamada força (ou efeito) de Coriolis causada pela rotação da Terra. O movimento do conjunto de toda camada de água de cerca de 100 m de espessura, chamada de "Camada de Ekman", apresenta um ângulo de 90° em relação à direção do vento, para a direita no hemisfério Norte e para esquerda no hemisfério Sul. Assim um vento de direção Norte - Sul soprando paralelamente à costa brasileira provocará um deslocamento de águas superficiais para o largo. Essa corrente de deriva será compensada por uma corrente de água profunda em direção à costa. O deslocamento vertical é lento (menos de 10 m / dia) se comparado às correntes horizontais (100 Km / dia). O volume de água empurrado para fora da costa pelo vento no chamado "transporte de Ekman" é substituído por um volume semelhante carregado do fundo para a superfície (Valentin, 1994).

A entrada de frentes frias e o domínio de ventos S - SW fazem com que aconteça o fenômeno inverso, chamado de Subsidência.

Do ponto de vista ecológico, a ressurgência de Arraial do Cabo pode ser dividida em três fases:

- I - A ressurgência propriamente dita, quando ocorre a subida das águas frias e ricas em nutrientes da ACAS;
- II - O aquecimento da água ressurgida com aumento da produção

registrando diminuição sensível em suas taxas. Essa tendência se confirmou no oitavo dia. A produção voltou a se elevar em duas faixas, de 0 a 5 e de 20 a 30 metros, a partir do nono dia, formando núcleos de **PB** mais intensos. No dia seguinte, essa produção se estendeu e passou a ocupar da superfície até aos 30 metros, porém com menor intensidade. Altas taxas de produção voltaram a ser registradas no último dia, incluindo o maior pico aos 50 metros (Fig. 26).

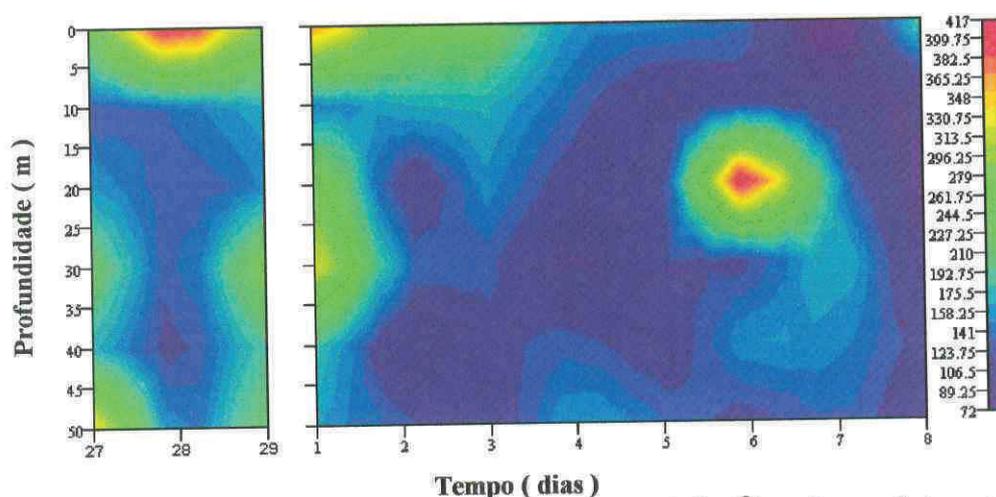


Figura 25 – Distribuição da biomassa bacteriana (mgC.m^{-3}), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.

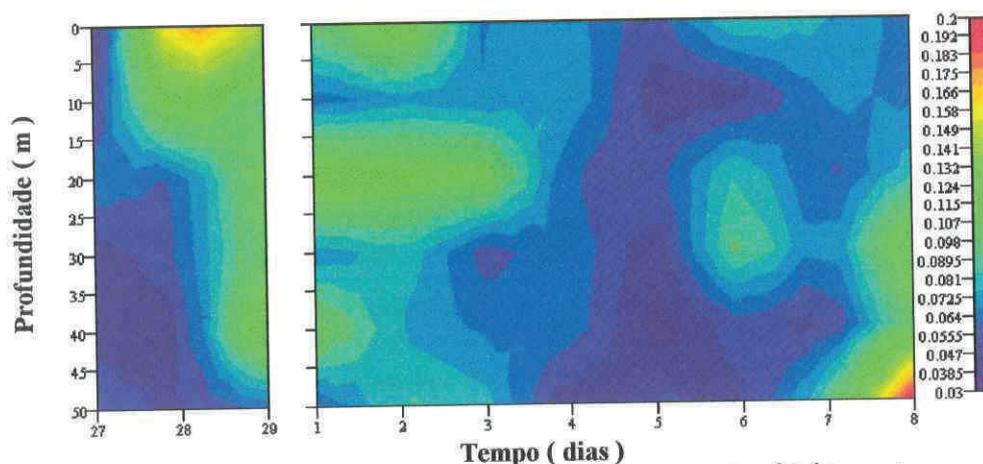


Figura 26 – Distribuição da produção bacteriana ($\text{mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.

no início e final da série temporal e uma situação de homogeneidade em um intervalo de quatro dias no meio do período. Contudo, observando os valores de OD, percebe-se que as concentrações foram altas em todas as amostras do experimento. A concentração média de OD em todo experimento foi de $5,13 \pm 0,39 \text{ ml.l}^{-1}$, com um pico de $6,11 \text{ ml.l}^{-1}$ a zero metros, no primeiro dia de amostragem. Valores acima da média foram registrados ao longo de todo o experimento, na camada superficial (entre 0 e 20 m) e em toda coluna d'água no período que vai do sexto ao nono dia de coleta, com concentrações médias acima da média geral (Tab. 02). Valores abaixo da média geral ocorreram normalmente na camada inferior (entre 20 e 50 m), do período inicial (primeiro e quinto dias) e do final (décimo e décimo primeiro dias) (Tab. 02; Fig. 17).

4.3.1.2.5 – NUTRIENTES:

As variações hidrológicas e a distinção das massas d'água presentes nesse período também são expressas, de forma bem clara, pelos perfis das concentrações dos

Tabela 02 – Estatística descritiva dos dados do experimento de verão.

Variáveis	n	Média	Dev. Pad.	Mínimo	Máximo
TEMP (°C)	88	18,41	2,62	13,50	21,50
SAL	88	35,50	0,24	35,08	36,07
O2 (ml.l ⁻¹)	88	5,13	0,39	4,21	6,11
NO3 (μmol.l ⁻¹)	88	3,80	3,93	0,24	12,50
NO2 (μmol.l ⁻¹)	88	0,19	0,18	0,01	0,67
NH4 (μmol.l ⁻¹)	88	1,19	0,85	0,49	6,08
PO4 (μmol.l ⁻¹)	88	0,42	0,27	0,10	0,98
CLOR-a (mgC.m ⁻³)	88	1,03	1,41	0,12	8,59
PP (mgC.m ⁻³ .h ⁻¹)	88	2,48	3,58	0,00	19,73
BB (mgC.m ⁻³)	88	167,24	66,48	71,76	417,44
PB (mgC.m ⁻³ .h ⁻¹)	88	0,06	0,05	0,00	0,41

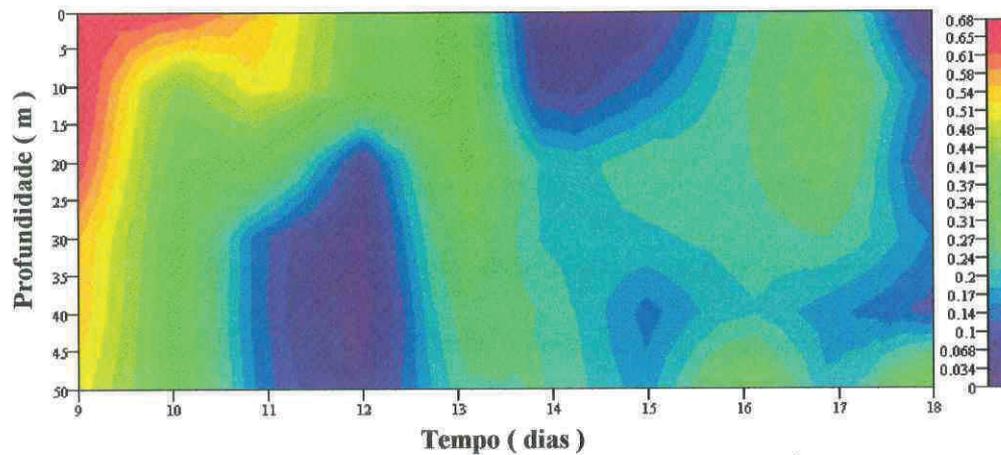


Figura 10 – Distribuição das concentrações de nitrito ($\mu\text{mol.l}^{-1}$), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.

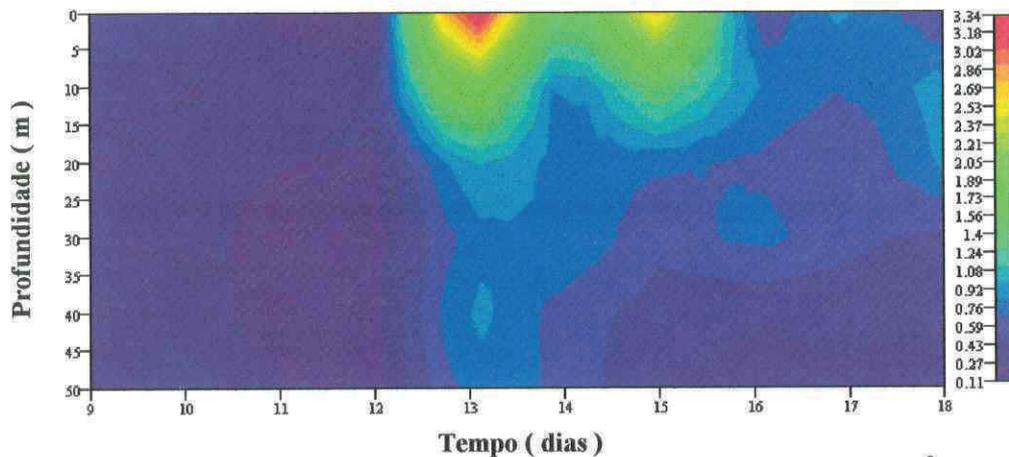


Figura 11 – Distribuição das concentrações de Clorofila-a (mgClor-a.m^{-3}), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.

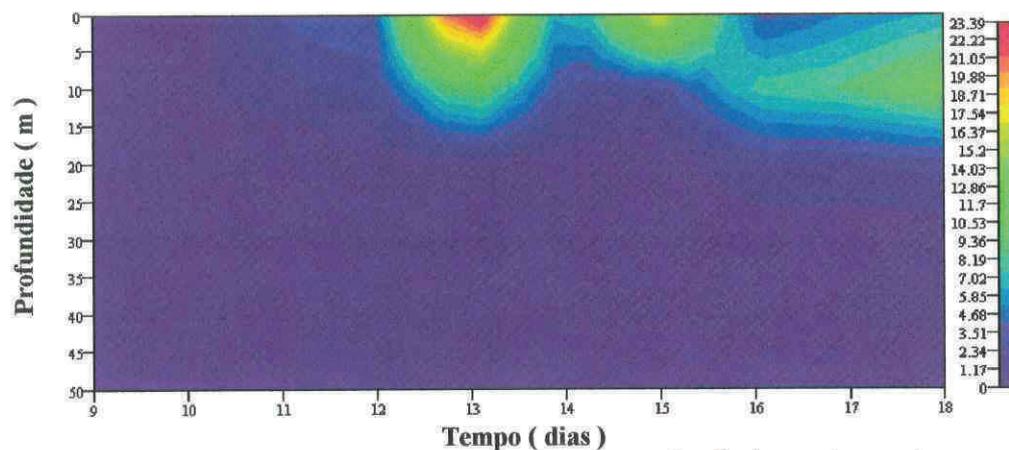


Figura 12 – Distribuição da produção primária ($\text{mgC.m}^{-3}\text{h}^{-1}$), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.

nas amostras as CFs fossem 5, 10, 20, 50 e 100 nM (AE: 117,66; 58,83; 29,40; 11,76 e 5,98 nmol.ml⁻¹ respectivamente). Amostras de superfície e fundo foram coletadas na estação onde toda a amostragem do trabalho seria realizada. Cada diluição do isótopo foi inoculada em três réplicas e um preto de cada profundidade e tratadas com a técnica descrita anteriormente. Esse experimento demonstrou que uma CF de leucina a partir de 20 nM (AE: 29,40 nmol.ml⁻¹) seria suficiente para saturar a comunidade bacteriana da região estudada.

A metodologia descrita acima é relativamente nova, tem menos de dez anos (1992), e somente há pouco tempo foi introduzida no Brasil. Visando sua implementação, foi realizado um experimento "piloto" aos 24 dias de fevereiro de 1999, quando toda técnica e logística empregada no trabalho foram testadas em condições reais.

3.4 – TRATAMENTO ESTATÍSTICO:

Os dados foram tratados em duas instâncias: a primeira exploratória, através da análise de componentes principais (ACP) e a segunda confirmatória, a partir de análise discriminante e de correlação múltipla, que também têm caráter multivariado, uma vez que incluem no ajuste de seus modelos tantas variáveis quantas tiverem valor estatístico para a explicação de uma variável dependente ou na discriminação entre dois ou mais grupos. Para tanto os dados foram organizados em matrizes como segue:

Experimento de inverno – 80 amostras (linhas) e 14 variáveis (colunas)

Experimento de verão – 88 amostras (linhas) e 14 variáveis.

Experimento do ciclo diurno – 56 amostras e 14 variáveis. Com a finalidade

3.3.1	CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA	21
3.3.2	PRODUÇÃO PRIMÁRIA	21
3.3.3	BIOMASSA BACTERIANA	22
3.3.4	PRODUÇÃO BACTERIANA	23
3.4	TRATAMENTO ESTATÍSTICO	27
IV	CICLO SAZONAL E DIURNO	29
4.1	RESULTADOS	29
4.2	EXPERIMENTO DE INVERNO	29
4.2.1	PARÂMETROS AMBIENTAIS	29
4.2.1.1	CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	29
4.2.1.2	CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS	31
4.2.1.2.1	TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA	31
4.2.1.2.2	TEMPERATURA	32
4.2.1.2.3	SALINIDADE	33
4.2.1.2.4	CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO	33
4.2.1.2.5	NUTRIENTES	35
4.2.2	PARÂMETROS BIÓTICOS	39
4.2.2.1	CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA	39
4.2.2.2	PRODUÇÃO PRIMÁRIA	39
4.2.2.3	BIOMASSA BACTERIANA	41
4.2.2.4	PRODUÇÃO BACTERIANA	41

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS:

ABT	– Atividade Bacteriana Total
AC	– Águas Costeiras
ACAS	– Águas Centrais do Atlântico Sul
ACP	– Análise de Componentes Principais
AE	– Atividade Específica
AT	– Águas Tropicais
BB	– Biomassa Bacteriana
CB	– Corrente do Brasil
CF	– Concentração Final
CLOR-a	– Clorofila-a
COD	– Carbono Orgânico Dissolvido
DP	– Desvio Padrão
EP	– Erro Padrão
FEOF	– Feofitina
MOD	– Matéria Orgânica Dissolvida
NH₄	– Amônia
NO₂	– Nitrito
NO₃	– Nitrato
O₂	– Oxigênio Dissolvido
PB	– Produção Bacteriana
PB:PP	– Razão entre a Produção Bacteriana e Primária
PO₄	– Fosfato
PP	– Produção Primária
PROF	– Profundidade
SAL	– Salinidade
TEMP	– Temperatura

4.5 – TRATAMENTO ESTATÍSTICO

4.5.1 – EXPERIMENTO DE INVERNO:

As análises exploratórias (ACP) sugerem que as amostras estão distribuídas ao longo de um gradiente de temperatura, onde o conjunto geral das amostras, disposto em uma matriz de 14 variáveis (colunas): oito ambientais (profundidade, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, nitrito, nitrato, amônia e fosfato) e seis biológicas (produção bacteriana, biomassa bacteriana, atividade bacteriana total, produção primária, clorofila-a e feofitina) e 80 amostras (linhas), está dividido em três grupos distintos : Amostras de água quente, misturada e fria. O grupo formado pelas amostras de águas mais frias é o mais evidente, enquanto os grupos formados por amostras de águas quente e intermediária estão muito próximos, não sendo possível em alguns pontos distinguir claramente os dois grupos.

O percentual de explicação da variância total nessa matriz de dados na extração de três eixos fatoriais (componentes principais) da ACP foi de **65,98 %**, onde cada eixo teve a seguinte contribuição:

O **eixo I** responde pela explicação de **31,26 %** da variância total. As variáveis positivamente correlacionadas a ele foram: temperatura (**TEMP**), oxigênio dissolvido (**O₂**), produção primária (**PP**), clorofila-a (**CLOR-a**) e nitrito (**NO₂**) dispostas respectivamente em ordem decrescente de importância, sendo que temperatura e oxigênio dissolvido foram as que apresentaram maior afinidade com o eixo (menor ângulo entre o vetor e o eixo), em torno das quais estiveram as amostras de água mais

primária e da biomassa simultaneamente ao decréscimo das concentrações de nutrientes; e

- III - Subsistência, retorno a uma situação de oligotrofia como consequência do decréscimo na biomassa fitoplanctônica em função da depleção dos nutrientes (Gonzalez – Rodriguez *et al.*, 1992).

4.2.2.3 – BIOMASSA BACTERIANA:

A biomassa bacteriana apresentou forte variação (Tab. 01) nesse experimento ocorrendo no primeiro dia valores muito acima da média (\bar{X} 171,62 \pm 284,44 mgC.m⁻³). Os valores observados neste dia, nas profundidades de 20, 40 e 50 metros (967,98, 1704,86 e 1894,29 mgC.m⁻³, respectivamente) foram considerados separadamente para permitir uma melhor visão da **BB**.

Altas **BB** foram registradas ainda no segundo dia, em toda coluna d'água exceto na superfície, e no terceiro dia. Entretanto, podemos perceber uma diminuição ligeira em relação ao dia anterior. Em contraste com os primeiros dias, o quarto dia de coleta teve baixa **BB** em toda coluna, exceto aos 10 metros, coincidindo com o evento de maior resfriamento da água. Do quinto dia até o final do experimento os valores de **BB** estiveram em torno da média, com exceção de alguns pontos de temperatura mais elevada e sobre a termoclina, como no dia quinto, oitavo e décimo dias de amostragem, quando os valores foram maiores que a média (Fig. 13).

4.2.2.4 – PRODUÇÃO BACTERIANA:

A **PB** variou de 0,01 a 1,13 mgC.m⁻³.h⁻¹ com um valor médio geral de 0.12 mgC.m⁻³.h⁻¹ (Tab. 01). Ocorreram dois picos (ambos a 50 metros), o primeiro e mais forte (1,13 mgC.m⁻³.h⁻¹) no segundo dia de coleta. No quinto dia de amostragem, além da ocorrência do segundo pico, de menor intensidade (0,70 mgC.m⁻³.h⁻¹), foram registrados os maiores valores de **PB** na superfície (0,26 a 0,37 mgC.m⁻³.h⁻¹), entre 0 e 20 metros,

MFW 1718



WANDERSON FERNANDES DE CARVALHO

PRODUÇÃO BACTERIANA E FITOPLANCTÔNICA DA REGIÃO DE RESSURGÊNCIA
DE ARRAIAL DO CABO, RJ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Biologia Marinha

UNIVERSIDADE
FEDERAL
FLUMINENSE

Orientadora: Dra. Eliane Gonzalez Rodriguez

Junho/2000

589.48153
C253p
T

de verificar as relações entre o bacterioplâncton e o fitoplâncton, a matriz foi dividida, e nas análises de regressão múltipla a matriz utilizada teve 16 amostras (linhas) e 14 variáveis (colunas).

Com a finalidade de se obter uma visão geral das relações entre as variáveis ambientais e biológicas em um plano fatorial multidimensional e da influência dessas relações na distribuição das amostras no mesmo plano, foram feitas análises de componentes principais. Foram aceitas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos aquelas com autovalor igual ou superior a uma distância (d) do centro dos eixos (ponto médio de todas as variâncias no hiperespaço ou centróide), determinada a partir da fórmula estabelecida por Legendre & Legendre (1983): $d = \sqrt{\frac{2}{n}}$, onde: d é a distância do centróide e n é o número de variáveis consideradas na análise. Para nossas matrizes de dados $d = 0,38$.

A confirmação dos grupos de amostras observados na análise de componentes principais foi testada com análises discriminantes.

As relações entre os parâmetros referentes ao bacterioplâncton e as demais variáveis bióticas e abióticas foram determinadas e testadas por análises de regressão múltipla. Cada matriz de dados foi submetida a sucessivas análises até que alcançassem estabilidade com a identificação e extração dos "outliers", definidos como os valores acima de $\pm 2 - 5$ vezes o limite de *sigma*.

Para verificar se houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre a produção bacteriana estimada durante o dia e a estimada durante a noite, no experimento do ciclo diurno, foi realizado um teste-t .

Todas as análises estatísticas foram realizadas no pacote estatístico STATISTICA versão 6.0 (StatSoft. Inc, 1995).

