

MANUEL DE JESÚS FLORES MONTES

FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRODUTIVIDADE DOS OCEANOS: A IMPORTÂNCIA DO FLUXO DE DIFUSÃO DOS NUTRIENTES PARA A BIOMASSA DO FITOPLÂNCTON NA REGIÃO OCEÂNICA DO NORDESTE BRASILEIRO.

Recife - 2003

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Departamento de Oceanografia
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia

**FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRODUTIVIDADE
DOS OCEANOS: A IMPORTÂNCIA DO FLUXO DE
DIFUSÃO DOS NUTRIENTES PARA A BIOMASSA DO
FITOPLÂNCTON NA REGIÃO OCEÂNICA DO NORDESTE
BRASILEIRO.**

Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Oceanografia, do
Departamento de Oceanografia da
Universidade Federal de Pernambuco,
como parte dos requisitos necessários
à obtenção do título de Doutor em
Oceanografia.

Orientador: Dr. Silvio José de Macêdo
Co-orientadores: Dr. Kátia Muniz Pereira da Costa
Dr. Moacyr Cunha de Araújo Filho

Recife - 2003

MANUEL DE JESÚS FLORES MONTES

FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRODUTIVIDADE DOS OCEANOS: A IMPORTÂNCIA DO FLUXO DE DIFUSÃO DOS NUTRIENTES PARA A BIOMASSA DO FITOPLÂNCTON NA REGIÃO OCEÂNICA DO NORDESTE BRASILEIRO.

Tese aprovada pela seguinte Banca Examinadora em 21/02/2003:

Titulares:

Prof. Dr. Silvio José de Macêdo (Orientador)

Prof. Dr. Luis Felipe Niencheski

Prof. Dr. José Benício de Barros

Prof. Dr. Fernando Antônio Feitosa

Prof. Dr. Paulo Eurico Travassos

Suplentes:

Prof. Dr. Hênio Normando S. de Melo

Prof. Dr. Sigrid Neumman-Leitão

Recife – 2003

“Imagine o Universo belo, justo e perfeito,
então tenha certeza de uma coisa,
o Criador o imaginou bastante melhor que você”

Richard Bach

Dedico a Deus por ter me permitido a tranquilidade e condições de realizar este trabalho. A meu Pai pelo desafio na busca constante da superação; a minha mãe pelo amor permanente. Às mulheres da minha vida, Ana, Cláudia, Lílian, minhas filhas, pela importância da sua existência e como incentivo ao seu crescimento pessoal, e Maria Adélia, minha companhia, pelo grande carinho e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Venho expressar meus sinceros agradecimentos às pessoas e instituições que direta ou indiretamente colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho, em particular:

Ao Dr. Silvio José de Macêdo, pelo apoio e amizade nos momentos bons e difíceis e pela confiança depositada no desenvolvimento deste trabalho e outras etapas da minha vida profissional.

À Dra. Kátia Muniz da Costa, pela valiosa orientação, pela confiança, amizade, constante apoio e incentivo no meu crescimento.

Ao Dr. Moacyr Araújo, pela excelente Co-orientação, atenção, paciência e amizade, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

À Dra. Sigrid Neumman Leitão, pela orientação inicial, confiança e amizade, como pela elaboração do Abstract.

Ao Dr. Benício de Barros, pela atenção e orientação no tratamento estatístico.

À Dra. Lilia Santos em nome da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, pelo apoio durante o desenvolvimento deste curso.

À Dra. Tereza C. Araújo, em nome do Departamento de Oceanografia, cujos Professores, funcionários e laboratórios facilitaram o desenvolvimento deste trabalho.

Ao CNPq, pela concessão da Bolsa de Doutorado, indispensável para a conclusão deste curso.

Ao Prof. Dr. Fábio V. Hazin, Coordenador Geral do SCORE-NE do Programa REVIZEE, pela oportunidade de participação neste Programa, através do qual foi elaborado este trabalho; pelo constante apoio, confiança, e amizade.

Ao doutorando Santiago Hamilton pela valiosa ajuda através do SCORE-NE e amizade.

Ao mestrando Marcus da Silva, pelo desenvolvimento dos cálculos das equações de difusividade.

Aos Prof. Gilson Melo e Gilson Moura, em nome do NEPREMAR, pela concessão dos dados de clorofila *a*.

Ao pessoal da Seção de Química, química Iara Correia S. Lins, aos técnicos Jesi Oliveira Pontes e Joaquim Alves, pela colaboração nas análises das amostras hidrológicas; pela amizade e momentos de descontração.

À meu Pai, pela educação, disciplina, formação e incentivos, sem os quais não teria até aqui chegado.

À minhas filhas Ana Rosa, Cláudia Regina e Lílian Maria, pelo seu amor e compreensão, cuja presença na minha vida é um incentivo para a superação.

A Maria Adélia, por ter decidido ser parte integral da minha vida, pelo apoio constante, grandes momentos de descontração e pelo sentimento mais nobre que pode existir.

À Ceci, bibliotecária, pela fina atenção e elaboração da ficha catalográfica.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

1.1 O Programa REVIZEE.....	01
1.2. Síntese dos Ciclos do Fósforo e do Nitrogênio.....	02
1.3 Base Conceitual.....	06
1.4 Objetivos.....	13

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA.....

3.1 Sistema de Ventos.....	22
3.2 Clima.....	22
3.3 Sistema de Correntes.....	23
3.4 Aspectos Geológicos.....	26

4. MATERIAL E MÉTODOS.....

4.1. Comissões, Meio Flutuante, Equipamento e Estações de Coleta.....	29
4.2 Parâmetros Abióticos.....	35
4.3 Biomassa Primária.....	36
4.4. Normalização do Texto.....	37
4.5. Análise Estatística.....	37
4.5.1. Estatística descritiva.....	37
4.5.2 Análise dos Componentes Principais (ACP).....	38
4.6 Fluxo Difusivo Vertical de Nutrientes.....	39
4.6.1 Distribuição vertical de nutrientes.....	39
4.6.1.1. Escalas de normalização. Agrupamento de dados.....	39
4.6.1.2. Distribuição Vertical. Modelo Analítico Simplificado.....	40
4.6.2. Distribuição vertical de viscosidade turbulenta.....	42
4.6.3. Parametrização do fluxo difusivo vertical de nutrientes.....	45

5.RESULTADOS.....

5.1. Parâmetros Abióticos.....	48
5.1.1. Caracterização da Área.....	48
5.1.1.1 Camada Fótica.....	48
5.1.1.2. Camada Afótica.....	48
5.1.2. Estatística Descritiva dos Parâmetros Abióticos.....	76
5.1.2.1. Camada Fótica.....	76
5.1.2.2. Camada Afótica.....	80
5.1.3. Análise dos Componentes Principais (ACP) dos Parâmetros Abióticos	
5.1.3.1 ACP Geral dos Parâmetros Abióticos.....	84
5.1.3.2 ACP dos Dados Abióticos nos Diferentes Períodos Sazonais....	88
5.2. Biomassa Primária.....	93

5.2.1 Distribuição Horizontal da Clorofila <i>a</i>	93
5.2.2. Estatística Descritiva	97
5.2.3. ACP da Biomassa Primária e Parâmetros Abióticos.....	99
5.3. Fluxo Difusivo Vertical de Nutrientes.....	110
5.3.1. Distribuição Vertical de Nutrientes.....	110
5.3.2. Distribuição Vertical de Viscosidade Turbulenta.....	117
5.3.3 Fluxo Difusivo Vertical de Nutrientes.....	118
6. DISCUSSÃO.....	126
6.1 Características Hidrológicas.....	126
6.2 Biomassa Primária e Fluxo de Difusão.....	136
6.3. Perspectivas Futuras.....	144
7. CONCLUSÕES.....	146
8. ABSTRACT.....	148
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	149
ANEXOS.....	167

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Principais variáveis de estado e mecanismos influentes na dinâmica trófica e na qualidade da água de sistemas aquáticos superficiais. Adaptado de RIBEIRO e ARAÚJO (2002).....	06
Figura 3.1. Mapa do Brasil com as Zonas Econômicas Exclusivas regionais.....	21
Figura 4.1 NOc Antares (DHN).....	29
Figura 4.2. Perfilador tipo CTD.....	30
Figura 4.3. Rosette e garrafas oceanográficas tipo Ninskin.	30
Figura 4.4. CTD e rosette em operação.	31
Figura 4.5. Mapa da área estudada com indicativo das estações nas diferentes Comissões do REVIZEE-NE. (A=inverno, B= verão, C=outono, D=primavera).....	32
Figura 4.6. Mapa da área estudada com indicativo das estações na Comissão NordesteIII.....	33
Figura 4.7. Mapa da área estudada com indicativo dos perfis selecionados.	34
Figura 4.8. Mapa indicando as áreas selecionadas.	35
Figura 4.9. Esquema representativo do modelo analítico adotado para representar a distribuição vertical de nutrientes na área de estudo.....	42
Figura 4.10. Sonda perfiladora SCAMP e estação de trabalho, quando de sua utilização no NOc. Antares, durante a primavera.....	44
Figura 5.1. Variação superficial da temperatura (°C) durante diferentes estações do ano.	50
Figura 5.2. Variação da temperatura (°C) na profundidade de 1% de penetração da luz durante as diferentes estações do ano.....	51
Figura 5.3. Variação da temperatura (°C) na profundidade do final da termoclina durante as diferentes estações do ano.	52
Figura 5.4. Variação superficial da salinidade durante as diferentes estações do ano.....	53

Figura 5.5. Variação da salinidade na profundidade de 1% de penetração da luz durante as diferentes estações do ano.	54
Figura 5.6. Variação da salinidade na profundidade do final da termoclina durante as diferentes estações do ano.	55
Figura 5.7. Variação superficial do oxigênio dissolvido (ml.L^{-1}) durante as diferentes estações do ano.	56
Figura 5.8. Variação do oxigênio dissolvido (ml.L^{-1}) na profundidade de 1% de penetração da luz durante as diferentes estações do ano.....	57
Figura 5.9. Variação do oxigênio dissolvido (ml.L^{-1}) no final da termoclina durante as diferentes estações do ano.	58
Figura 5.10. Variação superficial do nitrato-N ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) durante as diferentes estações do ano.	59
Figura 5.11. Variação do nitrato-N ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na profundidade de 1% de penetração da luz durante as diferentes estações do ano.	60
Figura 5.12. Variação do nitrato-N ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) no final da termoclina durante as diferentes estações do ano.	61
Figura 5.13. Variação superficial do fosfato-P ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) durante as diferentes estações do ano.	62
Figura 5.14. Variação do fosfato-P ($\mu\text{mol.L}^{-1}$)na profundidade de 1% de penetração da luz durante as diferentes estações do ano.....	63
Figura 5.15. Variação do fosfato-P ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na profundidade do final da termoclina durante as diferentes estações do ano.	64
Figura 5.16. Variação superficial do silicato-Si ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) durante as diferentes estações do ano.	65
Figura 5.17. Variação do silicato-Si ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na profundidade de 1% de penetração da luz durante as diferentes estações do ano.	66
Figura 5.18. Variação do silicato-Si ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) no final da termoclina durante as diferentes estações do ano.	67
Figura 5.19. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 1 (10°S) durante o verão.	68
Figura 5.20. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 1 (10°S) durante o outono.	69

Figura 5.21. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 1 (10°S) durante a primavera.	70
Figura 5.22. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 2 (8°S) durante o verão.	71
Figura 5.23. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 2 (8°S) durante o outono.	72
Figura 5.24. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 2 (8°S) durante a primavera.	73
Figura 5.25. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 3 (5°S) durante o outono.	74
Figura 5.26. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 3 (5°S) durante a primavera.	75
Figura 5.27. Variação do oxigênio dissolvido e pH na camada fótica, nos diferentes períodos sazonais.	76
Figura 5.28. Variação do percentual de saturação de oxigênio dissolvido na camada fótica, nos diferentes períodos sazonais.	77
Figura 5.29. Variação da amônia-N e do nitrito-N na camada fótica, nos diferentes períodos sazonais.	78
Figura 5.30. Variação do nitrato-N e fosfato-P na camada fótica, nos diferentes períodos sazonais.	78
Figura 5.31. Variação do silicato-Si na camada fótica, nos diferentes períodos sazonais.	79
Figura 5.32. Variação do oxigênio dissolvido e pH na camada afótica, nos diferentes períodos sazonais.	80
Figura 5.33. Variação do percentual de saturação de oxigênio dissolvido na camada afótica, nos diferentes períodos sazonais.	81
Figura 5.34. Variação do nitrato-N na camada afótica, nos diferentes períodos sazonais.	82
Figura 5.35. Variação do fosfato-P na camada afótica, nos diferentes períodos sazonais.	83
Figura 5.36. Variação do silicato-Si na camada afótica, nos diferentes períodos sazonais.	84

Figura 5.37. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos em todas as comissões juntas, com estratificação entre as camadas fótica e afótica.	85
Figura 5.38. Gráfico dos escores nas duas primeiras componentes, na análise feita com os parâmetros abióticos em todas as comissões juntas na camada fótica da plataforma e talude.	86
Figura 5.39. Gráfico dos escores nas duas primeiras componentes, na análise feita com os parâmetros abióticos em todas as comissões juntas na camada fótica oceânica.	87
Figura 5.40. Gráfico dos escores nas duas primeiras componentes, na análise feita com os parâmetros abióticos em todas as comissões juntas na camada fótica oceânica.	88
Figura 5.41. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos durante o verão.	89
Figura 5.42. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos durante o verão com estratificação entre as camadas fótica e afótica.	89
Figura 5.43. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos durante o outono.	90
Figura 5.44. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos durante o outono, com estratificação entre as camadas fótica e afótica.	90
Figura 5.45. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos durante a primavera.	91
Figura 5.46. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos durante a primavera, com estratificação entre as camadas fótica e afótica.	91
Figura 5.47. Variação horizontal da clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na camada superficial.....	94
Figura 5.48. Variação horizontal da clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na profundidade de 50% de penetração da luz.	95
Figura 5.49. Variação horizontal da clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na profundidade de 1% de penetração da luz.	96
Figura 5.50. Clorofila <i>a</i> na camada superficial.	97

Figura 5.51. Distribuição mediana, concentrações máximas e mínimas da clorofila <i>a</i> na profundidade de 50% de penetração da luz.	98
Figura 5.52. Distribuição mediana, concentrações máximas e mínimas da clorofila <i>a</i> na profundidade de 1% de penetração da luz.	99
Figura 5.53. Componentes Principais (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos e clorofila <i>a</i> durante o inverno.	100
Figura 5.54. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos e clorofila <i>a</i> durante o inverno. (0=superfície; 50=50% penetração luz e 1= 1% penetração luz)	101
Figura 5.55. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros químicos e clorofila <i>a</i> durante o verão.	102
Figura 5.56. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos e clorofila durante as diferentes campanhas. (0=superfície; 50=50% penetração luz e 1= 1% penetração luz).....	102
Figura 5.57. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros químicos e clorofila <i>a</i> durante o outono.	103
Figura 5.58. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros químicos e clorofila <i>a</i> durante o outono. (0=superfície; 50=50% penetração luz e 1= 1% penetração luz)	104
Figura 5.59. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros químicos e clorofila <i>a</i> durante a primavera.....	105
Figura 5.60. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros químicos e clorofila <i>a</i> durante a primavera. (0=superfície; 50=50% penetração luz e 1= 1% penetração luz).....	105
Figura 5.61. Variação das concentrações da clorofila <i>a</i> durante o inverno, verão, outono e primavera na região oceânica do Nordeste do Brasil.....	106
Figura 5.62. Profundidade da camada eufótica (1%) e profundidade do início da termoclina (IT) durante o verão, outono e primavera.....	107
Figura 5.63. Correlações entre os parâmetros abióticos e clorofila <i>a</i> na camada fótica.	108
Figura 5.64. Correlações entre os parâmetros abióticos na camada afótica.....	109
Figura 5.65. Distribuição vertical de nitrato-N, Campanha NEIII.....	110
Figura 5.66. Distribuição vertical de fosfato-P, Campanha NEIII.....	111

Figura 5.67. Distribuição vertical de nitrato-N durante o verão.....	111
Figura 5.68. Distribuição vertical de fosfato-P durante o verão.....	112
Figura 5.69. Distribuição vertical de nitrato-N durante o outono.....	112
Figura 5.70. Distribuição vertical de fosfato-P durante o outono.....	113
Figura 5.71. Distribuição vertical de nitrato-N durante a primavera.....	113
Figura 5.72. Distribuição vertical de fosfato-P durante a primavera.....	114
Figura 5.73. Distribuição vertical de nitrato-N, todas as Campanhas.....	114
Figura 5.74. Distribuição vertical de fosfato-P, todas as Campanhas.....	115
Figura 5.75. Distribuição vertical das parcelas (V.1 e V.2) e do fluxo difusivo total (V) de nitrato-N, obtidos a partir do agrupamento de todos os dados experimentais.	120
Figura 5.76. Distribuição vertical das parcelas (V.1 e V.2) e do fluxo difusivo total (V) de fosfato-P, obtidos a partir do agrupamento de todos os dados experimentais.	121
Figura 5.77. Modelo ilustrativo do balanço de nutrientes nas camadas superiores do oceano.	123

LISTA DAS TABELAS

Tabela 5.1. Parâmetros característicos das curvas teóricas, fornecidas pelo ajuste do modelo analítico às distribuições experimentais.	116
Tabela 5.2. Características da intensidade do vetor velocidade de vento medido durante as campanhas de campo do REVIZEE-NE.	118
Tabela 5.3. Parâmetros característicos dos perfis verticais de fluxo difusivo de nutrientes.	122
Tabela 5.4. Profundidades médias características da máxima produção fitoplanctônica ($Z_{MAX}^{FITO}(1\%)$) e de máximo valor de fluxo difusivo vertical de nutrientes (ϕ_{MAX}).	124
Anexo 1. Estatística descritiva da temperatura e salinidade na camada fótica.....	168
Anexo 2. Estatística descritiva do oxigênio dissolvido e pH na camada fótica.....	168
Anexo 3. Estatística descritiva dos nutrientes dissolvidos na camada fótica.....	169
Anexo 4. Estatística descritiva da temperatura e salinidade na camada afótica.....	170
Anexo 5. Estatística descritiva do oxigênio dissolvido e pH na camada afótica.....	170
Anexo 6. Estatística descritiva dos nutrientes dissolvidos na camada afótica.....	171
Anexo 7. Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada com todos os cruzeiros juntos, em todos os níveis de coleta, para os parâmetros abióticos... ..	172
Anexo 8. Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada durante o NE-II em todos os níveis de coleta, para os parâmetros abióticos.	172
Anexo 9. Medianas, máximos e mínimos das concentrações de clorofila <i>a</i> na camada superficial da ZEE-NE.	173
Anexo 10. Medianas, máximos e mínimos das concentrações de clorofila <i>a</i> , na profundidade equivalente a 50% de penetração da luz.....	173
Anexo 11. Medianas, máximos e mínimos das concentrações de clorofila <i>a</i> , na profundidade equivalente a 1% de penetração da luz.	173
Anexo 12. Pesos e variância explicada pelas PC1, PC2 e PC3, na análise realizada durante o ZEE-I na camada fótica, para os parâmetros abióticos e clorofila <i>a</i>	174

Anexo 13. Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada durante o ZEE-II na camada afótica, para os parâmetros abióticos e clorofila <i>a</i>	174
Anexo 14. Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada durante o ZEE-III na camada afótica, para os parâmetros químicos e clorofila <i>a</i>	174
Anexo 15. Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada durante o ZEE-IV na camada afótica, para os parâmetros abióticos e clorofila <i>a</i>	175
Anexo 16. Medianas, máximos e mínimos das profundidades equivalentes a 1% de penetração da luz e início da termoclina.	175
Anexo 17. Valores de correlação na camada fótica, incluindo os parâmetros abióticos e a clorofila <i>a</i>	175
Anexo 18. Valores de correlação na camada afótica, com todos os parâmetros abióticos	176
Anexo 19. Velocidade e direção do vento durante o inverno e verão.....	177
Anexo 20. Velocidade e direção do vento durante o outono e primavera (<i>continúa...</i>).	178
Anexo 21. Velocidade e direção do vento durante o outono e primavera (<i>...continuação</i>).	179

RESUMO

A biomassa fitoplanctônica é controlada na região oceânica tropical pela disponibilidade de luz e nutrientes inorgânicos dissolvidos, além de outros fatores físicos como a turbulência e sedimentação. As propriedades da água da zona fótica estão sujeitas a um grande número de forças com diferentes intensidades ao contrário das águas mais profundas, que variam regularmente. Na região nordeste do Brasil, a presença de uma termoclina permanente e profunda restringe o aporte de nutrientes das camadas inferiores mais ricas para a camada superior, formando um gradiente de concentração, em sentido oposto àquele da luz. O objetivo do presente trabalho foi caracterizar a região oceânica correspondente à Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil, entre o litoral norte do Estado do Rio Grande do Norte (5°S) e Salvador-BA (14°S), a partir das 12 milhas náuticas até as 200 milhas náuticas, observando a dinâmica das concentrações dos nutrientes, determinando as variações temporais e espaciais; qual o impacto que exercem na distribuição dos produtores primários em termos de clorofila *a* e a indicação sobre o grau trófico da região, tendo também como meta, um estudo sobre a difusão vertical de nutrientes através da nutriclina e qual a influência que exerce na biomassa primária. Foi realizada uma Análise dos Componentes Principais (ACP), que explicou aproximadamente 60% da variância total quando foram utilizados todos os níveis de coleta (100%, 50%, 1% de penetração da luz; início, meio e final da termoclina e 500 m), mostrando um contraste entre a temperatura, salinidade, pH, e oxigênio dissolvido, com o fosfato-P, nitrato-N e silicato-Si. Esta análise indicou principalmente o aumento da mineralização dos nutrientes em relação a profundidade até a estabilização da nutriclina, e uma grande afinidade entre a clorofila *a* e o nitrato-N e fosfato-P. As concentrações medianas nas camadas fóticas e afóticas para nitrogênio amoniacal-N foram $\leq 0,03 \mu\text{mol.L}^{-1}$, para nitrato $\leq 0,6$ e $\leq 12,56 \mu\text{mol.L}^{-1}$, para fosfato-P $\leq 0,14$ e $\leq 1,09 \mu\text{mol.L}^{-1}$ e para silicato-Si $< 12,0$ e $\leq 20,5 \mu\text{mol.L}^{-1}$, respectivamente. A clorofila *a* apresentou valores medianos $< 1,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ na superfície e de $\leq 1,45 \mu\text{g.L}^{-1}$ na profundidade de 1% de penetração da luz. Foi estabelecido que a taxa de regeneração líquida do componente (nitrato-N ou fosfato-P) é resultado do balanço entre o aporte oriundo da degradação do material orgânico, do fluxo difusivo e a remoção decorrente dos processos da absorção pelo fitoplâncton, como da sedimentação de material particulado total (adsorção de nutrientes), sendo estes os mecanismos preponderantes no balanço vertical de nutrientes. Isto sugere que o fluxo difusivo ascendente é contrabalanceado pela sedimentação e pelo consumo fitoplanctônico. Foi utilizada para o cálculo da difusividade turbulenta (v_t), a formulação semi-empírica de Kitaigorodskii (1960), que melhor representou os perfis de difusividade obtidos em campo através da sonda SCAMP (Self-Contained Autonomous MicroProfiler). As distribuições verticais das concentrações de nitrato-N e fosfato-P foram normalizadas em relação à concentração e profundidade verificadas no final da termoclina (Z_{FT}), o que resultou numa representação adimensional. Tal metodologia permite a representação analítica das curvas a partir do modelo logístico de Verhulst-Pearl (Jørgensen, 1986). A profundidade de máxima difusividade ficou localizada na profundidade de $0,82 Z_{FT}$ (214 m), diminuindo para 1/3 na base da camada fótica. O fluxo máximo de nitrato-N foi aproximadamente 1,5 mais intenso que o máximo do fosfato-P. Tudo isto vem explicar o porque das condições oligotróficas nesta área. O aumento nas concentrações de clorofila *a* durante o outono e em determinados pontos de coleta, foram consequência do aumento da camada fótica, aumentando a difusividade neste nível de profundidade e

trazendo aportes adicionais na disponibilidade de nitrato-N, mostrando a importância do transporte físico deste nutriente, como fonte de nitrogênio para a produção nova do fitoplâncton na camada superficial oceânica.

1. INTRODUÇÃO

Os oceanos formam um ecossistema aquático cujos processos químicos, físicos e biológicos interagem entre si, influenciando toda a comunidade marinha, sendo os parâmetros abióticos mais importantes a luz, a temperatura, a salinidade, as correntes e os elementos nutrientes, que exercem uma influência direta ou indireta em toda a estrutura oceânica (CARTON, 1997). Devido a este fato, as relações térmicas e salinas regulam toda a vida do ambiente marinho, pelo qual o conhecimento das causas e efeitos a elas relacionadas é um requisito básico para o conhecimento de todos os processos abióticos e bióticos que se desenvolvem neste ambiente (MIRANDA, 1982).

Estudos sobre a caracterização de zonas costeiras e oceânicas do Atlântico Tropical foram realizados por vários pesquisadores procurando evidenciar os fenômenos que regem e acompanham a variação temporal e espacial dos principais sais nutrientes, da clorofila *a*, da temperatura e da salinidade, entre outros. Com o objetivo básico de definir modelos que permitam uma avaliação mais exata dos níveis de produção existentes, estes estudos evidenciam a importância do conhecimento interativo dos processos físicos e da distribuição dos nutrientes numa área oceânica, especificamente a influência da variabilidade da circulação sobre os fluxos de nutrientes (BISHOP et al., 1980, VELDCHUIS et al., 1988; LAWS et al., 1990; COSTA, 1991; ALBUQUERQUE, 1997; METZLER, 1996; METZLER et al., 1997; BOYER et al., 1999; MEDEIROS et al., 1999; STRAMMA e SCHOTT, 1999; MARAÑON e HOLLIGAN, 1999; MARAÑON et al., 2000; ADVÍNCULA, 2000; GALVÃO, 2000; ALBUQUERQUE, 2001; BECKER, 2001).

Na região tropical do Atlântico Sul, a camada superficial denominada de Água Tropical (ATS), possui como característica a presença de temperaturas e salinidades elevadas (temperaturas maiores que 20°C e salinidades acima de 36,0), uma baixa concentração de nutrientes e baixos níveis de biomassa e produtividade primária localizada nos primeiros 200 metros de profundidade (SIGNORINI, 1978; ADVÍNCULA, loc. cit.).

1.1 O Programa REVIZEE

O Programa de Avaliação do Potencial Sustentável dos Recursos Vivos da Zona Econômica Exclusiva – REVIZEE é um programa interinstitucional e multidisciplinar que tem entre seus objetivos a obtenção de um quadro oceanográfico de caráter abrangente, incluindo as áreas das oceanografias física, química, geológica e biológica, sendo o presente estudo uma colaboração ao conhecimento da dinâmica dos processos abióticos e bióticos da Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Nordeste do Brasil.

O Programa REVIZEE, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA), através da Secretaria de Coordenação dos Assuntos do Meio Ambiente (SMA)/Departamento de Gestão Ambiental (DEGAM), destina-se a proceder ao levantamento dos potenciais sustentáveis de captura dos recursos vivos na Zona Econômica Exclusiva (ZEE). Os resultados obtidos, além de habilitarem o Brasil ao atendimento das disposições da Convenção das Nações Unidas sob o Direito do Mar, no que se refere aos recursos vivos, também permitirão o reordenamento do setor pesqueiro nacional, com base em dados técnico-científicos consistentes e atualizados (PROGRAMA REVIZEE, 1996).

Este programa, “Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva –REVIZEE”, originou-se a partir de duas linhas básicas de motivação:

A primeira decorre do compromisso assumido pelo Brasil, quando da ratificação da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, que atribui aos países costeiros direitos e responsabilidades quanto à exploração, conservação e gestão dos recursos vivos de suas ZEEs. Isso implica, antes de tudo, no conhecimento dos recursos disponíveis e na avaliação de seus potenciais sustentáveis, informações fundamentais para a definição de políticas racionais de gerenciamento.

A segunda linha de motivação tem origem na própria dinâmica interna e na evolução da atividade pesqueira nacional.

A oceanografia química deverá prover informações sobre as propriedades químicas das águas e de seu potencial produtivo, que subsidiem a compreensão da dinâmica dos recursos vivos na ZEE, identificando prováveis desequilíbrios no ambiente marinho e, conseqüentemente, alterações na biodiversidade destes

ecossistemas. Sendo este trabalho uma contribuição ao conhecimento dos processos dinâmicos que controlam e/ou regulam os processos de fertilização na região oceânica da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil.

1.2 Síntese dos Ciclos do Fósforo e do Nitrogênio

Os grupos fosfatos são elementos estruturais básicos dos ácidos nucleicos, participando ativamente nos processos energéticos dos seres vivos, como elemento fundamental no metabolismo, principalmente dos organismos-base da cadeia orgânica. É importante no armazenamento de energia, na forma da molécula ATP, e participa na estrutura da membrana celular através dos fosfolípidos. No que se refere aos ecossistemas naturais de superfície, estes elementos assumem um papel fundamental na dinâmica do estado trófico do sistema, já que se trata de um dos nutrientes que pode agir como fator limitante à produtividade primária.

Do ponto de vista de modelagem matemática, muitas são as maneiras de representar o ciclo do fósforo em ecossistemas aquáticos. CHAPRA e RECKHOW (1983), por exemplo, identificaram até oito subdivisões possíveis para avaliar a cinética e as interações entre as diversas formas do elemento presentes em sistemas naturais. Já numa classificação mais simplista, COLE (1975) divide o fósforo total em duas categorias principais: fósforo orgânico e fósforo inorgânico dissolvido. De acordo com o mesmo autor, a porção orgânica seria aquela presente nos componentes bióticos do sistema (peixes, zooplâncton, algas, etc.) ou mesmo no material orgânico ainda não mineralizado (matéria orgânica dissolvida, detritos e sedimento orgânico). Tal fração seria transformada em fósforo inorgânico dissolvido a partir da mortalidade e/ou excreção dos componentes vivos, com posterior decomposição bacteriológica.

O enriquecimento excessivo de fósforo no meio líquido pode estimular a produção primária fitoplanctônica. Tal situação leva a um maior consumo de nutrientes nas camadas superficiais de reservatórios, lagos e oceanos. No caso específico do carbono inorgânico, o déficit provocado pela ação fotossintética das algas induz um afluxo de CO₂ a partir da atmosfera. Essa nova quantidade de carbono poderá então ser absorvida pela comunidade viva, sendo dessa forma incorporada ao sistema. SCHINDLER (1985) demonstrou, através de experiências com o enriquecimento

programado de lagos por fósforo (H_3PO_4), que a razão C:P permaneceu aproximadamente constante ao longo de anos de fertilização, apesar de não ter sido lançada propositalmente qualquer forma de carbono ao sistema. Segundo este autor, a mesma constância foi observada para o nitrogênio em relação ao fósforo, ou seja, N:P, evidenciando-se a fixação do nitrogênio atmosférico por algas cianofíceas como um possível mecanismo de introdução desse nutriente em sistemas naturais.

Em sua forma orgânica, o fósforo poderá ser carregado para as camadas mais profundas através da adsorção a sólidos em suspensão seguida de sedimentação, ou mesmo através da formação de compostos particulados, como no caso do ortofosfato de ferro. Os mecanismos de arraste de fósforo inorgânico às camadas inferiores estarão sujeitos à ação de processos de mistura vertical decorrentes da ação do vento, resfriamento convectivo, mecanismos de ressurgência/subsidência, etc. Conseqüentemente, isto poderá provocar ou não uma ressuspensão à zona fótica, tornando-o novamente passível de absorção pela comunidade fitoplanctônica.

Caso o fósforo carregado alcance o fundo, o mesmo poderá ficar acumulado no sedimento. Sob condições de anaerobiose, o fósforo será liberado do sedimento, podendo novamente ser transportado por ação física às camadas superiores. Análises de campo e laboratório confirmam a hipótese de que sedimentos anóxicos se comportam como uma fonte constante de nutrientes para a coluna de água de sistemas rasos. Isto os torna fundamentais à compreensão dos mecanismos de sedimentação e liberação anaeróbica de fósforo inorgânico em estudos da evolução do estado trófico de sistemas naturais, sujeitos a elevadas demandas bentônicas de oxigênio (HENDERSON-SELLERS, 1984).

Da mesma forma que o fósforo, o nitrogênio é um importante elemento estrutural presente nos aminoácidos, não exercendo, entretanto, tanta influência no metabolismo energético das células como os grupos fosfatados. Sua importância na dinâmica do ciclo bioquímico na água advém, entre outros, de sua participação como um dos nutrientes fundamentais à produção primária, podendo existir situações em que a escassez chegue a inibir o crescimento fitoplanctônico, agindo dessa forma como fator limitante.

As principais formas de nitrogênio presentes em corpos de água são: nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e gás de nitrogênio. O nitrogênio orgânico encontra-se na composição dos organismos vivos do ecossistema, bem como no material orgânico ainda não mineralizado. Este pode ser regenerado a nitrogênio amoniacal através de processos relacionados com a excreção de seres nectônicos e do zooplâncton, como da decomposição bacteriológica de plantas e animais mortos.

Já como composto inorgânico, o nitrogênio amoniacal, em ambiente aeróbico, será oxidado a nitrito-N e posteriormente a nitrato-N, através da ação de bactérias capazes de obter energia a partir dos processos de nitrificação. Do mesmo modo que o fósforo inorgânico, parte do nitrogênio amoniacal deverá ser carregada ao fundo pela adsorção aos sólidos suspensos e sua posterior sedimentação. Este mecanismo de afundamento poderá ser inibido, ou mesmo revertido, pela ação de correntes ascendentes ou de processos de mistura vertical gerados pelo atrito superficial do vento, resfriamento convectivo, etc.

As formas de nitrogênio amoniacal e nitrato-N são nutrientes básicos utilizados por algas e macrófitas na produção primária, sendo portanto o caminho inicial para a reciclagem aos compostos orgânicos.

A fração amoniacal carregada ao fundo ficará acumulada no sedimento até que se estabeleçam condições de anaerobiose, quando poderá ocorrer liberação bentônica com nova fertilização da coluna de água. Ainda sob condições anóxicas, o nitrato poderá servir como aceptor de elétrons para algumas espécies de bactérias facultativas, num mecanismo conhecido por desnitrificação. Trata-se do caminho aproximadamente inverso da nitrificação, sendo o principal resultado a formação de gases de nitrogênio (N_2 e N_2O), que poderão retornar à atmosfera através de trocas gasosas através da interface ar-água.

A Figura 1.1 apresenta um esquema simplificado relacionando as principais variáveis de estado e mecanismos influentes na dinâmica trófica e na qualidade da água de sistemas aquáticos superficiais.

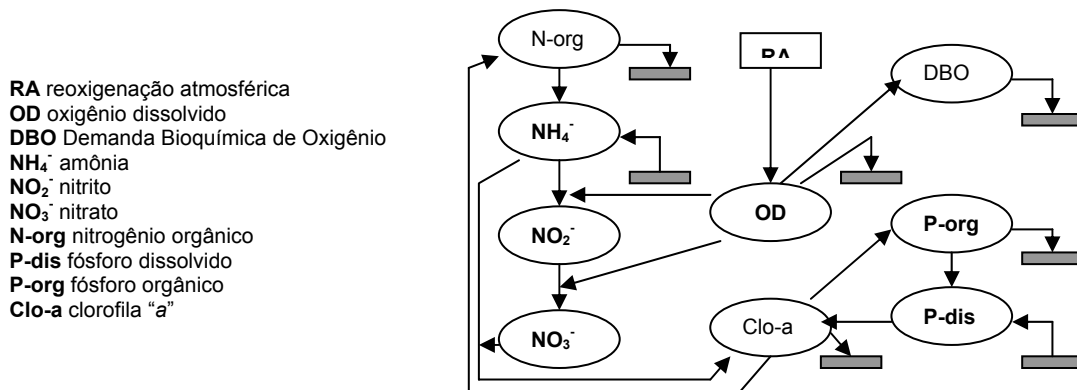


Figura 1.1. Principais variáveis de estado e mecanismos influentes na dinâmica trófica e na qualidade da água de sistemas aquáticos superficiais. Adaptado de RIBEIRO e ARAÚJO (2002).

1.3 Base Conceitual

As propriedades físicas, químicas e biológicas da água na camada fótica, estão sujeitas a diversas influências de origem meteorológica, ao contrário das águas mais profundas que não sofrem este tipo de influências, o que lhe permite uma maior estabilidade.

O papel dos nutrientes em limitar a produção primária no mar é largamente reconhecido. A produção fitoplanctônica em mar aberto, está basicamente controlada pela disponibilidade dos nutrientes e pela luz, além de outros fatores físicos como a turbulência e a sedimentação. A disponibilidade dos nutrientes por sua vez, é função de fatores físicos (principalmente em áreas oceânicas), como a difusão turbulenta, processos advectivos, a sedimentação do próprio fitoplâncton e também de complexos processos químicos de mineralização, processos estes quase sempre subestimados em muitos estudos teóricos e experimentais (COSTA, 1996). A quantificação da distribuição geográfica da mistura interna e a determinação dos efeitos dessa mistura nas estruturas física, química e biológica, são a chave da pesquisa dentro da oceanografia (SHARPLES et al., 2001).

Nas regiões tropicais e subtropicais, o início da termoclina (zona de variação brusca da temperatura) se localiza aproximadamente, na mesma profundidade da base

da zona fótica, formando assim, a termoclina, uma barreira física que restringe o transporte dos nutrientes existentes nas camadas inferiores mais ricas, que viriam a substituir aqueles consumidos pelo fitoplâncton na camada homogênea (MEDEIROS et al. 1999).

Segundo DUGDALE (1976), na camada superior com baixas concentrações de nutrientes existe uma correlação positiva entre a produtividade fitoplanctônica e a concentração do nutriente limitante, pelo qual este autor define 2 regiões distintas:

- 1- uma camada fótica inferior, onde a luz é menos disponível que os nutrientes, sendo portanto, o fator limitante
- 2- uma camada fótica superior, onde a luz é adequadamente disponível, porém a concentração de nutrientes é reduzida, sendo este o fator limitante.

Isto resulta em camadas limitadas pela luz e camadas limitadas pelos nutrientes.

O nutriente limitante em águas costeiras e oceânicas é o nitrogênio (GILBERT, 1988) o qual tem uma depleção mais rápida que os outros nutrientes e geralmente está presente em baixas concentrações (BURFORD e ROTH LISBERG, 1999). A relação atômica N:P de 16:1, definida por REDFIELD (1958), poderá ser um requisito para o crescimento ótimo do fitoplâncton.

Em áreas com processos advectivos, vórtices etc., com substituição de massas de águas, é improvável que o nitrogênio venha a limitar a produção líquida (SMITH, 1984).

MARAÑÓN e outros (2000) relatam que nas regiões oligotróficas dos oceanos, o suprimento de nutrientes inorgânicos para a camada fótica poderá limitar as concentrações de biomassa fitoplanctônica, as taxas de crescimento ou ambas. Nos giros oceânicos centrais é geralmente considerado que as populações fitoplanctônicas são limitadas pelos aportes de nutrientes. Porém, uma solução definida para a questão de se a taxa de crescimento do fitoplâncton é ou não limitada pelos nutrientes nos principais giros subtropicais dos oceanos, permanece indefinido após décadas de debates (EPPLEY et al., 1973; GOLDMAN et al., 1979; PLATT e HARRINSON, 1985; LAWS et al., 1987; FALKOWSKI et al., apud MARAÑÓN et al, 2000; BANSE, 1995).

Altas taxas de crescimento de fitoplâncton podem ser suportadas em águas com depleção de nutrientes se existir uma estreita sincronia entre a regeneração de nutrientes e sua utilização pelas microalgas (McCARTHY e GOLDMAN, 1979). Por

outro lado, a relação medida entre a taxa de predação e abundância planctônica, é relativamente mais baixa que a do rápido crescimento fitoplanctônico (JACKSON, 1980).

A observação de que a composição da matéria orgânica particulada (MOP) nos oceanos segue aproximadamente a relação Redfield, tem sido levantada como evidência pela falta de limitação por nutrientes no crescimento do fitoplâncton (GOLDMAN et al., 1979), apesar de que a interpretação dos dados sobre a composição da MOP em área com depleção de nutrientes é confusa devido aos elevados aportes de detritos e biomassa bacteriana (FURHMAN et al., 1989; MALONE et al., 1993).

Segundo o ponto de vista de GOLDMAN e outros loc. cit., as regiões oligotróficas poderão ser consideradas como altamente balanceadas num sistema quase em equilíbrio, onde a taxa de crescimento do fitoplâncton (μ) está próxima ao valor máximo ($>1 \text{ d}^{-1}$).

Neste cenário, a variabilidade temporal da produtividade é pequena e o zooplâncton seria o principal fator que controlaria totalmente a predação e a regeneração de nutrientes (BANSE, 1995). Por outro lado, quando da depleção de nutrientes, que provoca baixas taxas de crescimento fitoplanctônico ($<0,3 \text{ d}^{-1}$), eventos com enriquecimento de nutrientes (GLOVER et al., 1988) poderão contribuir para uma fração maior de produção primária anual (PLATT e HARRINSON, 1985). Conseqüentemente, se espera grande variabilidade temporal de produtividade e uma relação não estreita entre produção de biomassa e consumo, afetando a taxa de exportação do sistema (KARL et al., 1996).

Uma implicação adicional é que a necessidade fisiológica do nutriente, deverá ser incorporado num modelo global de produção (FALKOWSKII et al., apud MARAÑÓN et al., 2000).

MARAÑÓN e outros loc.cit. colocam em seu estudo que os primeiros trabalhos informando a baixa produtividade no giro oceânico subtropical, estão sendo considerados errados por alguns pesquisadores, devido a uma deficiência metodológica. Entretanto, trabalhos conduzidos em águas oligotróficas usando uma metodologia mais recente, apresentam uma grande variação nas taxas de produção e crescimento fitoplanctônico como apresentado por MALONE e outros, LETELIER e outros, apud

MARAÑÓN e outros (2000), indicando que as medições iniciais não estariam completamente subestimadas.

Diversos autores relatam que a comunidade microbiana é uma parte importante no ecossistema pelágico. Sua formação trófica é constituída por um diverso grupo microbiano, definido tecnicamente como picoplâncton (células que passam através de um filtro com 2 μm de porosidade), que compõe o alimento de pequenos protozoários predadores (AZAM et al., POMEROY, SHERR e SHERR, apud ZUBKOV et al., 1998).

METZLER (1996) e LI e outros (1983), reportam que o picoplâncton marinho, composto por organismos $<1 \mu\text{m}$ é abundante em todos os oceanos como relatado por STOCKNER e ANTIA, FOGG, apud METZLER (1983) e inclui organismos autotróficos eucariontes e procariontes (cianobactérias), assim como organismos heterotróficos, principalmente bactérias heterotróficas. Os autótrofos picoplânctônicos podem representar até 90% da concentração de clorofila da comunidade planctônica (SELMER et al., 1993; TAKAHASHI e HORI, 1984; PROBYN, 1985; JIAO e WANG, 1994) e podem ser responsáveis por 20 a 80% da produção primária total (JOINT e POMROY, 1983; LI et al., 1983; TEIXEIRA e GAETA, 1991).

Suas dimensões, uma grande razão superfície:volume, um pequeno raio de curvatura e a pequena distância entre eles resultam em um fluxo potencial de nutrientes maior do que é requerido para manutenção das taxas máximas de crescimento. Um organismo micropelanctônico com consumo de nutrientes menos eficiente pode, presumivelmente, sobreviver apenas quando as concentrações de nutrientes no meio superarem aquelas requeridas pelo picoplâncton (FOGG, 1995).

Os organismos heterotróficos do picoplâncton, ou seja, as bactérias heterotróficas, foram tratados durante longo tempo, principalmente, como remineralizadores, mas estudos mais recentes mostraram que estes organismos podem também ser um grande depósito de carbono e nitrogênio (HARRISON, 1978; HARRISON et al. apud METZLER, 1997).

Espécies fitoplanctônicas grandes ($>50 \mu\text{m}$), particularmente diatomáceas, são geralmente encontradas em número secundário através da camada fótica oceânica. Por outro lado, quando respondem a um episódio de aporte de nutrientes através da

nutriclina na base da camada fótica, esses fototróficos podem fazer uma grande e desproporcional contribuição para a nova produção primária (GOLDMAN, 1993).

GOLDMAN, 1988, tratou de esclarecer dois pontos importantes sobre o grande fitoplâncton que geralmente é negligenciado: primeiro, a biomassa de uma célula fitoplanctônica grande equivale a muitas células pequenas. Por exemplo, uma diatomácea esférica com 100 μm tem um conteúdo de carbono igual a $\approx 5 \times 10^4$ células de cianobactérias. E segundo, uma pequena cepa de grandes células responde rapidamente a um episódio de aporte de nutrientes através da base da camada fótica podendo contribuir imensamente com a produção nova anual.

Na camada fótica, os organismos fitoplanctônicos consomem os nutrientes e são consumidos pelo zooplâncton, que excretam produtos nutritivos os quais direta ou indiretamente são assimilados pelo fitoplâncton. Além desta matéria orgânica, existe a originada pelo fitoplâncton através da lise, exudação ou mortalidade, que pode ser remineralizada *in situ* pelas bactérias, o que é chamada de produção reciclada ou regenerada (METZLER, 1996).

Da entrada de nutrientes na camada fótica, a partir de camadas profundas via difusão turbulenta e/ou advecção, ou aportes através da atmosfera ou rios, depende a produção nova (COSTA, 1996; METZLER, loc. cit; METZLER et al., 1997; MARAÑÓN et al., 2000). A chegada de nutrientes à camada fótica, o nitrato por exemplo, através da nitraclina, é um fator importante na produção nova. A interseção da nitraclina com o limite inferior da zona fótica, implica um aumento nos processos de assimilação, regeneração e transporte físico (WARD et al., 1989).

Segundo GARSIDE e GARSIDE (1995), em regiões que passam por aportes periódicos de nutrientes novos das camadas mais profundas é possível que exista uma relação funcional entre nutrientes, temperatura e salinidade.

SMITH (1978), LEE e outros (1981) e ATKINSON e outros (1982) recomendam que as distribuições das concentrações dos nutrientes podem ser previstas usando as relações destes nutrientes com parâmetros físicos.

EPPLEY e outros (1979), têm usado a relação entre a produção nova e total (f_t -nitrato) para estimar a possível contribuição dos coeficientes de difusão horizontal ao fluxo de nitrato no sul da Califórnia e na costa sudeste do Brasil, METZLER (1996) também a utilizou para identificar a importância da produção regenerada.

Devido ao importante papel dos nutrientes dentro dos processos oceânicos, desde que entram no ciclo da vida não só como limitantes dos produtores, dos consumidores e decompositores (VALIELA, 1984), é de suma importância que os resultados das análises químicas destes elementos sejam precisos e confiáveis.

A confiança nos resultados das concentrações dos nutrientes em áreas oceânicas, tem sido um grande problema em Oceanografia Química, dedicando-se numerosos trabalhos de investigação à determinação de metodologias químicas mais adequadas. De acordo com WERNIMONT (1985) o problema principal seria determinar que variabilidade deveria ser minimizada.

A existência de uma profundidade de clorofila *a* máxima (PCM), que é uma característica largamente distribuída pelos oceanos, representa o fato mais concreto na distribuição vertical das variações biológicas, e pode ser formada por uma variedade de mecanismos que incluem: acumulação de células nas camadas de água; taxa diferenciada de predação pelo zooplâncton; fotoaclimatação fisiológica, aumento da taxa de crescimento de biomassa próximo à nutriclina, aumento celular da quantidade de clorofila *a*; agregações comportamentais das populações fitoplanctônicas. Isto pode variar significativamente de acordo com as épocas do ano, fenômenos físicos ocasionais e características biológicas individuais (CULLEN, 1982; GOULD, 1987; REVELANTE e GILMARTIM, 1995; EDIGER e YILMAZ, 1996; KARLSON, 1996; MEDEIROS et al., 1999; MOURA et al., 1998, 1999, 2000; MARAÑÓN et al., 2000).

Apesar de formas regeneradas de nitrogênio como amônia, uréia e outros compostos orgânicos serem consideradas as principais fontes para a produção do fitoplâncton, é a taxa de suprimento de nitrogênio novo (fluxo de difusão) que em última análise determina a quantidade de produção disponível para exportação para níveis tróficos superiores (DUGDALE e GOERING, 1967) e o fluxo de nitrogênio orgânico para fora da zona fótica (EPPLEY e PETERSON, 1979).

A condição de relativa estabilidade entre os processos físicos e biológicos no Oceano Atlântico tropical, o caracteriza hidrológica e biologicamente como parte da “estrutura típica tropical”, com uma camada superficial estratificada, uma nutriclina profunda, baixas concentrações de clorofila *a* e produtividade primária mínima, (HERBLAND e VOITURIEZ, 1979, EDIGER e YILMAZ, 1996; CULLEN, 1982), podendo esta estrutura ser modificada por processos físicos.

Segundo a definição de CRANK (1956), a difusão turbulenta é o processo pelo qual a matéria orgânica é transportada de uma parte do sistema para outro, como resultado de movimentos aleatórios. Diversos autores têm calculado o coeficiente de difusão turbulenta em áreas oceânicas, observando que os valores variam em relação à estabilidade da coluna de água (KING e DEVOL, 1979; PARKER, 1982; OSBORN, 1980; TAYLOR, 1988).

O transporte físico de nitrato através da nitraclina é a principal fonte de nitrogênio para a produção nova do fitoplâncton na camada superficial oceânica (LEWIS et al., 1986; CARR et al., 1995; LAW et al., 2001). Presume-se que o nitrato é formado nas camadas profundas e ressurge à zona fótica onde é rapidamente consumido pelo fitoplâncton. A regeneração *in situ* do nitrogênio na camada fótica, resulta primeiramente em amônia, a qual é rapidamente incorporada ao ciclo da matéria orgânica pelo fitoplâncton, por ser a forma preferencial de nitrogênio. Assim é normal existir apenas em baixas concentrações, principalmente quando se torna a principal fonte de nitrogênio inorgânico (WARD et al., 1989).

O fitoplâncton sofre influência do fluxo de difusão, tanto pela disponibilidade dos nutrientes como também pela taxa de sedimentação dos organismos fitoplanctônicos. As concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos aumentam a partir do final da camada de mistura, ou início da nutriclina e para alguns autores, nesta profundidade existe uma redução brusca da taxa de sedimentação (com maior quantidade de nutrientes e menor disponibilidade de luz), induzindo uma adaptação do fitoplâncton às condições existentes nesta profundidade, inclusive uma divisão celular. Assim, o fitoplâncton prolongaria o tempo de permanência nesta área rica de nutrientes e reduziria este tempo na camada superficial (LANDE e WOOD, 1987). JOSEPH e outros (1997) relatam que algumas diatomáceas teriam a capacidade de descer até a camada disfótica para captar nutrientes e voltariam à camada fótica para realizar a fotossíntese.

No meio das diversas evidências e discussões sobre a produção nova vs produção regenerada, MARAÑÓN e outros (2000) afirmam existir uma carência de conhecimento sobre a variabilidade temporal e espacial da biologia nos oceanos. EPPLEY (1981) recomenda que as variações horizontais e temporais precisam ser

definidas antes que alguma generalização sobre a taxa de crescimento do fitoplâncton possa ser desenhada.

Porém, programas de pesquisas sobre series temporais não tem resolução espacial (LOHRENZ et al., 1992; KARL e LUKAS, 1996), e o inverso acontece. Um estudo com larga escala espacial geralmente não inclui um comportamento temporal (GEIDER et al., 1993; OLAIZOLA et al., 1996).

Através do presente trabalho procuramos fazer um aporte ao conhecimento dos principais processos dinâmicos de natureza física e química que acontecem na área sul da região oceânica do Nordeste do Brasil em diferentes épocas do ano, procurando determinar qual a influência que exercem sobre a biomassa primária e a indicação sobre o grau trófico da região, através de indicadores físicos, químicos e biológicos, uma vez que da produção fitoplanctônica que é a base da cadeia alimentar, dependerá a produção pesqueira local.

1.4 Objetivos

Os objetivos específicos deste estudo foram os seguintes:

- Determinar as propriedades físicas e químicas das massas d'água até 500 m de profundidade (Água Tropical Superior –ATS- e Água Central do Atlântico Sul –ACAS-), da área Oceânica Sul da Região Nordeste e o grau de inter-relação destas com os produtores primários, em diferentes níveis de profundidade, incluindo suas variações sazonais;
- Identificar os mecanismos de fertilização e determinar a frequência e intensidade dos mesmos;
- elaborar um modelo preditor com a finalidade de determinar as concentrações dos nutrientes em profundidades não amostradas e/ou poder detectar possíveis erros de coleta ou instrumentais nos trabalhos futuros a serem realizados.

-determinar qual a influência do fluxo de difusão dos nutrientes sobre a biomassa do fitoplâncton para a ZEE-NE, e o tipo de produção primária predominante.

Baseados nestas prerrogativas o objetivo da primeira parte deste trabalho, foi avaliar através de testes estatísticos, os resultados analíticos de diversas campanhas oceanográficas, a fim de caracterizar a região oceânica sul da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil ZEE-NE, poder definir o grau de variação espacial e temporal que aconteceu nesta área e apresentar resultados básicos sobre a dinâmica entre fatores físicos, químicos e biológicos característicos desta região, usando conceitos oceanográficos.