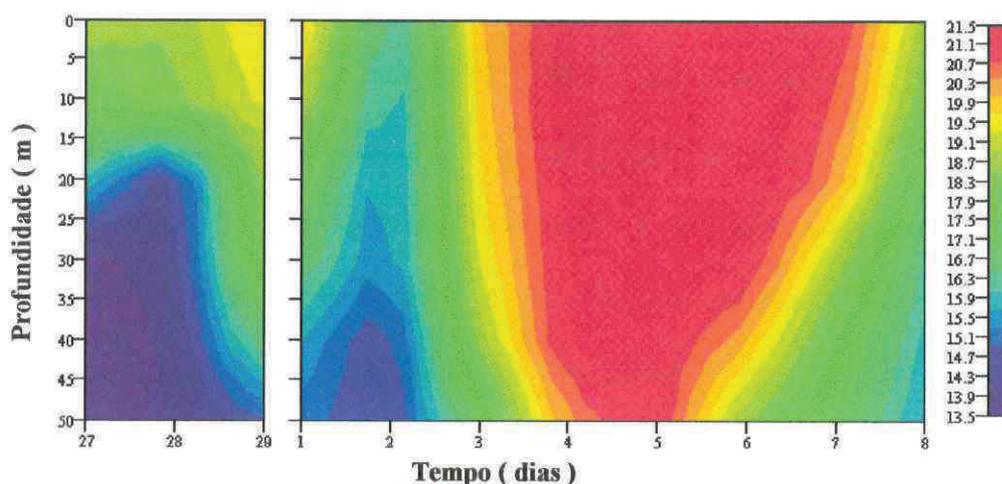


Figura 16 – Distribuição da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.

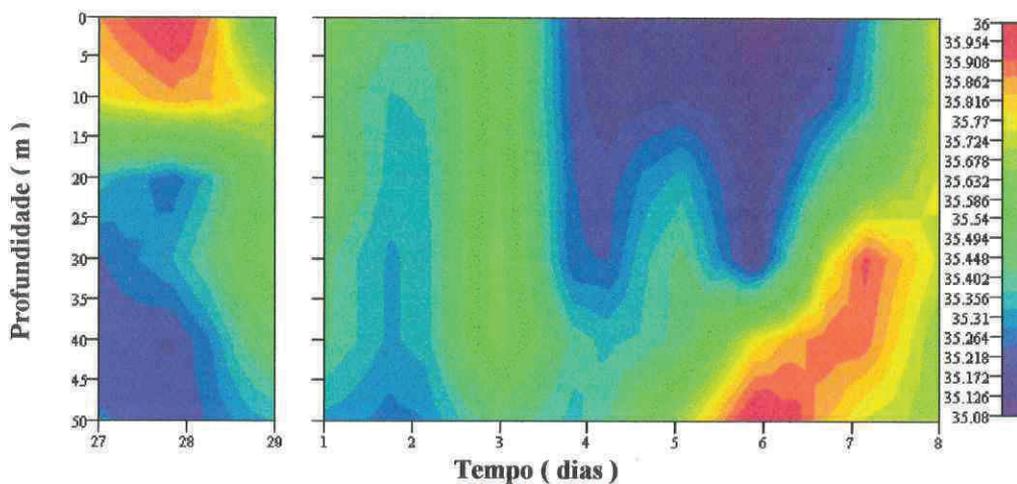


Figura 17 – Distribuição da salinidade, ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.

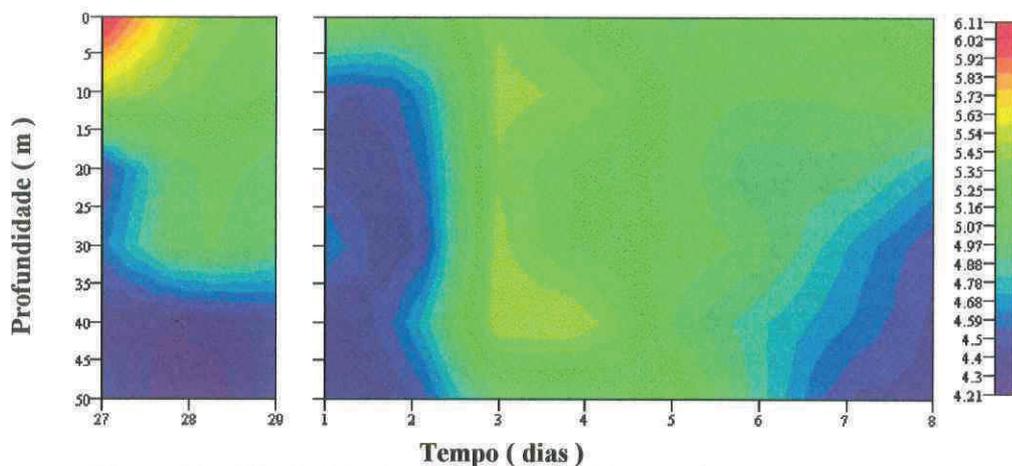


Figura 18 – Distribuição do oxigênio dissolvido (ml.l^{-1}), ao longo do tempo (27 de setembro a 8 de outubro de 1999), no experimento de verão.

RESUMO:

Três experimentos foram realizados, em condições hidrológicas diferentes, com a finalidade de observar as variações espaço-temporais da atividade do bacterioplâncton e do fitoplâncton provocadas pela ressurgência e a importância da contribuição das bactérias para a cadeia trófica da região de Arraial do Cabo - RJ (Brasil). As amostras foram coletadas em uma estação fixa, fortemente influenciada pela ressurgência. A produção bacteriana foi estimada pela técnica de assimilação do isótopo de leucina, e sua biomassa, pela contagem direta das células em microscópio de epifluorescência, coradas com laranja de acedina. A produção primária foi medida simultaneamente, com a técnica de assimilação do carbono radioativo (^{14}C). Os resultados demonstraram uma maior amplitude de variação da produção bacteriana no inverno (0,02 a $1,13 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) do que no verão (0,00 a $0,41 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$), e sua biomassa foi maior que a do fitoplâncton em ambas as estações ($\bar{X}_{\text{inverno}} = 69,91 \pm 115,86$; $\bar{X}_{\text{verão}} = 167,24 \pm 66,48$). A relação entre a produção bacteriana e a primária foi muito variável (menos de 10 a mais de 100 %) entre as camadas eufótica e afótica e, nas diferentes fases de desenvolvimento fitoplanctônico. A razão média entre a produção bacteriana e primária ficou acima de 40 %, sugerindo que as bactérias podem efetivamente constituir-se em um importante elo no ciclo do carbono e uma das principais fontes de alimento para o sistema de ressurgência de Arraial do Cabo. A atividade bacteriana também demonstrou ter participação nos processos de condicionamento de águas recém ressurgidas, o que possibilita a utilização dos nutrientes presentes na massa d'água pelo fitoplâncton.

IV – CICLO SAZONAL E DIURNO:

4.1 – RESULTADOS:

4.2 – EXPERIMENTO DE INVERNO (09 a 18/06 de 1999):

4.2.1 – PARÂMETROS AMBIENTAIS:

4.2.1.1 – CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS:

As variações nas condições do tempo corresponderam às características do período do ano em que as coletas foram realizadas, com passagens de frentes frias rápidas a intervalos de 2 a 3 dias entre uma e outra, muito embora os ventos dominantes tenham sido os de quadrante norte, que são característicos da região, porém, de ocorrência mais comum e constante no verão, o que se refletiu em uma subida de águas mais frias nos primeiros dias de coleta, que podem até ocorrer, mas não são muito comuns nessa época do ano.-

Os dois dias que antecederam ao início das coletas (07 e 08 / 06 / 99), foram marcados pelo final de uma frente fria, com o tempo nublado, calmaria (intensidade zero), e a entrada de um vento nordeste (NE) passando de fraco a moderado (12 nós) no dia 08 / 06 / 99. Vento este que se intensificou (20 nós) no primeiro dia de experimento,

ABSTRACT:

Three experiments were done, at different hydrological conditions, in order to observe space-temporal variation of bacterioplankton and phytoplankton activity caused by upwelling and the importance of contribution of heterotrophic bacteria for the food chain in the area of Arraial do Cabo – RJ (Brazil). The samples were collected in a fix station, strongly influenced by upwelling. The bacterial production was stimated by leucine isotope incorporation technique and its biomass by direct counting of the cells in an epifluorescence microscope, colored with acredine orange. Primary production was simultaneously measured with radioactive carbon (^{14}C) assimilation methodology. The results showed a greater range of bacterial production in the winter (0,02 to 1,13 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) than in the summer (0,00 to 0,41 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$), and its biomass ($\bar{X}_{\text{winter}} = 69,91 \pm 115,86$; $\bar{X}_{\text{summer}} = 167,24 \pm 66,48$) was greater than phytoplankton biomass in both seasons. The relation between bacterial and primary production were very variable (less 10 to more 100 %) between euphotic and aphotic layer and the different fases of phytoplankton development. The average ratio between bacterial and primary production was greater than 40 %. This suggested that the bacteria can effectively constitute an important link in the carbon cicle and one of the most important food source in the upwelling system of Arraial do Cabo. The bacterial activity also demonstrated to have a participation in the conditioning processes of newly upwelled water, what allows the use of nutrients presents in the environment by phytoplankton.

4.3 – EXPERIMENTO DE VERÃO	43
4.3.1 PARÂMETROS AMBIENTAIS	43
4.3.1.1 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	43
4.3.1.2 CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS	44
4.3.1.2.1 TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA	44
4.3.1.2.2 TEMPERATURA	45
4.3.1.2.3 SALINIDADE	46
4.3.1.2.4 CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO	47
4.3.1.2.5 NUTRIENTES	48
4.3.2 PARÂMETROS BIÓTICOS	54
4.3.2.1 CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA	54
4.3.2.2 PRODUÇÃO PRIMÁRIA	56
4.3.2.3 BIOMASSA BACTERIANA	56
4.3.2.4 PRODUÇÃO BACTERIANA	58
4.4 – CICLO DIURNO	60
4.4.1 PARÂMETROS AMBIENTAIS	60
4.4.1.1 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	60
4.4.1.2 CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS	60
4.4.1.2.1 TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA	60
4.4.1.2.2 TEMPERATURA	61
4.4.1.2.3 SALINIDADE	61
4.4.1.2.4 CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO	61
4.4.1.2.5 NUTRIENTES	62
4.4.2 PARÂMETROS BIÓTICOS	66
4.4.2.1 CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA	66
4.4.2.2 PRODUÇÃO PRIMÁRIA	67
4.4.2.3 BIOMASSA BACTERIANA	67
4.4.2.4 PRODUÇÃO BACTERIANA	69

III – METODOLOGIA:

3.1 – COLETAS DAS AMOSTRAS:

As amostras foram coletadas em uma estação fixa de 60 metros de profundidade, localizada aos $23^{\circ} 00' 01''$ S e $42^{\circ} 00'$ W em frente ao Focinho do Cabo (Fig. 01). A estação foi escolhida em função de ser este o ponto em que a costa brasileira muda de direção, sofre uma alteração do perfil de sua plataforma e o talude se torna mais suave (Valentin, 1994). Estes fatores, aliados a outros fatores físicos e meteorológicos já descritos, contribuem para a ocorrência do fenômeno da subida da ACAS, o que torna esta área fortemente influenciada pela ressurgência, sendo um dos primeiros lugares a sentir seus efeitos.

Foram realizados dois experimentos: um ciclo sazonal, visando verificar a variação da produção e da biomassa bacteriana (**PB** e **BB**) em momentos distintos do ano, com características sazonais bem marcadas, e um ciclo diurno, tendo o objetivo de visualizar uma estimativa, o mais próximo quanto possível, da taxa de produção bacteriana diária, levando em consideração que as bactérias não dependem da luz para realizarem sua produção, continuando a produzir durante a noite.

As coletas referentes ao ciclo sazonal foram realizadas em dois períodos: de **09 a 18 de junho de 1999** (Inverno Austral), a bordo do Batelão Miguel dos Santos e de **27 de setembro a 08 de outubro de 1999** (Verão Austral), a bordo do NPq. Diadorim. Este período marca o fim do Inverno (Setembro) e o início do Verão Austral (Outubro), onde as características meteorológicas dessa estação ainda não estão bem marcadas, como

4.2.1.2 – CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS:

4.2.1.2.1 – TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA:

A transparência da água nessa região é o resultado das interações do vento e das massas d'água presentes no seu sistema hidrológico. Logo, em função da grande variabilidade no regime de ventos e conseqüentemente na disposição das massas d'água, a profundidade da camada eufótica variou pouco até o quinto dia (13 / 06 / 99) de experimento, esteve entre 15 e 18 metros de profundidade, coincidindo com o evento de maior subida da ACAS nesse período, ou seja, a presença de uma água com muito material em suspensão e conseqüentemente mais turva. A partir do sexto dia (14 / 06 / 99), segunda metade do experimento, a transparência da água aumentou sensivelmente, com a profundidade da camada eufótica passando a variar entre 18 e 26 metros (Fig. 03) e mantendo o padrão da primeira metade do experimento, ou seja, o limite da camada eufótica permaneceu sobre a interface água da superfície (mais quente) – água de fundo (mais fria). Comparando os perfis de temperatura e o de transparência da água, percebe-se claramente que o limite da camada eufótica está justamente sobre o limite superior da termoclina.

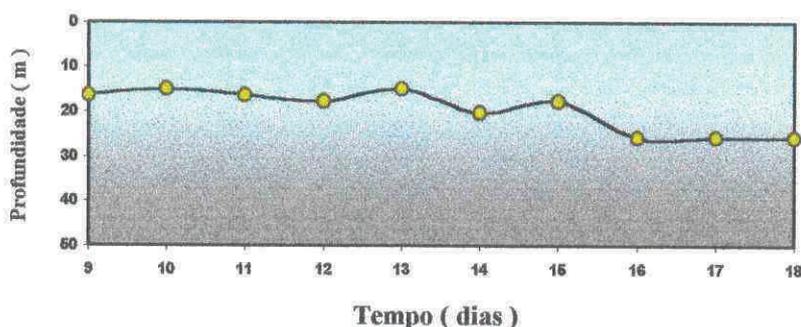


Figura 03 – Profundidade (m) onde a luz alcança 1% da luz incidente na superfície, ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.

quentes, provenientes da **CB** ou fortemente influenciadas por ela. Em contra partida, estiveram correlacionados negativamente ao primeiro eixo, e conseqüentemente numa relação inversa com as variáveis já citadas, nitrato (NO_3^-), profundidade (**PROF**), salinidade (**SAL**) e fosfato (PO_4^{3-}), todos muito relacionados ao eixo, sobre tudo a profundidade (Tab. 03), correspondendo as amostras de temperaturas mais baixas, com maiores concentrações de nutrientes e salinidade, demonstrando a forte influência da **ACAS**. Esse eixo nos permite visualizar um padrão na variação das amostras influenciado principalmente pelos fatores ambientais (físico-químicos), embora existam variáveis biológicas com projeções significativas no eixo (**CLOR-a** e **PP**), suas influências são secundárias e só serão notadas mais claramente quando forem consideradas na interpretação do segundo eixo (Fig. 37).

Tabela 03 – “Factor Loadings” da análise de componentes principais extraídos para o experimento de inverno. São considerados significativos os valores $> 0,38$.

Variáveis	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4
PROF	-0,73	-0,04	-0,44	0,24
TEMP	0,83	0,29	0,11	-0,12
O₂	0,64	0,13	-0,30	0,34
SAL	-0,73	-0,10	0,25	0,06
NO₂⁻	0,39	0,40	-0,49	-0,34
NO₃⁻	-0,83	-0,25	0,15	0,28
NH₄⁺	0,02	-0,36	-0,48	0,35
PO₄³⁻	-0,71	-0,27	-0,28	-0,09
PB	0,03	-0,69	-0,43	-0,45
BB	0,21	0,39	-0,65	0,37
AB	0,04	-0,79	-0,24	-0,42
PP	0,61	-0,56	0,28	0,19
CLOR-a	0,58	-0,68	0,16	0,26
FEOF	0,34	-0,77	-0,04	0,24

ficando apenas a camada entre 20 e 40 metros com valores mínimos ($0.14 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$), esses valores mais elevados da superfície coincidiram com o pico de PP já descrito. No sexto dia, os valores de **PB** detectados foram sensivelmente menores ($0,09 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ no fundo e $0,24 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ na superfície), e decresceram a níveis mínimos ($0,01$ a $0,03 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$) até o fim do experimento (Fig. 14).

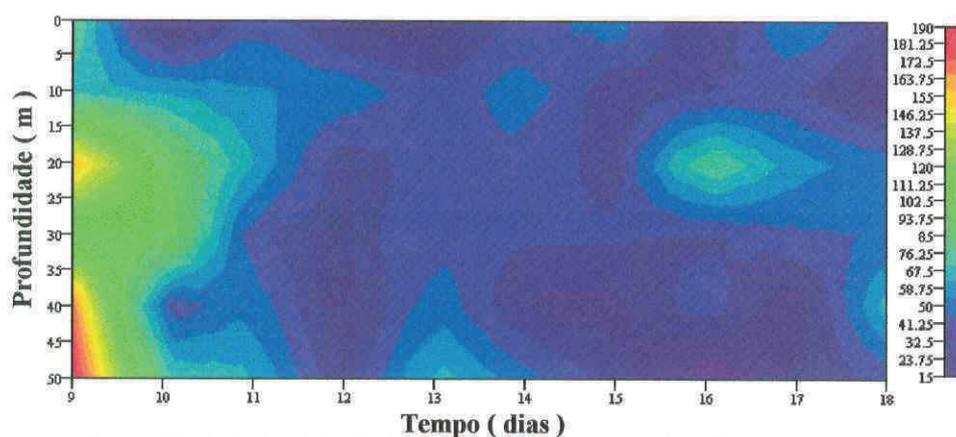


Figura 13 – Distribuição da biomassa bacteriana (mgC.m^{-3}), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.

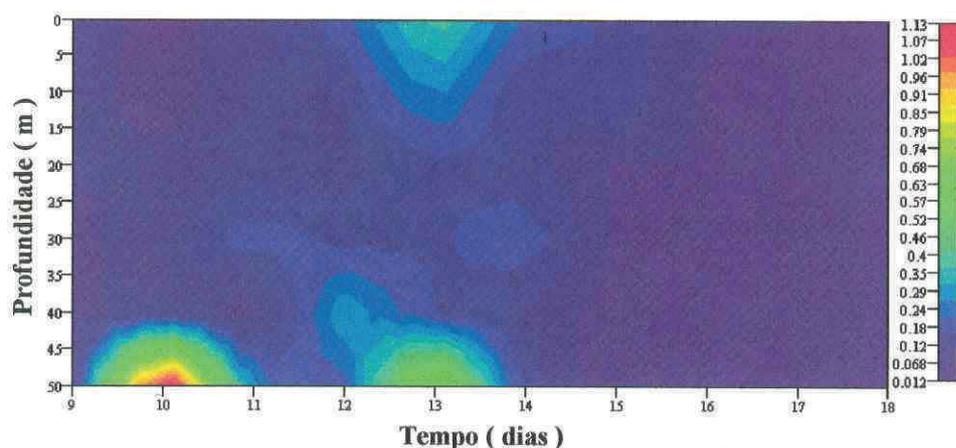


Figura 14 – Distribuição da produção bacteriana ($\text{mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$), ao longo do tempo (09 a 18 de junho de 1999), no experimento de inverno.

nutrientes, sobre tudo, os perfis do NO_3^- , NO_2^- e PO_4^{3-} . Isso significa que, as variações nas concentrações dos nutrientes tiveram uma distribuição, ao longo do tempo, muito semelhante à distribuição da temperatura, bem como a de outros parâmetros que serão descritos mais adiante. Desta forma, a série temporal do experimento pode ser dividida, em função da concentração de nutrientes, de forma idêntica a da temperatura, ou seja, em três momentos com situações distintas:

O primeiro momento, compreendido entre o primeiro e o quinto dia de coleta, apresentou uma situação de maior enriquecimento da coluna d'água, principalmente em relação ao NO_3^- , PO_4^{3-} e NH_4^+ . O NO_2^- teve um aumento significativo em suas concentrações, porém, os maiores valores desse nutriente não foram registrados nesse primeiro momento. As concentrações de NO_3^- variaram de 0,54 a $12,50 \mu\text{mol.l}^{-1}$, para esse intervalo de tempo em toda coluna d'água. Os maiores valores foram registrados sempre na camada inferior, abaixo da termoclina, que nos dois primeiros dias começava aos 20 metros, sofrendo um recuo no terceiro dia até os 35 metros, voltando a se elevar até quase a superfície (5 m) no quarto dia, e chegando a uma situação de homogeneidade da coluna no quinto dia (Fig. 19).

As concentrações de PO_4^{3-} , para esse intervalo, variaram de 0,1 a $0,98 \mu\text{mol.l}^{-1}$ e sua distribuição ao longo do tempo, nesse intervalo que estamos considerando, foi idêntica a do NO_3^- (Fig. 20).

O NO_2^- teve uma tendência de distribuição muito parecida com o NO_3^- e PO_4^{3-} , entretanto, ao contrário desses nutrientes, o seu pico não ocorreu nesse momento. Além disso, os valores mais elevados, nos dois primeiros dias, ocorreram em uma faixa

3.2 – PARÂMETROS AMBIENTAIS:

3.2.1 – CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS:

Registros de direção, intensidade dos ventos e precipitação foram obtidos na estação meteorológica da Base Aérea Naval de São Pedro da Aldeia (BAeNSPA).

As condições do tempo: cobertura de nuvens e insolação, foram feitas por observação direta e registradas nas anotações de bordo.

3.2.2 – RADIAÇÃO SOLAR:

As radiações solares máxima, mínima e a integrada, foram registradas continuamente, a intervalos de meia hora, por meio de um sensor esférico, LI -193 SA acoplado ao DATALOGGER LI -1000 da LI-COR durante todo o período dos experimentos. O sensor foi fixado próximo à área onde as incubações foram realizadas, em um ponto alto sem nenhum obstáculo para luz, de forma a não haver interferência por sombreamento nos registros de luz durante o dia.