A partir dos resultados da primeira parte do trabalho, foram selecionados os dados mais consistentes para efetuar um estudo sobre a possível influência do fluxo de difusão dos nutrientes através da nutriclina, sobre a biomassa primária (produção nova). Levando-se em consideração que a coluna de água estratificada impede a mistura de água superficial e profunda, as fontes de nutrientes em áreas oceânicas se restringem a mineralização *in situ* e ao transporte através da termoclina. Em resumo, o objetivo desta segunda parte do projeto foi efetuar um estudo da fertilidade superficial na coluna d'água estratificada em relação à biomassa primária, usando os dados dos cruzeiros oceanográficos selecionados e determinar a evolução temporal desta fertilidade. Os fluxos de difusão foram comparados com os dados de biomassa primária, para determinar a importância da produção nova local, como também identificar qual foi o nutriente que teria mais influência nesta produtividade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Oceanografia no Brasil teve seu início na década de 1950, quando as ciências do mar evoluíram sobremaneira, principalmente no que se refere à instrumentação e metodologia de coleta e processamento de dados, ao nível de compreensão teórica, no número de cientistas e instituições envolvidas e ao aporte de recursos financeiros, sem os quais as pesquisas oceanográficas não poderiam ser desenvolvidas. Por outro lado, um fator decisivo para este desenvolvimento, tem sido o apoio da Marinha do Brasil, através da sua Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e o Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), colocando à disposição da comunidade científica navios para pesquisas oceanográficas e um banco de dados com os resultados obtidos através dessas comissões.

Em nosso país, infelizmente, são poucas as instituições que contam com os meios flutuantes devidamente equipados e com pessoal treinado para conduzir as pesquisas oceanográficas dentro do rigor exigido. A grande maioria das informações ainda permanece ao nível estrutural, com simples descrições da distribuição qualitativa de propriedades básicas, tal como a temperatura, a salinidade, o pH, o oxigênio dissolvido, os nutrientes dissolvidos e a clorofila *a* (NIENCHESKI et al., 1996).

No Nordeste do Brasil, a pesquisa oceanográfica se iniciou com a fundação do Instituto de Biologia Marinha e Oceanografia, em 1952, em Pernambuco, atual Departamento de Oceanografia da UFPE, com publicações dos resultados das pesquisas a partir de 1959, quando sob a orientação de F. OTTMANN foram abordados temas sobre a penetração, a estratificação e o deslocamento da maré salina no estuário do Rio Capibaribe-PE, associando ao estudo análises das variações do pH, do oxigênio e da turbidez. Foram também desenvolvidos trabalhos sobre a origem dos recifes do nordeste brasileiro, sobre Atol das Rocas, sobre os sedimentos nos Portos de Recife-PE e Cabedelo-PB, Barra das Jangadas-PE; perfis da Praia de Piedade e efeitos da poluição sobre a ecologia do estuário Barra das Jangadas-PE.

Vale ressaltar que, a grande maioria dos trabalhos produzidos pelos centros de pesquisa do nordeste, aborda as regiões estuarinas, seguidas de publicações sobre a

plataforma continental. Demais publicações abordam praias, mangues, rios e composição química de algas, camarões, moluscos e peixes.

Para os objetivos do presente trabalho, foram poucas referências encontradas para a região que venham a servir de orientação ou comparação, sendo os trabalhos a seguir, os que fazem referência à região oceânica e costeira do Nordeste do Brasil:

No ano de 1960, T. OKUDA faz a sua primeira contribuição à Oceanografia abordando o Oceano Atlântico Sul adjacente à região nordeste do Brasil, enfocando as relações entre temperatura e salinidade e a influência de fatores meteorológicos nas mesmas, os níveis de oxigênio, fosfato, fósforo total e nitrato e estabeleceu as relações O:N:P. Para tal utilizou dados coletados durante uma comissão oceanográfica do N. Oc. “Almirante Saldanha”, entre agosto e outubro de 1959. SILVA (1960) apresenta um estudo das condições oceanográficas na região profunda a noroeste de Natal-RN.

Em 1963, T. OKUDA e L. B. CAVALCANTI apresentaram nova contribuição sobre as áreas de plataforma e oceânica, localizada ao nordeste de Natal-RN. Comentaram sobre as condições oceanográficas nesta área, indicando que tais condições sofrem grande influência das mudanças sazonais e meteorológicas. Nesta região, o fundo apresentou-se bastante acidentado, aflorando ilhas e rochedos, os quais afetam as condições oceanográficas, podendo provocar ressurgências das águas de profundidade moderada. Como consequência desta ressurgência, esta zona possui um grande valor pesqueiro, especialmente para a pesca do atum.

Depois de 4 anos, em 1967, L.B. CAVALCANTI, P. A. COELHO, M. KEMPF, J. M. MABESONE e O. C. da SILVA forneceram dados sobre a topografia, a temperatura, a salinidade objetivando determinar as possibilidades para a pesca na plataforma continental de Sergipe e Alagoas.

Já em 1970, no Estado do Ceará, A.A. FONTELES-FILHO e S. KURISAKA apresentaram um estudo correlacionando as condições oceanográficas da plataforma do litoral nordeste do Brasil, como posição geográfica, direções e velocidades das correntes e ventos, profundidade, fases lunares, com as variações na captura total do peixe caribenho “Red Snapper” (Pargo). No mesmo ano, L.B. CAVALCANTI e M. KEMPF apresentam um estudo na plataforma continental na área do Recife, abordando aspectos sobre a meteorologia e hidrologia, salientando o efeito das chuvas e das secas nas variações da salinidade do estuário e zona costeira.

Só após 6 anos (1976), M.A. OLIVEIRA abordou sobre a distribuição da matéria orgânica na plataforma continental do Ceará. Concluiu que na faixa batimétrica estudada, os teores de carbono orgânico e matéria orgânica nos sedimentos aumentaram com a profundidade, sendo que os baixos teores de matéria orgânica nas áreas mais rasas decorreram da proximidade da zona de arrebentação. Verificou que as argilas são mais ricas nestes elementos do que nas frações arenosas.

No ano seguinte (1977), há uma publicação por J. A. A. MELO FILHO, apresentando um estudo sobre a degradação ambiental, caracterizando o a situação da área para o Porto de Suape, sob o ponto de vista da poluição ambiental.

Algumas publicações pelo LABOMAR-CE, vêm complementar estudos anteriores, em 1978, A. MAGLIOCCA apresentou resultados sobre a distribuição da camada mínima do oxigênio na costa leste do Brasil, indicando que nas proximidades do Equador (7°S) a concentração mínima é muito melhor definida do que na região compreendida entre as latitudes de 18-22°S e que essas concentrações são o resultado de processos bioquímicos e físicos, devido a presença da Corrente do Brasil (água pobre em nutrientes) e da Água Antártica Intermediária (água rica em nutrientes). Em 1979, E. ANDRADE; G. S. S., FREIRE e M. A. OLIVEIRA efetuam um estudo geoquímico nos platôs marginais dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte, sobre a constituição dos sedimentos observados e a origens dos mesmos.

Só após 4 anos, em 1983, M L. VIANNA avaliou a Sub-Corrente Equatorial Atlântica, a macro-fauna dos Penedos de São Pedro e São Paulo e a Barreira Tropical Meso-Atlântica, de uma forma bastante superficial .

A partir de 1984 houve uma série de publicações principalmente nos estados do Ceará e Pernambuco, neste ano G. S. S. FREIRE; M. A. de OLIVEIRA e E. de ANDRADE que abordaram sobre a distribuição da temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, relacionados às massas de água na região Atlântica entre 1-4° de latitude norte e 40-42° de longitude oeste. Identificaram as variações das massas de água na região e a localização da termoclina.

Em 1987, J. Z. O. PASSAVANTE, N. A. GOMES, E. ESKINAZI-LECA e F. A. N. FEITOSA avaliaram a variação da biomassa fitoplanctônica na plataforma continental norte de Pernambuco, constatando que a média anual obtida em cada estação do ano decresceu acentuadamente da região costeira para a mais oceânica.

A seguir, J. R. SOARES, 1989, abordou sobre a modelagem numérica da resposta das águas da plataforma continental do Estado do Ceará em relação a forçante do vento.

No mesmo ano, K. M. P. COSTA, C. M. QUEIROZ e S. J. MACEDO apresentaram trabalho sobre a variação das características físico-químicas da água da plataforma continental de Pernambuco e mostraram que a salinidade e a temperatura apresentaram um ciclo sazonal definido, mas que o oxigênio dissolvido e a DBO5 e ainda os nutrientes, apresentam variações irregulares. Na Paraíba, SASSI e MOURA descrevem a limitação de nutrientes para o fitoplâncton num recife de coral.

Em 1990 dois trabalhos vem a contribuir nos conhecimentos do litoral de Pernambuco, um apresentado por C. M. BONIFÁCIO que abordou sobre os parâmetros físico-químicos na plataforma continental de Itamaracá-PE, e o outro por M.G. RESSUREIÇÃO que apresentou a variação anual da biomassa fitoplanctônica na plataforma continental de Pernambuco, em um perfil em frente ao Porto do Recife e verificou alta concentração da feofitina, cuja origem está mais associada ao “grazing” do fitoplâncton do que à drenagem terrestre dos mesmos.

No ano seguinte, K. M. P. da COSTA estudou a hidrologia e biomassa primária da região nordeste do Brasil, entre as latitudes de 2°44’30” e 8°00’00” S e as longitudes de 35°56’30” e 31°48’00” W, e classifica a região, na sua camada superficial, como oligotrófica e mesotrófica. Também são publicados trabalhos de K. M. P da COSTA e S. J. MACÊDO que apresentaram uma avaliação sobre a hidrologia e as condições ecológicas na área do Porto do Recife, Pernambuco, e por V. ITTEKOT e L. D. LACERDA que apresentaram um trabalho sobre o ciclo do carbono e metais na plataforma compreendida entre Recife e Rio de Janeiro, considerando análises de água e sedimento e o aporte de água doce dos principais rios dessa região: São Francisco, Belmonte, Doce e Paraíba do Sul e as contribuições continentais provenientes da vegetação tropical costeira, como os manguezais.

Em 1992, R. T. MOURA apresentou um estudo abordando sobre a biomassa, produção primária e fatores ambientais na Baía de Tamandaré e Rio Formoso, e constata que a Baía de Tamandaré pode ser caracterizada como um ambiente oligotrófico, como também desprovida de poluição orgânica.

A partir de 1996, alguns trabalhos são apresentados dentro do Programa REVIZEE, sendo estes o de MACEDO, S. J.; FLORES MONTES, M. J. e outros, que publicaram resumo sobre os “Aspectos hidrológicos das regiões costeira e oceânica do Nordeste Brasileiro”, apresentando os primeiros resultados das coletas realizadas na 7ª Pernada do REVIZEE-1, concluindo que nesta área as águas são oligotróficas. Em 1997, F. M. F. ALBUQUERQUE, desenvolveu um estudo sobre a caracterização hidrogeoquímica do fósforo na Zona Econômica Exclusiva do Nordeste Brasileiro, e concluiu que na área estudada a água é pobre em fósforo, constituindo um fator limitante para a produtividade primária.

No ano de 1998 MACÊDO, S.J.; FLORES MONTES, M.J. e COSTA K.M., apresentaram resumo sobre as condições e químicas entre as latitudes 0,5° N e 13°S, e ZAGAGLIA, J.L.; ADVÍNCULA, R. e SCHOBER, J. no seu trabalho durante o JOPS-II, observaram a estrutura termohalina na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Nordeste do Brasil.

Em 1999, dentro do Programa JOPS II, um convênio Brasil-Alemanha, na área de plataforma e talude localizada entre Pernambuco e Ceará, C. MEDEIROS, S. MACÊDO, F. FEITOSA e M. L. KOENING apresentam os resultados sobre as condições hidrológicas, clorofila *a* e composição do nanoplâncton, enquanto que NEUMANN e outros, estudaram a composição e diversidade do mesozooplâncton. No setor oeste da Cadeia Fernando de Noronha e na Cadeia Norte do Brasil do nordeste brasileiro, P. TRAVASSOS, F. HAZIN e outros fizeram um estudo sobre a influência das ilhas oceânicas e montes submarinos na estrutura termohalina, observando uma variabilidade vertical nas isotermas e isohalinas sub-superficiais acima dos montes e bancos submarinos, não evidenciando alguma ressurgência. Durante o VIII COLACMAR é publicado um resumo expandido sobre a distribuição de nutrientes dissolvidos na região oceânica do nordeste brasileiro, por S. MACÊDO, M.J. FLORES MONTES e K. MUNIZ.

Em 2000, ADVÍNCULA, fez estudos sobre os elementos nutrientes na camada fótica da região oceânica entre Recife (PE) e Salvador (BA), observando uma distribuição espacial e mecanismos físicos influentes na fertilização das águas, descrevendo um modelo simplificado que relacionou a energia cinética turbulenta interfacial e a profundidade da camada de mistura, através da amplitude da onda. No

mesmo ano, I. GALVÃO descreveu o microplâncton durante o período de verão em toda a ZEE-NE e I. CARVALHO fez a descrição da alça microbiana na região do Arquipélago São Pedro e São Paulo, e ilhas e bancos oceânicos.

Em 2001, G. ALBUQUERQUE relacionou a precipitação pluviométrica do setor leste do Nordeste do Brasil com anomalias de temperatura da superfície do mar e ventos à superfície oceânica. Neste mesmo ano, H. BECKER descreveu o grau de fertilidade na região de ilhas e bancos oceânicos incluindo área do Arquipélago São Pedro e São Paulo, onde SILVA e ARAÚJO mediram a intensidade turbulenta na camada fótica na região dos bancos oceânicos do Nordeste do Brasil.

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA

A área de abrangência da presente proposta, região oceânica sul, está incluída na Zona Econômica Exclusiva da Região Nordeste (ZEE-NE), a qual, conforme previamente definido pelo programa REVIZEE, se estende de Salvador-BA à foz do Rio Parnaíba-PI, entre 12 e 200 milhas náuticas, em uma direção perpendicular à costa e desde a superfície até uma profundidade de 500 metros. A ZEE da Região Nordeste, possui uma linha de costa de 2.000km de extensão e uma área equivalente a 1.100.000 km², não se incluindo neste total a área de 200 milhas em torno dos Rochedos São Pedro e São Paulo, a qual corresponderia a 350.000 km². (Figura 3.1)

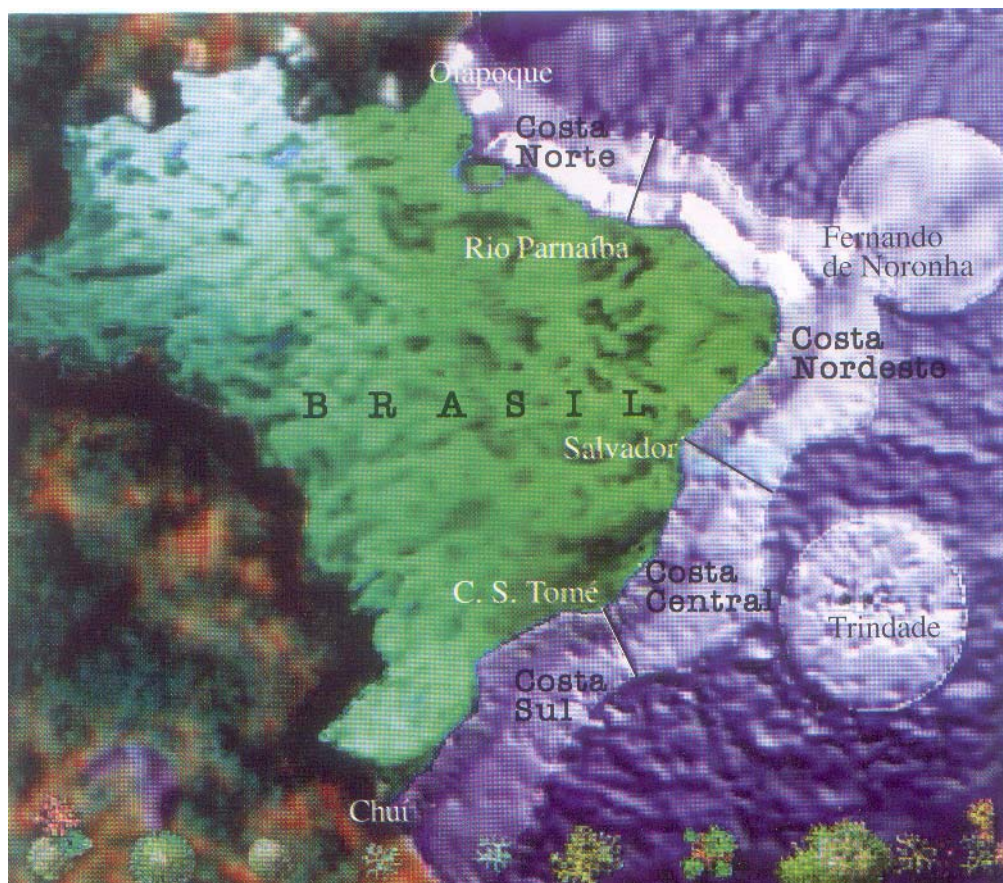


Figura 3.1. Mapa do Brasil com as Zonas Econômicas Exclusivas regionais.

A vasta extensão territorial da região Nordeste (1.540.827 km²) reflete um quadro climático bastante complexo, apresentando uma extraordinária variedade do ponto de vista da pluviometria (NIMER, 1972).

O regime sazonal de umidade do Nordeste, revela uma diversificação climática muito particular, coexistindo desde os climas superúmidos até o clima semi-árido, quase desértico.

3.1 Sistema de Ventos

O cinturão subtropical de alta pressão apresenta, em decorrência das estações do ano, pequenas modificações na sua posição, extensão e valores absolutos. Em fevereiro o anticiclone está centralizado próximo a 28° S - 10° W, ou seja, mais próximo da costa africana do que da brasileira. Já em agosto, período de inverno, o anticiclone é empurrado na direção norte pelo desenvolvimento de baixas temperaturas próximo da Antártica, e divide-se em dois centros, estando o mais importante situado próximo de 23° 30' S - 030° W, nesse caso, mais perto da costa brasileira do que da africana (DUXBURY e DUXBURY, 1996).

Entre o cinturão subtropical de alta pressão e a zona de calmaria equatorial, sopram os ventos alísios de sudeste; principal elemento da circulação anticiclônica do Atlântico Sul. Segundo COLMAN (1953) o sistema de ventos alísios é a característica climatológica mais regular e constante do mundo. Esses ventos podem ser observados, entre 35° S e o Equador durante o verão (fevereiro), e entre 30° S e 5° - 10° N, durante o inverno (agosto). Modificações sazonais sobre a posição e intensidade deste centro de alta pressão atmosférica associadas com anomalias na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) alteram o padrão de ventos, bem como a precipitação no nordeste do Brasil (BECKER, 2001).

3.2 Clima

A precipitação em diversas regiões tropicais é relacionada com às temperaturas da superfície do mar (TSM's) nos oceanos tropicais (ARAGÃO et al., 1994). Desse modo, os dois oceanos mais importantes para a região do NEB são o Atlântico, onde ocorre o fenômeno conhecido como Dipolo do Atlântico, e o Pacífico, onde é observado o fenômeno conhecido como "El Niño"/Oscilação do Sul (ENOS) (INFOCLIMA/SECTMA, 1998).

Na zona de calmaria equatorial (doldrums) as características são de uma região nublada e com alta precipitação (2000 mm/ano), enquanto que as áreas anticiclônicas (norte e sul), têm como características poucas nuvens, boa visibilidade e precipitação escassa (100-500 mm/ano). Com relação aos setores ocidental e oriental, a temperatura e a umidade são maiores nas regiões tropicais em sua porção oeste do que na porção leste (TCHERNIA, 1980).

Em anos recentes variabilidade e desvios do ciclo sazonal foram observados na interface ar-océano, provocando pesquisas e interpretações, resultando em duas formas de explicação:

Anomalias inter-hemisféricas da temperatura superficial do mar (TSM) – Dipolo Atlântico Tropical - afetam a posição e intensidade da ZCIT (zona de convergência intertropical) o que exerce uma grande influência sobre as chuvas do Nordeste e Saara (e.g. SERVAIN apud STRAMMA e SCHOTT, 1999). Quando a TSM ao norte do equador é positiva, a ZCIT se direciona para o norte, provocando seca no nordeste brasileiro e elevadas precipitações na região do Saara.

A segunda forma de variabilidade climática é semelhante ao El Niño/Oscilação do Sul (ENOS) do Pacífico, quando manifestações são localizadas próximas ao equador. Na fase quente da ENOS, os ventos alísios no Atlântico equatorial ocidental são fracos e as TSMs próximas ao equador são anormalmente elevadas, especialmente na bacia oriental. O contrário também acontece.

3.3 Sistema de Correntes

No hemisfério sul, abaixo da zona de calmaria equatorial (doldrums) forma-se uma grande corrente que flui no sentido leste-oeste, e que é resultado dos efeitos dos ventos alísios de sudeste. Esta corrente, denominada Corrente Sul Equatorial (CSE) é, dentre as demais, a mais forte, mais constante e extensiva, podendo ser observada desde 20° S a 2 - 3° N. A velocidade média é de 42,9 cm.s⁻¹, contudo esse valor aumenta em direção à costa oeste, começando com 30 cm. s⁻¹, próxima da África, e alcançando 100,0 cm.s⁻¹ nas proximidades da costa brasileira (TCHERNIA loc. cit.).

A ZEE-NE sofre influência da Corrente Sul Equatorial, com sentido E → W, que se bifurca na parte setentrional do Brasil, no litoral leste, entre 5° e 10°S,

originando o seu ramo norte a Corrente Norte do Brasil (CNB). O ramo sul forma a Corrente do Brasil (KEMPF et al., 1970, EVANS e SIGNORINI, 1985; STRAMMA e SCHOTT, 1999), que é uma corrente quente com temperatura média de 26° C, com fluxo sul-sudeste, e que corre paralela à costa nordestina durante todo o ano, apresentando também elevada salinidade (THOMSEN, 1962).

O transporte médio realizado pela CB é de $23 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e ocorre a uma profundidade de 100 m, aumentando com a proximidade da costa brasileira, para 200 m (TCHERNIA, 1980).

Quanto às massas de água, existem 5 massas que ocorrem na região: Água Tropical Superficial-ATS (0~100m), Água Central do Atlântico Sul-ACAS (100~500 m), Água Intermediária Antártica-AIA (500~1000 m), Água Profunda do Atlântico Norte-APAN e Água Antártica de Fundo-AAF.

A camada superficial do Atlântico Tropical é ocupada pela Água Tropical Superficial (ATS). Esta massa de água apresenta na parte superior, temperaturas de aproximadamente 27°C, onde está localizada a camada de mistura do Atlântico Tropical e o topo da termoclina. Na base da termoclina a temperatura para 15°C, e a isoterma de 20° C vem a representar o limite inferior da ÁTS. Nesta camada está localizado a água de salinidade máxima, (densidade $\sigma_\theta = 25,0$), aproximadamente a 100 m de profundidade, a qual é formada na transição tropical/subtropical por subducção (TOMCZAK e GODFREY, apud STRAMMA e SCHOTT, 1999) e avança em direção ao equador.

ADVÍNCULA (2000) relata que esta massa esteve limitada pela superfície e a profundidade mediana de 201,25 m, com temperaturas maiores que 20°C e salinidades acima de 36,0.

Por baixo desta camada são encontrados dois tipos de ACAS, uma menos densa que se origina no sudoeste da subtropical Atlântico sul e circula no círculo subtropical, enquanto que a mais densa se origina provavelmente ao sul do Atlântico sul e flui para o norte com a corrente de Bengüela e então para o oeste em direção ao Atlântico Tropical pela Corrente Sul Equatorial.

A ACAS ocupa a parte superior oceânica do Atlântico Sul sub-tropical e se direciona para o norte sob a ATS, apresentando um mínimo de oxigênio entre 300-500

m de profundidade, localizado na parte inferior da ACAS na região tropical, o que aqui indica, uma fraca renovação. Este mínimo de OD não forma uma camada contínua e em alguns casos consiste de dois mínimos.

A ACAS é transportada dentro da CSE em direção à costa brasileira, onde é conduzida para o equador com a subCorrente Norte do Brasil (sCNB) e a Corrente Norte do Brasil (CNB). A isopícnica $\sigma_\theta = 27,1$ a aproximadamente 500 m marca a transição entre a ACAS e AIA. A CSEs na camada da ACAS é localizada mais ao sul que na camada superficial.

Parte da Corrente Sul Equatorial sul (CSEs) retorna ao leste na Contra Corrente Sul Equatorial (CCSE), quando uma grande porção atinge a costa do Brasil ao sul dos 10°S, formando a sub-Corrente Norte do Brasil. A Corrente Sul Equatorial (CSEs) sul na altura entre 12° e 20° S, alimenta subcorrente Norte do Brasil (principalmente na profundidade da ACAS). Isto conduz a um fluxo leste da Contra Corrente Sul Equatorial, a qual retorna parcialmente recirculada na Corrente Sul Equatorial (CSEs) sul. Do Brasil, a CSEs forma uma corrente superficial intensificada, a Corrente Norte do Brasil, localizada ao oeste de 35°W, cruzando o equador na direção noroeste.

STRAMMA (1991) descreveu a Corrente Sul Equatorial sul (CSEs) como um fluxo extenso e lento entre 10° S e 25° S ao leste de 30° W. Somente a parte sul da CSEs muda para o sul dentro da Corrente do Brasil (CB) quando enriquece a costa brasileira entre 10° e 20° S, sendo ainda registrada por EVANS e SIGNORINI (1985), a existência desta corrente mais ao sul, entre 20° e 25°S mostrando um fluxo próximo à costa brasileira nos primeiros 400 m.

Na parte inferior da ACAS circula a Água Intermediara Antártica (AIA) localizada aproximadamente a 500 m de profundidade, e segundo REID apud STRAMMA e SCHOTT (1999) a presença desta massa de água no Atlântico sul é limitada ao sul pelo círculo subtropical, aproximadamente a 25°S, dirigindo-se em direção norte, ao oeste de 20°W e na altura de 20°S, concentrando próximo à costa brasileira a 15°S. Recircula em grande parte do Atlântico Sul tropical, sendo observado um fluxo na profundidade superior aos 400 m por EVANS e SIGNORINI loc. cit. Flutuadores na AIA indicaram também um fluxo próximo ao Brasil, exatamente ao leste da sub-corrente Norte do Brasil (BOEBEL et al., 1999).

Abaixo da Água Antártica Intermediária está a Água Profunda Circunpolar Superior (APCS), cujo limite norte está próximo ao equador, e apresenta concentrações máximas de fosfato e silicato e um mínimo de temperatura próximo aos 1000 m de profundidade. Estas duas massas têm fluxo direcionado do Atlântico Sul para o Atlântico Norte e a Água Profunda sempre desaparece próximo ao equador. Por baixo desta camada, entre os 1200 e 4000 m, corre a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).

3.4 Aspectos Geológicos

A plataforma continental nesta região é estreita e pouco profunda, estando o limite externo situado entre os 40 e 80 m de profundidade e largura mínima de 8 km em frente a Salvador-BA, não ultrapassando os 35 km.

O Nordeste não apresenta, de forma geral, recursos hídricos costeiros de grande magnitude, como o Amazonas, que provoquem grandes modificações hidrológicas, principalmente na plataforma externa, sendo o maior rio nesta região o rio São Francisco, entre os estados de Sergipe e Alagoas/Pernambuco.

O tipo de fundo característico da plataforma continental é aquele constituído essencialmente por fragmentos de algas calcárias Rhodophyceae, do grupo das Melobesias (Cocallenaceae), presentes sob a forma de pequenos talos ramificados ou de blocos de tamanhos variáveis. Os fundos calcários que em alguns compartimentos da plataforma vêm se desenvolvendo desde o Terciário, também sofrem pouca influência da circulação oceânica (KEMPF, 1970). As formações calcárias constituem um relevo irregular com parais e cabeços pontiagudos que atingem a superfície do mar. Somente material fino forma cobertura de areia calcária (de algas ou briozoários recifais) extremamente móvel (PALMA, 1984).

Além deste tipo de fundo, distingue-se ainda na plataforma, o fundo de areia quartzosa, o qual está representado por uma faixa muito reduzida de fração grosseira associada freqüentemente com pequenos blocos de algas calcárias, e o fundo de lama representado por pequenas manchas isoladas, sob a influência direta dos rios costeiros (KEMPF et al., 1970).

A seção leste da margem continental brasileira e fundo oceânico adjacente é considerada como compreendida entre um conjunto de falhas de grande amplitude e a zona de fratura de Fernando de Noronha, ao norte, e a cadeia de Vitoria-Trindade, ao sul. O limite externo da plataforma continental é de um modo geral paralelo à orla litorânea, com exceção das áreas do banco de Abrolhos (GORINI e CARVALHO, 1984).

O talude continental, que constitui uma encosta em geral estreita, se inclina na borda da plataforma até as profundidades variáveis de 1.600 a 3.600 m, ou seja, relativamente íngreme, comumente em torno de 11° de declividade (PALMA, 1984).

Em relação à planície abissal, as áreas são de relevo notavelmente liso, em decorrência de depósitos de sedimentos transportados em correntes de fundo. Neste local são encontradas as maiores profundidades da área oceânica adjacente ao Brasil: 5.600-5.700 m (PALMA loc. cit.).

Outras feições elevadas no relevo da região oceânica adjacente ao Brasil, são os montes submarinos que, a partir do talude continental até a cordilheira Mesoatlântica, distribuem-se por todas as províncias fisiográficas.

A cadeia de Fernando de Noronha, situada no sopé continental, é constituída por um só segmento de montes, com direção Leste-Oeste (GORINI e CARVALHO loc. cit.). Os montes elevam-se desde profundidades superiores a 400 m até quase a superfície. A cadeia estende-se do talude continental ao arquipélago, que é o topo de um monte submarino cuja base tem um diâmetro de 60 km aproximadamente. Alguns montes apresentam topo aplainado pela erosão marinha, formando banco tipo “guyots”. O Atol das Rocas é um dos bancos da cadeia com topo quase à superfície (PALMA loc. cit.).

Dois grandes platôs se apresentam no fundo oceânico adjacente na área nordeste do Brasil: o platô do Rio Grande do Norte e o de Pernambuco. O primeiro fica imediatamente ao sul da cadeia de Fernando de Noronha e é recoberto por mais de 1 km de sedimentos que mergulham suavemente em direção ao oceano. O platô de Pernambuco corresponde a uma área de embasamento (rochas magmáticas) com diversos picos aflorantes (GORINI e CARVALHO loc. cit.).

Devido à extensão das áreas e às características exclusivas da costa nordestina, a região total foi subdividida em setores e sub-áreas com maior grau de homogeneidade, como se segue (Figura 3.1):

Sub-área I - Plataforma e Talude Continental da ZEE:

Setor 1 - da Foz do Rio Parnaíba-PI ao Cabo Calcanhar-RN

Setor 2 - do Cabo Calcanhar-RN à Barra da Estância-BA

Sub-área II - Zona Oceânica:

Setor 1 - de 35° W à foz do Rio Parnaíba-PI

Setor 2 - a leste de 35° W e ao Norte de 5° S

Setor 3 - de 5° S a Salvador-BA

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Comissões, Meio Flutuante, Equipamento e Estações de Coleta.

Perfis perpendiculares à costa foram realizados em toda a extensão da região oceânica nordestina em 04 Comissões durante o Programa REVIZEE, denominadas de ZEE-NE-I, ZEE-NE-II, ZEE-NE-III e ZEE-NE-IV (Figura 4.2), realizadas entre agosto e outubro de 1995, 20 de janeiro a 14 de abril de 1997, 29 de abril a 20 de julho de 1998 e 26 de setembro a 04 de dezembro de 2000, e correspondendo às estações sazonais de inverno, verão, outono e primavera, respectivamente. Os dados referentes à Campanha Nordeste III foram cedidos cordialmente pela DHN, através do BNDO.

O meio flutuante utilizado foi o NOc Antares (Figura 4.1) pertencente à Marinha do Brasil, equipado com um sistema de coleta de dados e amostras de água, composto por um perfilador de Condutividade, Temperatura, Profundidade – CTD –, modelo SPE 11plus, fabricado pela Sea-Bird Electronics Inc (Figura 4.2), realizando leituras em tempo real. Acoplado ao CTD, uma rosete com garrafas oceanográficas tipo Niskin com capacidade para 5 e 10 L, realizava as coletas d'água na profundidade selecionada (Figuras 4.3 e 4.4).



Figura 4.1 NOc Antares (DHN).



Figura 4.2. Perfilador tipo CTD.



Figura 4.3. Rosette e garrafas oceanográficas tipo Niskin.

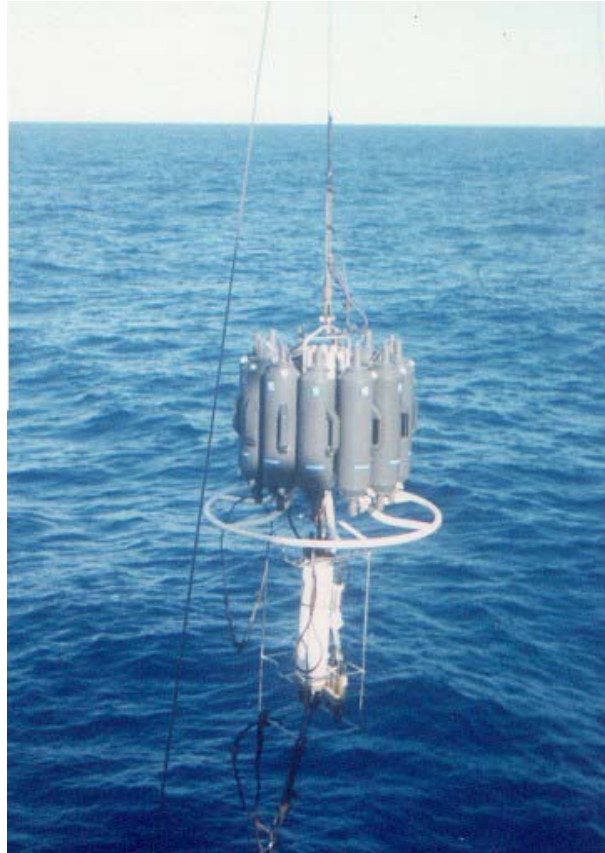


Figura 4.4. CTD e rosette em operação.

As estações de coleta amostradas foram em número de 22, 17, 17 e 31 na área de plataforma/talude continental, e 32, 34, 57, 49 na região oceânica, durante as comissões ZEE-NE-I, ZEE-NE-II (A), ZEE-NE-III (B) e ZEE-NE-IV (C), respectivamente, enquanto que durante a Campanha Nordeste III (D), foi de 28 o número de estações oceânicas, localizadas entre 5°S e 6°S, aproximadamente (Figuras 4.5 e 4.6).

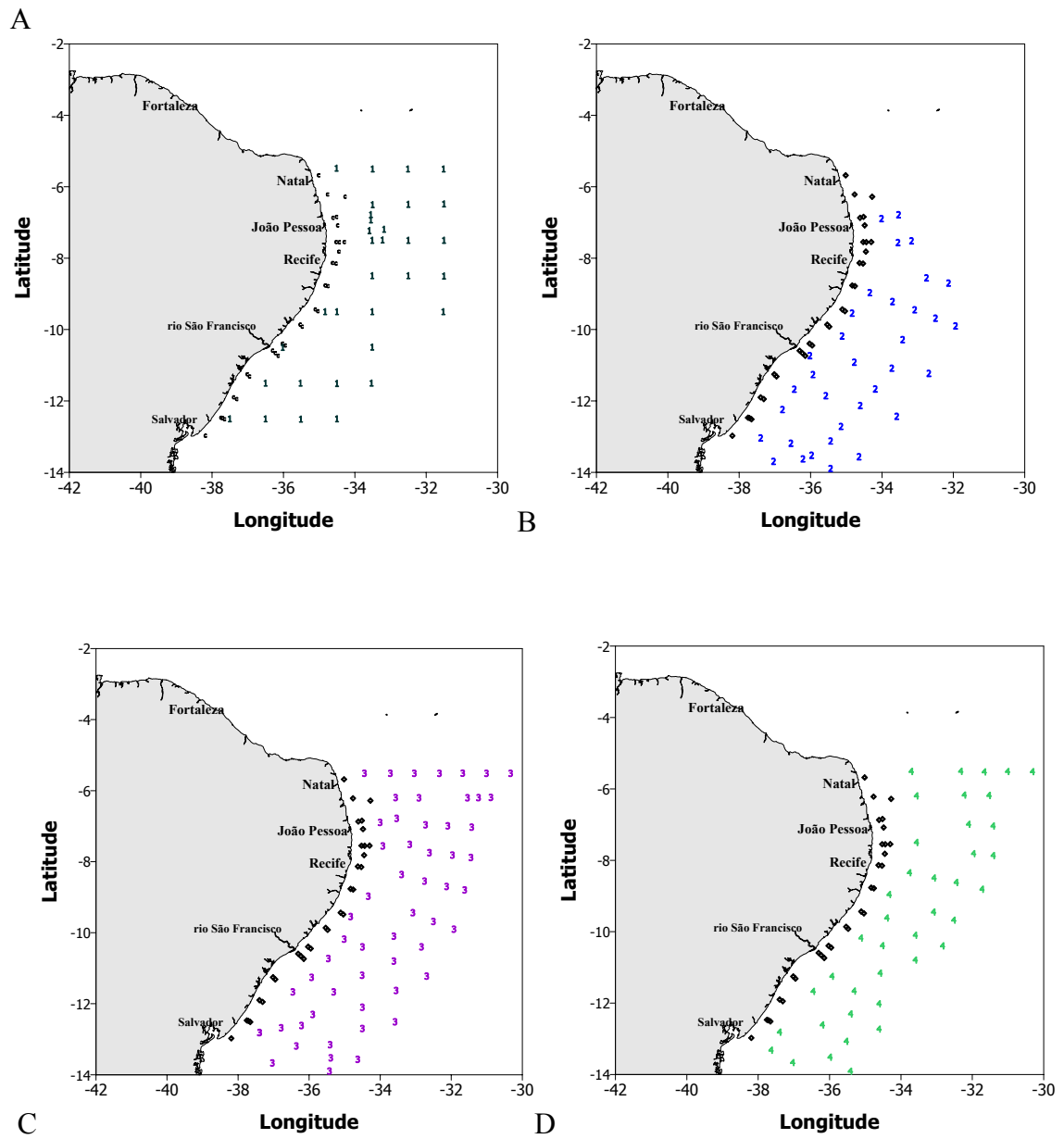


Figura 4.5. Mapa da área estudada com indicativo das estações nas diferentes Comissões do REVIZEE-NE. (A=inverno, B= verão, C=outono, D=primavera)

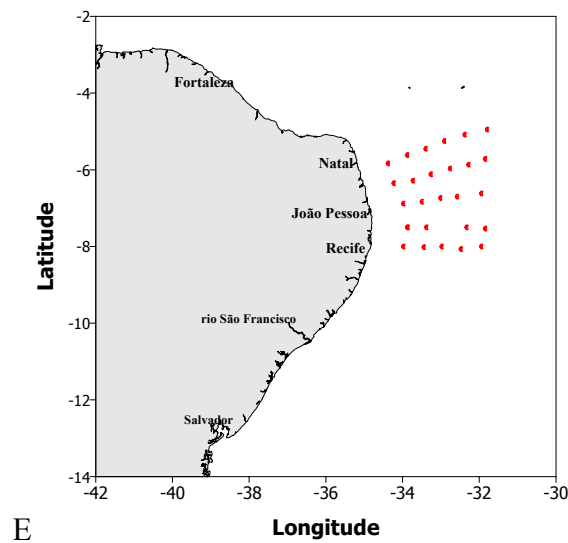


Figura 4.6. Mapa da área estudada com indicativo das estações na Comissão Nordeste III

Foram selecionados três perfis perpendiculares à costa representando aproximadamente os limites sul e norte da área estudada, e um ponto intermediário. A localização destes estiveram a 10°S (perfil 1) na proximidade da foz do rio São Francisco; 8°S (perfil 2) na proximidade da Cidade do Recife-PE e 5°S (perfil 3) na proximidade da Bacia Potiguar-RN, para observar a distribuição vertical dos parâmetros abióticos através das diferentes estações (Figura 4.7).

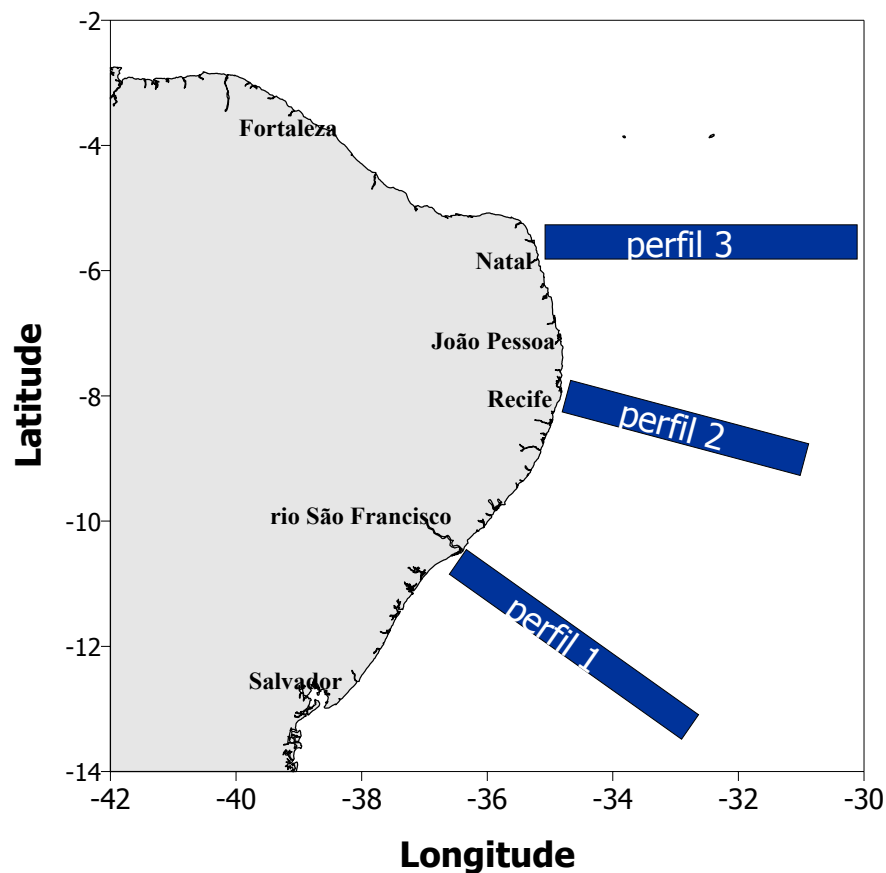


Figura 4.7. Mapa da área estudada com indicativo dos perfis selecionados.

Os níveis de profundidade das coletas foram 100%, 50% e 1% de penetração da luz, calculados através da Tabela de Extinção Percentual da Luz Solar, produzida pela DHN do Ministério da Marinha, em função do lançamento do disco de Secchi, no horário entre 09:00 e 15:00, adequada para as regiões tropicais; e na profundidade do início (IT), meio (MT) e fim da termoclina (FT), calculadas em tempo real, sendo que em alguns pontos foram realizadas coletas em profundidades superiores à do final da termoclina, entre 500 e 600 m.

Esta área foi dividida em sub-áreas costeira, de talude e oceânica como recomendado pelo SCORE-NE e a equipe da oceanografia física deste SCORE, com objetivo de padronizar os diferentes resultados obtidos. Para o cálculo do fluxo difusivo de nutrientes, foi selecionada a área denominada de oceânica sul, devido à presença de uma termoclina permanente e conseqüentemente uma estrutura termohalina mais estável, como também por receber menos influências antrópicas. Esta área está situada

aproximadamente entre a Bacia Potiguar-RN (5° S) e Salvador-BA (13° S), até o limite máximo das 200 milhas náuticas (Figura 4.8).

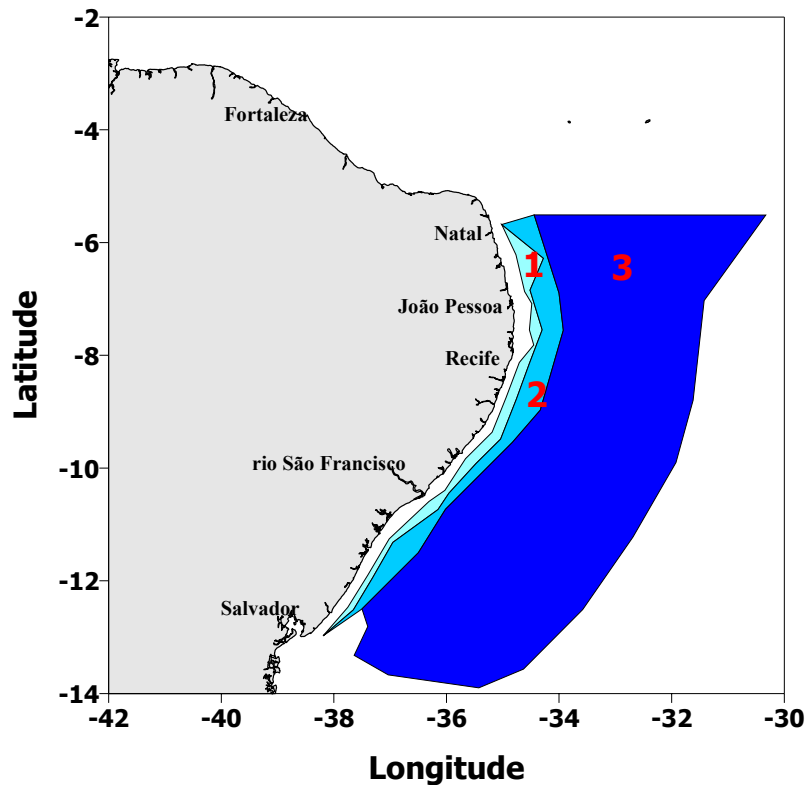


Figura 4.8. Mapa indicando as áreas selecionadas.

4.2 Parâmetros Abióticos

A temperatura e salinidade foram determinadas por intermédio do CTD, perfilador para medição contínua de condutividade, temperatura e densidade, com leituras em tempo real e utilizando-se o programa computacional SEASOFT versão 4.217, para acompanhamento do perfil termohalino.

O teor de oxigênio dissolvido foi determinado no navio através do método de Winkler, modificado por STRICKLAND e PARSONS (1972) com auxílio de uma bureta digital marca Hirschmann *EM*. A taxa de saturação foi calculada através da correlação da temperatura e salinidade, conforme as tabelas da International Oceanographic Tables (UNESCO, 1973).

O pH foi determinado a bordo do navio, através de um pH-metro digital HANNA 8417, com precisão de $\pm 0,01$, após calibração com padrões de pH de 4,0 e 7,0.

Para análise dos nutrientes inorgânicos dissolvidos: nitrogênio amoniacal-N, doravante denominado de amônia-N ($\text{NH}_3^- + \text{NH}_4^+ \cdot \text{N}$), nitrito-N ($\text{NO}_2^- \cdot \text{N}$), nitrato-N ($\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$), fosfato-P ($\text{PO}_4^- \cdot \text{P}$), silicato-Si ($\text{SiO}_2^- \cdot \text{Si}$), foram coletadas amostras de água em garrafas plásticas com capacidade de 300 ml, congeladas imediatamente, para posterior transporte ao laboratório de química do Departamento de Oceanografia da UFPE.

As técnicas colorimétricas utilizadas para análises destes nutrientes, foram aquelas descritas por STRICKLAND e PARSONS (1972) e GRASSHOFF e outros (1983).

4.3 Biomassa Primária

As amostras de água para as análises de biomassa primária fitoplanctônica (clorofila *a*) foram coletadas através de garrafas oceanográficas Niskin, acopladas a uma roseta, em três níveis de profundidade: 100%, 50% e 1% de penetração da luz.

Depois foram tomadas alíquotas que variaram entre 2 a 4 L, sendo passadas através de uma tela com malha de 300 μm para reter o macrozooplâncton, e depois através de filtros GF/C marca Whatman de 47 mm de diâmetro e aproximadamente 1 μm de porosidade, com auxílio de um sistema de filtração a vácuo. Ao final da filtração, os filtros foram acondicionados em tubos Ependorff e/ou em envelopes de papel devidamente identificados e congelados até a hora de desembarque.

As análises de clorofila *a* foram realizadas no laboratório de fitoplâncton do Núcleo de Estudos e Pesquisas de Recursos do Mar (NEPREMAR) da Universidade Federal da Paraíba.

No laboratório, a clorofila *a* presente nas amostras foi extraída com acetona PA a 90%, durante 24 horas, a uma temperatura de aproximadamente 18°C. Após a extração as amostras foram analisadas num fluorímetro Turner Desings, modelo 10-005, de acordo com a técnica de YENTSCH e MENZEL (1963).

As leituras foram feitas em X1 (sensibilidade mínima, X3.16, X10 e X31,6) e X100 (sensibilidade mínima, X3.16, X10 e X31,6), sendo, posteriormente, convertidas para mg.L^{-1} , utilizando-se fatores obtidos a partir de curvas de calibração do aparelho com clorofila *a* extraída de culturas monoalgais.

Antes das amostras serem analisadas, o aparelho foi calibrado seguindo as seguintes etapas:

- Teste de linearidade entre as escalas do fluorímetro
- Teste de proporcionalidade entre as escalas
- Calibração do fluorímetro

4.4. Normalização do Texto

A normalização do texto foi realizada segundo as normas da ABNT 1990a, 1990b e 2000, com auxílio do software Microsoft WORD 2000, Microsoft Corporation..

Para as tabelas, foram seguidas as Normas de Apresentação Tabular (IBGE, 1993).

Para os gráficos foram seguidas as recomendações do Conselho Nacional de Estatística (Brasil, 1963).

Gráficos e tabelas foram elaboradas com ajuda do Microsoft Excel 2000, Microsoft Corporation, e o software Surfer 7.0 para elaboração dos mapas temáticos.

4.5. Análise Estatística

4.5.1. Estatística Descritiva

Foram analisados estatisticamente dados de nutrientes de cruzeiros oceanográficos realizados na plataforma continental e em áreas oceânicas do Nordeste do Brasil, que compõe a Zona Econômica Exclusiva (ZEE), situada entre as latitudes 5° N e 14° S, mais especificamente a Operação Nordeste III (1986), organizada pela Marinha Brasileira, como também dos cruzeiros realizados mais recentemente que fazem parte do projeto REVIZEE NORDESTE, ZEE NE I (1995), II (1997), III (1998) e IV (2000), realizados pelo navio oceanográfico “Antares” da Marinha do Brasil.

Através desta análise foram obtidos os valores medianos, mínimos, máximos, quartís superiores e inferiores, como também a amplitude quartílica, indicando o tipo de distribuição dos resultados (simétrico ou assimétrico) e o grau de estabilidade na área estudada.

A coluna d'água foi dividida segundo critérios oceanográficos em camadas mais ou menos uniformes, ou seja, que recebam influência de processos biológicos, químicos e físicos característicos, ficando assim:

- 1) camada superficial fótica- desde a superfície até a profundidade de 1% de penetração da luz (60 – 100 m).
- 2) camada intermediária - do início da camada disfótica até a profundidade limite inferior que delimita a massa de Água Central do Atlântico Sul (aproximadamente 500 m de profundidade)
- 3) camada profunda - a partir da estabilidade da nutriclina.

4.5.2 Análise dos Componentes Principais (ACP)

Na análise de componentes principais as variáveis originais são linearmente combinadas com o objetivo de projetar o máximo de informação no menor número de dimensões. A informação total no conjunto de dados de partida é quantificada pela matriz de covariância. A primeira componente principal (PC1) é a direção de máxima variância – e portanto de máxima informação – no espaço multidimensional original. A segunda componente, PC2, é ortogonal a PC1, e corresponde ao eixo que explica o máximo possível da informação que não pôde ser representada pela primeira componente. Juntas, PC1 e PC2 definem o plano de máxima informação no espaço multidimensional. Se as variáveis apresentarem muitas correlações significativas, é possível que esse plano já contenha informação suficiente para permitir inferir os padrões de associação existentes nos dados de partida (MASSART et al., 1998).

Cada eixo, numa análise de componentes principais, é caracterizado por três tipos de parâmetros: (a) a percentagem de variância/informação explicada, (b) os pesos (autovalores) das variáveis originais, que indicam a sua importância relativa na definição da direção daquela componente principal, e (c) os escores dos vetores de dados (autovetores), que localizam as projeções desses vetores sobre os eixos PC.

Como os dados foram registrados em diferentes escalas, não poderiam ser combinados nos seus valores originais. Antes da ACP, foi necessário preprocessá-los através de um autoescalamento a variância unitária, definido pela transformação

$$x_{ij}^{auto} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}, \quad (1)$$

onde x_{ij} = valor da variável j determinado para o objeto i (“objeto”, neste contexto, significa simplesmente uma linha da matriz de dados), e \bar{x}_j e s_j são a média e o desvio padrão da variável j no conjunto de dados analisado. Com o autoescalamento, as variáveis passam a ser expressas numa escala adimensional onde todas elas têm variância unitária, isto é, a mesma informação. Inicialmente todos os objetos foram submetidos a uma ACP, que mostrou claramente um comportamento distinto entre as camadas fótica e afótica. A partir deste resultado, as duas camadas foram estudadas separadamente.

Para a análise estatística foi utilizado o Programa Statistic 5.5 (1999).

4.6 Fluxo Difusivo Vertical de Nutrientes

Este capítulo apresenta a base teórica utilizada para estimar o fluxo difusivo vertical de nutrientes na região em estudo, é apresentado o modelo analítico utilizado para representar as distribuições verticais de nutrientes obtidas *in situ*. Este modelo é então combinado com uma formulação representativa da viscosidade turbulenta na coluna d'água, obtida igualmente a partir de dados medidas em campo, para quantificar o fluxo difusivo vertical de nitrato-N e fosfato-P.