3.2.3 – CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS:

Em todo o período de amostragem foram medidos diariamente os seguintes

o estariam na alta estação. Porém como não foi possível coletar no verão de 1999, o que era o ideal, em função de atrasos na aquisição do material necessário aos experimentos, o início nesse momento foi o mais oportuno para a realização do trabalho sem maiores prejuízos.

O ciclo diurno foi realizado entre os dias **29 e 30 de junho de 1999**. As coletas foram feitas a cada 4 horas, perfazendo sete amostragens: 08:00, 12:00, 16:00, 20:00, 00:00, 04:00, 08:00 horas , fechando um ciclo completo. A produção primária também foi medida, durante o dia, em duas incubações. Cada incubação durou quatro horas, no período de maior insolação do dia, das 08:00 às 12:00 horas na primeira e das 12:00 às 16:00 horas a segunda.

As amostras de água para os experimentos de produção primária (**PP**), produção bacteriana, biomassa bacteriana e clorofila-a (**CLOR-a**) foram coletadas com garrafa de Van Dorn de 10 litros, nas seguintes profundidades: 0, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50 metros e na profundidade de ocorrência do pico de fluorescência, quando este ocorreu em profundidade diferente das já fixadas. As amostras foram coletadas, passadas através de uma rede de 150 μm de malha para retirar o zooplâncton herbívoro, e estocada em galões de 20 litros, ao abrigo da radiação direta do sol e da luz (cobertos por sacos plásticos pretos).

As amostras destinadas às análises de nutrientes, salinidade e oxigênio foram coletadas com lançamentos de Garrafa de Nansen, nas profundidades de coleta já citadas.

Todas as amostras foram levadas ao laboratório em no máximo uma hora após o término das coletas, e analisadas imediatamente após sua chegada.

I – INTRODUÇÃO:

A importância de microrganismos tem sido avaliada desde o início do século XX (1908), quando um biólogo marinho, H. Lohmann, descobriu minúsculos flagelados verdes concentrados nos finos filtros de alguns organismos planctônicos. Duas décadas depois, V.I. Vernadskii, o fundador da biogeoquímica, sugeriu que, por causa de sua abundância, esses pequenos flagelados verdes poderiam ser os mais significantes transportadores de materiais da terra (Pomeroy, 1992). Na década de 30, alguns trabalhos utilizaram a contagem de células como base para um índice geral da atividade e como quantificador da biomassa de microrganismos, entretanto havia muitas dúvidas sobre o estado fisiológico e o número apurado nas contagens das células bacterianas para as áreas avaliadas, em função da precária acurácia dos métodos de contagem empregados. Porém, esses trabalhos já demonstravam a ligação das bactérias marinhas com a distribuição da matéria orgânica (Jannasch & Jones, 1959).

Dugdale & Goering (1967) concluíram que medidas de produção primária por si só não são suficientes para expressar a capacidade de uma região para suportar altos níveis de produção na cadeia trófica. A fixação de carbono da produção fitoplanctônica, no processo de fotossíntese, tem um papel muito importante no balanço de carbono e energia dos oceanos. Entretanto, essa produção é globalmente fraca em função de dois fatores limitantes principais: a energia luminosa, disponível apenas em uma camada de centenas de metros, e a disponibilidade de sais nutrientes, principalmente o nitrogênio. Dugdale & Goering (op. cit.) propuseram a existência de uma produção dita regenerada, a partir da remineralização da matéria orgânica por decompositores microplanctônicos, em oposição à produção nova que se dá em função do aporte de sais minerais ao meio, que cobre a

	XII
4.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	71
4.5.1 EXPERIMENTO DE INVERNO	71
4.5.2 EXPERIMENTO DE VERÃO	78
4.5.2 CICLO DIURNO	84
4.6 DISCUSSÃO	86
V ACOMPANHAMENTO, EM LABORATÓRIO, DA EVOLUÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA EM ÁGUAS DE RESSURGÊNCIA	97
5.1 INTRODUÇÃO	97
5.2 METODOLOGIA	98
5.3 RESULTADOS	103
5.4 DISCUSSÃO	119
VI – CONCLUSÃO	127
VII – BIBLIOGRAFIA	129

demanda deixada pela produção fitoplanctônica, evidenciando assim, o papel dos microrganismos planctônicos. Bott (1975) aponta para a importância das bactérias como decompositoras de matéria orgânica particulada e dissolvida e que essas substâncias seriam reintegradas ao sistema na forma de biomassa bacteriana. No final da década de 70, Morita (1979) sugere que as bactérias seriam as principais fontes de energia para organismos bentônicos por serem muito nutritivas, e observou a capacidade das bactérias em utilizar baixas concentrações de carbono orgânico presentes no meio. Fuhrman *et al.* (1980) propõem relações entre o bacterioplâncton e a matéria orgânica proveniente do fitoplâncton e de partículas orgânicas e faz menção a trabalhos que apontam as bactérias como importantes regeneradoras de nutrientes. Em 1983, Azam *et al.* (1983) propõem o conceito da alça microbiana – “microbial loop”, que veio somar-se às descobertas a respeito do bacterioplâncton como um dos principais elos entre a matéria orgânica dissolvida e particulada e de ligação da rede alimentar microbiana e os níveis tróficos superiores, o que eleva profundamente a importância das bactérias e microheterótrofos em geral, de decompositores de detritos e matéria orgânica morta a uma importante fonte de alimento.

Com o acúmulo do conhecimento, o avanço da tecnologia e a elaboração de técnicas mais acuradas, outras funções importantes nos ciclos fundamentais, sobre tudo no ciclo do carbono e na dinâmica trófica, têm sido evidenciadas para bactérias e outros microrganismos. Entre essas atribuições está, por exemplo, o transporte e a manutenção do carbono atmosférico fixado pelo plâncton, inclusive o bacterioplâncton, nos oceanos através da chamada “bomba biológica” (Ducklow, 1993). Essas relações entre o carbono atmosférico e oceânico têm sido alvo de uma investigação multidisciplinar ostensiva, em função da necessidade de compreensão da dinâmica do ciclo do carbono, a fim de prever

mais quentes, com a assimilação da matéria orgânica proveniente do fitoplâncton e que a medida que a biomassa bacteriana aumenta, as células diminuem sua atividade demonstrando senilidade (Tab. 08; Fig. 41).

O resultado da análise discriminante para esse conjunto de dados foi semelhante ao da análises efetuada para o experimento de inverno. Houve confirmação da separação entre os grupos de amostras de água fria, quente e intermediária, entretanto as distâncias entre esses grupos de amostras nesse período foram bem mais marcantes (Tab. 09). O modelo confirmou as observações feitas com base na ACP com uma precisão geral de 100 % na classificação e um alto poder de separação dos grupos. As variáveis inseridas no modelo que determinou as funções discriminantes foram: **PROF**, **PB**, **O₂**, **NH₄⁺**, **CLOR-a**, **FEOF**, **NO₂⁻**, **SAL**, **PO₄³⁻**, **TEMP** e **NO₃⁻** (em ordem decrescente de redundância), o que confirmou não só as "forçantes" abióticas como estruturadoras do ambiente como também a importância dos fatores bióticos para caracterizá-lo (Tab. 10; Fig. 42).

Tabela 09 – Distâncias quadradas de Mahalanobis entre os grupos de amostras do experimento de verão, determinadas pela análise de discriminante (Valores de F para a função discriminantes = 7, 71).

	fria	mix	quente
fria		48,50	140,38
mix	48,50		36,04
quente	140,38	36,04	

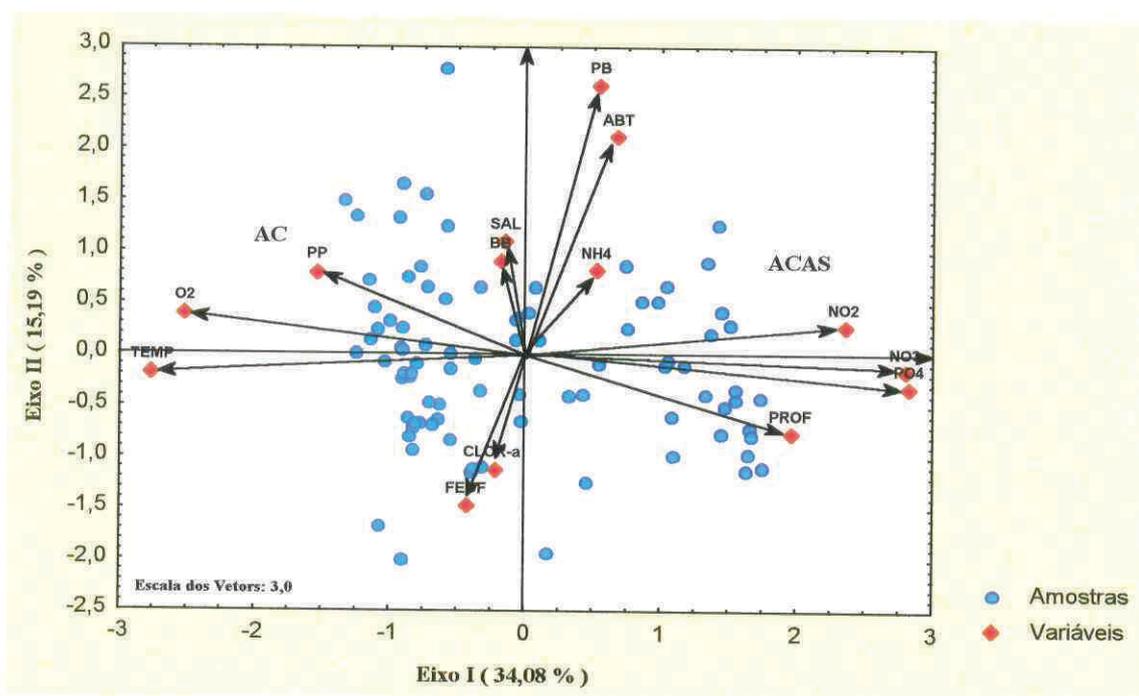


Figura 40 - Análise de componentes principais do experimento de Verão: plano fatorial dos eixos I e II, representando as amostras e variáveis.

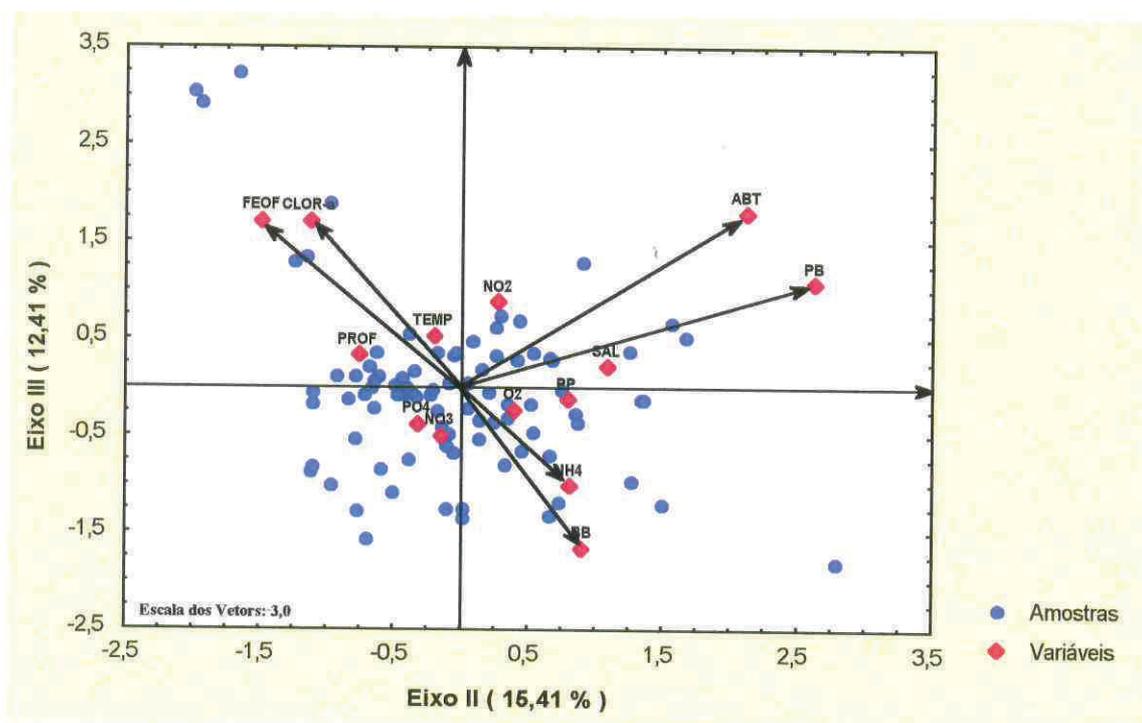


Figura 41 - Análise de componentes principais do experimento de Verão: plano fatorial dos eixos II e III, representando as amostras e variáveis.

Tabela 10 – Sumário da análise discriminante entre os três grupos de amostras propostos para o experimento de inverno (Wilks' Lambda= 0,018; F (22, 150)= 43,942; p < 0,000)

	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (2,75)	p-level	Toler.	1-Toler. (R-Sqr.)
PO ₄ ³⁻	0,02	0,96	1,46	0,24	0,27	0,73
NO ₂ ⁻	0,04	0,49	38,53	0,00	0,45	0,55
NH ₄ ⁺	0,03	0,70	15,90	0,00	0,57	0,43
NO ₃ ⁻	0,02	0,87	5,77	0,00	0,13	0,87
SAL	0,02	0,78	10,28	0,00	0,34	0,66
O ₂	0,02	0,89	4,72	0,01	0,65	0,35
TEMP	0,02	0,89	4,75	0,01	0,21	0,79
PB	0,02	0,92	3,24	0,04	0,70	0,30
FEOF_	0,02	0,88	5,23	0,01	0,48	0,52
CLOR-a_	0,02	0,92	3,20	0,05	0,55	0,45
PROF_	0,02	0,97	1,01	0,37	0,85	0,15

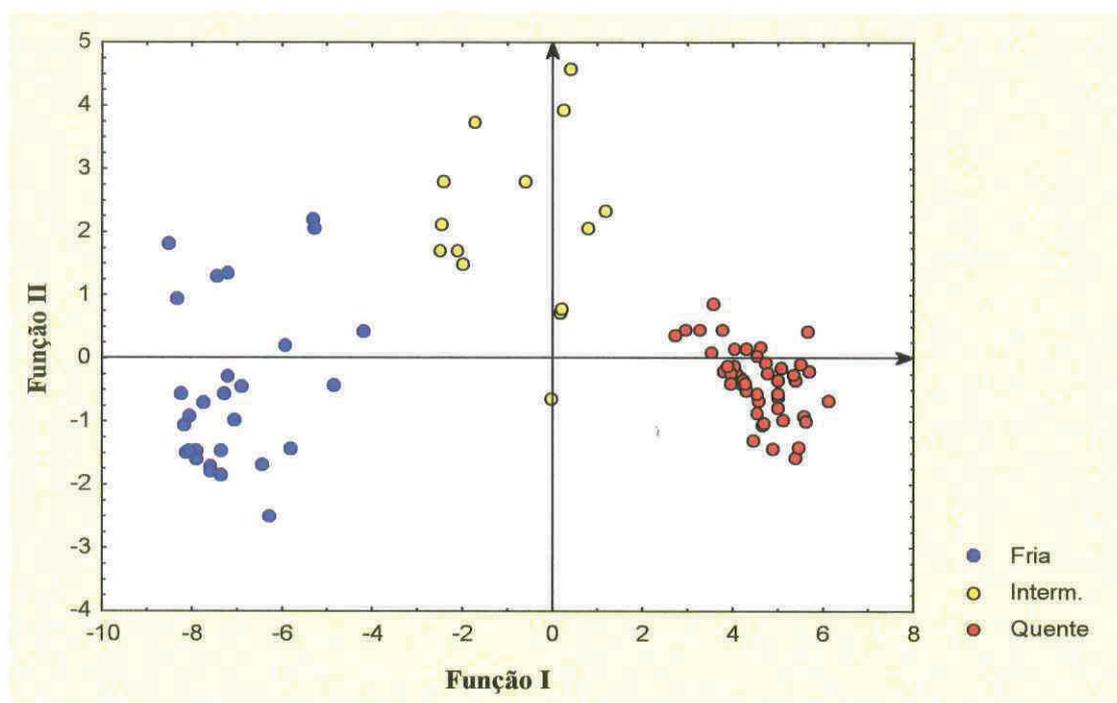


Figura 42 – Análise discriminante entre os grupos de água (fria, misturada e quente) no experimento de verão.

Os resultados das análises de regressão múltipla entre os fatores bióticos entre si e com os abióticos, evidenciaram as seguintes correlações:

A função de ajuste da regressão múltipla para a **BB** teve um percentual de explicação de 98,00 % ($p < 0,000$), e entraram no modelo as seguintes variáveis: com relação positiva – **PB**, NO_2^- e **SAL** e com correlação negativa – **ABT**, PO_4^{3-} , NH_4^+ e **PROF**, todas com correlação significativa. Ainda foi inserido no modelo, em função do valor de *Beta*, o O_2 , porém sem significância estatística a um limite de confiança de 95 % (Tab. 11).

Tabela 11 – Sumário da regressão múltipla para a **BB** como variável dependente ($n= 64$; $R= 0,99$; $R^2= 0,98$; $p= 0,000$; $F (8, 55) = 296,10$ e erro padrão estimado = 7,04).

	BETA	Erro padrão de BETA	t (55)	p
PB	1,61	0,04	36,14	0,00
NO₂	0,09	0,03	2,69	0,01
SAL	0,06	0,03	2,19	0,03
ABT	-1,29	0,04	-34,27	0,00
PO₄³⁻	-0,07	0,03	-2,23	0,03
NH₄	-0,07	0,03	-2,48	0,02
PROF	-0,06	0,02	-2,54	0,01
O₂	-0,05	0,03	-1,60	0,12

A explicação para a variação da **PB** não foi tão alta quanto a da **BB**. A análise explicou 65,00 % da variação dos dados ($p < 0,000$), inserindo no modelo o NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , **BB** e **PP**, essas duas últimas sem significância estatística a um limite de 95 % de confiança, com correlação positiva. Com correlação negativa, entraram no modelo o PO_4^{3-} , **PROF** e **SAL**, apenas a salinidade não alcançou significância estatística (Tab. 12).

Tabela 12 – Sumário da regressão múltipla para a **PB** como variável dependente (n= 74; R= 0,81; R²= 0,0,65; p= 0,000; F (8, 65) = 14,913 e erro padrão estimado = 0,018).

	BETA	Erro padrão de BETA	t (65)	p
NO ₃ ⁻	1,41	0,36	3,93	0,00
NH ₄ ⁺	0,64	0,09	7,42	0,00
NO ₂ ⁻	0,48	0,11	4,30	0,00
BB	0,16	0,09	1,87	0,07
PP	0,15	0,09	1,63	0,11
PO ₄ ³⁻	-1,71	0,38	-4,56	0,00
PROF	-0,25	0,10	-2,56	0,01
SAL	-0,13	0,09	-1,46	0,15

4.5.3 – CICLO DIURNO:

O resultado do Teste-t evidenciou que não houve diferença significativa entre as médias de **PB** (dia = 0,061 e noite = 0,069 mgC.m⁻³.h⁻¹) em toda coluna d'água, nas incubações diurnas e noturnas (n = 24; p = 0,20), demonstrando que a taxa de **PB** foi relativamente constante durante todo o dia.

A **PB** foi correlacionada significativamente com a **FEOF** (correlação positiva), **PROF**, **TEMP** e **NH₄⁺** (correlação negativa). Além dessas variáveis entraram no modelo a **ABT**, **NO₃⁻**, **PP**, **SAL** e **BB** porém não foram significativas. A análise de correlação múltipla explicou 98,00 % (p < 0,0001) da variação da **PB** desse período (Tab. 13).

Tabela 13 – Sumário da regressão múltipla para a **PB** como variável dependente ($n= 16$; $R= 0,99$; $R^2= 0,98$; $p= 0,0001$; $F (9, 6) = 40,541$ e erro padrão estimado = $0,003$).

	<i>BETA</i>	Erro padrão de <i>BETA</i>	<i>t</i> (6)	<i>p</i>
FEOF	0,61	0,14	4,50	0,00
ABT	0,11	0,07	1,63	0,15
PROF	-1,26	0,32	-3,95	0,01
TEMP	-1,00	0,17	-5,76	0,00
NO ₃ ⁻	-0,37	0,18	-2,04	0,09
NH ₄ ⁺	-0,32	0,06	-5,25	0,00
PP	-0,15	0,09	-1,63	0,15
SAL	-0,13	0,14	-0,93	0,39
BB	-0,05	0,08	-0,69	0,52

A **BB** também teve um bom percentual de explicação (92,00 %), resultante do ajuste de uma equação com as seguintes variáveis: com correlação positiva – **FEOF** e **NO₂⁻**, e com correlação negativa significativa – **CLOR-a** e **ABT** (Tab. 14).

Tabela 14 – Sumário da regressão múltipla para a **BB** como variável dependente ($n= 15$; $R= 0,96$; $R^2= 0,92$; $p= 0,003$; $F (7, 7) = 10,778$ e erro padrão estimado = $5,96$).