4.6.1. Distribuição vertical de nutrientes

4.6.1.1. Escalas de normalização. Agrupamento de dados

A primeira etapa para análise do fluxo difusivo de nutrientes foi dedicada à identificação de escalas de normalização (transformar em valor adimensional) capazes de agrupar o melhor possível as informações obtidas em campo. Esse procedimento

facilita, por um lado, a interpretação dos dados experimentais, e de outro, a integração/generalização dos resultados das análises teóricas. Diferentes pares de concentração-profundidade foram testados, sempre relacionados a diferentes percentuais de penetração da luz (ex.: 50 %, 1% de penetração de energia radiante, etc.), e/ou a locais que caracterizavam a estrutura térmica existente (ex.: início da termoclina, meio da termoclina, etc.). Dentre todas as possibilidades, as escalas de concentração e de profundidade que se mostraram capazes de agrupar de forma mais eficiente os perfis experimentais foram àquelas associadas às características existentes no final da termoclina, ou seja :

C_{FT} = escala de normalização relativa a concentração (mg l^{-1})

Z_{FT} = escala de normalização relativa a profundidade (m)

onde :

C_{FT} = concentração de nutrientes na profundidade Z_{FT} (mg l^{-1})

Z_{FT} = profundidade do final da termoclina (m)

4.6.1.2. Distribuição Vertical. Modelo Analítico Simplificado

Uma vez definidas as escalas de normalização que permitiram o melhor agrupamento dos dados de campo (C_{FT}, Z_{FT}), buscou-se identificar um modelo capaz de representar as distribuições verticais de nitrato-N e fosfato-P normalizadas. Após pesquisar diferentes funções que melhor se adequassem aos tipos de distribuição verificadas *in situ* (ABRAMOWITZ e STEGUN, 1970, PRESS et al., 1996, entre outros), optou-se por adotar uma formulação análoga ao modelo de distribuição logística de *Verhulst-Pearl* (JORGENSEN, 1986), quando se tem :

$$\frac{\partial C}{\partial z} = \frac{r C (C_K - C)}{C_K} \quad (4.1)$$

onde :

$C = \frac{C(z)}{C_{FT}}$ = concentração de nutrientes (normalizada pela concentração C_{FT}) na profundidade $\frac{z}{Z_{FT}}$ (normalizada portanto pela escala de comprimento Z_{FT})

r = taxa de regeneração (produção líquida) espacial de C por unidade de comprimento adimensional

C_K = concentração (igualmente normalizada pela concentração C_{FT}) que define a capacidade máxima de acúmulo de nutrientes na coluna d'água.

O modelo adotado traduz uma variação exponencial crescente de concentração de nutrientes a partir da superfície, no intervalo em que C é significativamente inferior a C_K , ou seja $\frac{C}{C_K} = o(1)$. No momento em que a concentração de nutrientes é aproximadamente igual à concentração C_K , ou seja, quando $\frac{C}{C_K} = O(1)$, a taxa de regeneração de nutrientes será praticamente nula, ou $r \equiv 0$.

A equação (4.1) tem ainda a vantagem de permitir solução analítica simples para C_K e r constantes. Nesse caso, tem-se :

$$C(z) = \frac{C_K}{1 + e^{b-rz}} \quad ; \quad b = \ln \frac{C_K - C_0}{C_0} \quad (4.2)$$

onde :

$C_0 = \frac{C(z=0)}{C_{FT}}$ é a concentração superficial de nutrientes normalizada.

A Figura 4.9 apresenta um esquema representativo do modelo analítico adotado.

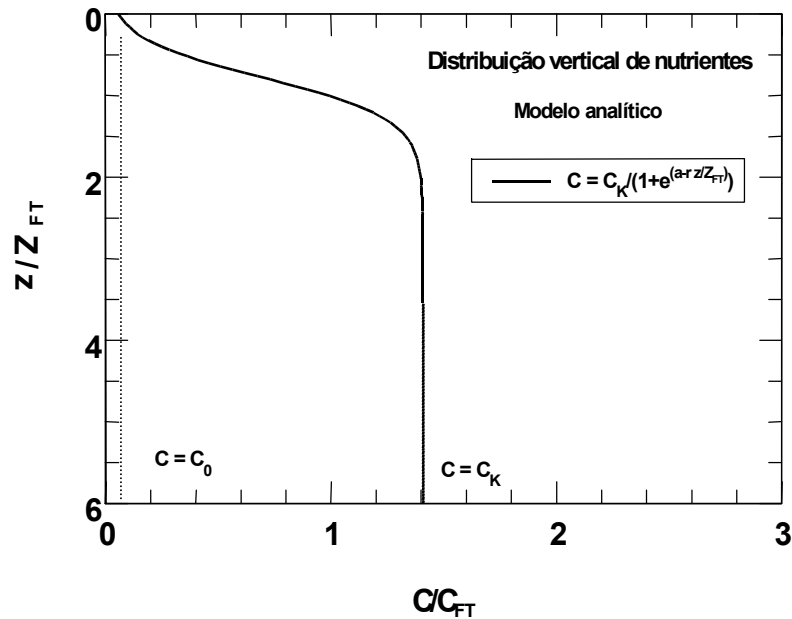


Figura 4.9. Esquema representativo do modelo analítico adotado para representar a distribuição vertical de nutrientes na área de estudo.

4.6.2. Distribuição vertical de viscosidade turbulenta

Para determinação da difusividade vertical de nutrientes, foram pesquisadas inicialmente diferentes formulações propostas em literatura (HUANG, 1979, entre outros). Uma atenção especial foi dada às formulações que levavam em conta a influência decisiva da turbulência interfacial gerada pela ação combinada do cisalhamento eólico e da quebra das ondas de gravidade. A Tabela 4.1 apresenta algumas destas formulações. Estas expressões foram modificadas a partir de suas formas originais, de modo a explicitarem as fontes principais de produção de turbulência na superfície dos oceanos, ou seja, a ação eólica (W é a velocidade do vento) e as ondas de gravidade (g é a aceleração da gravidade). Neste processo de homogeneização das expressões analíticas, foram utilizadas as formulações semi-empíricas de STEWART (1967), que se mostraram capazes de reproduzir satisfatoriamente as características interfaciais observadas na região em estudo (ADVÍCULA, 2000). Neste caso tem-se :

$$a = 0,1 \frac{W^2}{g} \quad (4.3)$$

$$T = 2\pi \frac{W}{g} \quad (4.4)$$

$$k = \frac{g}{W^2} \quad (4.5)$$

$$H = 2a \quad (4.6)$$

onde :

a = amplitude da onda (m)

W = velocidade do vento (m.s^{-1})

g = aceleração da gravidade ($\cong 9,81 \text{ m s}^{-2}$)

T = período da onda (s)

k = número de onda (m^{-1})

H = altura da onda (m)

e $\sigma = \sqrt{g k}$ é a frequência da onda, obtida a partir da relação de dispersão para uma onda de gravidade monocromática que se propaga em profundidade infinita.

Tabela 4.1. Formulações semi-empíricas representativas da distribuição vertical de viscosidade turbulenta (v_t).

Autor	Formulação
BASHKIROV (1959)	$v_t(z) = 1,59 \times 10^{-4} \frac{W^3}{g} e^{-kz}$
KITAIGORODSKII (1960)	$v_t(z) = 10^{-3} \frac{W^3}{g} e^{-kz}$
ICHIYE (1967)	$v_t(z) = 1,78 \times 10^{-4} \frac{W^3}{g} e^{-2kz}$

As formulações constantes da Tabela 4.1 serviram de referência para a determinação da distribuição vertical de v_t utilizada neste estudo. Esta advém das informações de campo acerca das características da microestrutura turbulenta existentes na coluna d'água, obtidas com a utilização da sonda perfiladora SCAMP (*Self-Contained Autonomous MicroProfiler*), durante a Comissão realizada na primavera.

A sonda perfiladora SCAMP foi adquirida da *Precision Measurements Engineering*, San Diego, EUA. Trata-se de um instrumento portátil, projetado para medir *in situ*, gravar e tratar valores absolutos de escalas espaciais extremamente pequenas (da ordem de 1 mm) e de flutuações de condutividade elétrica, temperatura e de intensidade de clorofila *a* em lagos, reservatórios, estuários e oceanos. Estes dados são utilizados para inferir os níveis de dissipação da energia cinética turbulenta ao longo da coluna d'água, assim como os fluxos verticais de calor, sal e clorofila *a*, com o comportamento de suas respectivas microestruturas.

A Figura 4.10 apresenta a sonda perfiladora SCAMP, quando de sua utilização no NOc. Antares, durante a Comissão REVIZEE NE-IV (ZEE-IV).



Figura 4.10. Sonda perfiladora SCAMP e estação de trabalho, quando de sua utilização no NOc. Antares, durante a primavera.

4.6.3. Parametrização do fluxo difusivo vertical de nutrientes

A equação geral de transporte advectivo-difusivo de um constituinte dinamicamente passivo é apresentada a seguir. Através dela pode-se realizar um balanço desse constituinte em qualquer volume de controle do oceano. Nesse caso, se escreve :

$$\underbrace{\frac{\partial C}{\partial t}}_I + \underbrace{u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z}}_{II} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v_t}{\sigma_c} \frac{\partial C}{\partial x} \right)}_{III} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_t}{\sigma_c} \frac{\partial C}{\partial y} \right)}_{IV} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_t}{\sigma_c} \frac{\partial C}{\partial z} \right)}_{V} + F - S \quad (4.7)$$

onde :

(I) é a taxa de variação temporal de C em cada ponto do espaço;

(II) são as componentes relacionadas ao transporte advectivo, sendo u e v as velocidades horizontais (x, y são os eixos cartesianos horizontais), e w a velocidade vertical (z representa o eixo cartesiano vertical, com origem situada na superfície);

(III) e (IV) representam os fluxos difusivos horizontais;

(V) é a componente vertical do fluxo difusivo, objeto desse estudo;

F representa as fontes locais de produção do constituinte C;

S representa os mecanismos, também locais de consumo e perdas do constituinte C;

$\sigma_c \cong 1.0$ é o número de *Prandtl* turbulento para o constituinte C (ou número de *Schmidt*), que relaciona a viscosidade turbulenta com a difusividade do constituinte C.

A equação (4.7), em sua forma completa, só pode ser resolvida a partir do conhecimento prévio do campo de velocidades existente. Para o cálculo do fluxo difusivo vertical, entretanto, pode-se assumir algumas hipóteses simplificadoras, que isolam apenas os mecanismos mais importantes no balanço de nutrientes na coluna d'água. Estas hipóteses são :

- estado de equilíbrio quase permanente, o que conduz a $\left(\frac{\partial C}{\partial t} \equiv 0\right)$;
- ausência de gradientes de concentração locais horizontais importantes, ou seja $\left(\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial y} \equiv 0\right)$;
- ausência de transporte vertical significativo, quando comparado aos mecanismos de advecção horizontal, ou seja $\frac{w}{u, v} = o(1)$

Considerando-se estas hipóteses, a equação (4.7) pode ser reescrita da seguinte forma (com $\sigma_c \cong 1.0$) :

$$-\underbrace{\frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial C}{\partial z} \right)}_v - F + S = 0 \quad (4.8)$$

e traduz o fato de que o fluxo difusivo vertical de concentração C é balanceado pelos mecanismos de produção e consumo/perda locais de nutrientes.

O termo situado à esquerda da igualdade na equação (4.8) é o objeto principal de nosso estudo, e pode ser desmembrado em duas parcelas adimensionais, sendo estas:

$$\phi = -\underbrace{\frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial C}{\partial z} \right)}_v = -\underbrace{Z_{FT} \frac{\partial v_t}{\partial z} \frac{\partial C}{\partial z}}_{v.1} - \underbrace{v_t \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}}_{v.2} \quad (4.9)$$

ou ainda :

$$\begin{aligned}
\phi = & \underbrace{-\frac{3}{2} \frac{C_K}{\left(1 + e^{\left(b - \frac{r}{Z_{FT}}\right)z}\right)^2} \frac{a^3 k^2 r}{Z_{FT}} e^{-kz} e^{\left(b - \frac{r}{Z_{FT}}\right)z}}_{V.1} + \\
& \underbrace{\frac{3}{2} \frac{C_K}{\left(1 + e^{\left(b - \frac{r}{Z_{FT}}\right)z}\right)^2} \frac{a^3 k r^2}{Z_{FT}^2} e^{-kz} e^{\left(b - \frac{r}{Z_{FT}}\right)z}}_{V.2} \left[\frac{2 e^{\left(b - \frac{r}{Z_{FT}}\right)z}}{\left(1 + e^{\left(b - \frac{r}{Z_{FT}}\right)z}\right)} - 1 \right] \quad (4.10)
\end{aligned}$$

onde :

(V.1) é a parcela do fluxo difusivo adimensional associado ao efeito combinado das variações das distribuições verticais de viscosidade turbulenta e concentração C;

(V.2) é a parcela do fluxo difusivo adimensional associado ao efeito combinado da distribuição vertical de viscosidade turbulenta e da curvatura da distribuição vertical de concentração C.

5. RESULTADOS

5.1. Parâmetros Abióticos

5.1.1. Caracterização da área

5.1.1.1 Camada Fótica

Esta camada ocupou em média os 70 m superiores da coluna d'água, e durante o período de inverno apresentou os menores valores de temperatura, com águas saturadas por oxigênio dissolvido, menores valores medianos de pH e maiores de fosfato-P e silicato-Si. (Figuras 5.1-5.18).

No período de verão, a água da plataforma, em relação à oceânica, esteve mais quente, apresentando uma estabilidade térmica em toda a área estudada; com menor salinidade, maior teor de oxigênio dissolvido, menor pH, maior teor de nutrientes dissolvidos e clorofila *a*. (Figuras 5.1-5.18)

No outono, as águas da região oceânica apresentaram maior temperatura e teor mais elevado de nitrato-N, enquanto que, aquelas localizadas na área do talude, estavam mais salinas, mais oxigenadas, com pH mais elevado e maior teor de silicato-Si. Sendo registradas, nas águas da plataforma, as maiores concentrações de clorofila *a*. Foi também observado na área oceânica, uma elevação da termoclina dentro da camada fótica. (Figuras 5.1-5.18)

Durante a primavera, a água da plataforma esteve mais quente, com maior pH e teor de nitrato-N; a do talude, menos quente, mais salina e mais oxigenada; enquanto que as oceânicas apresentaram mais fosfato-P e silicato-Si. Também houve, em alguns pontos da área oceânica, uma penetração da termoclina dentro desta camada. (Figuras 5.1-5.18)

5.1.1.2. Camada Afótica

A camada afótica, que neste estudo corresponde às águas localizadas no talude continental e região oceânica, numa profundidade aproximada de 70 m até 500 m; cujos parâmetros abióticos apresentaram valores medianos que indicaram águas mais frias (Figura 5.3), com menor teor de salinidade (Figura 5.6), menos oxigenadas (exceto as que cobrem o talude, Figura 5.9), menor pH e maior concentração de nitrato-N (Figura 5.12), fosfato-P (Figura 5.15) e silicato-Si (Figura 5.18), porém apresentando uma

ampla variação espacial dos valores, o que seria uma consequência principalmente das condições físicas, químicas e biológicas como profundidade da termoclina, direção e intensidade das correntes, processos de mineralização, decantação de organismos, etc... Durante o inverno, devido a motivos técnicos, foram coletadas amostras apenas na camada fótica, e para o período de verão, não foram analisados os dados correspondentes ao perfil 3.

A temperatura apresentou, na profundidade do final da termoclina, valores menores durante a primavera e maiores no verão, variação idêntica apresentada pela salinidade. Na distribuição do oxigênio dissolvido, foram registradas as menores concentrações, principalmente durante o outono, e nas latitudes inferiores aos 10°S (Figuras 5.19-5.26).

Quanto aos nutrientes dissolvidos, as concentrações do nitrato-N foram muito elevadas, com um gradiente na direção contrária à costa e entre as latitudes 10°S e 5°S, principalmente no verão e primavera. O fosfato-P apresentou variação e distribuição bastante aproximada a do nitrato-N, com valores mais elevados no outono e primavera.

As concentrações de silicato-Si foram mais elevadas no verão, e de uma forma geral, o foram nas áreas mais próximas à costa nas latitudes entre 10°S e 14°S.

Foi também observada uma forte estratificação entre as camadas d'água com diferentes densidades, com uma clara separação entre a Água Tropical Superficial e Água Central do Atlântico Sul, aproximadamente a 200 m, que impede a troca de nutrientes das camadas profundas mais ricas para as superficiais mais pobres, sendo observado no outono e em menor escala na primavera, uma alteração nesta estrutura, quando da diminuição da espessura da camada de mistura, trazendo para a base da camada fótica, águas mais profundas e com maior teor de nutrientes.

Quanto aos perfis, o perfil 1 apresentou maior estratificação entre as massas d'água, em consequência de uma termoclina mais profunda. O início da nitraclina e fosfaclina esteve menos profundo no outono, nos três perfis, aumentando as concentrações dos mesmos na camada eufótica, enquanto que o da silicaclina foi durante a primavera nos perfis 1 e 2.

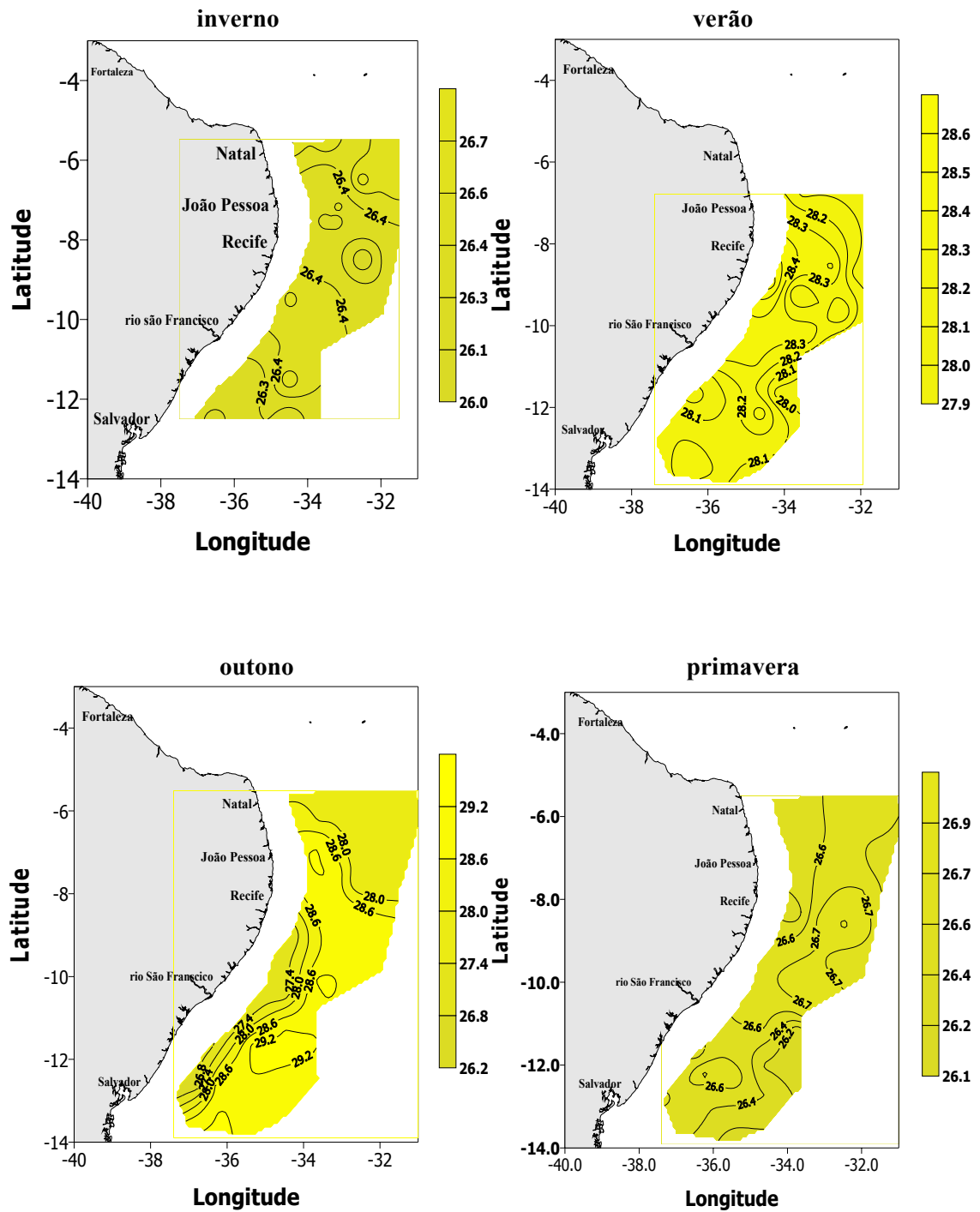


Figura 5.1. Variação superficial da temperatura (°C) durante diferentes estações do ano.

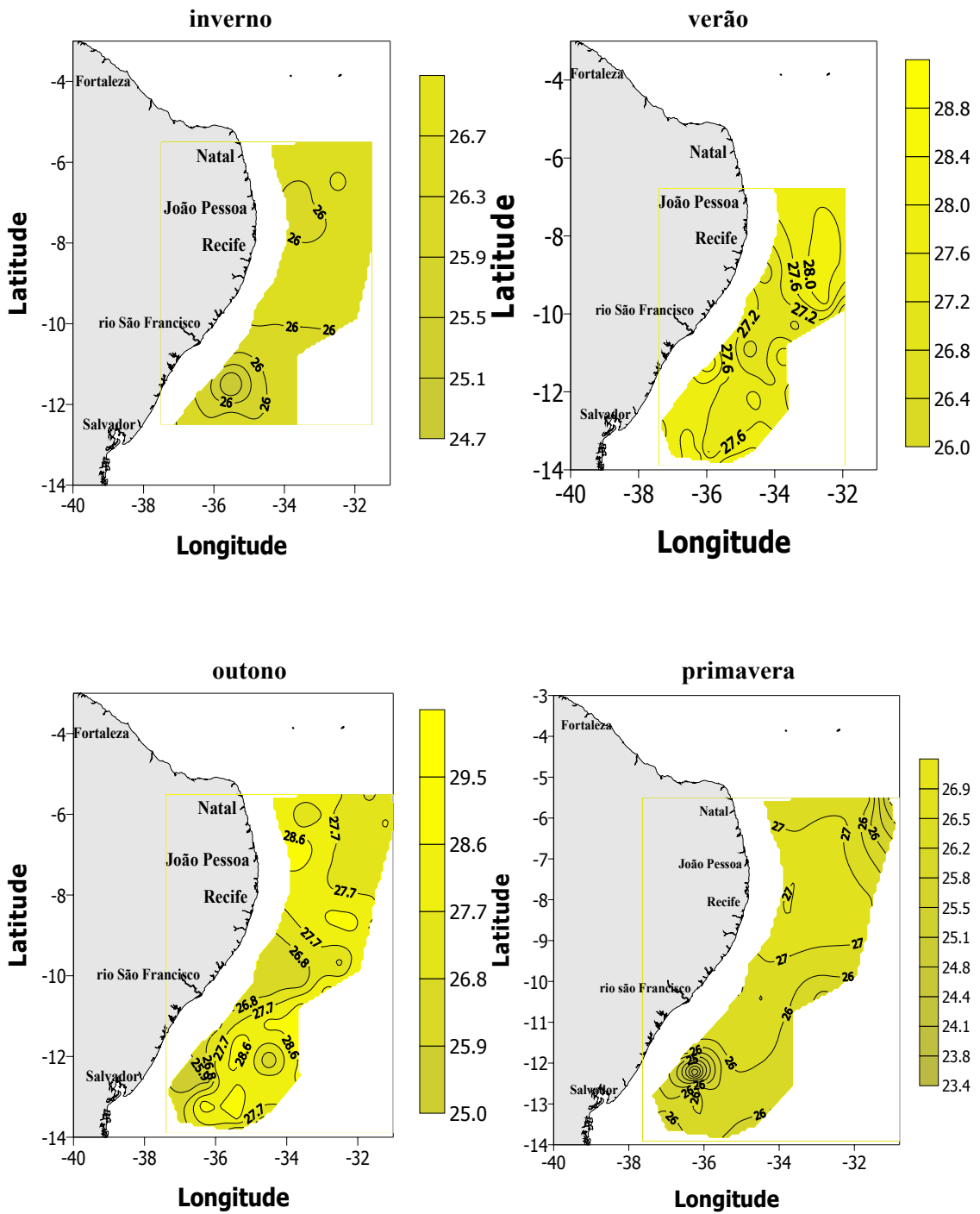


Figura 5.2. Variação da temperatura (°C) na profundidade de 1% de penetração da luz durante as diferentes estações do ano.

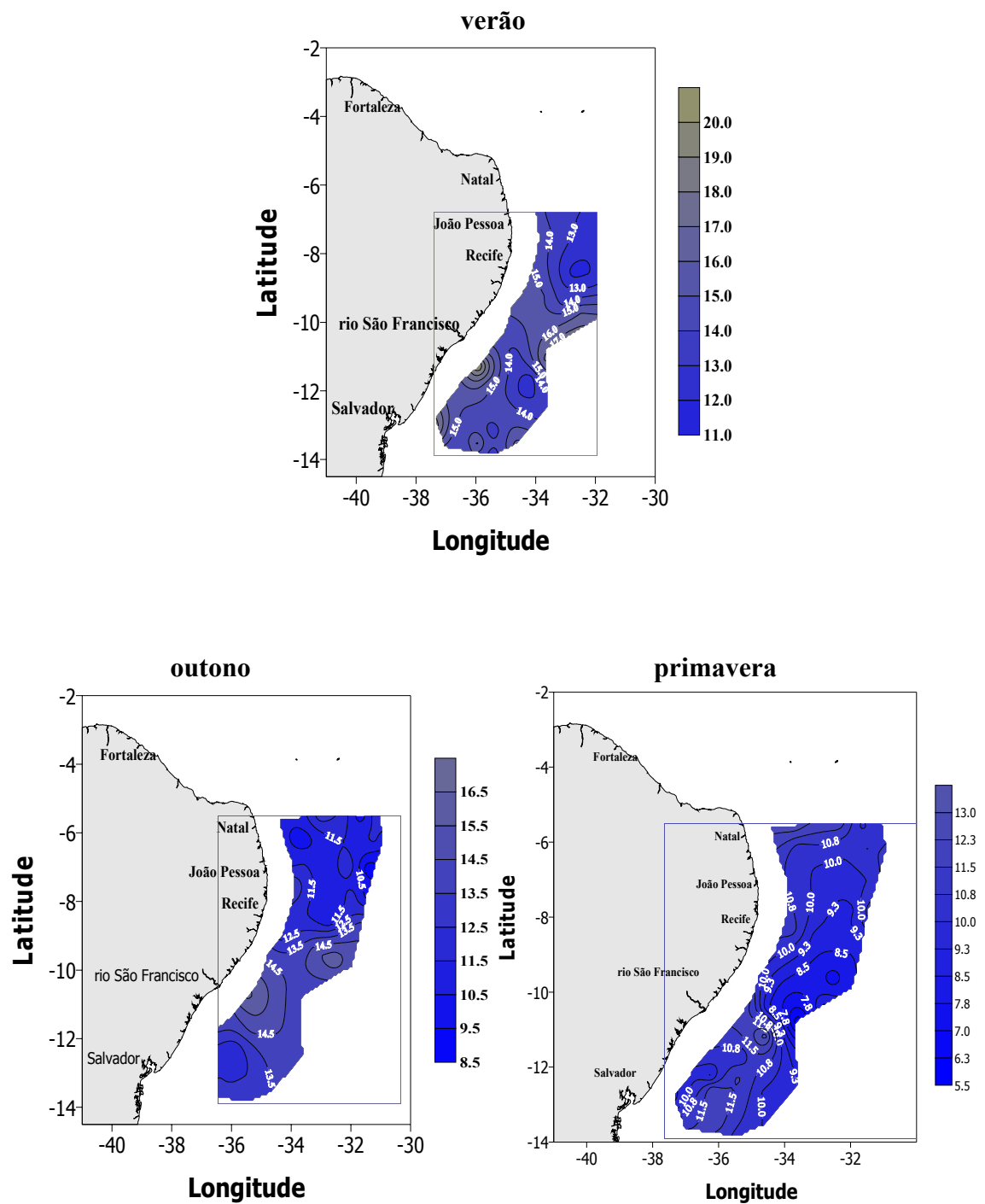


Figura 5.3. Variação da temperatura (°C) na profundidade do final da termocline durante as diferentes estações do ano.

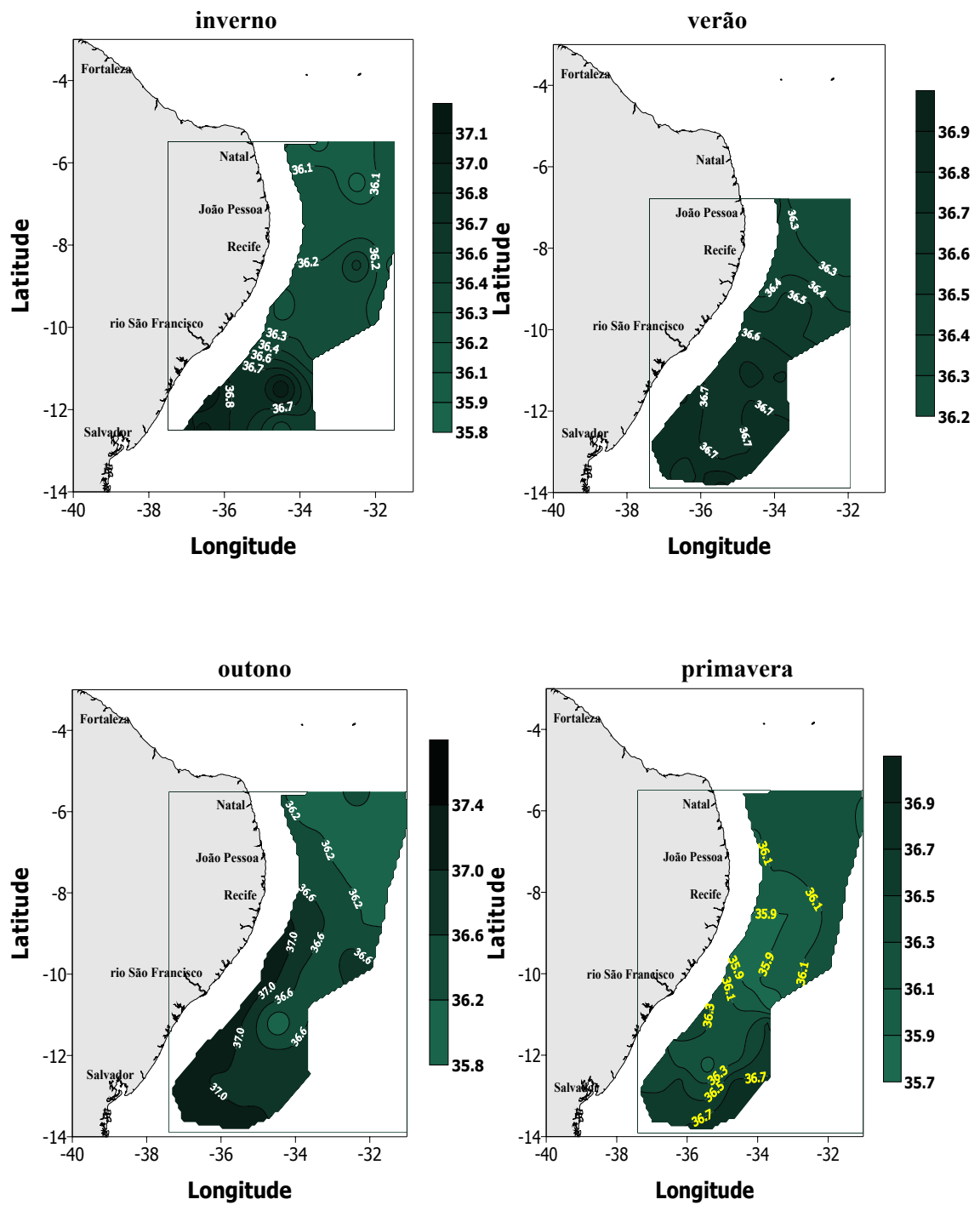


Figura 5.4. Variação superficial da salinidade durante as diferentes estações do ano

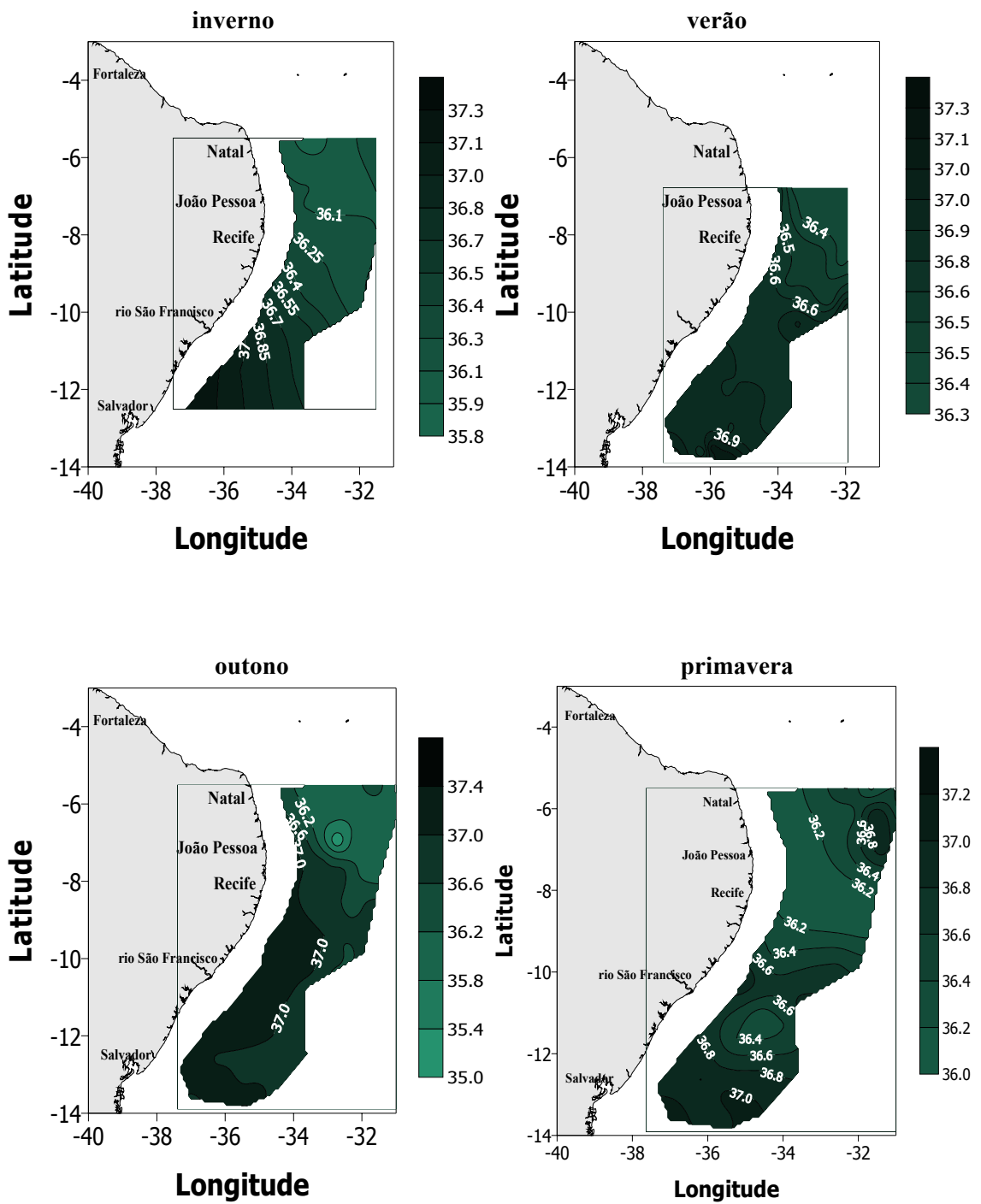


Figura 5.5. Variação da salinidade na profundidade de 1% de penetração da luz durante as diferentes estações do ano.

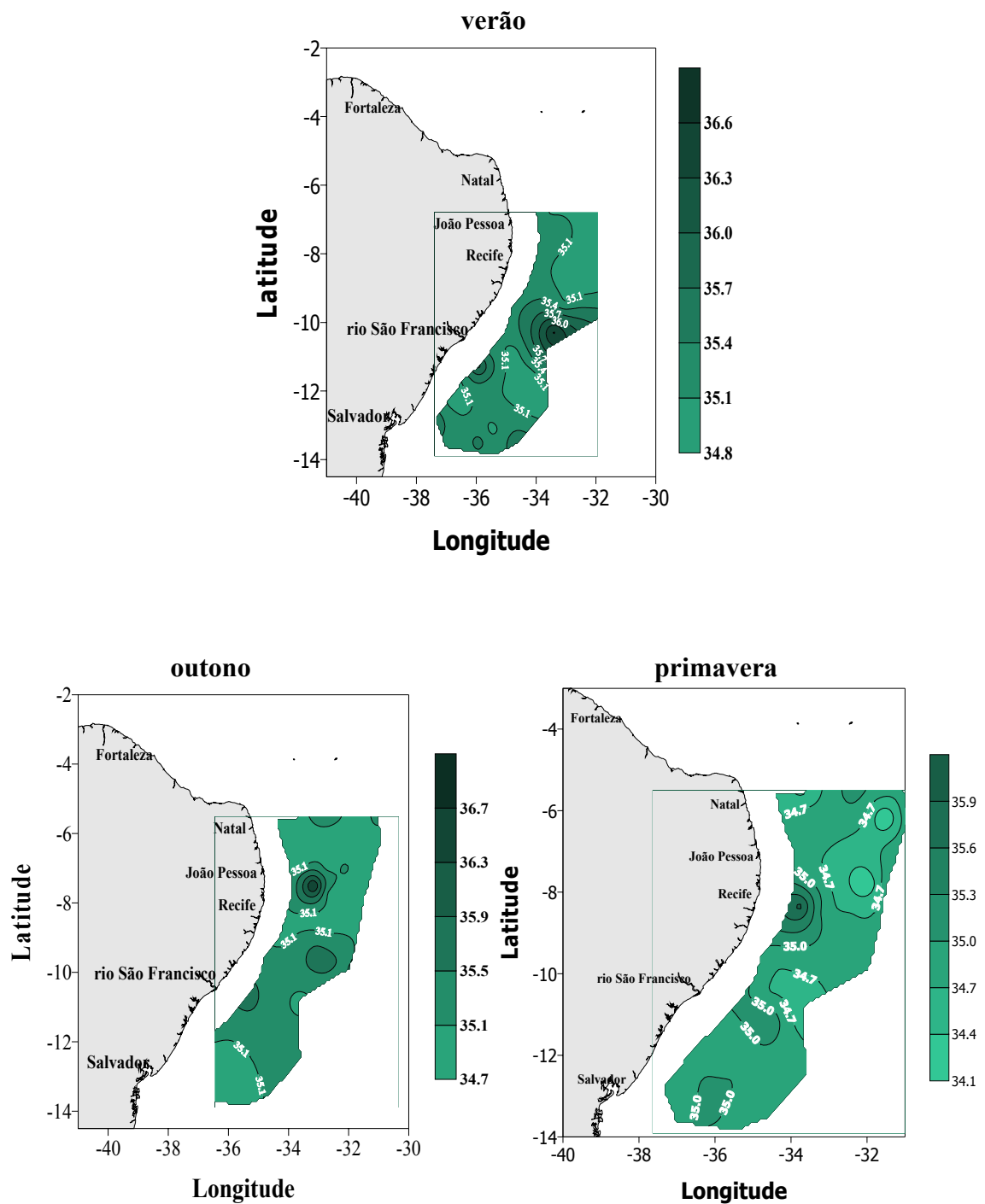


Figura 5.6. Variação da salinidade na profundidade do final da termoclina durante as diferentes estações do ano.

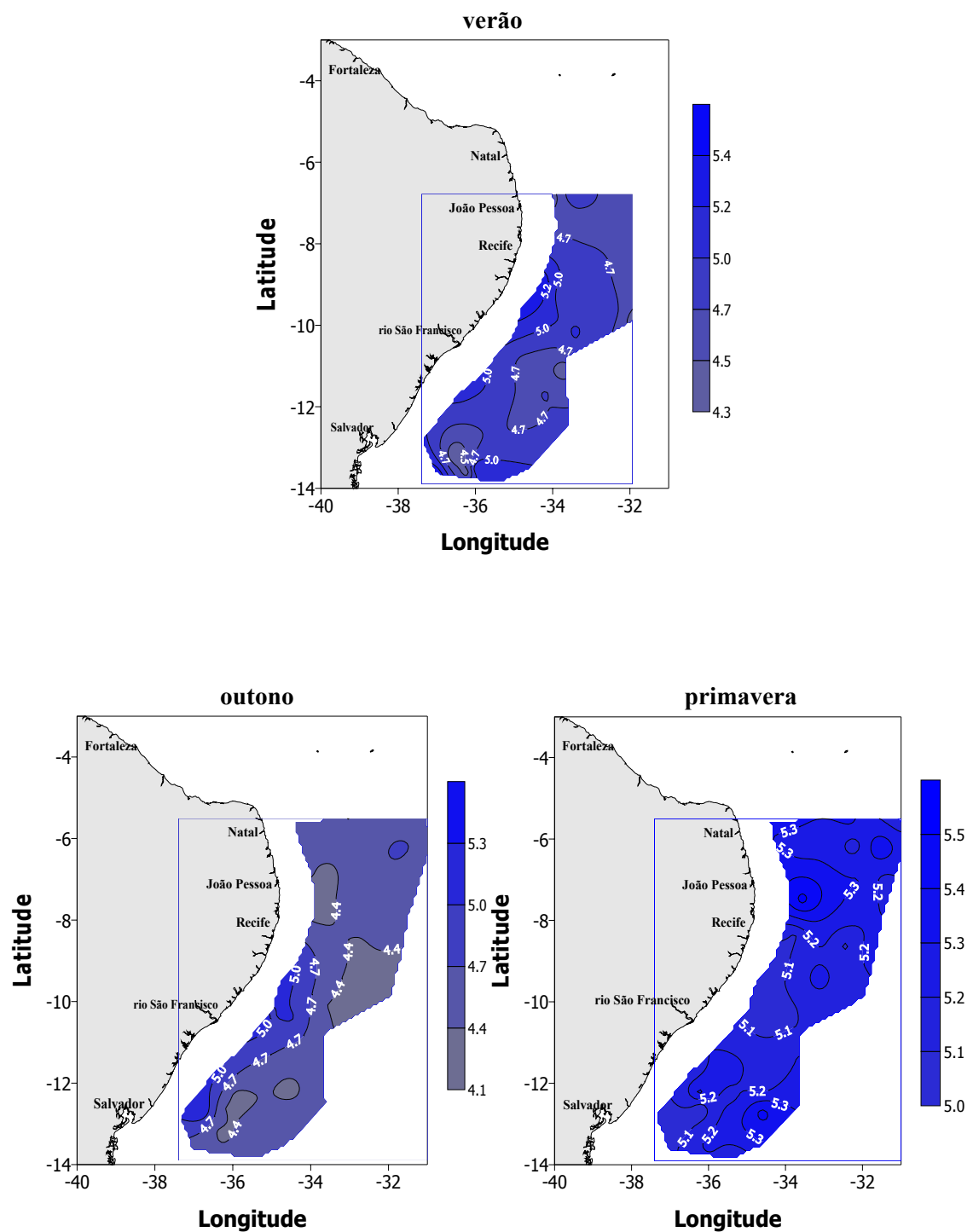


Figura 5.7. Variação superficial do oxigênio dissolvido (ml.L⁻¹) durante as diferentes estações do ano.

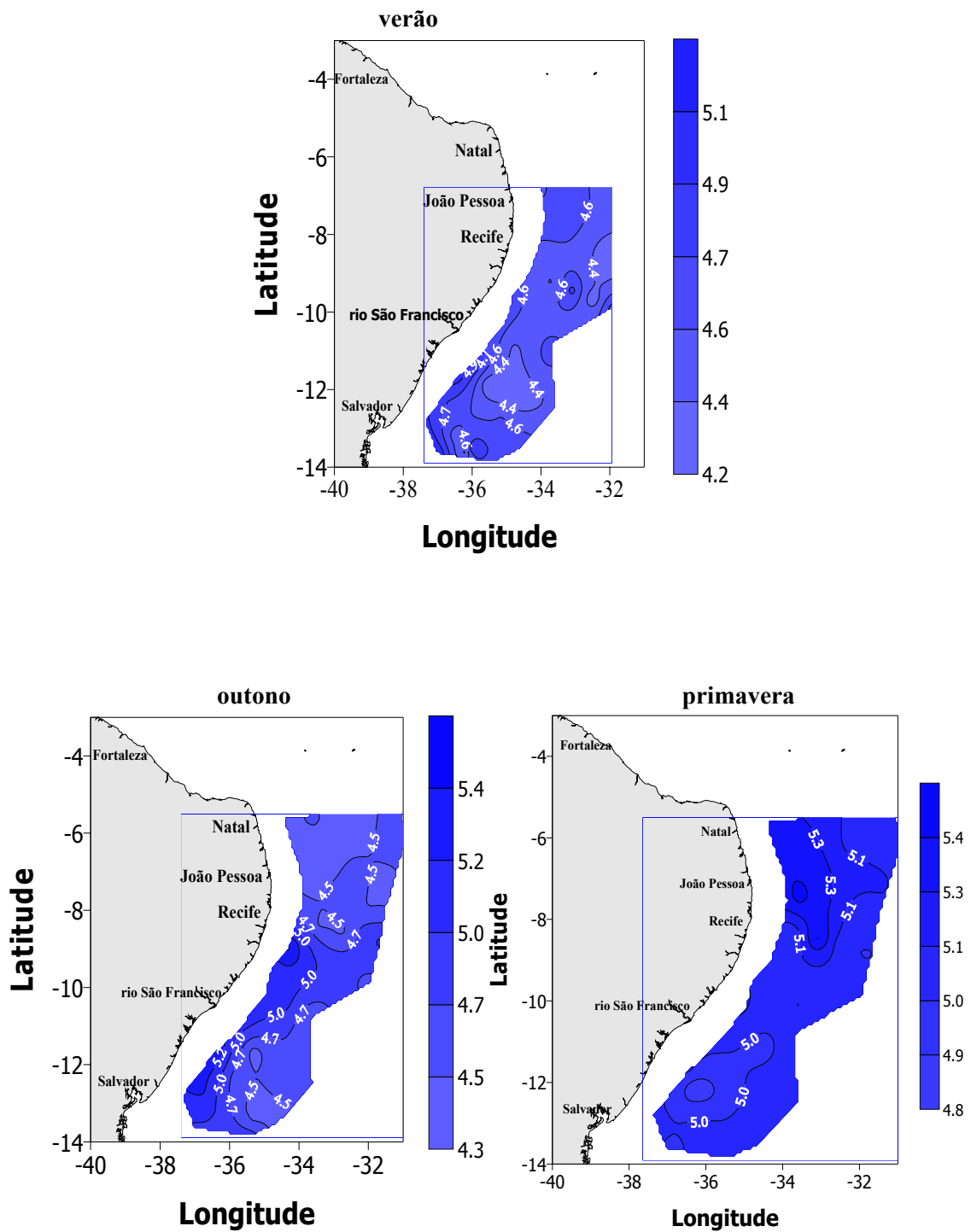


Figura 5.8. Variação do oxigênio dissolvido (ml.L^{-1}) na profundidade de 1% de penetração da luz durante as diferentes estações do ano.

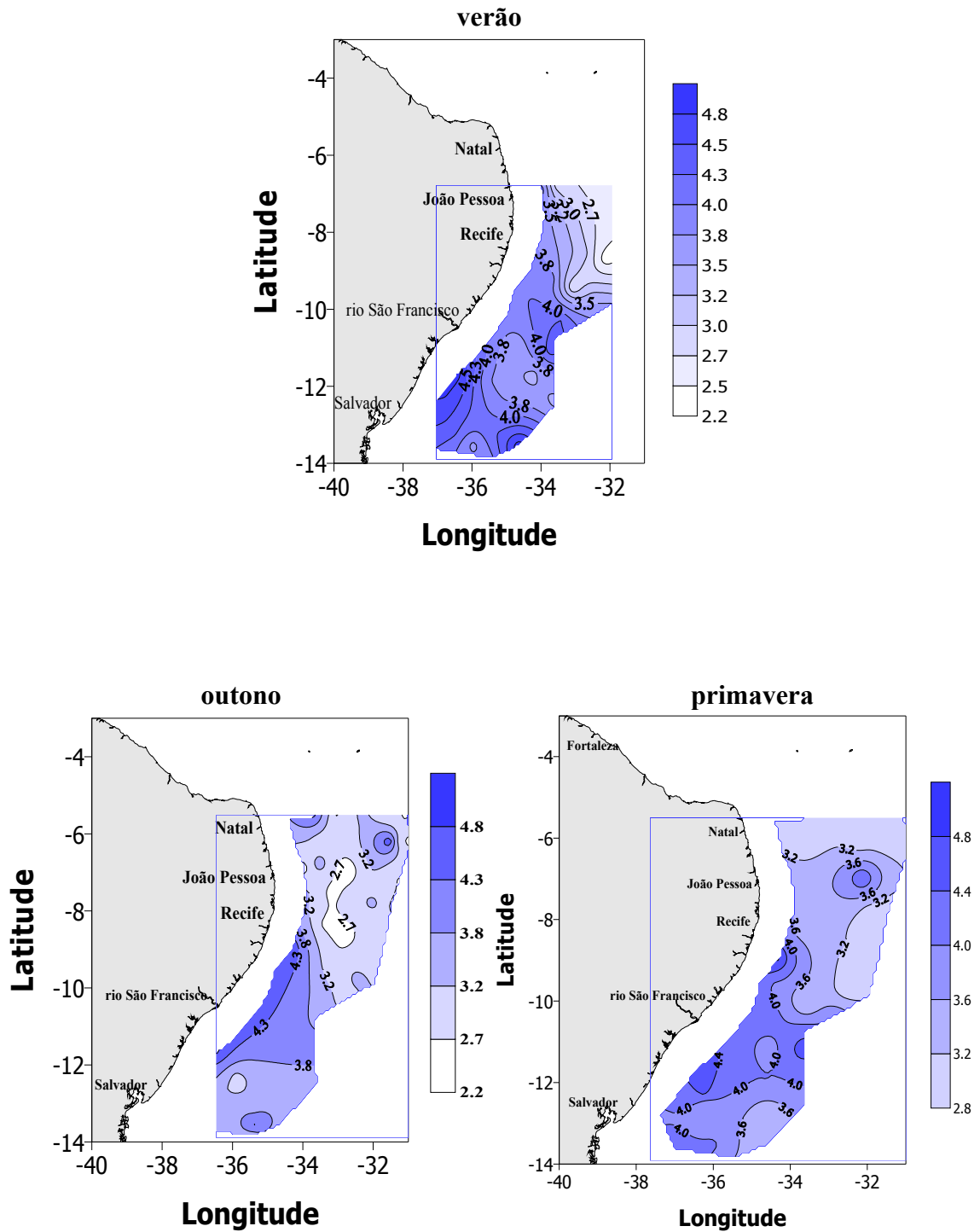


Figura 5.9. Variação do oxigênio dissolvido (ml.L^{-1}) no final da termoclina durante as diferentes estações do ano.

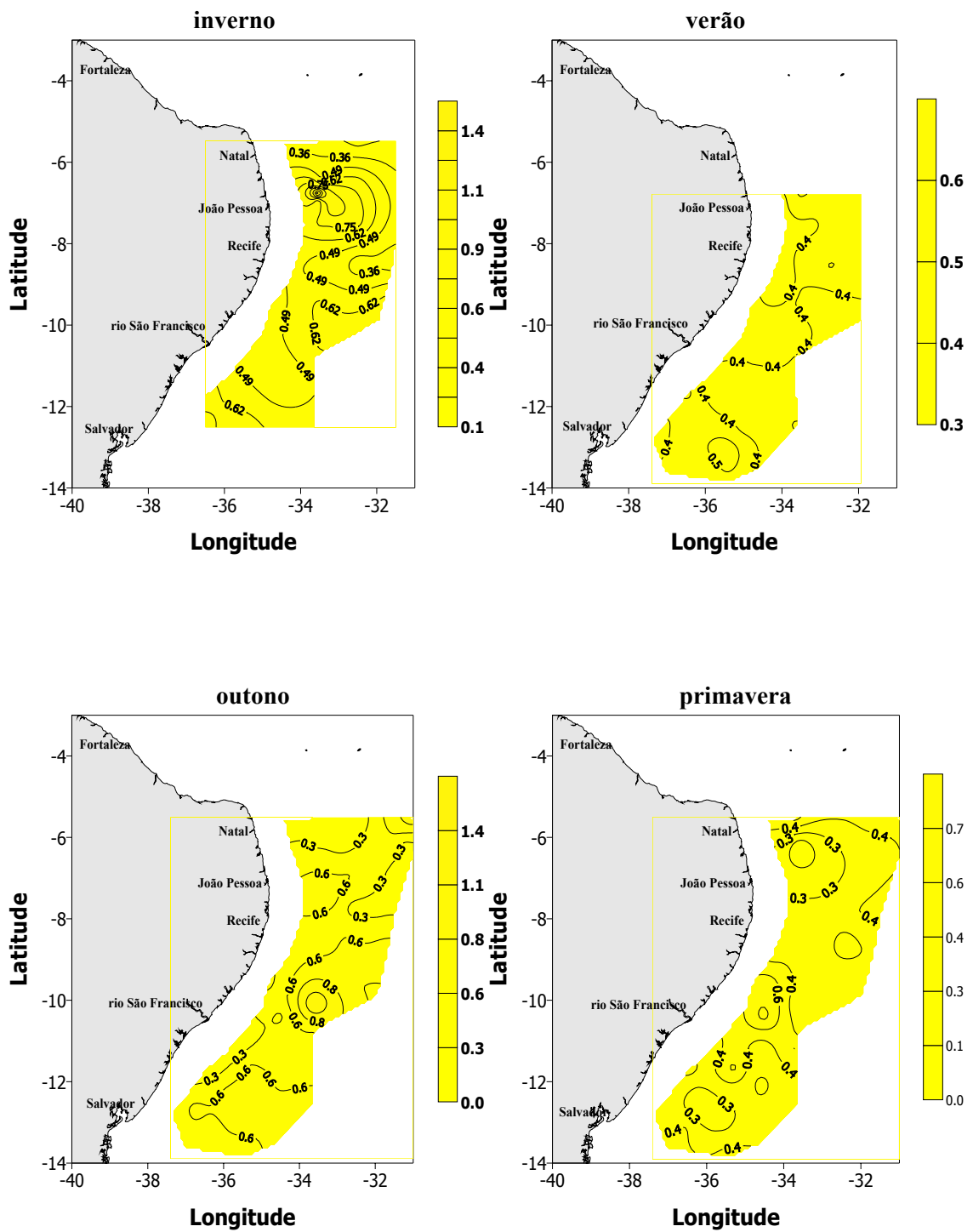


Figura 5.10. Variação superficial do nitrato-N ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) durante as diferentes estações do ano.