	<i>BETA</i>	Erro padrão de <i>BETA</i>	<i>t</i> (7)	<i>p</i>
FEOF	1,08	0,35	3,03	0,02
NO ₂ ⁻	0,61	0,21	2,95	0,02
CLOR-a	-1,55	0,42	-3,66	0,01
NO ₃ ⁻	-0,75	0,34	-2,19	0,06
ABT	-0,62	0,13	-4,82	0,00
PP	-0,33	0,19	-1,70	0,13
TEMP	-0,01	0,29	-0,02	0,98

4.6 – DISCUSSÃO

É conhecido que o fenômeno da ressurgência afeta profundamente a produtividade da região de Arraial do Cabo, tanto quanto afeta outras áreas de ressurgência do mundo (Valentin, 1984; 1992;1994). Estudos têm demonstrado que a atividade, produção e abundância bacteriana também são afetados pelos ciclos de ressurgência, seja diretamente, em função dos gradientes dos nutrientes que são necessários ao desenvolvimento das bactérias, ou indiretamente, em função da ligação das bactérias heterotróficas à matéria orgânica, particulada ou dissolvida, proveniente do zooplâncton e sobretudo do fitoplâncton, que têm sua produção fortemente influenciada pela ressurgência (Fuhrman *et al.*, 1980; McManus e Peterson, 1988). As modificações no meio, provocadas pelos eventos de ressurgência e subsidência, são seguidas de reações do fitoplâncton e do bacterioplâncton que demonstram padrões de repostas às diferentes estruturações dos fatores ambientais e biológicos. Os resultados obtidos neste trabalho evidenciaram que, no inverno, os picos de **PB** na camada eufótica foram simultâneos aos picos de **PP** e **CLOR-a**, concordando com Fuhrman *et al.* (1980), que sugerem que o bacterioplâncton e o fitoplâncton tendem a ser abundantes nos mesmos lugares. As relações observadas no inverno, repetem-se no verão, entretanto, existe uma defasagem de um ou dois dias na produção bacterioplânctônica em relação as mudanças da maioria dos parâmetros considerados, o que também foi observado por Ducklow *et al.* (1993) e Lochte *et al.* (1997), entre outros.

A **PB** teve uma correlação ligeiramente abaixo do limite de confiança de 95% ($p = 0,06$) com a **PP** no inverno, porém, todos os três parâmetros relativos ao

bacterioplâncton foram fortemente correlacionados a clorofila-a, demonstrando que a ligação das bactérias com o fitoplâncton no inverno está mais relacionada a matéria orgânica, potencial, da biomassa fitoplânctônica do que com sua taxa de fixação de carbono (Fuhrman *et al.*, 1980; Wikner & Hagström, 1999). Já no verão, a estreita ligação entre bacterioplâncton e fitoplâncton (Azam *et al.*, 1983; Lancelot & Billen, 1984; McManus & Peterson, 1988; Li *et al.*, 1993; Kähler *et al.*, 1997; Lochte *et al.*, 1997; Gasol *et al.*, 1998) pode ser observada na correlação positiva entre **ABT** e a **PP** o que sugere que as bactérias desenvolvem-se utilizando o carbono orgânico liberado pelo fitoplâncton, no processo da fotossíntese (Cherrier *et al.*, 1996; Malinsky-Rushansky N. Z. & Legrand, 1996; Gasol *et al.*, 1998) e que este, por sua vez, pode estar sendo beneficiado pelo desenvolvimento bacteriano uma vez que, as bactérias ao crescerem podem promover o condicionamento das águas recém ressurgidas (Gonzalez-Rodriguez, 1991).

A relação negativa da **ABT** com a **BB** (Simon *et al.*, 1992) sugere que uma floração da biomassa está latente ou crescendo lentamente (Fuhrman *et al.*, 1980).

As relações observadas entre bacterioplâncton, fitoplâncton e nutrientes são de difícil interpretação, sobretudo se levarmos em consideração que fatores importantes para a compreensão da dinâmica da matéria orgânica entre os compartimentos bióticos e abióticos, tais como concentração de carbono orgânico dissolvido, carbono orgânico particulado total, concentração de nutrientes orgânicos e biomassa zooplânctônica, não foram estimados.

Thingstad *et al.* (1999) propõem que o **P** é um dos principais fatores limitantes do crescimento bacteriano em ambientes marinhos tais como o Mediterrâneo (Zweifel *et al.*, 1993), Golfo do México (Pomeroy *et al.*, 1995) e Mar de Sargasso (Cotner *et al.*, 1997). Em seus experimentos, verificaram que na ausência de **P** a

assimilação de nutrientes nitrogenados ocorre em uma taxa fixa, mas na presença de fósforo, as concentrações de NO_3^- caem a níveis de detecção, enquanto o NO_2^- tem concentrações pequenas na presença ou na ausência do P, sugerindo que este nutriente é assimilado independentemente das concentrações de fósforo. Além disso, Thingstad (*op. cit.*) cita para o Mar Báltico, que a limitação por fósforo retardou a degradação do carbono orgânico dissolvido (Zweifel *et al.*, 1993) demonstrando que o fósforo tem papel proeminente no crescimento bacteriano. Complementando as informações sobre a importância do P para o desenvolvimento do bacterioplâncton, Bloem *et al.*, (1989) demonstraram que as bactérias são mais importantes como consumidoras de PO_4^{3-} do que como remineralizadoras desse nutriente, e que a remineralização só acontece eficientemente na presença de predadores. Partindo dessas premissas, é possível propor uma interpretação cautelosa para os padrões de correlação observados nas duas estações do ano. A relação positiva entre a ABT e a PB com as concentrações de PO_4^{3-} e negativa com as concentrações de NO_3^- , NO_2^- e o NH_4^+ no inverno, e a inversão desse padrão no verão, ou seja, correlação negativa com o PO_4^{3-} e positiva com os nutrientes nitrogenados, poderia ser explicada por um fluxo mais contínuo de PO_4^{3-} e maior quantidade de matéria orgânica disponível no inverno do que no verão. Essa proposta é feita em função de duas observações: no inverno as concentrações de PO_4^{3-} apresentaram uma variação um pouco menor (0,22 a 0,74 $\mu\text{mol.l}^{-1}$) e uma presença mais contínua, principalmente nas camadas de mistura e afótica, ao longo do período, mesmo não tendo havido nenhum evento de ressurgência completa; e da relação entre a ABT e a CLOR-a que indica que a demanda de matéria orgânica das bactérias estaria sendo suprida pela matéria orgânica originada direta (Cherrier *et al.*, 1996; Malinsky-Rushansky N. Z. & Legrand, 1996; Gasol *et al.*, 1998), ou indiretamente pelo fitoplâncton (Fuhrman *et al.*, 1980; Azam *et al.*, 1983;

Ducklow *et al.*, 1993; Gasol *et al.*, 1998), como já foi sugerido anteriormente. Kirchman *et al.* (1993) propõem que a qualidade (energia disponível) da matéria orgânica dissolvida é mais importante que a quantidade, e que a assimilação de NO_3^- e NH_4^+ é mais eficiente na presença dessa **MOD** viável. Assim as concentrações razoavelmente contínuas de fósforo e o suprimento de **MOD** disponível, possibilitaram a maior assimilação dos nutrientes nitrogenados no inverno. Essa proposta contribui com a interpretação, que será discutida mais adiante, da maior variação da razão **PB:PP** no inverno. No verão, a amplitude de variação das concentrações de PO_4^{3-} foi maior (0,10 a 0,98 $\mu\text{mol.l}^{-1}$) e o fluxo de nutrientes não foi tão contínuo quanto no inverno, havendo um período de concentrações mínimas em toda coluna, muito embora tenham acontecido picos muito mais pronunciados em função de eventos de ressurgência completa. Segundo Fuhrman *et al.* (1980) o valor absoluto dos nutrientes não é o fator preponderante para a produção e sim seu fluxo (taxa de renovação x concentração). Aparentemente não houve assimilação dos nutrientes nitrogenados pelas bactérias, provavelmente porque a disponibilidade de matéria orgânica estava limitada apenas a matéria orgânica liberadas pelas células fitoplanctônicas ativas (Malinsky-Rushansky N. Z. & Legrand, 1996, Cherrier *et al.* 1996), uma vez que o fitoplâncton estava se desenvolvendo juntamente com as bactérias, como indicado pela relação **PB:PP**.

Outras interpretações interessantes que poderiam ser propostas a partir das relações observadas entre a atividade bacteriana e fitoplanctônica e os nutrientes inorgânicos, seria a influência do zooplâncton nesse sistema. Sua atuação como consumidor tanto do fitoplâncton como de bactérias e ainda como remineralizador de nutrientes orgânicos e fonte de matéria orgânica para o bacterioplâncton pode esclarecer em muito a dinâmica do sistema. A manutenção das concentrações de PO_4^{3-} em torno da

média, principalmente na camada de mistura, no experimento de inverno poderia ser atribuída em parte à pressão dos pastadores sobre o fitoplâncton e o bacterioplâncton, como proposto por Bloem *et al.* (1989) que observaram que o consumo direto das bactérias e do fitoplâncton pelos protozoários é um mecanismo importante na remineralização do PO_4^{3-} . O balanço das concentrações de PO_4^{3-} nos dois experimentos do ciclo sazonal pode sugerir essa influência do Zooplâncton. A pastagem sobre o fitoplâncton e bactérias poderia ter contribuído para a manutenção das concentrações de fosfato no experimento de inverno. Entretanto, as maiores taxas de produção primária e bacteriana verificadas no verão, embora os valores extremos tenham sido observados no inverno, teriam superado a remineralização do fosfato promovida pelo zooplâncton, considerando que estes têm sua biomassa constante ao longo do ano (Monterio-Ribas, 1988). A depleção desse nutriente ocorreu a medida que a PB aumentou, sendo importante ressaltar que as bactérias são capazes de estocar fósforo em períodos de altas concentrações, para utilizá-lo quando estiver limitado (Bloem *et al.*, 1989). Contudo, essas interpretações necessitam de estimativas simultâneas desses e de outros compartimentos do sistema a fim de que possa confirmar essas hipóteses com maior segurança.

Ducklow & Hill (1985) sugerem que em águas oceânicas oligotróficas a PB seria maior que a PP. Eles estimaram, para zona eufótica na área de um vórtex de núcleo quente no Oeste do Atlântico Norte, uma densidade bacteriana que variou entre 1,2 e $18,1 \times 10^8 \text{ Cel.l}^{-1}$, que responde pelo consumo de mais de 40 % da produção primária durante 24 horas. Thingstad *et al.* (1996) trabalhando em águas frias na baía de Aarhus (Dinamarca), encontraram valores semelhantes de densidade bacteriana (5,85 a $22,7 \times 10^8 \text{ Cel.l}^{-1}$) que correspondeu a uma BB de 18 a 84 mgC.m^{-3} (14 a 48 % da biomassa

microbiana: protistas + bactérias) e a uma relação **PB:PP** que foi de 1 a 67 %, o que assumindo uma eficiência de crescimento de 50 % na incorporação de carbono bacteriano, daria uma estimativa de consumo de carbono orgânico excedente a produção primária. Os valores de densidade e biomassa bacteriana observados em Arraial do Cabo foram maiores que os citados anteriormente. A densidade bacteriana estimada para nossa área em toda coluna d'água foi de $7,7 \times 10^8$ a $3,9 \times 10^{10}$ Cel.l⁻¹ no inverno e $3,6 \times 10^9$ a $2,1 \times 10^{10}$ Cel.l⁻¹ no verão. Em nossos dados, a **PB** integrada média responde por apenas 14,11 % (no inverno) e 3,70 % (no verão) da **PP** horária média integrada, entretanto a variação diária desse percentual, foi de 1,03 a 65,28 % no inverno e de 1,39 a 10,77 % no verão. É importante ressaltar que a **PB** e **PP** não responderam a profundidade igualmente. A **PP** decresceu em direção ao fundo, chegando a ser zero em muitas amostras da camada inferior (30 – 50 m), enquanto que em muitos casos a **PB** aumentou sensivelmente, o que fez com que a relação **PB:PP** aumentasse consideravelmente como observado por Kirchman *et al.* (1993). Se observarmos a relação **PB:PP** (integradas) na zona eufótica e afótica separadamente é possível perceber uma sensível diferença. Os valores desta relação ficaram abaixo de 10 % na zona eufótica e entre 2,81 a 485 % na zona afótica. Essa interpretação é feita sobre uma visão geral dos dados integrados, mas se observarmos as relações diárias em cada profundidade isoladamente a medida que as massas d'água se sucedem, ora ocupando toda a coluna, ora ocupando parte da coluna com a formação de termoclina em profundidades variáveis, pode-se observar padrões na relação **PB:PP** comparáveis a padrões observados durante um bloom de primavera em oceanos temperados, quando, aparentemente, baixos percentuais do carbono orgânico fixado na **PP** são consumidos pelas bactérias nas fases iniciais de formação dos blooms fitoplanctônicos. Esse percentual pode aumentar muito na fase de declínio do bloom ou em regiões com

pequena produção primária (Lochte *et al.*, 1997), como ocorre normalmente em Arraial do Cabo, nos períodos de ausência de ressurgência. A relação na camada eufótica, quando não há formação de termoclina na superfície, é equivalente as fases iniciais de crescimento exponencial do fitoplâncton, quando a produção bacteriana representa menos de 10 % da produção primária (Ducklow & Hill, 1985; Li *et al.*, 1993). Isso sugere que o fitoplâncton está em plena atividade nessa camada, mobilizando os recursos (nutrientes) e que a matéria orgânica dissolvida e particulada que normalmente são oferecidas por ele não está disponível para o bacterioplâncton. Na camada de mistura, que tem espessura variável dependendo da profundidade da termoclina, podendo estar entre a camada eufótica e a afótica, ou estar inteiramente em uma dessas duas faixas, os valores da relação **PB:PP** variaram entre 4,5 e 40 % o que equivale a fase de desenvolvimento estável do bloom, quando esse percentual varia, geralmente no fitoplâncton marinho, entre 5 e 25 % (Ducklow, 1993; Moriarty, 1986; Cole *et al.*, 1988). Na camada inferior (quando não está sofrendo mistura) onde os valores de **PB** observados superam em muito a **PP**, seria o equivalente da fase pós bloom, quando as células fitoplanctônicas ficam inviáveis, afundam e tornam disponível a matéria orgânica para uma maior produção bacteriana, que pode chegar a 50 % (McManus & Peterson, 1988) e em alguns casos a 100 % (Lucas *et al.*, 1986). Logo, se assumirmos uma eficiência de crescimento de 50 % (Ducklow & Hill, 1985; Kirchman *et al.*, 1993; Thingstad *et al.*, 1996), podemos estimar que na camada eufótica, de uma forma geral, menos de 20 % da **PP** horária seja consumida pelas bactérias heterotróficas, porém na camada de mistura (tanto na zona eufótica quanto na zona afótica) esse consumo pode chegar a 80 %. E na zona afótica, a **PP** não seria a fonte principal de substrato para as bactérias heterotróficas (Wikner & Hagström, 1999), uma vez que esta é menor que a demanda bacteriana, o que indica que outras fontes de

substrato, tais como partículas orgânicas não vivas, dissolvidas hidroliticamente ou pela ação enzimática das próprias bactérias (Pomeroy, 1992; Robarts *et al.* 1996; Gasol *et al.*, 1998), que são capazes de utilizar ínfimas concentrações de matéria orgânica dissolvida e também de dissolver a matéria orgânica particulada (Pomeroy, 1992; Kähler *et al.*, 1997), como por exemplo pelotas fecais provenientes do zooplâncton (Hansen & Bech, 1996; Hansen *et al.*, 1996) e outros tipos de partículas detriticas (Deming & Baross, 1993; Legendre & Rassoulzadegan, 1996; Gasol *et al.*, 1998), suprem essa demanda. Lancelot & Billen (1984) argumentam, baseando-se em estimativas feitas por Joiris *et al.* (1982), que somente 20 % da PP anual do mar do Norte, Bélgica, é consumida pelo zooplâncton, 40 % é consumido por microheterótrofos e 40 % sedimenta e é degradada por microrganismos. Se esse padrão se repete na região de Arraial do Cabo, mesmo que os percentuais variem, é possível propor que uma parte desse material que sedimenta seja colocado novamente em disponibilidade na coluna d'água (Wikner & Hagström, 1999) nos eventos de ressurgência, como acontece com os nutrientes, e seja uma importante fonte de matéria orgânica para o bacterioplâncton. Essa interpretação poderia explicar os grandes picos de produção e biomassa bacteriana que foram observados em alguns dias em amostras do fundo (30 – 50 m) que sempre foram coincidentes com eventos de ressurgência. Ainda pode-se propor que parte dessa alta produção e biomassa no fundo seja atribuída a bactérias bentônicas arrancadas do fundo pela massa d'água em ascensão. Esse fenômeno já foi observado em relação ao fitoplâncton, em águas de afloramento recente, onde as diatomáceas bentônicas e epifitas são os principais constituintes das comunidades (Macedo, 1975; Gonzalez-Rodriguez, 1991). Os resultados do ciclo diurno reforçam essas conclusões. A produção bacteriana integrada durante as 24 horas sugere que 40 %, em média, da produção primária integrada, realizada no intervalo de tempo com iluminação

suficiente para a fotossíntese, passariam através das bactérias durante as 24 horas, como sugeriram Ducklow & Hill, (1985). Uma outra sugestão que poderia ser feita sobre os dados obtidos com o ciclo diurno, é que uma medida de produção bacteriana feita ao longo da coluna d'água, em qualquer horário poderia ser extrapolada e daria uma visão razoável da produção bacteriana diária, entretanto, outros experimentos dessa natureza precisariam ser repetidos nas mesmas condições e em condições hidrológicas diversas a fim de confirmar o observado nesse experimento.

As interpretações acima sugerem ainda que a comunidade bacteriana da nossa área tenha a mesma capacidade de se desenvolver eficientemente com baixos níveis de substrato quanto a demonstrada por Ducklow & Hill (1985) e respondem ao desenvolvimento do fitoplâncton, a princípio com diminuição da relação **PB:PP** nos picos de **PP** (Thingstad *et al.*, 1996) e aumenta gradativamente a medida que o "bloom" declina e mais matéria orgânica fica disponível (Li *et al.*, 1993). Essas hipóteses voltarão a ser analisadas e discutidas especificamente mais adiante, com os resultados de um experimento realizado em laboratório visando observar a progressão da produção bacteriana e primária em águas com diferentes percentuais de mistura com a água de ressurgência.

As estimativas de biomassa bacteriana observadas neste estudo concordam com a linha de pensamento de trabalhos que sugerem que a biomassa bacteriana é freqüentemente maior que a biomassa fitoplanctônica em águas oligotróficas (Ducklow & Hill, 1985; Bijorsen & Kuparinen, 1991; Li *et al.*, 1993; Lochte *et al.*, 1997), uma vez que em todos os experimentos, a biomassa bacteriana integrada foi sempre maior que a do fitoplâncton (Ducklow *et al.*, 1993; Kirchman *et al.* 1993; Sorokin *et al.*, 1996), ao contrário do que ocorreu com a **PB**, exceto em dois perfis no inverno, quando as biomassas

foram praticamente iguais, e em um perfil no verão, quando a biomassa fitoplanctônica integrada foi o dobro da bacteriana, confirmando a afirmativa de que a biomassa bacteriana não supera a do fitoplâncton durante os blooms (Ducklow *et al.*, 1993; Kirchman *et al.*, 1993; Li *et al.*, 1993; Robarts *et al.*, 1996). Essa observação está bem clara no inverno, entretanto no verão, essa dominância da biomassa fitoplanctônica não ocorreu simultaneamente aos picos de produção e sim em um acúmulo de biomassa fitoplanctônica sobre uma forte termoclina. Essa maior quantidade de biomassa bacteriana do que fitoplanctônica contribui para reforçar a idéia que as bactérias seriam as principais fontes de alimento para o zooplâncton e outros níveis tróficos superiores via “microbial loop” (Azam *et al.*, 1983; Linley *et al.*, 1983; Pomeroy, 1992; Sorokin *et al.*, 1996), uma vez que a biomassa bacteriana só é inferior a fitoplanctônica quando ocorrem grandes picos de produção, que só acontecem, normalmente, com o enriquecimento da camada eufótica com concentrações razoáveis de nutrientes nitrogenados e fosfato e estes tenham algum tempo de residência na camada superior, fase produtiva da ressurgência (Gonzalez-Rodriguez, *et al.* 1992) lembrando que o valor absoluto dos nutrientes não é o fator preponderante para a produção e sim seu fluxo (Fuhrman *et al.*, 1980), como já foi citado anteriormente. Essa importância da biomassa bacteriana já havia sido verificada para águas oligotróficas de vários locais: Cho & Azam (1990) demonstraram que o carbono bacteriano foi de 2 – 3 vezes maior do que o carbono fitoplanctônico e foi em torno de 40 % do carbono particulado total no “Giro” do Pacífico Norte; Fuhrman *et al.* (1989) verificaram que o biovolume bacteriano excedeu ao de todos os outros organismos, incluindo o do fitoplâncton, no Mar de Sargasso; Ducklow (1986) verificou uma relação entre biomassa bacteriana e biomassa fitoplanctônica variando entre 0,2 e 4,0, dependendo da amplitude do vórtex. Essa relação para oceanos abertos é geralmente muito maior (aproximadamente

10 vezes) do que o observado em outros ambientes pelágicos (Kirchman *et al.*, 1993). As densidades ($1 \text{ a } 2 \times 10^9 \text{ Cel.l}^{-1}$) e as biomassas ($10 \text{ a } 40 \text{ mgC.m}^{-3}$) bacterianas estimadas para o Mar de Bering e para o Pacífico Norte, foram suficientes para suprir a demanda alimentar dos filtradores seletistas planctônicos e bentônicos, tais como apendiculárias e poliquetas sedentários, e proveram de 20 a 30 % das necessidades de filtradores generalistas como calanóides, eufausídeos e bivalves (Sorokin *et al.*; 1996). Se considerarmos os valores de densidade e biomassa bacteriana obtidos em nossos experimentos, que são maiores que os descritos acima, e além disso considerarmos os percentuais de carbono bacteriano em relação ao de outros organismos encontrados na literatura, podemos supor que a biomassa bacteriana verificada por nós seria capaz de suprir as necessidades alimentares do zooplâncton não só em épocas de subsidência como também teria um papel importante na manutenção de sua biomassa mesmo em situações de ressurgência. Entretanto é necessário verificar o tamanho dos atuais estoques dos outros compartimentos tróficos, a suas demandas alimentares e as variações nas concentrações de carbono orgânico particulado e dissolvido que estão entre os parâmetros mais importantes no controle da produção e biomassa bacteriana.

V – ACOMPANHAMENTO, EM LABORATÓRIO, DA EVOLUÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA EM ÁGUAS DE RESSURGÊNCIA (22 a 29 de março de 2000):

5.1 – INTRODUÇÃO

Os experimentos realizados anteriormente visualizaram uma situação pontual diária, na massa d'água presente no momento da coleta, sem acompanhar o desenvolvimento da comunidade presente em uma água ressurgida ao longo do tempo e do espaço, uma vez que as coletas foram realizadas em um ponto fixo. As estimativas desses experimentos serviram para se ter uma idéia geral das relações entre as bactérias e o fitoplâncton a medida que as condições hidrológicas iam se alterando, em função de eventos de ocorrência de ressurgência.

Considerando os processos físicos e meteorológicos que forçam a ressurgência da região de Arraial do Cabo descritos no capítulo anterior; que o fenômeno pode ser dividido ecologicamente em três fases (Gonzalez – Rodriguez, 1992); que a fase produtiva só é alcançada de um a quatro dias depois das águas ressurgidas alcançarem a camada eufótica, quando estas se aquecem e condições mais favoráveis são alcançadas para o desenvolvimento do fitoplâncton a medida que as concentrações de nutrientes declinam, e que isso geralmente não ocorre pontualmente onde a água ressurgiu (em função da deriva da ACAS para NE), pensou-se então em acompanhar o desenvolvimento dessa massa d'água a medida que ela se afasta da área onde ressurgiu, a fim de verificar se a relação entre o bacterioplâncton e o fitoplâncton ao longo das três fases ecológicas da

ressurgência é similar ao padrão observado nos eventos de blooms fitoplanctônico de primavera de mares temperados e polares. Acompanhar a deriva de uma massa d'água por si só já é muito complicado, ainda mais quando se quer medir fatores biológicos, demandando um esforço logístico muito grande, como por exemplo uma embarcação disponível não só para a realização da tarefa em si (acompanhar a massa d'água) mas também para aguardar que as condições favoráveis venham a surgir, para que então o experimento possa ser realizado. Logo a solução foi realizar um experimento de laboratório no qual tentamos reproduzir o mais fielmente quanto possível, guardadas as devidas proporções, as condições hidrológicas que podem ser observadas na região, e acompanhar nessas "massas d'água" o desenvolvimento das relações entre as bactérias e o fitoplâncton.

5.2 – METODOLOGIA:

A estação e a metodologia empregada na coleta de água para as incubações e análises químicas (do primeiro dia) foram idênticas às empregadas para os experimentos do ciclo sazonal e diurno. O perfil de temperatura foi determinado previamente pelo lançamento de CTD (SBE-19 SEACAT Profiler) para confirmar a presença de baixas temperaturas, e conseqüentemente a da ACAS, na camada inferior da coluna d'água, sem o que o experimento não poderia ser realizado.

Trezentos litros de água foram coletados, cento e cinquenta litros na superfície, onde a água encontrava-se a uma temperatura de 23,60 °C com uma salinidade de 35.81. Os outros cento e cinquenta litros foram coletados no fundo (50 m) onde a

temperatura de 13,70 °C e salinidade de 35,30 confirmavam a presença da ACAS, ocupando toda camada inferior e provocando uma forte termoclina na camada intermediária. Essa água foi colocada em galões de cinquenta litros, pintados de preto para impedir a penetração de luz, lavados previamente com água destilada e com água do mar do ponto e da profundidade de coleta antes de receber as amostras, e colocados ao abrigo do sol.

No laboratório, a água do fundo foi misturada em proporções diferentes com a água da superfície, com a finalidade de simular eventos de ressurgência parcial e completa. Três réplicas de cada mistura, com 18 litros cada uma, foram distribuídas em galões de água mineral transparentes, de tonalidade azul, com capacidade para 20 litros, nas seguintes proporções:

- 0 % - água de superfície pura, equivalente a ausência de ressurgência;
- 35 % - água de superfície misturada a 35 % de água do fundo, equivalente a uma ressurgência parcial de intensidade fraca;
- 75 % - água de superfície misturada a 75 % de água do fundo, equivalente a uma ressurgência parcial de intensidade média;
- 100 % - água de fundo pura, equivalente a uma ressurgência completa.

Os galões contendo as réplicas de cada mistura foram colocadas em estantes com iluminação artificial (Fig. 43), intensidade média de $350 \mu\text{E}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ dentro dos galões, determinada por um sensor LI-193 SA acoplado ao DATALOGGER LI -1000 da LI-COR, em um ciclo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro controlado por um timer, a uma temperatura ambiente de 19 °C e sem aeração.

Durante sete dias foram feitas tomadas diárias de amostras, com um intervalo de 24 horas entre as amostragens, para análises químicas (**CLOR-a**, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ e PO_4^{3-}), e para a determinação das taxas de produção primária e bacteriana. Antes das tomadas de amostras, cada réplica foi agitada 10 vezes com um aparato de PVC, uma base circular plana com diâmetro menor que o do galão (em torno de 4 cm menor), presa a uma haste de 50 cm de altura, lavado cuidadosamente com água destilada antes da inserção em cada galão. As amostras foram retiradas de dentro dos galões com um becher de um litro, lavado com o mesmo cuidado com que foi lavado o agitador, tendo o cuidado de não haver contato das mãos com a água, a fim de evitar a contaminação das amostras.

As amostras do **T0** (início do experimento) para as análises químicas e determinação das taxas de produção primária e bacteriana foram separadas antes da distribuição das misturas pelos recipientes de cada réplica, a fim de se obter uma visão dos parâmetros a serem estimados durante todo o período, antes do confinamento das misturas em condições controladas e, além disso, racionar a retirada de água dos galões para que o experimento fosse conduzido por um tempo maior, com uma lâmina d'água razoável dentro de cada reservatório.

A taxa de produção primária diária foi determinada com a mesma técnica e metodologia aplicadas nos experimentos do ciclo sazonal e diurno. Entretanto, as incubações foram feitas em uma estante em condições similares as dos galões.

A produção bacteriana foi determinada de forma idêntica a empregada nos experimentos do ciclo sazonal e diurno.

(A)



(B)



Figura 43 – Visão frontal de uma das estantes de incubação (A) e visão geral dos quatro tratamentos (B).

As análises dos nutrientes também foram realizadas com as mesmas técnicas já descritas para os outros experimentos, porém, as concentrações desses nutrientes, exceto a da amônia, foram medidas na água filtrada para a dosagem da clorofila. Essa também foi uma medida tomada em função da necessidade de economizar água ao máximo, entretanto não foi arbitrária. Em testes preliminares, onde foram feitas análises em amostras do mesmo local, uma filtrada em filtro Millipore de 0,45 μm de porosidade, como são filtradas as amostras para extração da clorofila, e a outra sem filtrar, os resultados não apresentaram diferenças significativas.

5.3 – RESULTADOS:

A estratificação evidenciada pelo perfil de temperatura (Fig. 44) se refletiu também nas concentrações dos nutrientes, especialmente nas do NO_2^- , NO_3^- e PO_4^{3-} (Tab. 15), confirmando a presença da ACAS no fundo.

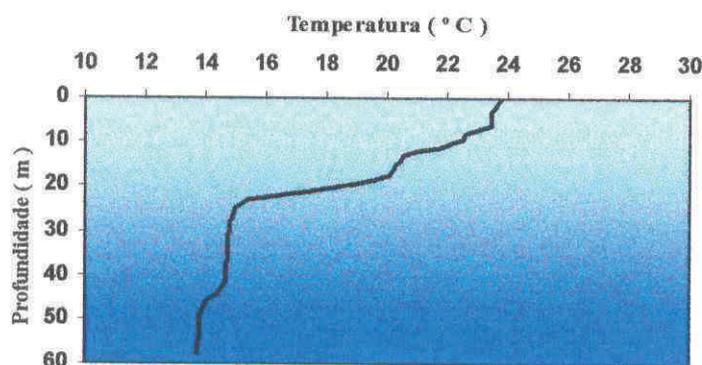


Figura 44 - Perfil de temperatura no momento da coleta de amostras para os experimentos de laboratório.

Tabela 15 – Concentração de nutrientes nas profundidades de coleta (superfície e no fundo).

Amostra	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	PO_4^{3-}
Superfície	0,01	0,83	1,22	0,12
Fundo	0,30	12,90	1,41	0,99

Os quatro tratamentos (0, 35, 70 e 100 %) tiveram um padrão de desenvolvimento fitoplanctônico, bacteriano e das concentrações de nutrientes extremamente semelhantes. As maiores variações nesse padrão aconteceram nas primeiras 72 horas de experimento, quando as réplicas de 0 % tiveram uma tendência um pouco diferente dos demais tratamentos, em função da menor quantidade de nutrientes nessas réplicas (Fig. 45; 46; 47; 48; 49; 50; 51 e 52). É importante ressaltar que estas observações referem-se à tendência na distribuição desses parâmetros ao longo do tempo e não aos valores absolutos em cada tratamento.

Em relação às concentrações de nutrientes, os quatro tratamentos tiveram duas fases: fase de estabilidade, que durou do início do experimento (T0) até 72 horas (T3), e a fase da depleção que durou de T4 (96 horas) ao final do experimento (T7). É importante frisar, que esse foi o padrão geral, entretanto a depleção dos nutrientes a partir das 48 horas foi muito mais acentuada nas réplicas de 35 % do que nas réplicas de 70 e 100 % (Figs. 48, 50, 52). Apenas a amônia não acompanhou esse padrão, sua concentração variou ligeiramente em torno de $1 \mu\text{mol.l}^{-1}$ nos quatro tratamentos durante as 168 horas que durou o experimento.

A **PB** e a **PP** também demonstraram similaridade no padrão de desenvolvimento. Pode-se destacar três fases na **PB**: a primeira fase marca um aumento na produção, de um valor médio de $0,09 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ ($\pm 0,06$) para $1,03 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ ($\pm 0,20$), nas primeiras 48 horas em todos os tratamentos. A segunda fase é o pico de produção depois de decorridas 72 horas. Apenas as réplicas do tratamento de 0 % têm uma tendência um pouco diferente. Sua fase de aumento na produção ocorreu nas primeiras 24 horas e culminou com o seu pico em T1, e a partir daí inicia o que seria a terceira fase, a fase de declínio na produção, que nos demais tratamentos só ocorrem após as 72 horas (T3). Entretanto, nesse intervalo que vai até T6 (144 h), os quatro tratamentos voltam a apresentar um padrão geral idêntico, com uma taxa mínima de **PB** ($\bar{X} = 0,65 \pm 0,24 \text{ mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$) e o princípio de uma nova fase de aumento na produção, nas últimas 24 horas em todas as réplicas.

De forma semelhante à **PB**, a produção primária também apresentou um padrão de desenvolvimento em três etapas. Na primeira fase a taxa de produção aumentou

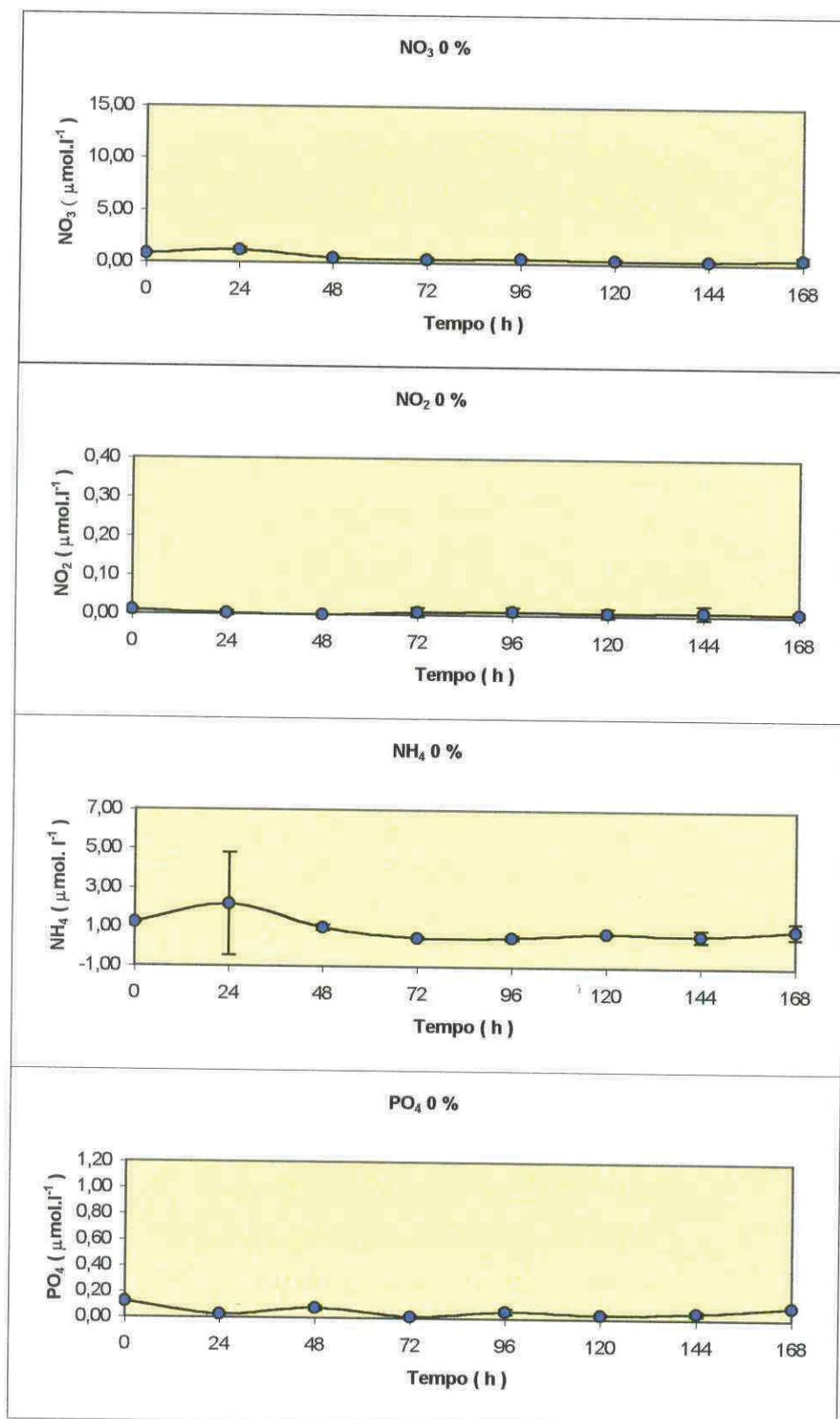


Figura 46 - Perfis de nitrato, nitrito, amônia e fosfato do tratamento de 0 % do experimento de laboratório.

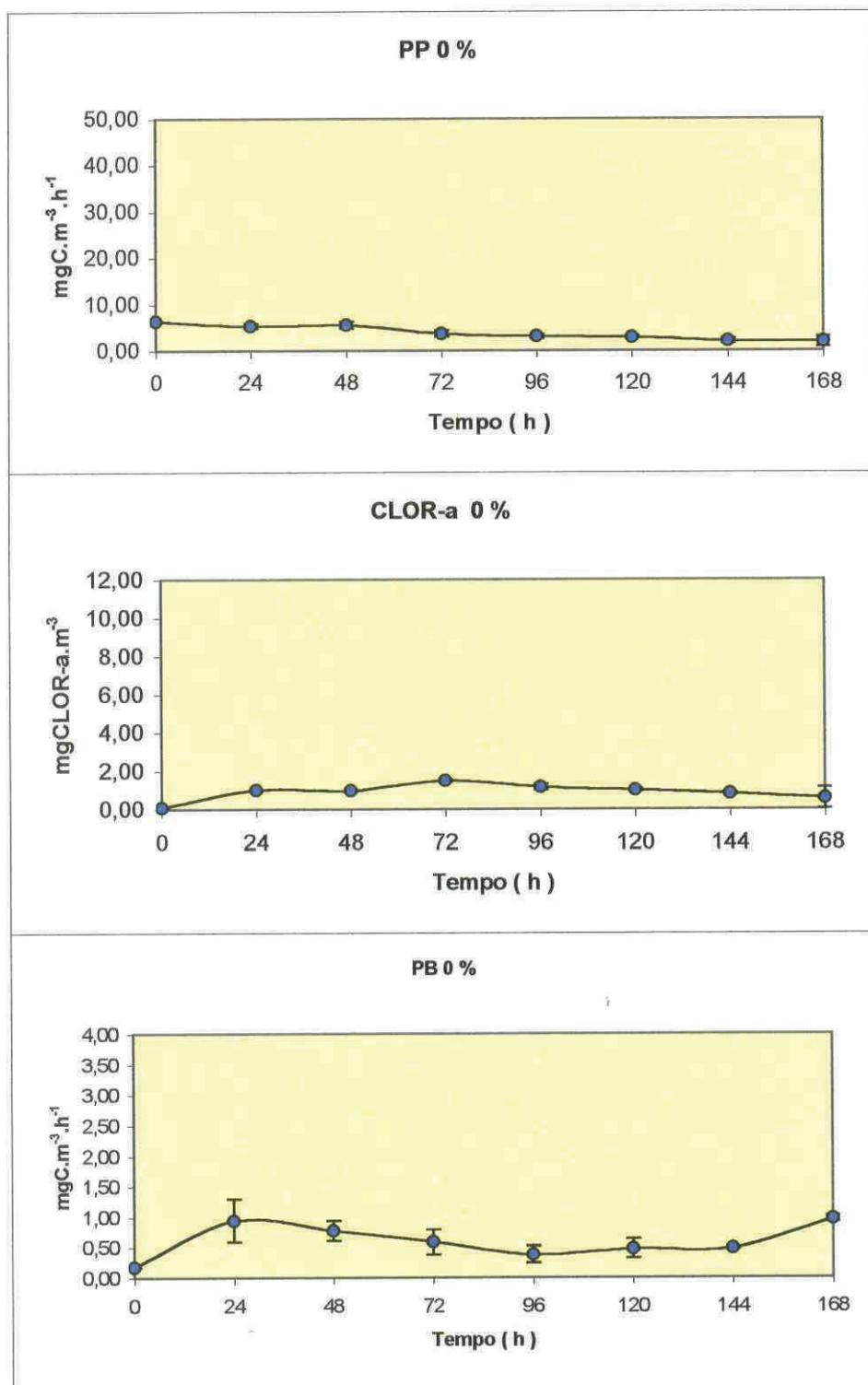


Figura 45 - Perfis de produção primária, concentração de clorofila e produção bacteriana do tratamento de 0 % no experimento de laboratório.

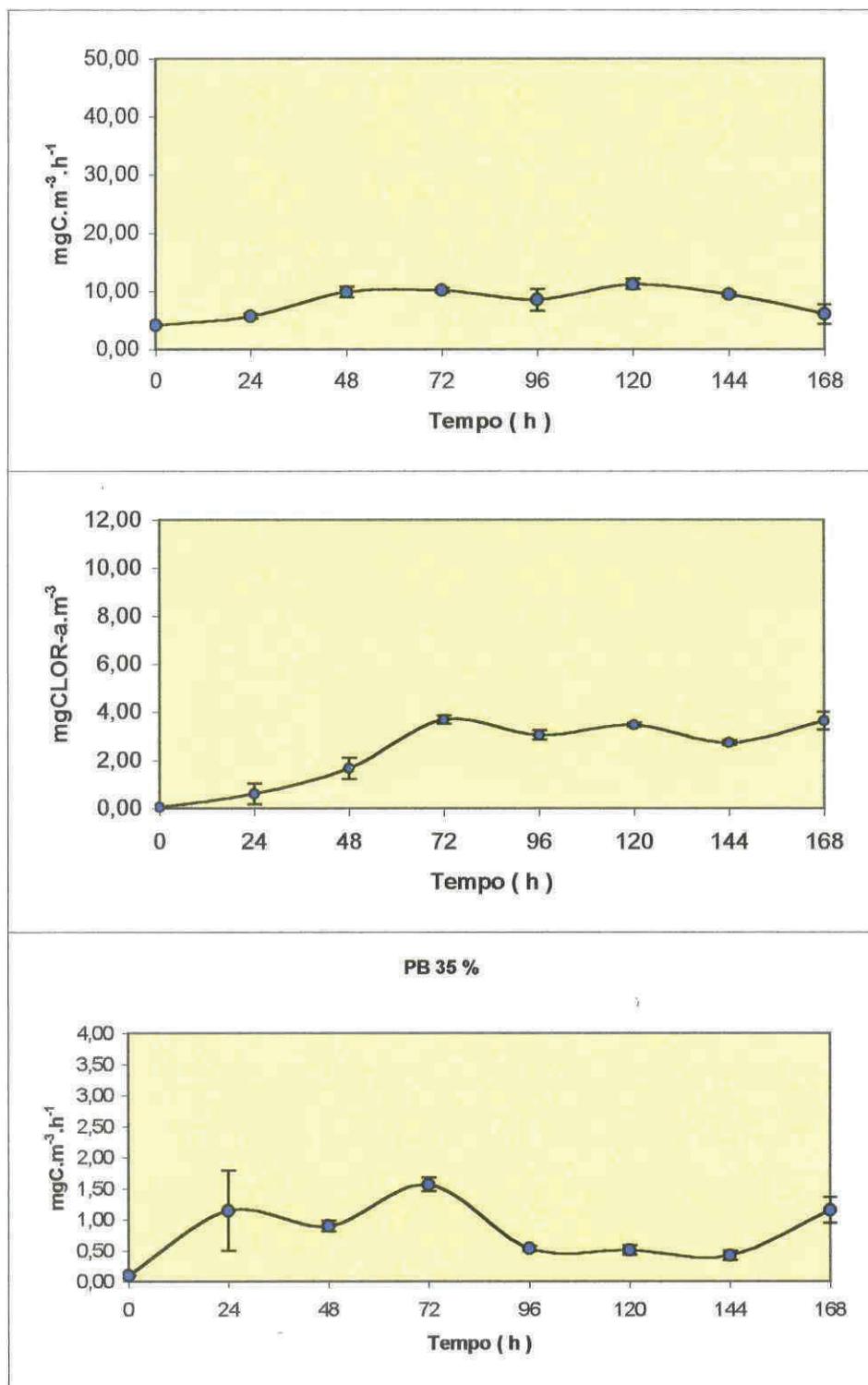


Figura 47 - Perfis de produção primária, concentração de clorofila e produção bacteriana do tratamento de 35 % no experimento de laboratório.