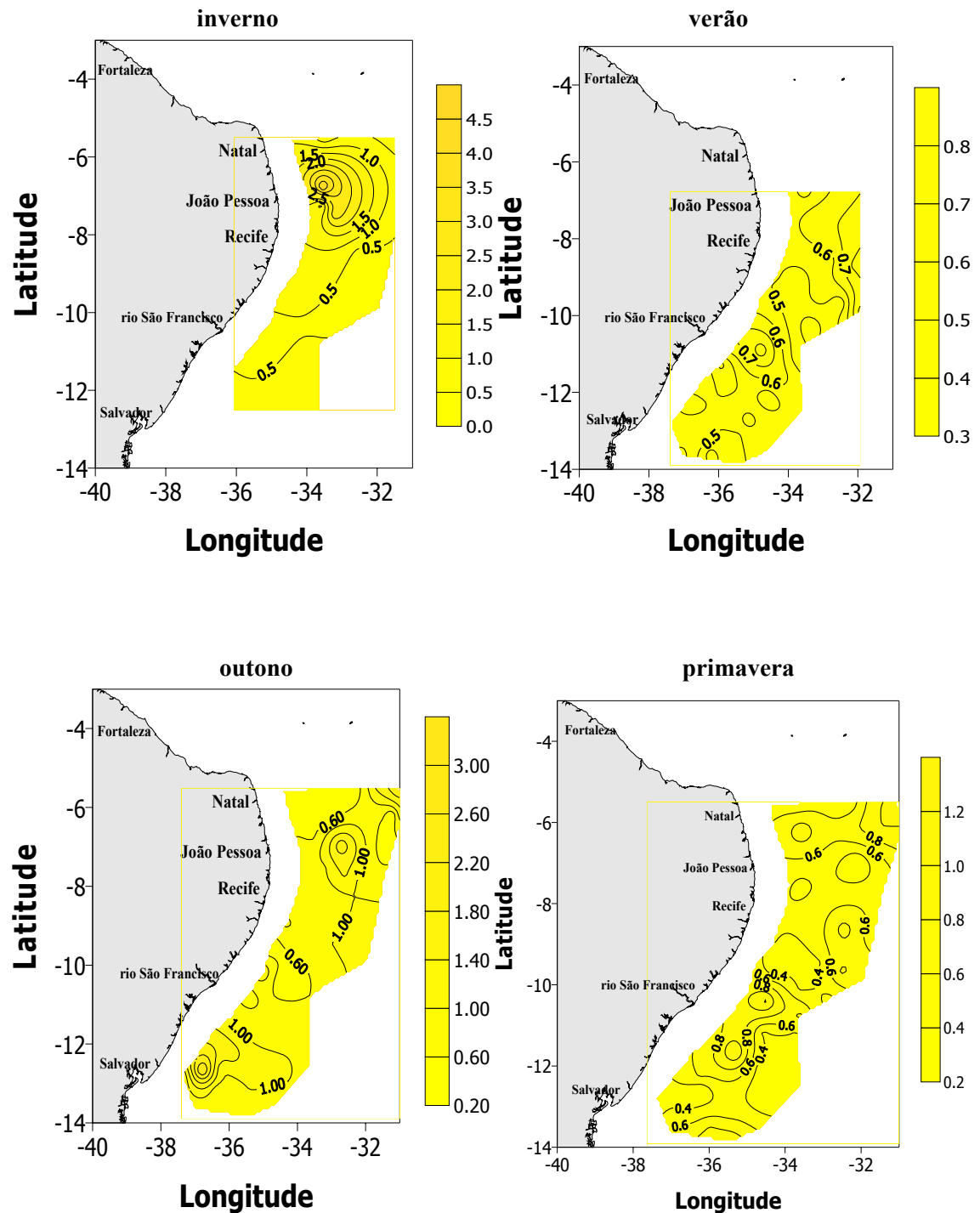


Figura 5.11. Variação do nitrato-N ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na profundidade de 1% de penetração da luz durante as diferentes estações do ano.

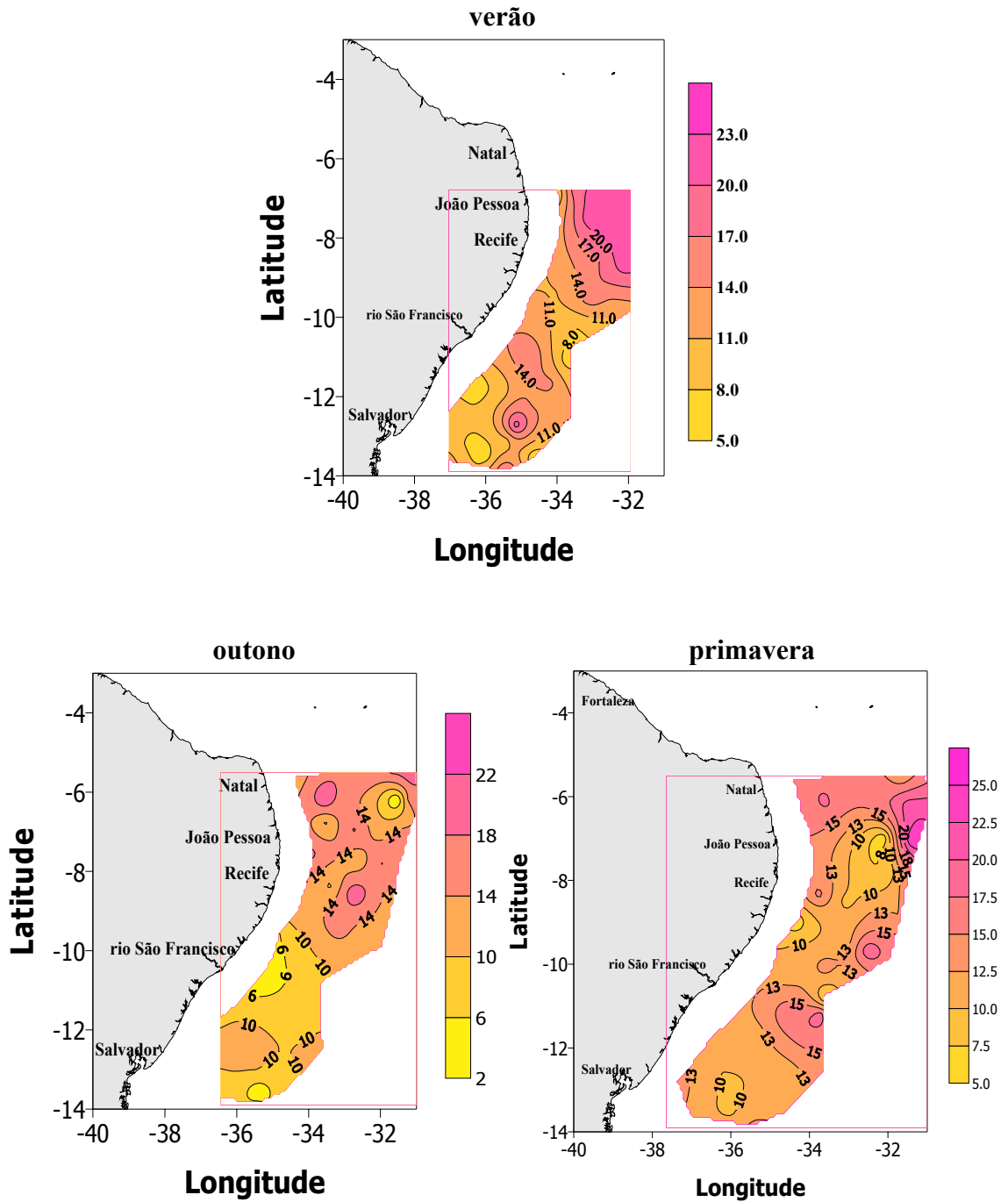


Figura 5.12. Variação do nitrato-N ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) no final da termocline durante as diferentes estações do ano.

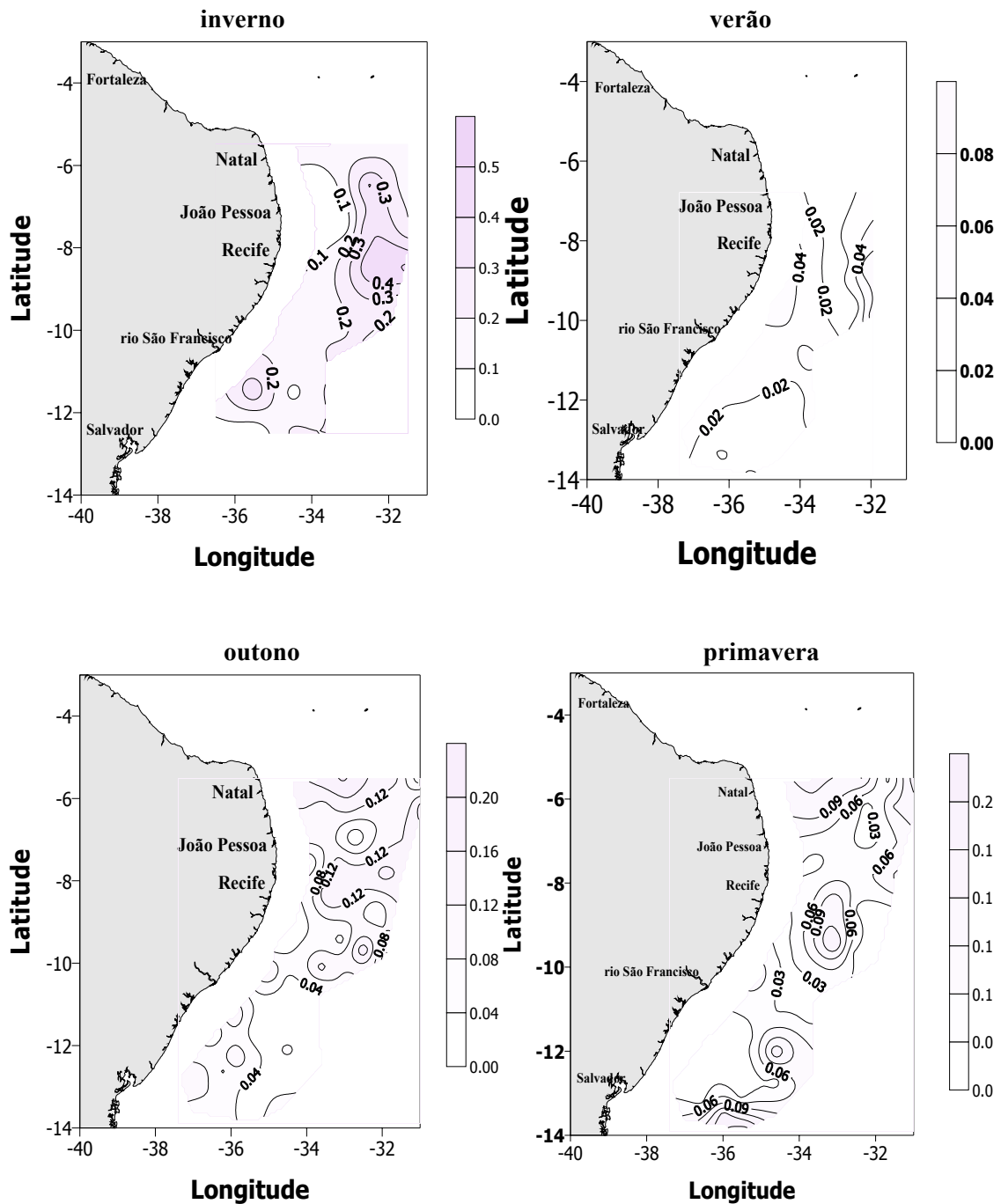


Figura 5.13. Variação superficial do fosfato-P ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) durante as diferentes estações do ano.

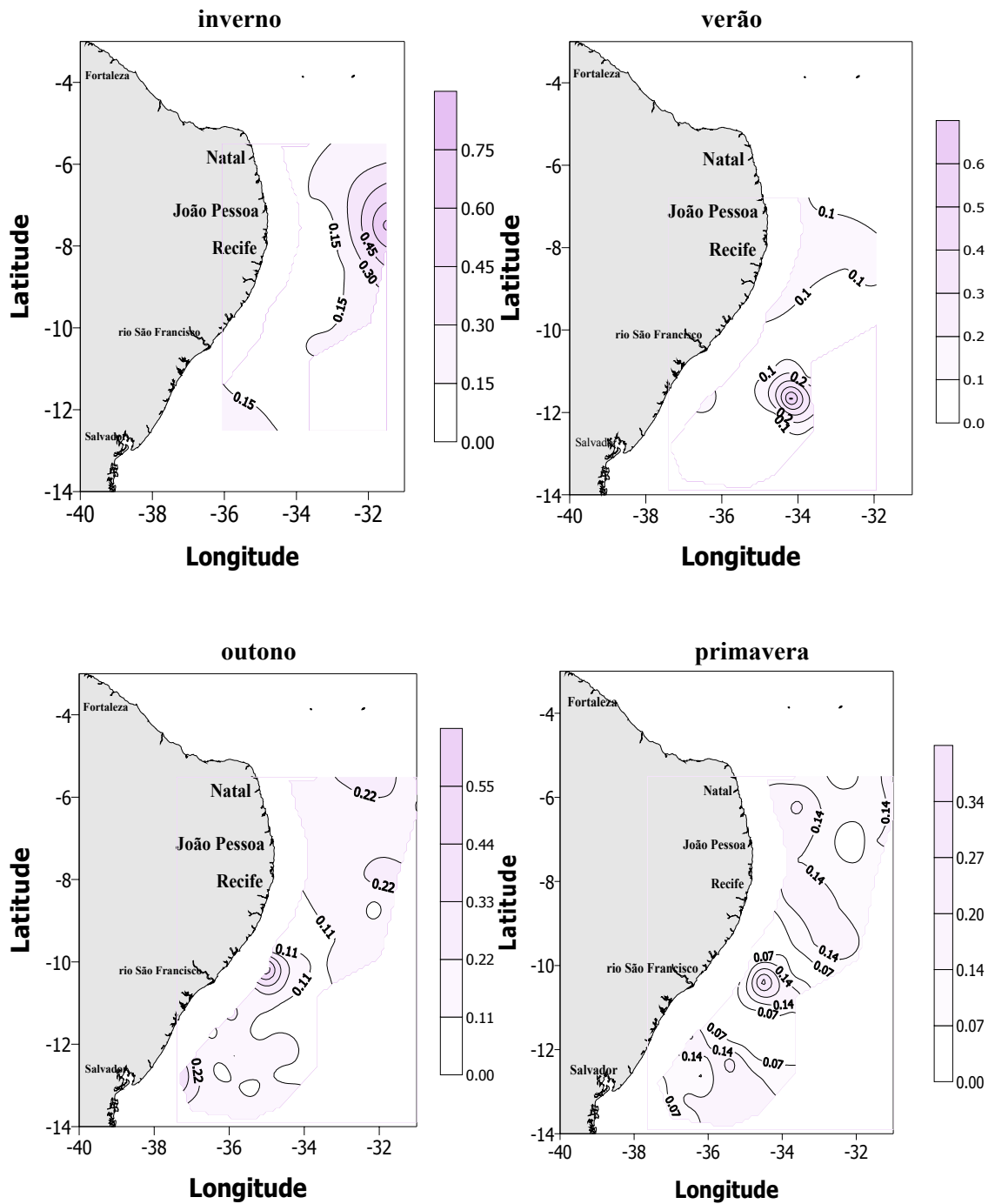


Figura 5.14. Variação do fosfato-P ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na profundidade de 1% de penetração da luz durante as diferentes estações do ano.

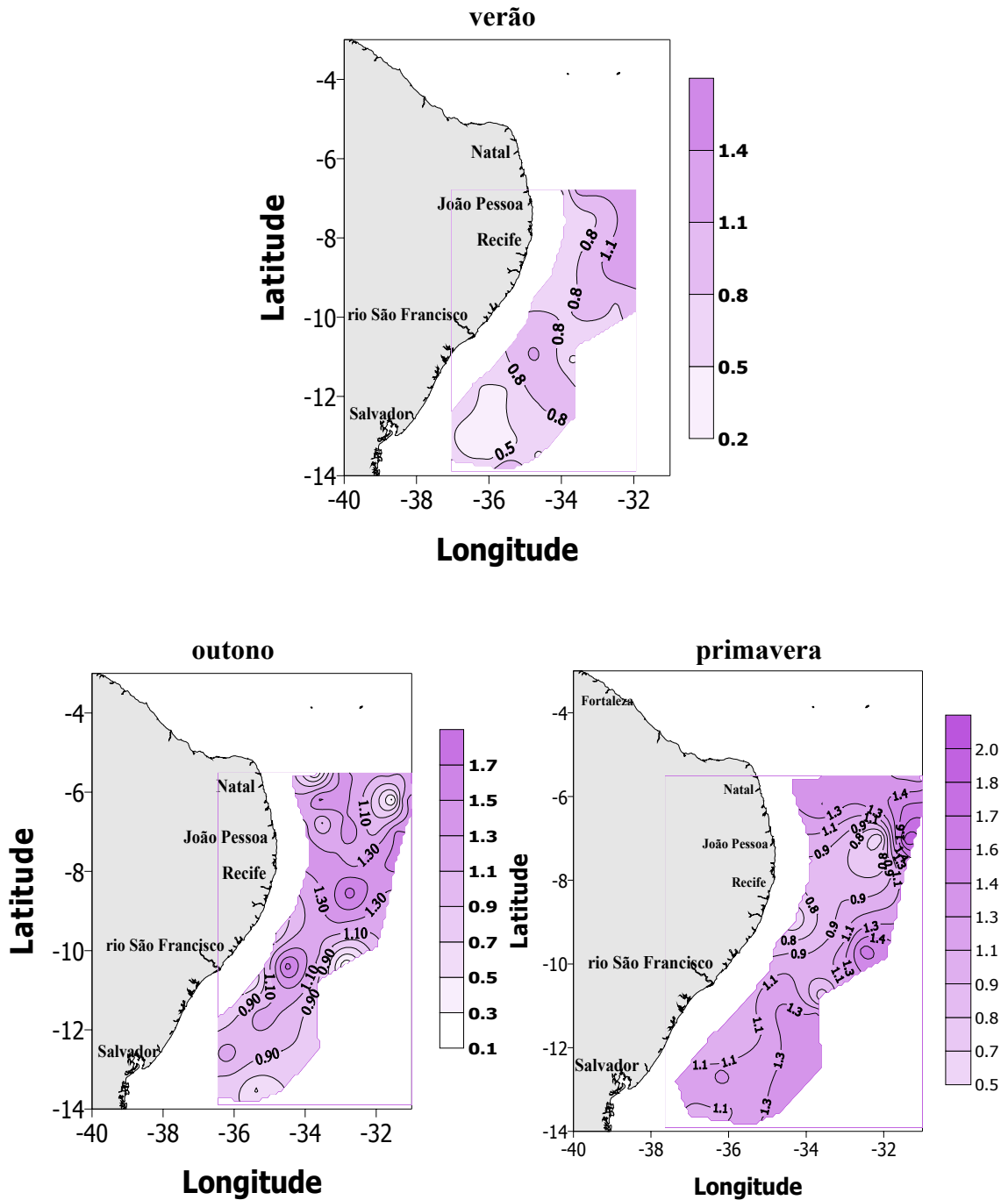


Figura 5.15. Variação do fosfato-P ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na profundidade do final da termocline durante as diferentes estações do ano.

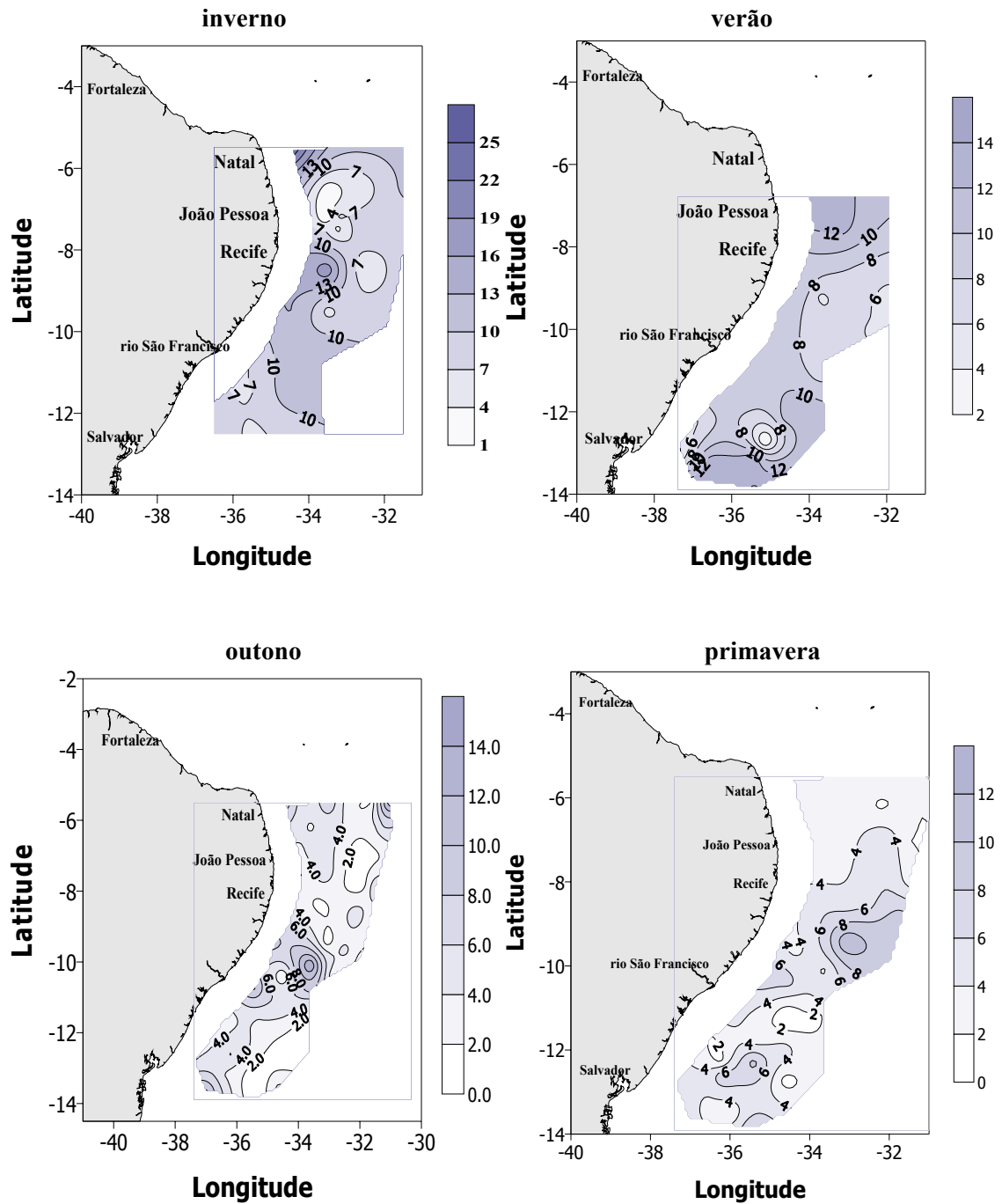


Figura 5.16. Variação superficial do silicato-Si ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) durante as diferentes estações do ano.

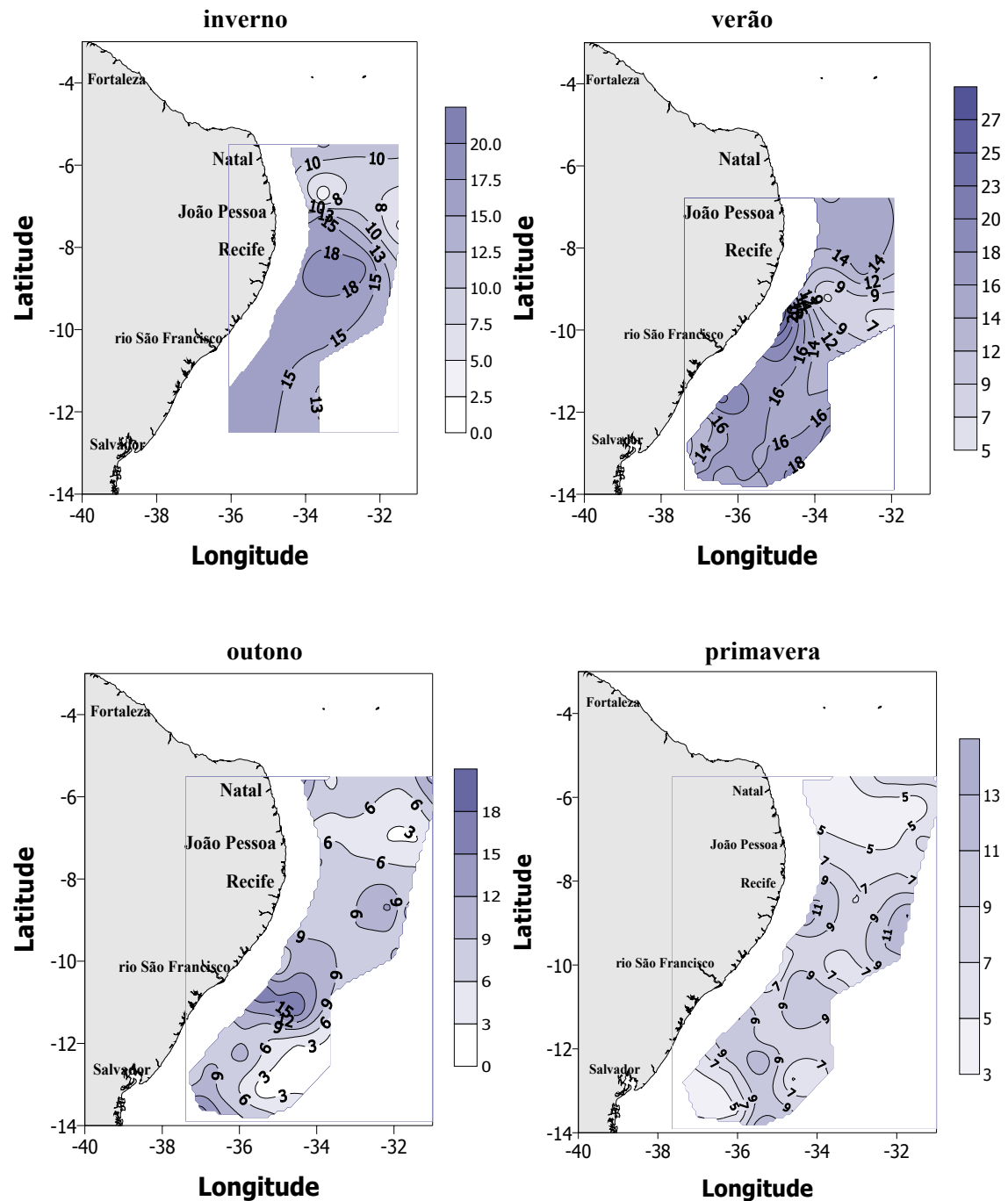


Figura 5.17. Variação do silicato-Si ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) na profundidade de 1% de penetração da luz durante as diferentes estações do ano.