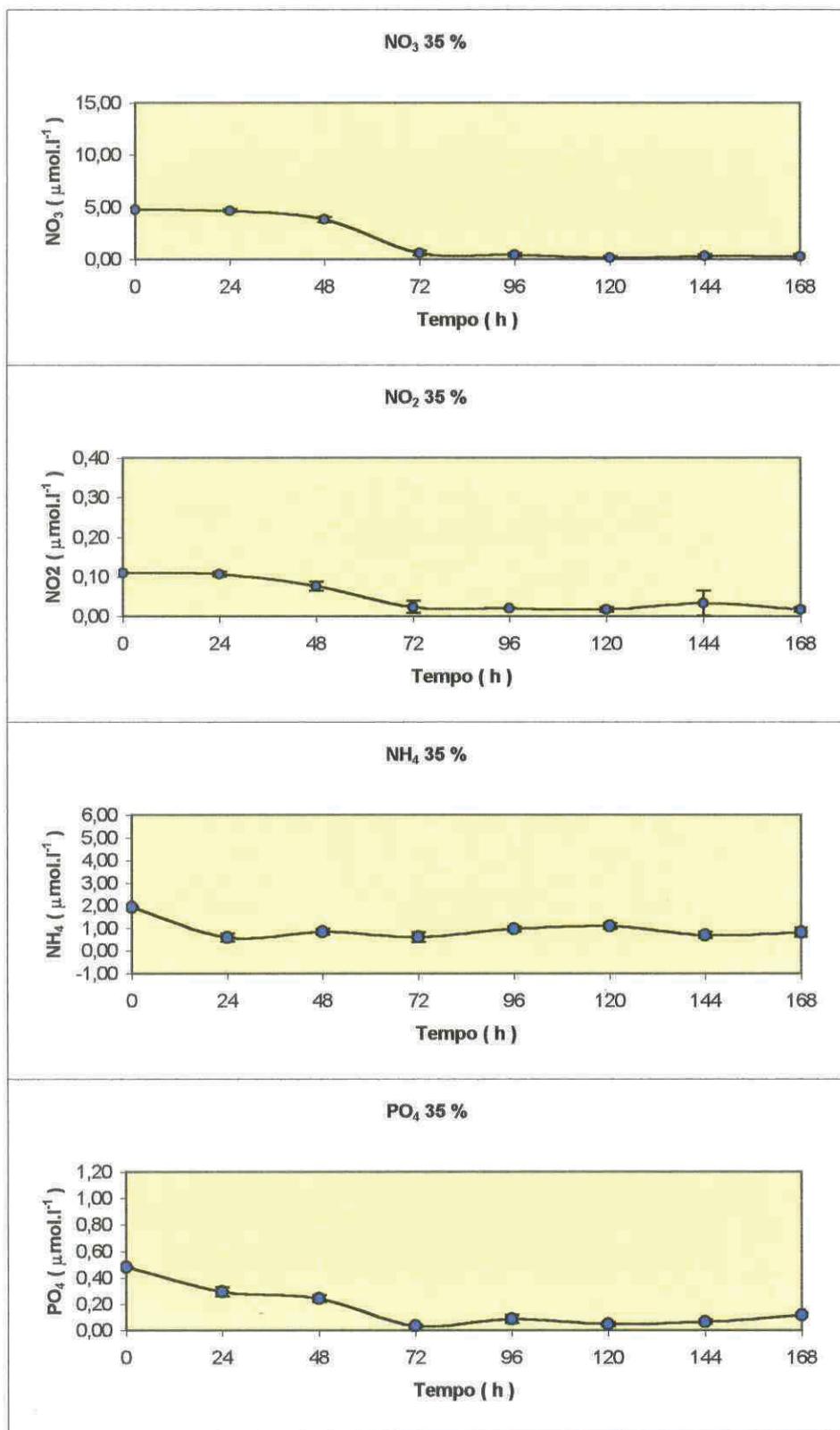


Figura 48 - Perfis de nitrato, nitrito, amônia e fosfato do tratamento de 35 % do experimento de laboratório.

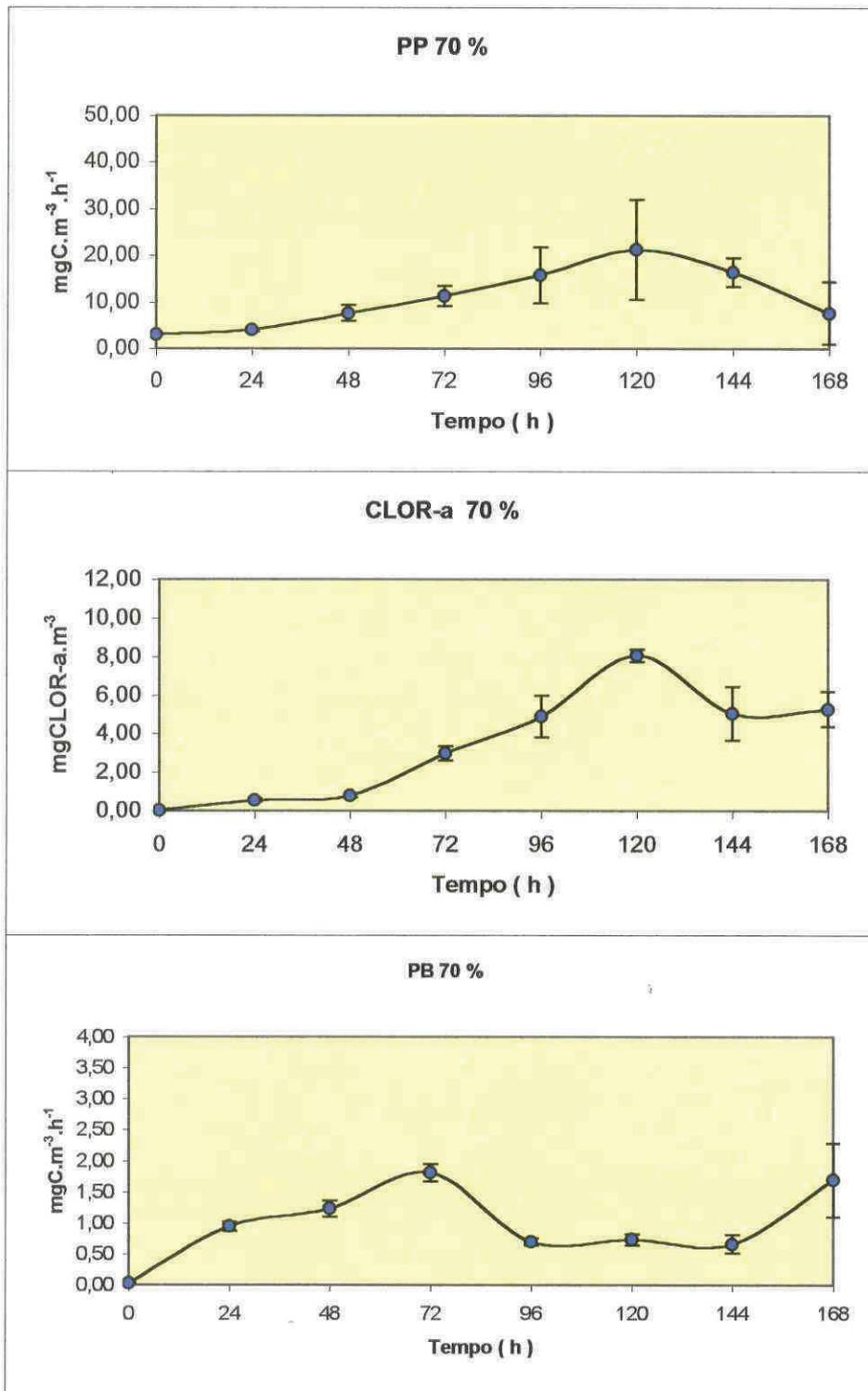


Figura 49 - Perfis de produção primária, concentração de clorofila e produção bacteriana do tratamento de 70 % no experimento de laboratório.

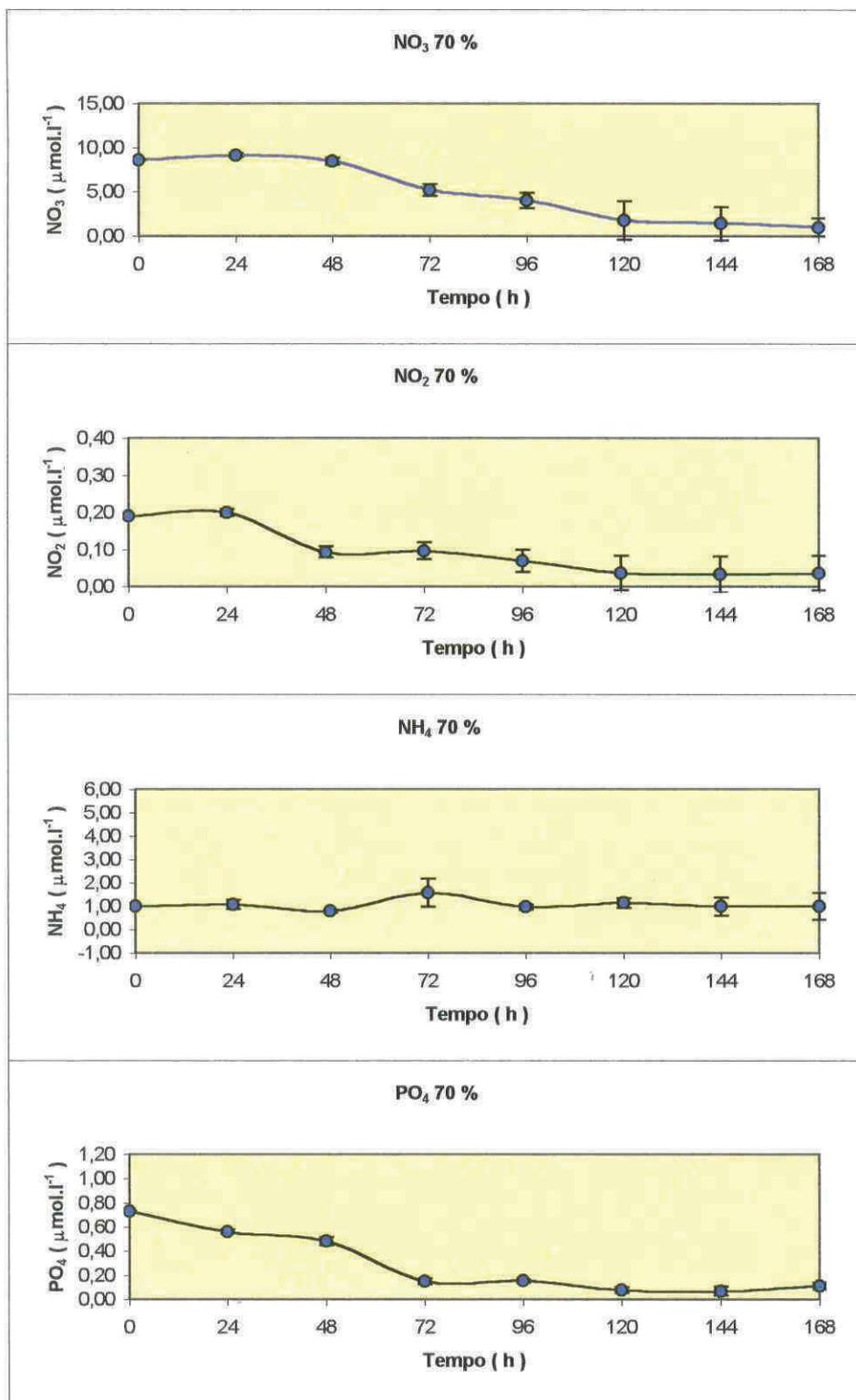


Figura 50 - Perfis de nitrato, nitrito, amônia e fosfato do tratamento de 70 % do experimento de laboratório.

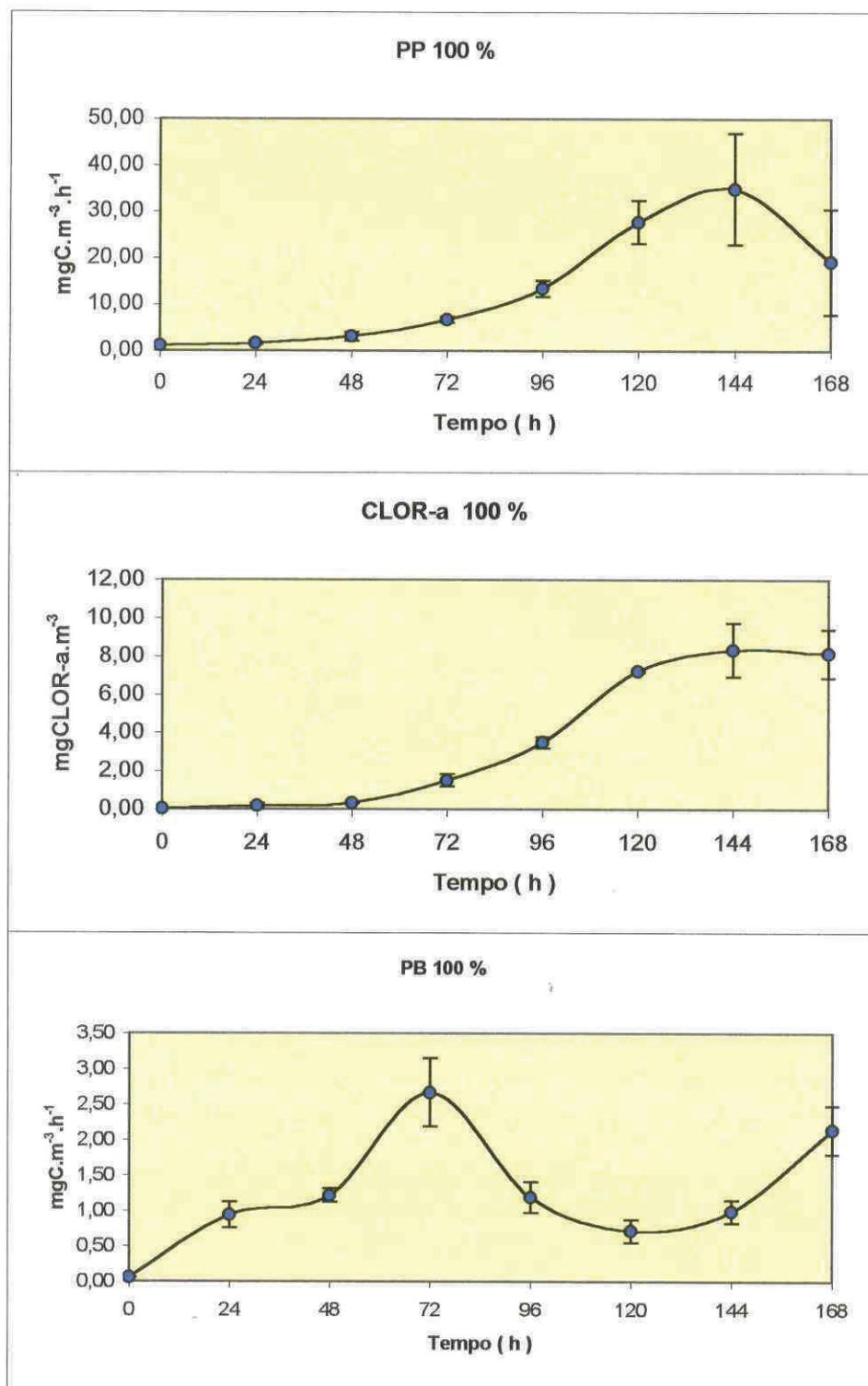


Figura 51 - Perfis de produção primária, concentração de clorofila e produção bacteriana do tratamento de 100 % no experimento de laboratório.

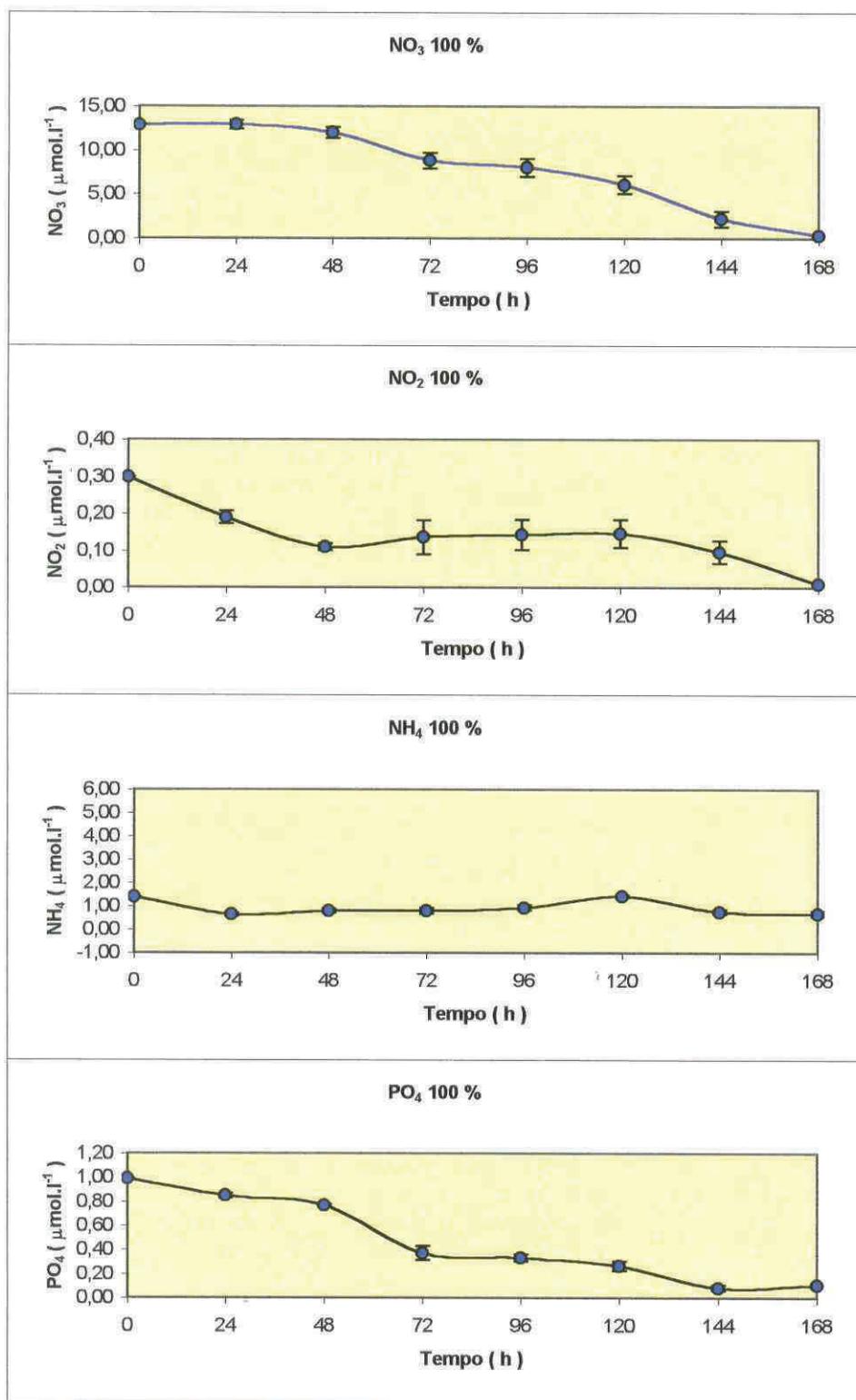


Figura 52 - Perfis de nitrato, nitrito, amônia e fosfato do tratamento de 100 % do experimento de laboratório.

progressivamente, entretanto a duração dessa fase foi diferenciada em cada tratamento. Nas réplicas de 0 % não houve a etapa de aumento na produção nas primeiras 48 horas. A taxa de **PP** ficou estável ($\bar{X} = 5,78 \pm 0,56 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) nesse período (Fig. 45). Essa estabilidade nas taxas de produção corresponde a segunda fase do desenvolvimento fitoplanctônico. A terceira fase corresponde ao declínio constante da produção até o final do período. Nas réplicas da mistura de 35 % foi possível observar as três etapas da **PP** (Fig. 47). Nessas amostras, a taxa de produção aumentou nas primeiras 48 horas, manteve-se estável até **T5** (120 h) e a partir daí declinou até o nível da produção observada no início do experimento. No tratamento de 70 %, foi observada uma longa fase de aumento gradual da produção (de **T0** até **T4**) culminando no pico em **T5** (120 h), entrando na fase de declínio nas últimas 48 horas (Fig. 49). A fase inicial do desenvolvimento da **PP** no tratamento de 100 % diferiu ligeiramente dos demais tratamentos. Foi observado um período (**T0** a **T4**) de aumento lento da **PP**, após o que houve um crescimento exponencial com o pico ocorrendo em **T6** (144 h), seguido da fase de declínio nas últimas 24 horas (Fig. 51).

O desenvolvimento das concentrações de clorofila-a ao longo do tempo foi muito similar ao observado para a **PP**, a maior diferença na distribuição desses dois parâmetros foi observada nas últimas 48 horas do experimento. Nesse intervalo, a **PP** primária declinou em todos os tratamentos, o que não foi observado nos perfis das concentrações de clorofila, apenas no tratamento de 70 % foi que se pode perceber uma queda mais acentuada na concentração de clorofila entre **T5** e **T6**, mas as concentrações se estabilizaram em torno de $5,18 (\pm 0,16) \text{ mgClor-a} \cdot \text{m}^{-3}$ nas últimas 24 horas (Fig. 49).

O valor médio da relação **PB:PP**, nas réplicas de 0 %, em todo o período, foi de 15,31 %. Observando os valores médios para essa relação nas duas fases do

desenvolvimento do fitoplâncton, os valores observados foram: 10,89 % na fase de crescimento e pico e 20,61 % na fase de declínio. A **PB** nesse tratamento foi significativamente correlacionada ao NO_3^- , NO_2^- e a **PP** com uma explicação de 93 % (Tab.16) de sua variação, dada pelo modelo de regressão múltipla ajustado com essas três variáveis.

A relação **PB:PP** média para os tratamentos de 35, 70 e 100 % foram muito similares (Tab. 17), contudo, ao observarmos essas relações nas fases de desenvolvimento

Tabela 16 – Sumário da regressão múltipla para a **PB** como variável dependente, nas réplicas do tratamento de 0 % ($n= 8$; $R= 0,97$; $R^2= 0,93$; $p< 0,008$; $F (3, 4) = 18,45$ e EP estimado = 0,095).

	<i>BETA</i>	Erro padrão de <i>BETA</i>	t (4)	p
PP	-0,91	0,18	-5,09	0,01
NO_2^-	-0,89	0,14	-6,35	0,00
NO_3^-	0,64	0,17	3,76	0,02

fitoplanctônico separadamente, percebemos algumas diferenças. Nas fases de aumento na **PP**, a relação **PB:PP** continua similar nos três tratamentos (10,82, 11,23 e 12,58 %, respectivamente), porém nas fases de maior produção, a diferença nas concentrações dos nutrientes em cada tratamento, limitando a **PP** é refletida numa relação **PB:PP** decrescente do tratamento de 35 % para o de 100 % (8,69, 3,48 e 2,84 %), essa influência da limitação dos nutrientes também pode ser visualizada na fase de declínio das taxas de **PP**, quando os percentuais da relação entre a **PB** e a **PP** voltam a subir (10,15, 9,77 e 11,15 %).

Tabela 17 – Resultados médios para as relações entre a produção bacteriana e a produção primária: média geral, e nas diferentes fases do desenvolvimento fitoplanctônico.

Relação PB:PP média (%)	Tratamentos			
	0%	35%	70%	100%
Geral	15,26	9,68	8,94	9,18
Fase de aumento da PP		10,82	11,23	12,58
Fase de estabilidade ou Pico da PP	10,89	8,69	3,48	2,84
Fase de declínio da PP	20,61	10,15	9,77	11,15

Os valores médios não refletem muito bem a variação da relação **PB:PP**, mesmo quando os consideramos em função das fases de desenvolvimento do fitoplâncton. Uma observação diária dessa relação evidencia respostas da produção bacteriana às variações da produção primária que não podem ser percebidas através dos valores médios. O padrão de variação diária dos percentuais da relação **PB:PP** foi muito similar entre os tratamentos: maiores valores nas primeiras 72 horas, um período de baixos percentuais entre 96 e 144 horas, exceto no tratamento de 0 % no qual a relação permanece estável, e o início de uma nova elevação na últimas 24 horas. Os valores absolutos dessa variação estão dispostos na tabela 18.

Tabela 18 – Relação diária entre a produção bacteriana e a produção primária nos quatro tratamentos.

Tempo	Relação PB:PP			
	Tratamentos			
	0%	35%	70%	100%
T0	2,70	2,26	0,82	4,66
T1	17,56	20,04	23,33	57,53
T2	13,92	9,09	16,00	38,88
T3	15,63	15,39	15,97	39,21
T4	12,18	6,20	4,42	8,87
T5	16,08	4,51	3,47	2,57
T6	21,98	4,43	4,05	2,83
T7	48,42	19,05	21,98	11,16

A equação da regressão múltipla para a **PB** das réplicas do tratamento de 35

%, explicou 55 % de sua variação, incluindo no modelo apenas o NH_4^+ (Tab. 19).

Tabela 19 – Sumário da regressão múltipla para a **PB** como variável dependente, nas réplicas do tratamento de 35 % ($n= 8$; $R= 0,74$; $R^2= 0,55$; $p< 0,036$; $F (1, 6) = 7,22$ e EP estimado = 0,35).

	<i>BETA</i>	Erro padrão de <i>BETA</i>	t (6)	p
NH_4^+	-0,74	0,28	-2,69	0,04

A explicação obtida para a variação na **PB** das réplicas da mistura de 70 % foi de 84 %. Entraram no modelo o PO_4^{3-} , **PP** e NO_3^- , os dois primeiros com correlação negativa e o último com correlação positiva um pouco abaixo do limite de confiança de 95 % (Tab. 20).

Tabela 20 – Sumário da regressão múltipla para a **PB** como variável dependente, nas réplicas do tratamento de 70 % ($n= 8$; $R= 0,92$; $R^2= 0,84$; $p< 0,045$; $F (3, 4) = 7,048$ e EP estimado = 0,31).

	<i>BETA</i>	Erro padrão de <i>BETA</i>	t (4)	p
PO_4^{3-}	-2,45	0,58	-4,24	0,01
PP	-1,18	0,34	-3,43	0,03
NO_3^-	1,16	0,49	2,36	0,08

A **PB** das réplicas do tratamento de 100 % de água de fundo, teve uma explicação de 87 % para sua variação. A equação foi ajustada com a inclusão do PO_4^{3-} , NO_2^- e **PP**, as três variáveis com correlação negativa. Apenas o nitrito não alcançou significância estatística (Tab. 21).

Tabela 21 – Sumário da regressão múltipla para a **PB** como variável dependente, nas réplicas do tratamento de 100 % ($n= 8$; $R= 0,93$; $R^2= 0,87$; $p< 0,029$; $F (3, 4) = 9,09$ e EP estimado = $0,39$).

	<i>BETA</i>	Erro padrão de <i>BETA</i>	t (4)	P
PO_4^{3-}	-1,47	0,51	-2,90	0,04
PP	-1,36	0,38	-3,62	0,02
NO_2^-	-0,25	0,31	-0,80	0,47

O resultado das análises estatísticas apresentados anteriormente foram obtidos levando em consideração apenas o conjunto de dados de cada tratamento isoladamente. Para obter uma visão ampla da influência de cada fator estimado, com valores diferentes, sobre a **PB**, todos os quatro grupos de dados foram reunidos em uma única matriz, a qual foi submetida a uma análise de regressão múltipla. Os resultados obtidos nessa análise confirmaram os resultados observados nos experimentos do ciclo sazonal.

A explicação para a variação da **PB** sob condições variáveis de concentração de nutrientes e produção e biomassa fitoplanctônica foi de 51 % ($p < 0,002$). Contudo, alguns fatores que foram estimados nos experimentos descritos no capítulo anterior e não puderam ser estimados neste experimento, poderiam ter contribuído em muito para o aumento da explicação alcançada. Entretanto, muito embora a explicação para a variação da **PB** não tenha sido tão alta como as observadas nos experimentos do ciclo sazonal, as variáveis que foram incluídas no ajuste da equação confirmam algumas das relações já observadas. Foram incluídos no modelo os seguintes parâmetros: NO_3^- e a **CLOR-a** com relação positiva e PO_4^{3-} , **PP** e NO_2^- com correlação negativa. De todas as variáveis a única que não alcançou significância estatística foi o NO_2^- (Tab. 22).

Tabela 22 – Sumário da regressão múltipla para a **PB** como variável dependente, no conjunto geral de dados obtidos nos quatro tratamentos ($n= 32$; $R= 0,71$; $R^2= 0,51$; $p< 0,002$; $F (5, 26) = 5,39$ e EP estimado = $0,46$).

	<i>BETA</i>	Erro padrão de <i>BETA</i>	t (26)	p
NO_3^-	2,09	0,47	4,43	0,00
CLOR-a	1,04	0,34	3,05	0,01
PO_4^{3-}	-1,53	0,50	-3,06	0,01
PP	-0,88	0,36	-2,49	0,02
NO_2^-	-0,41	0,38	-1,08	0,29

5.4 – DISCUSSÃO:

Os resultados deste experimento reforçam algumas interpretações e contribuem para o entendimento de alguns questionamentos que ficaram em aberto no capítulo anterior.

As taxas de produção bacteriana observadas nesse experimento foram muito mais altas do que as verificadas nos experimentos anteriores. Essa diferença certamente se deve às condições estáveis de temperatura, salinidade e ausência de predação em laboratório, como proposto por Ferguson *et al.* (1984), que constataram que em incubações em recipientes, bactérias marinhas aumentam em número, em volume celular médio, em taxa de fixação de aminoácidos (síntese de proteínas) e em percentual de células cultiváveis com o tempo. Sherr *et al.* (1999) também propõem que células bacterianas que estariam inativas ou crescendo lentamente em condições naturais poderiam ficar extremamente ativas metabolicamente em condições controladas favoráveis ao crescimento, e que seria necessário um maior entendimento de como as células ativam seu metabolismo específico em condições de incubação e comparar às estimativas *in situ* nos mesmos sistemas, para que se possa chegar a interpretações coerentes desses experimentos. Observando os nossos dados de **PB** obtidos nos quatro tratamentos, concluímos que é possível que tenham ocorrido mudanças na atividade metabólica de bactérias que estariam inativas, uma vez que a taxa de produção horária aumentou de uma média de $0,06 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$, no início do experimento (T0), para $1 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ nas primeiras 24 horas (Fig. 45; 47; 49 e 51) em todos os tratamentos. Entretanto, para fins de comparação com a atividade fitoplanctônica o experimento demonstrou ser eficiente, considerando que as células fitoplanctônicas também foram submetidas às mesmas condições favoráveis de

crescimento.

A relativa estabilidade da relação **PB:PP** observada no tratamento de 0 % nas primeiras 120 horas, pode ser explicada pela pouca variação da **PP**, principalmente nas primeiras 72 horas, e da constância da **PB**. Uma interpretação que pode ser dada para essas relações durante esse intervalo, é que o aumento na produção bacteriana entre **T0** e **T1** teria sido suportado pela matéria orgânica exudada pelo fitoplâncton (Malinsky-Rushansky N. Z. & Legrand, 1996) e pelas concentrações de PO_4^{3-} e NO_2^- , embora não tenham sido estabelecidas correlações entre o PO_4^{3-} e a **PB**. Uma observação que contribui para essa idéia, é que houve um aumento na concentração de NH_4^+ , a medida que a concentração de PO_4^{3-} diminuiu com a ocorrência do pico de **PB** em **T1**. Le Corre *et al.* (1996) sugerem que os compostos orgânicos excretados por células algais fotossintetizantes podem ser uma importante fonte de substrato para a regeneração bacteriana da amônia, o que nos leva a crer, que o aumento na concentração do NH_4^+ tenha se dado em função da degradação da matéria orgânica proveniente do fitoplâncton pelas bactérias enquanto que o PO_4^{3-} foi sendo assimilado.

O aumento da **PB** observado nas últimas 24 horas, sugere que a entrada da **PP** em sua fase de declínio, aumentou a oferta de substrato orgânico para as bactérias, e que então, não seria apenas o carbono orgânico exudado no processo de fotossíntese mas também a matéria orgânica, dissolvida e particulada, proveniente da morte e lise das células fitoplancônicas (Fuhrman *et al.*, 1980; Ducklow *et al.*, 1993; Romam *et al.*, 1995), que seriam responsáveis pela retomada do crescimento das bactérias. Essa interpretação é suportada pela correlação negativa com a produção primária e com o NO_2^- , que teria sido a fonte de nitrogênio necessário à síntese de proteínas, considerando que esse nutriente é assimilado pelas bactérias independente da concentração de fósforo (Thingstad

et al., 1999), e suas concentrações estiveram constantemente baixas nesse tratamento durante todo experimento. Uma outra fonte de nitrogênio para a síntese bacteriana pode ter sido o NH_4^+ , que não foi correlacionado a **PB**, talvez porque suas concentrações tenham sido razoavelmente constantes durante **T3** e **T7**, o que pode ser explicado pelo fato de que a amônia pode ser assimilada e produzida simultaneamente pelas bactérias (Le Corre *et al.*, 1996).

A relação **PB:PP** nesse tratamento demonstrou que na ausência de ressurgência a produção bacterioplanctônica da região de Arraial do Cabo representa em média 30,52 % da produção horária do fitoplâncton, assumindo uma eficiência de crescimento de 50 %. Considerarmos que a produção bacteriana não se interrompe durante a noite e que é similar a **PB** diurna (como demonstrou o experimento do ciclo diurno), essa relação média pode chegar a 61 % da produção primária diária. Se estendermos esse raciocínio aos valores observados durante as fases de desenvolvimento do fitoplâncton chegaremos a um valor médio 43,58 % na fase de estabilidade, que corrobora com a relação **PB:PP** diária maior que 40 % proposta por Ducklow & Hill (1985) para águas superficiais quentes de oceanos abertos, caracterizados por menor biomassa, baixos níveis de nutrientes e de produção. E se ainda aplicarmos a mesma extrapolação para a relação média observada na fase de declínio da **PP** esse valor sobe para 82,44 %, como proposto por Li *et al.* (1993) para fases de declínio de blooms.

A semelhança no padrão da relação **PB:PP**, entre os tratamentos que representam presença de ressurgência (parcial e total) tem explicação similar à proposta para o experimento de 0 %. Um padrão similar no aumento da **PB** nas primeiras 24 horas, a estabilização desse valor até **T2** (48 h), apenas no experimento de 35 % houve uma ligeira redução, e o pico em **T3**, e por outro lado, o desenvolvimento semelhante da **PP**

entre os tratamentos, embora suas diferentes fases tenham tido duração diferenciada.

As diferentes relações entre a **PB** e os nutrientes em cada tratamento reforçam a extrema versatilidade das bactérias em suprir suas necessidades nutricionais em situações diferentes (Pomeroy, 1992). A depleção quase total do PO_4^{3-} , NO_3^- e NO_2^- nas primeiras 72 horas de experimento no tratamento de 35 %, sugere que houve uma forte competição entre bactérias e fitoplâncton por esses nutrientes (Tarapchak & Moll, 1990), uma vez que ambos tiveram suas fases de aumento de produção nesse intervalo. A relação entre a **PB** e o NH_4^+ evidenciada pelas análises estatísticas, sugere que as bactérias teriam usado esse nutriente como fonte principal de nitrogênio (Le Corre *et al.*, 1996), principalmente após a exaustão do NO_3^- e NO_2^- , após as 72 horas e nas últimas 24 horas quando o bacterioplâncton retomou o aumento da produção. Nos outros tratamentos (70 e 100 %), as relações com os nutrientes apenas confirmaram as observações discutidas no experimento dos ciclos sazonais e diurno. A produção bacteriana responde ao declínio da **PP** em função do aumento de matéria orgânica disponível, tendo o PO_4^{3-} como nutriente limitante prioritariamente e utiliza as formas nitrogenadas mais viáveis no ambiente, como fonte de nitrogênio para a síntese protéica e conseqüentemente produção secundária. Lembrando que a assimilação eficiente do NO_3^- depende das concentrações de PO_4^{3-} e da qualidade da matéria orgânica disponível no ambiente. Essa conclusão é reforçada pelos resultados da análise que considerou o conjunto de dados dos quatro experimentos juntamente (Tab. 22).

As relações entre os nutrientes, **PP** e a **PB** nesses tratamentos (35, 70 e 100 %) estão refletidas nas razões **PB:PP**, que confirmam as estimativas da literatura e as propostas nos experimentos anteriores. Considerando todo período observado, as bactérias seriam capazes de consumir 18,54 % da produção primária realizada durante as horas de

iluminação, logo pode-se estimar que mais de 40 % da produção primária passaria através das bactérias heterotróficas durante 24 horas, como tem sido proposto pela maioria dos autores (Joiris *et al.*, 1982; Ducklow & Hill, 1985; McManus & Peterson, 1988; Li *et al.*, 1993; Sorokin *et al.*, 1996; Thingstad *et al.*, 1996) e no experimento de 0 %, o que sugere um padrão geral similar nas diferentes situações hidrológicas.

Comparando os dados da relação **PB:PP** nos tratamentos com influência de água do fundo com as fases de desenvolvimento da produção primária, observamos que o padrão verificado também é similar ao proposto na literatura para os eventos de bloom de primavera, ou seja, na fases iniciais e de crescimento exponencial do bloom, a relação **PB:PP** fica abaixo de 10 %, na fase estável o percentual varia de 5 a 20 % e pode ultrapassar os 50 % na fase de declínio (Li *et al.*, 1993). Nossos resultados para a fase de declínio não ultrapassaram efetivamente o percentual de 50 %, porém não foi possível estender o experimento por tempo suficiente para que se pudesse acompanhar essa fase, uma vez que o declínio só foi observado nas últimas 24 horas do experimento, quando a concentração de clorofila ainda estava estável, o que sugere que só uma parte da matéria orgânica estava disponível e que a maior parte ainda não havia sido disponibilizada. Entretanto acreditamos que a produção bacteriana chegaria aos percentuais propostos na literatura, em função da tendência das distribuições e do padrão observado no experimento de 0 %, onde embora a quantidade de matéria orgânica e nutrientes tenha sido menor, houve um decréscimo quase total da **PP** e das concentrações da clorofila, acompanhado do aumento substancial na relação **PB:PP**.

Foi possível observar nos tratamentos de 70 e sobretudo no de 100 %, um padrão de resposta do fitoplâncton aos eventos de ressurgência comum na região.

Os picos de produção primária e de concentração de clorofila ocorrem,

normalmente, de dois a quatro dias após o início da ressurgência, em águas mais afastadas da costa (Valentin, 1983; 1994). Na área e no momento em que a ressurgência encontra-se mais intensa, a produção primária é baixa, já que o fitoplâncton, com uma baixa biomassa, ainda não teve tempo de se reproduzir (Valentin, 1983; 1984). Para que o fitoplâncton comece a se reproduzir exponencialmente é necessário que as águas ressurgidas passem por um condicionamento, ou seja, é preciso que se formem nessas águas substâncias complexantes, que são responsáveis por tornarem os metais presentes no ambiente utilizáveis pelas células fitoplanctônicas (Gonzalez-Rodriguez, 1991). Após esse período de condicionamento é que as águas ressurgidas entram na fase produtiva (Gonzalez-Rodriguez, 1992), normalmente em uma área afastada da costa. McManus & Peterson (1988) observaram em um ciclo de ressurgência costeira no litoral central do Chile um padrão semelhante. Na fase de ressurgência ativa a produção fitoplanctônica é baixa e a produção bacteriana alta, conseqüentemente o valor da relação **PB:PP** é muito alto. A medida que vai ocorrendo a estratificação, e certamente o condicionamento da água, a atividade bacteriana diminui simultaneamente ao aumento da produção primária e conseqüentemente a relação **PB:PP** se reduz muito. Trabalhos de Vinogradov & Shushkina (1978) e Sorokin & Mikheev (1979) realizados no sistema de ressurgência do Peru, com base na distribuição espacial de propriedades biológicas, em que esses autores também observaram o mesmo padrão de desenvolvimento da produtividade, observados para a ressurgência do Chile e de Arraial do Cabo, propondo que as águas ressurgidas passam por uma fase heterotrófica e uma fase autotrófica. Os resultados do tratamento de 100 %, que representou uma ressurgência completa, evidenciaram esse padrão, com um período de indução da água, quando as bactérias tiveram uma atividade intensa, chegando a ter uma proporção relativa à **PP** de 39 a 60 %, ao que corresponderia a fase heterotrófica da

ressurgência, declinando a um limite mínimo, observado em todos os tratamentos, no momento que fitoplâncton começa a se desenvolver exponencialmente, fase autotrófica. Esse padrão também foi observado no experimento de inverno, ciclo sazonal, quando os picos de **PP** ocorreram um dia depois dos picos de **PB**, o que reforça as observações descritas anteriormente. É importante ressaltar que essa é a primeira vez que a atividade bacteriana é estimada para a região de ressurgência de Arraial do Cabo. Essas observações podem sugerir que as bactérias podem ser o agente, ou um dos agentes, do condicionamento orgânico das águas ressurgidas e conseqüentemente propiciam condições para o crescimento do fitoplâncton. Essa hipótese acrescentaria às bactérias mais um importante papel na dinâmica do plâncton marinho. Além da função de transformadora de materiais orgânicos, particulados e dissolvidos, indisponíveis a outros níveis tróficos, em carbono orgânico viável e elo de ligação entre esse carbono e a rede trófica, também teria o papel de indutor do meio à condições favoráveis para a produção fitoplanctônica, o que contribuiria com a confirmação da relação entre o fitoplâncton e bacterioplâncton, sugerindo que essa relação não se limitaria apenas a competição por nutrientes e o consumo de carbono orgânico fixado pelo fitoplâncton.

Considerando a alternância das fases de maior produção entre o fitoplâncton e as bactérias no experimento de laboratório, os valores das relações entre a produção bacteriana e a produção fitoplanctônica em todos os experimentos realizados neste estudo, os altos valores de biomassa bacteriana observados nos experimentos do ciclo sazonal e diurno e as comparações destes com as observações encontradas na literatura, é possível concluir que o bacterioplâncton seria uma das principais fontes de matéria orgânica particulada para a cadeia trófica da região. E que a constância do zooplâncton, observada nessa área, seria sustentada principalmente pelos microheterótrofos bacterívoros,

principalmente nos períodos de ausência de ressurgência e no final dos blooms fitoplanctônicos. Valentin (1983) observou que nas áreas de diluição da ressurgência e oligotrofia crescente, o zooplâncton é formado em sua maior parte por carnívoros estritos e eventuais. Isto sugere que com a depleção dos nutrientes o fitoplâncton entra em declínio sua matéria orgânica é fixada pelas bactérias (Li *et al.*, 1993) que são consumidas por ciliados, microflagelados e outros protista fagotróficos (Linley *et al.*, 1983; Suzuki, 1999) e estes por sua vez são predados pelo microzooplâncton (Azam *et al.*, 1983; Bloem *et al.*, 1989; Pomeroy, 1992; Deming & Baross, 1993; Le Corre *et al.* 1996; Suzuki *et al.*, 1996). Pomeroy (1992) descreveu observações feitas em regiões de ressurgência na África do Norte e do Sul, onde depois de pulsos isolados de ressurgência a produção primária decrescia muito, o que provocava uma mudança alimentar do zooplâncton, que passava a consumir os microrganismos e assim fechava seu ciclo de vida. Esse padrão é perfeitamente ajustável a região de Arraial do Cabo, uma vez que a ressurgência nessa área não é permanente, reforçando nossas conclusões.

dissolvido e particulado, importantes na interpretação do papel das bactérias no ambiente. Além disso, é necessário a implementação de técnicas capazes de separar os grupos morfológicos, quantificar e medir as células bacterianas, a fim de determinar fatores de conversão específicos, visando aprimorar a quantificação da biomassa bacteriana.

No Brasil, assim como para a região de Arraial do Cabo, não há muitos estudos relacionados à avaliação deste importante compartimento trófico. É necessário que trabalhos com esta abordagem sejam realizados em áreas costeiras e oceânicas para avaliação e compreensão do papel do bacterioplâncton nos ecossistemas marinhos.

VII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AZAM F.; T. FENCHEL, J. C. FIELD; J. S. GRAY; L. A. MEYER-REIL & F. THINGSTAD 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series*, **10**, pp. 257 - 263.
- BIANCHI A.; F. VAN WAMBEK & J. GARCIN 1998. Bacterial utilization of glucose in the water column from eutrophic to oligotrophic pelagic areas in the Eastern North Atlantic Ocean. *Journal of Marine Systems*, **14**, pp. 45 - 55.
- BJORNSEN P. K. & J. KUPARINEN 1991. Determination of bacterioplankton biomass, net production and growth efficiency in the Sulthern Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, **71**, pp. 185 - 194.
- BLOEM, J.; C. ALBERT; M. B. BÄR-GILLSSSEN; T. BERMAN & T. E. CAPPEBERG 1989. Nutrient cycling through phytoplakton, bacteria and protozoa, in selectively filtered Lake Vechten water. *Journal of Plankton Research*, **11 (1)** pp. 119 - 131.
- BOTT T. L. 1975. Bacterial growth rates and temperature optima in a stream with a fluctuating thermal regime. *Limnology and Oceanography*, **20**, pp. 191 - 197.
- CARON D. A.; H. G. DAM; P. KREMER; E. J. LESSARD; L. P. MADIN; T. C. MALONE; J. M. NAPP; E. R. PEELE; M. R. ROMAN & M. J. YOUNGBLUTH 1995. The contribution of microorganisms to particulate carbon and nitrogen in surface waters of the Sargasso sea near Bermuda. *Deep-Sea Research I*, **42**, pp. 943 - 972.
- CERRIER J.; J. E. BAUER & E. R. M. DRUFFEL 1996. Utilization and turnover of labile dissolved organic matter by bacterial heterotrophs in Easter North Pacific Surface Waters. *Marine Ecology Progress Series*, **139**, pp. 267 - 279.

- CHO B. C. & F. AZAM 1990. Biogeochemical significance of bacterial biomass in the ocean's euphotic zone. *Marine Ecology Progress Series*, **63**, pp. 253 - 259.
- COLE J. J., S. FINDLAY AND M. L. PACE 1988. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: a cross- system overview. *Marine Ecology Progress Series*, **43**, 1 - 10.
- COTNER J. B.; W. AMMERMAN; E. R. PEELE & E. BENTZEN 1997. Phosphorus-limited bacterioplankton growth in the Sargasso Sea: *Aquatic Microbial Ecology*, **13**, pp. 141 - 149.
- DEMING J. W. & J. A. BAROSS 1993. The early diagenesis of organic matter: Bacterial Activity. *Organic Geochemistry - Principles and Applications*, Plenum Press, New York and London, pp. 119 - 144.
- DUCKLOW H. W. 1986. Bacterial biomass in warm core Gulf Stream ring 82-B: mesoscale distribution, temporal changes and production. *Deep-Sea Research*, **33**, pp. 1789 - 1812.
- DUCKLOW H. W. 1993. Bacterioplankton distribution and production in the Northwestern Indian Ocean and Gulf of Oman, September 1986. *Deep-Sea Research II*, **40 (3)**, pp. 753 - 771.
- DUCKLOW H. W. & S. M. HILL 1985. The growth of heterotrophic bacteria in the surface waters of warm core rings. *Limnology and Oceanography*, **30**, pp. 239 - 259.
- DUCKLOW H. W.; D. L. KIRCHMAN; H. L. QUINBY; C. A. CARLSON & H. G. DAM 1993. Stocks and dynamics of bacterioplankton carbon during the spring bloom in the Eastern North Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research II*, **40 (1/2)**, pp. 245 - 263.

VI – CONCLUSÃO:

Considerando os dados obtidos nos experimentos realizados nesse estudo, foi possível concluir que o fenômeno de ressurgência tem influência sobre a atividade bacteriana, tanto no inverno quanto no verão. Essa influência ocorre em função do aumento das concentrações de carbono orgânico na coluna d'água, provocado pela ressuspensão da matéria orgânica do fundo e pela maior produção fitoplanctônica, em consequência do aumento das concentrações de nutrientes no ambiente. Os maiores valores de produção bacteriana em ambas as estações, incluindo o pico mais pronunciado observado no inverno, ocorre no fundo, em eventos de subida de água fria.

Existe uma sensível relação entre o bacterioplâncton e o fitoplâncton, mediada pela matéria orgânica liberada direta ou indiretamente pelo fitoplâncton, que seria uma das principais fontes de carbono orgânico para as bactérias.

O bacterioplâncton da região de ressurgência de Arraial do Cabo tem papel importante como fonte de alimento para a cadeia trófica desse sistema, tanto na presença de águas ressurgidas, quando assume papel principal nas fases iniciais do desenvolvimento fitoplanctônico, como em períodos de declínio dos blooms e de baixa produtividade primária, mantendo o fluxo de matéria orgânica através da cadeia, sendo uma importante fonte de carbono orgânico particulado para microheterótrofos bacterívoros, e demais níveis tróficos via alça microbiana.

As relações entre as bactérias e demais níveis tróficos são muito complexas e de difícil entendimento, demandando estudos mais aprofundados para que se possa compreender o funcionamento desses compartimentos tróficos. Logo, torna-se necessário a realização de outros experimentos, que estimem parâmetros tais como carbono orgânico

- DUGDALE, R. C. & J. J. GOERING 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnology and Oceanography*, **9** (2), 196 - 206.
- FERGUSON R. L.; E. N. BUCKLEY & A. V. PALUMBO 1984. Response of marine bacterioplankton to differential filtration and confinement. *Applied Environmental Microbiology*, **47**, pp. 49 - 55.
- FUHRMAN J. A.; J. A. AMMERMAN & F. AZAM 1980. Bacterioplankton in the costal euphotic zone: distribution, activity and possible relationships with phytoplankton. *Marine Biology*, **60**, pp. 201 - 207.
- FUHRMAN J. A.; T. D. SLEETER; C. A. CARLSON & L. M. PROCTOR 1989. Dominance of bacterial biomass in the Sargasso Sea and its ecological implications. *Marine Ecology Progress Series*, **57**, pp. 207 - 217.
- GASOL J. M.; M. D. DUVAL; J. PINHASSI; JUAN I CALDERÓN-PAZ; N. GUIXA-BOIXARÉU; D. VAQUÉ & C. PEDRÓS-ALIÓ 1998. Diel variations in bacterial heterotrophic activity and growth in the Northwestern Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, **164**, pp. 107 - 124.
- GONZALEZ-RODRIGUEZ E. 1991. A ressurgência de Cabo Frio (RJ, Brasil): fertilidade e fatores limitantes da biomassa fitoplanctônica. *Revista Brasileira de Biologia*, **51** (2), pp. 471 - 486.
- GONZALEZ-RODRIGUEZ E; J. L. VALENTIN; D. L. ANDRÉ & S. A. JACOB 1992. Upwelling and downwelling at Cabo Frio (Brasil): comparison of biomass and primary production responses. *Journal of Plankton Research*, **14** (2), pp. 289 - 306.

- HANSEN B. & G. BECH 1996. Bacteria associated with a marine planktonic copepod in culture I. Bacterial genera in seawater, body surface, intestines and fecal pellets and succession during fecal pellet degradation. *Journal of Plankton Research*, **18** (2), pp. 257 - 273.
- HANSEN B.; F. L. FOTEL; N. J. JANSEN & S. D. MADSEN 1996. Bacteria associated with a marine planktonic copepod in culture II. Degradation of fecal pellets produced on a diatom, a nanofflagellate or a dinoflagellate diet. *Journal of Plankton Research*, **18** (2), pp. 275 - 288.
- JANNASCH H. W. & G. E. JONES 1959. Bacterial populations in sea water as determined by different methods of enumeration. *Limnology and Oceanography*, **4**, pp. 128 - 139.
- JOIRIS C; G. BILLEN; C. LANCELOT; M. H. DARO; J. P. MOMMAERTS; A. BERTELS; M. BOSSICART; J. NIJS & J. H. HECQ 1982. A budget of carbon recycling in the Belgian Coastal Zone: relative roles of zooplankton, bacterioplankton e benthos in the utilization of primary production. *Netherlands Journal Sea Research*, **16**, pp. 260 - 275.
- KÄHLER P.; BJORNSEN P. K.; K. LOTCH & A. ANTIA 1997. Dissolved organic matter and its utilization by bacteria during spring in the Southern Ocean. *Deep-Sea Research II*, **44** (1- 2), pp. 341 - 353.
- KEPNER R. L. & J. M. PRATT 1994. Use of fluorochromes for direct enumeration of total bacteria in environmental samples: past and present. *Microbiological Reviews*, **58** (4), pp. 603 - 615.
- KIRCHMAN D. L.; R. G. KEIL; M. SIMON & N. A. WELSCHMEYER 1993. Biomass and production of heterotrophic bacterioplankton in the oceanic subarctic Pacific. *Deep-Sea Research*, **40**, pp. 967 - 988.

- LANCELOT C. & G. BILLEN 1984. Activity of heterotrophic bacteria and its coupling to primary production during the spring phytoplankton bloom in the southern bight of the North Sea. *Limnology and Oceanography*, **29**, pp. 721 - 730.
- LE CORRE P.; M. WAFAR; S. L'HELGUEN & J. F. MAGUER 1996. Ammonium assimilation and regeneration by size-fractionated plankton in permanently well-mixed temperature waters. *Journal of Plankton Research*. **18 (3)**, pp. 355 - 377.
- LEE S., & J. A. FUHRMAN 1987. Relationships between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton. *Applied and Environmental Microbiology*, **53**, pp. 1298 - 1303.
- LEGENDRE, L. & P. LEGENDRE 1983. *Numerical Ecology*, New York, Elsevier, 420 pp.
- LEGENDRE L. & F. RASSOULZADEGAN 1996. Food-web mediated export of biogenic carbon in oceans: hydrodynamic control. *Marine Ecology Progress Series*, **145**, pp. 179 - 193.
- LI W. K. W.; P. M. DICKIE; W. G. HARRISON & B. D. IRWIN 1993. Biomass and production of bacteria and phytoplankton during the spring bloom in the western North Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research II*, **40 (1 / 2)**, pp. 307 - 327.
- LINLEY, E. A. S.; R. C. NEWLL & M. I. LUCAS 1983. Quantitative relationships between phytoplankton, bacteria and heterotrophic microflagellates in shelf waters. *Marine Ecology Progress Series*. **12**, pp. 77 - 89.
- LOCHTE K., P. K. BJORNSEN, H. GIESENHGEN AND A. WEBER 1997. Bacterial standing stock and production and their relation to phytoplankton in the Southern Ocean. *Deep-Sea Research II*, **44 (1 - 2)**, pp. 321 - 340.

- LUCAS M. I.; S. J. PAINTING & D. G. MUIR 1986. Estimates of carbon flow through bacterioplankton in the S. Benguela upwelling region based on ^3H -thymidine incorporation and predator-free incubations. *Deuxième Colloque International de Bactériologie Marine. Actes de Colloques*, **3**, pp. 375 - 383.
- MACEDO F. E. 1975. O plâncton na ressurgência de Cabo Frio (Brasil). VI – Composição florística e suas variações de comportamento nas águas da estação fixa oceânica. *Publicação do Instituto de Pesquisas da Marinha*, **87**, pp. 1 - 16.
- MALINSKY-RUSHANSKY N. Z. & C. LEGRAND 1996. Excretion of dissolved organic carbon by phytoplankton of different sizes and subsequent bacterial uptake. *Marine Ecology Progress series*, **132**, pp. 249 - 255.
- McMANUS G. B. & W. T. PETERSON 1988. Bacterioplankton production in the nearshore zone during upwelling off central Chile. *Marine Ecology Progress Series*, **43**, pp. 11 - 17.
- MONTEIRO-RIBAS W. M. 1988. *Os copépodos na região de Cabo Frio: variação qualitativa e quantitativa, durante um ciclo de ressurgência*. Rio de Janeiro, RJ – Brasil. Tese de mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Zoologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. 163 pp.
- MOREIRA DA SILVA, P. C. 1975. Problemas da circulação oceânica nas águas brasileiras. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **37**, pp. 157 - 158.
- MORITA R. Y. 1979. Deep-Sea microbial energetic. *Sarsia*, **64**, pp. 9 - 12.
- MORIARTY, D. J. W. 1986. Measurement of bacterial growth rates in aquatic systems from rates of nucleic acid synthesis. *Advances in Microbial Ecology*, **9**, pp. 245 - 292.

- MORIARTY, D. J. W.; M. BIANCHI & V. TALBOT 1997. Bacterial productivity and organic matter flux in the Southern Ocean and in the Antarctic Intermediate Water and Mode Water of the Indian Ocean. *Deep-Sea Research II*, **44** (5), pp. 1005 - 1015.
- POMEROY L. R. 1992. The microbial food web. *Oceanus*, **35** (3), pp. 28 - 35.
- POMEROY L. R.; J. E. SHELDON; W. M. SHELDON JR. & F. PETERS 1995. Limits to growth and respiration of bacterioplankton in the Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, **117**, pp. 259 - 268.
- RICH, J.; M. GOSSELIN; E. SHERR; B. SHERR & D. L. KIRCHMAN 1997. High bacterial production, uptake and concentrations of dissolved organic matter in the Central Arctic Ocean. *Deep-Sea Research II*, **44** (8), pp. 1645 - 1663.
- RICHARD T. A. & T. G. THOMPSON 1952. The estimation and characterization of the estimation of plankton pigments. *Journal of Marine Research*, **11**, pp. 156 - 172.
- ROBARTS R. D.; T. ZOHARY; M. J. WAISER & Y. Z. YACOBI 1996. Bacterial abundance, biomass and production in relation to phytoplankton biomass in the Levantine Basin of the Southeastern Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, **137**, pp. 273 - 281.
- ROMAM M. R.; D. A. CARON; P. KREMER; E. J. LESSARD; L. P. MADIN; T. C. MALONE; J. M. NAPP; E. R. PEELE & M. J. YOUNGBLUTH 1995. Spatial and temporal changes in the partitioning of organic carbon in the plankton community of the Sargasso Sea off Bermuda. *Deep-Sea Research*, **42**, pp. 973 - 992.

- SCOR-UNESCO 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea-water. *Monogr. Oceanogr. Method.* 1, UNESCO Publ. Center, New York, 69 pp.
- SHERR E. B.; BARRY F. SHERR & CRYSTAL T. SIGMON 1999. Activity of marine bacteria under incubated and in situ conditions. *Aquatic Microbial Ecology*, **20**, pp. 213 - 223.
- SIMON M., B. C. CHO & F. AZAM 1992. Significance of bacterial biomass in lakes and the ocean: comparison to phytoplankton biomass and biogeochemical implications. *Marine Ecology Progress Series*, **86**, pp. 103 - 110.
- SMITH D. C. & F. AZAM 1992. A simple, economical method for measuring bacterial protein synthesis rates in seawater using ^3H -Leucine. *Marine Microbial Food Webs*, **6** (2), pp. 107 - 114.
- SOROKIN Y. I. & V. N. MIKHEEV 1979. On characteristics of the Peruvian upwelling ecosystem. *Hydrobiologia*, **62**, pp. 165 - 189.
- SOROKIN Y. I.; P YU SOROKIN & T. I MAMAIEVA 1996. Density and distribution of bacterioplankton and planktonic ciliates in the Bering Sea and North Pacific. *Journal of Plankton Research*, **18** (1), pp. 1 - 16.
- STATSOFT.INC 1995. Statistica 6.0
- STEEMAN NIELSEN E. 1952. The use of radio-active carbon (^{14}C) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. per. int. Explor. Mer.*, **18**, pp. 117-140.
- STRIKLAND J. D. & T. R. PARSONS 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Can.*, **167** (2nd ed.), pp. 1 - 310.
- SUZUKI M. T. 1999. Effect of protistan bacterivory on coastal bacterioplankton diversity. *Aquatic Microbial Ecology*, **20**, 261 - 272.

- SUZUKI, M. T.; E. B. SHERR & B. F. SHERR 1996. Estimation of ammonium regeneration efficiencies associated with bacterivory in pelagic food webs via ^{15}N tracer method. *Journal of Plankton Research*, **18** (3), pp. 411 - 428.
- TARAPCHAK S. J. & R. A. MOLL 1990. Phosphorus source for phytoplankton and bacteria in Lake Michigan. *Journal of Plankton Research*, **12** (4), pp. 743 - 758.
- THINGSTAD T. F.; BO RIEMANN; H. HAVSKUM & KRISTIANE GARDE 1996. Incorporations rates and biomass content of C and P in phytoplankton and bacteria in Bay of Aarhus (Denmark) June 1992. *Journal of Plankton Research*, **18** (1), pp. 97 - 121.
- THINGSTAD T. F.; H. HAVSKUM; H. KAAS; T. G. NIELSEN; B. RIEMANN; D. LEFEVRE & P. J. LE B. WILLIAMS 1999. Bacteria-protist interactions and organic matter degradation under P-limited conditions: analysis of na enclosure experiments using a simple model. *Limnology and Oceanography*, **44** (1), pp. 62 - 79.
- VALENTIN J. L. & A. P. MOREIRA 1978. A matéria orgânica de origem zooplanctônica nas águas de ressurgência de Cabo Frio (Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **50** (1), 103 - 112.
- VALENTIN J. L. 1983. *L'écologie du plancton dans la remontée de Cabo Frio (Brésil)*. Tese apresentada a Universidade de Marselha, França. 258 pp.
- VALENTIN J. L. 1984. Spatial structure of the zooplankton community in the Cabo frio Region (Brazil) influenced by coastal upwelling. *Hydrobiologia*, **113**, pp. 183 - 199.
- VALENTIN J. L. 1987 A modelagem ecológica, uma ferramenta objetiva para o estudo integrado dos ecossistemas. *Nerítica*, **2** (supl.), 43 - 60.

- VALENTIN J. L. 1992. Modeling of the vertical distribution of marine primary biomass in the Cabo Frio upwelling region. *Ciência e Cultura*, **44**, pp. 178 - 183.
- VALENTIN J. L. 1994. A ressurgência fonte de vida dos oceanos. *Ciência Hoje*, **18** (102), pp. 19 - 25.
- VALENTIN J. L.; W. MONTEIRO-RIBAS; A. MUREB; E. E. PESSOT 1976. A origem das massas d'água na ressurgência de Cabo Frio (Brasil) vista através do estudo das comunidades de copépodos. *Publicação do Instituto de Pesquisas da Marinha*, **97**, pp. 1 - 36.
- VINOGRADOV M. E. & E. A. SHUSHKINA 1978. Some development patterns of plankton communities in the upwelling areas of the Pacific Ocean. *Marine Biology*. **48**, pp. 357 - 366.
- WIKNER J. & A. HAGSTRÖM 1999. Bacterioplankton intra-annual variability: importance of hydrography and competition. *Aquatic Microbial Ecology*, **20**, pp. 245 - 260.
- ZWEIFEL U. L.; B. NORRMAN & A. HAGSTÖM 1993. Consumption of dissolved organic carbon by bacteria and demand for inorganic nutrients. *Marine Ecology Progress Series*, **101**, pp. 23 - 32.