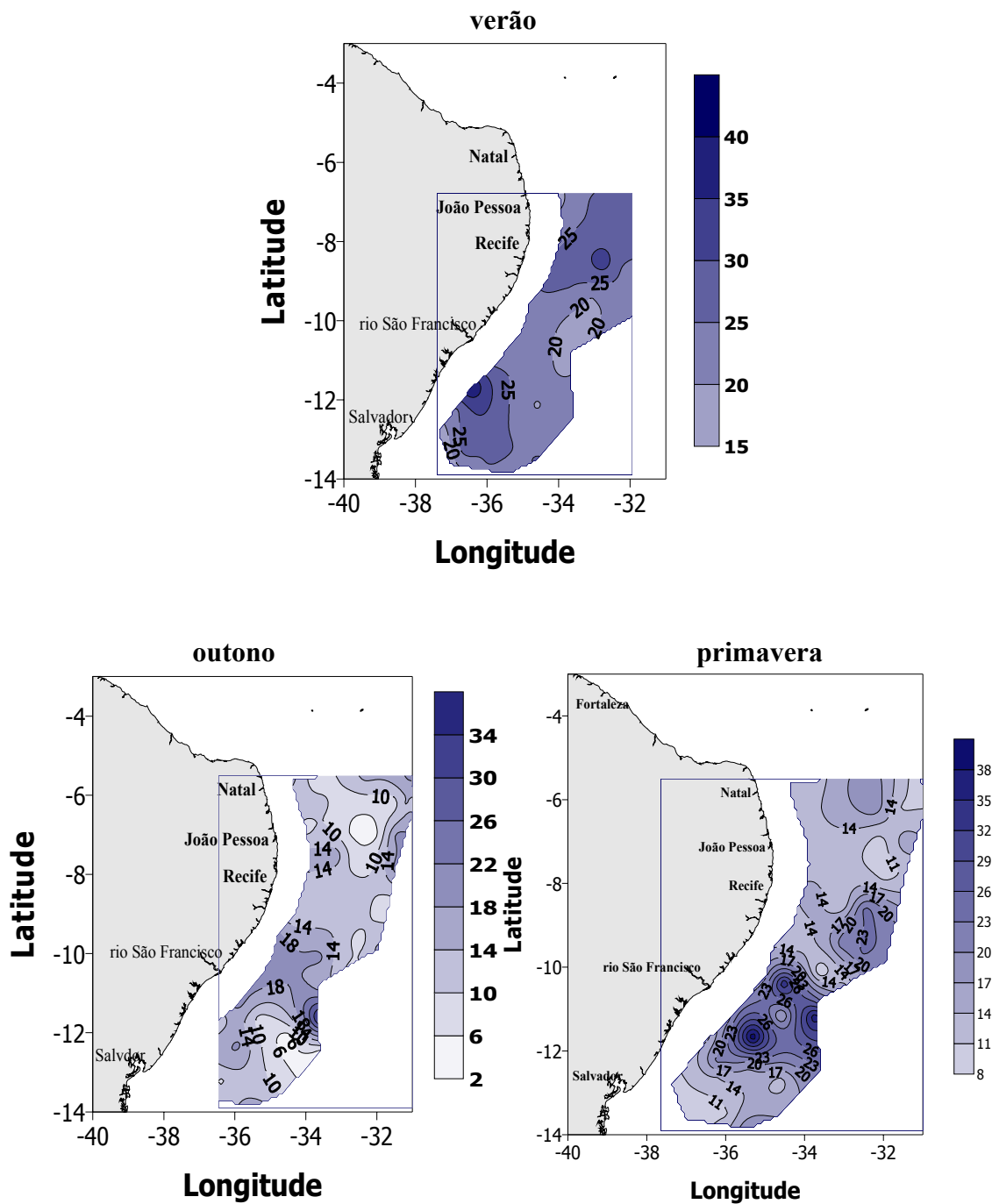


Figura 5.18. Variação do silicato-Si ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) no final da termoclina durante as diferentes estações do ano.

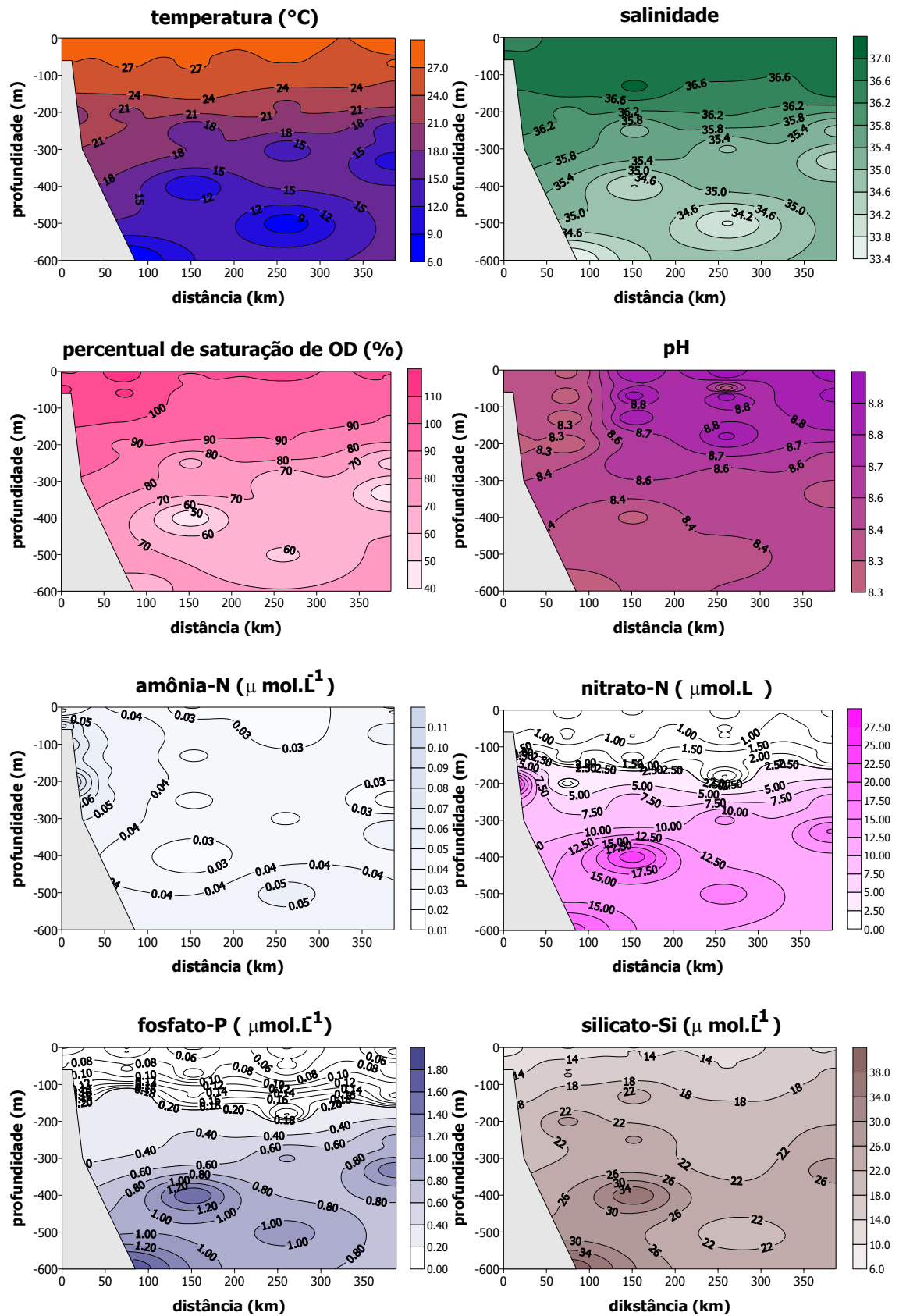


Figura 5.19. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 1 (10°S) durante o verão.

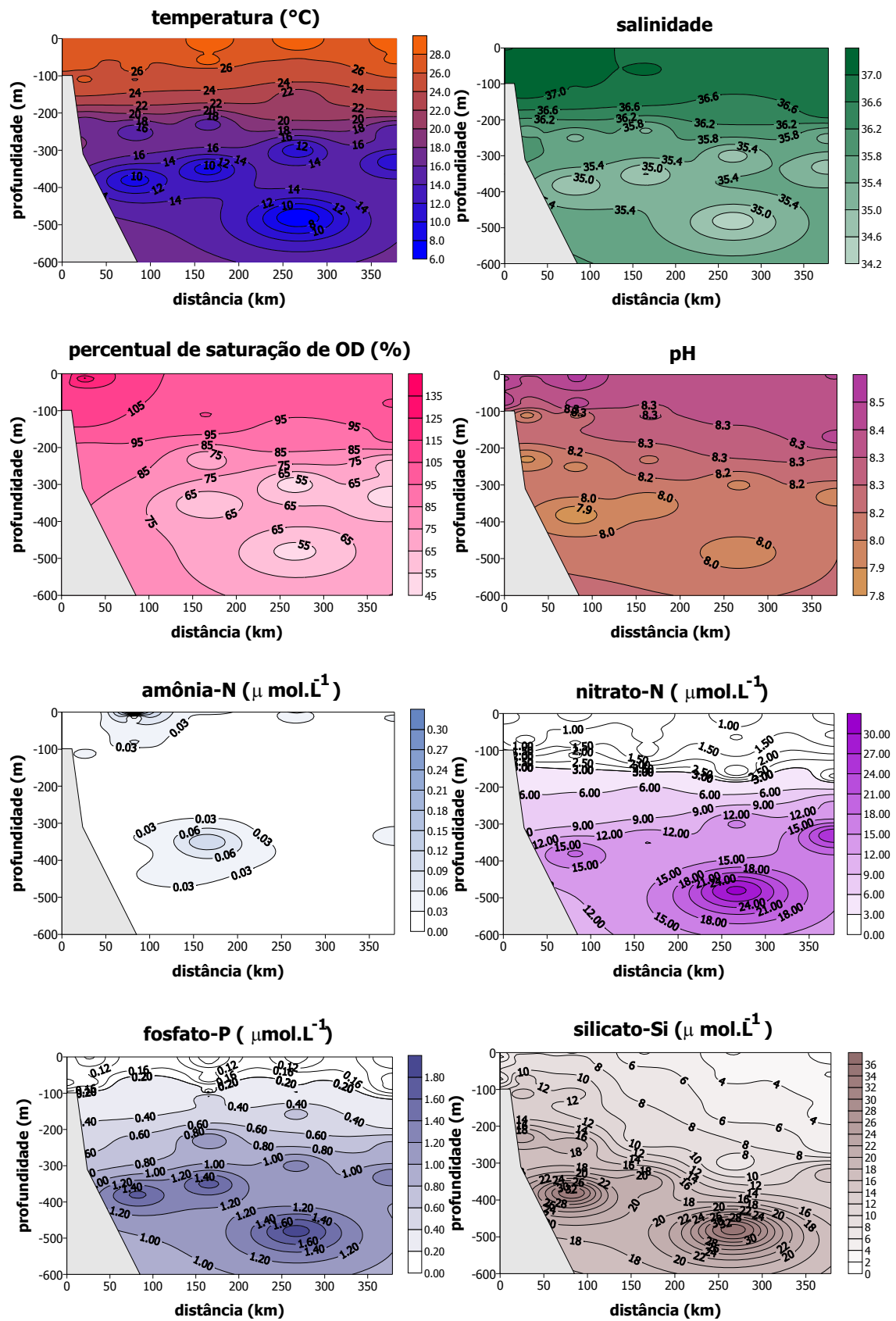


Figura 5.20. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 1 (10°S) durante o outono.

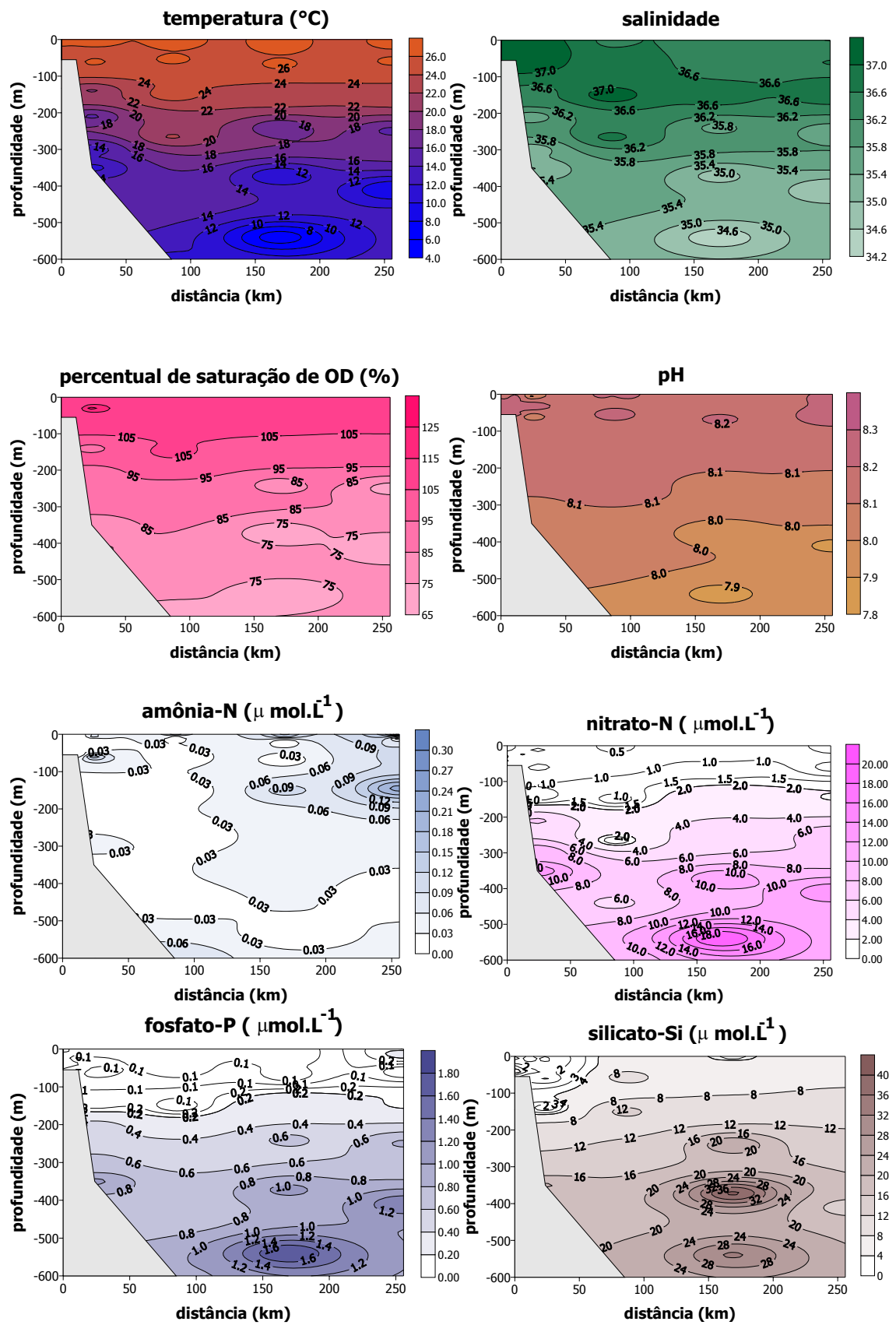


Figura 5.21. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 1 (10°S) durante a primavera.

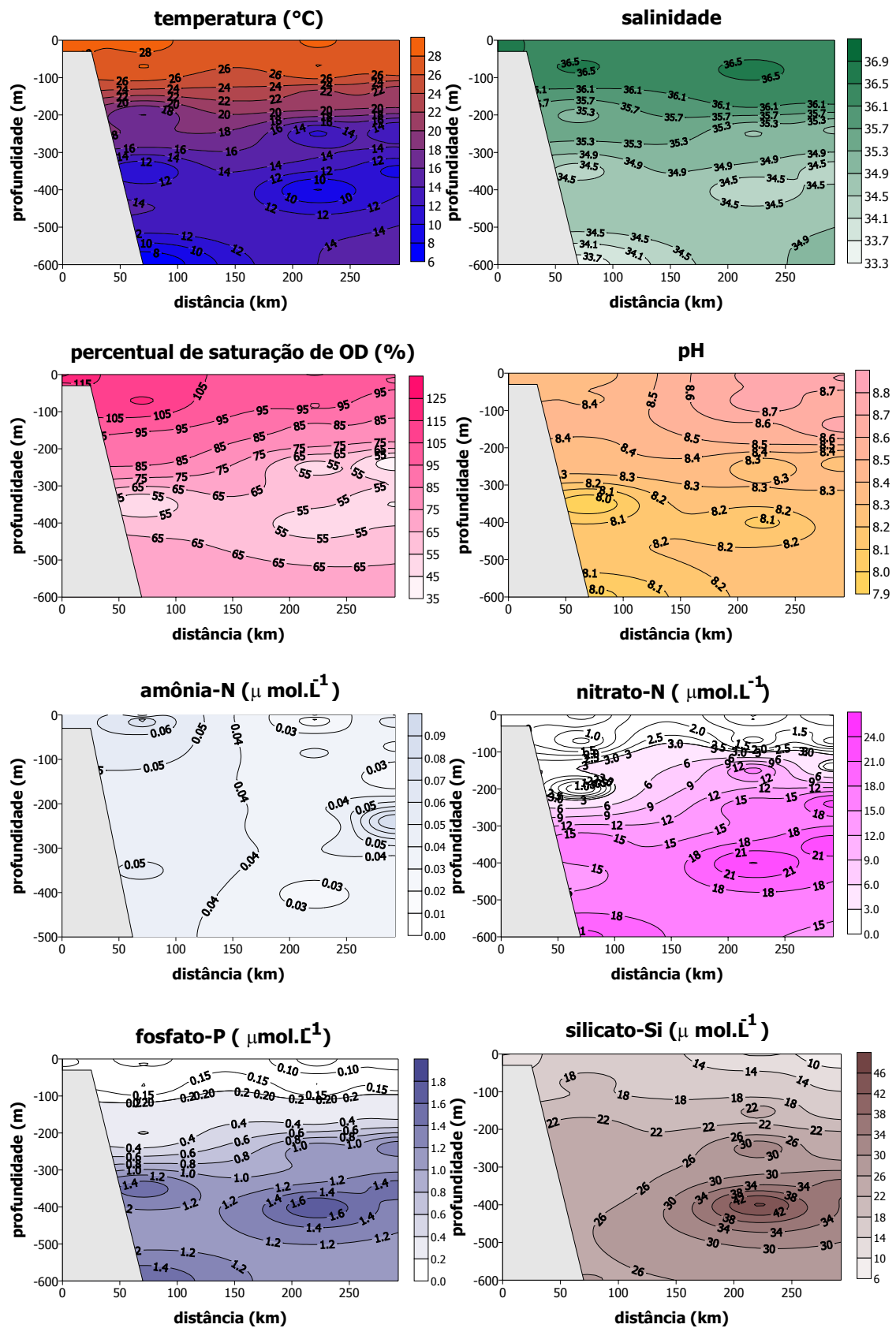


Figura 5.22. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 2 (8°S) durante o verão.

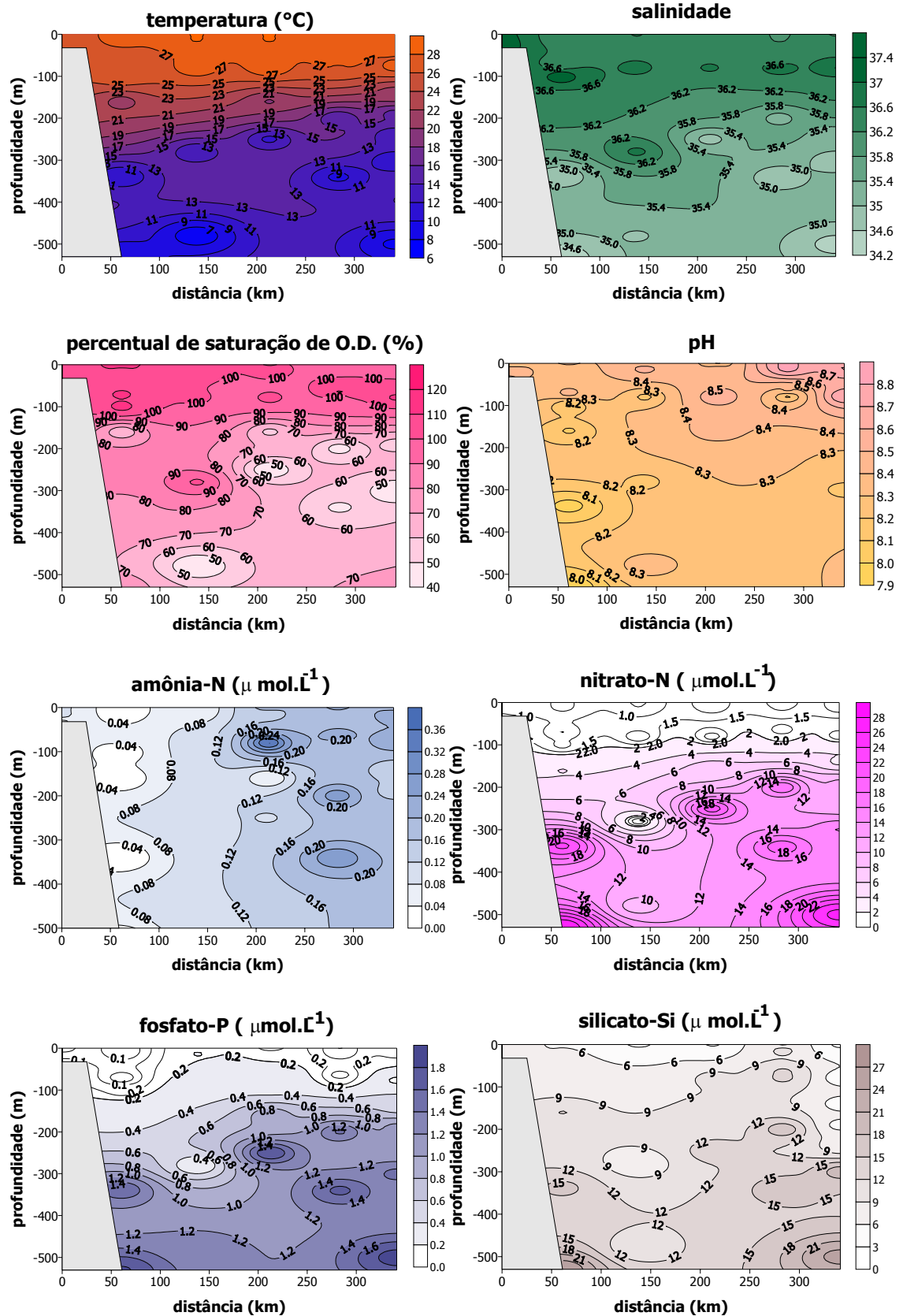


Figura 5.23. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 2 (8°S) durante o outono.

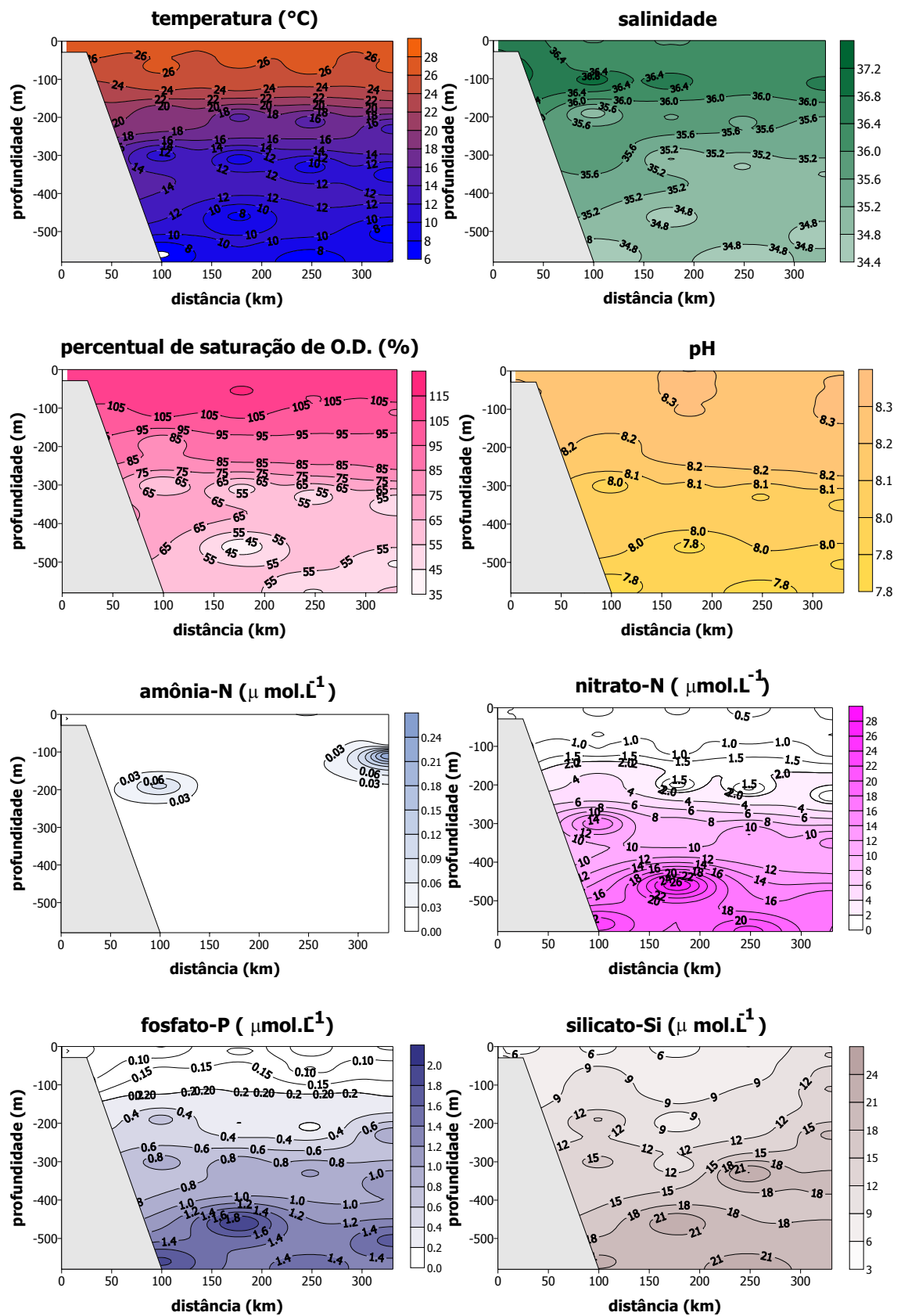


Figura 5.24. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 2 (8°S) durante a primavera.

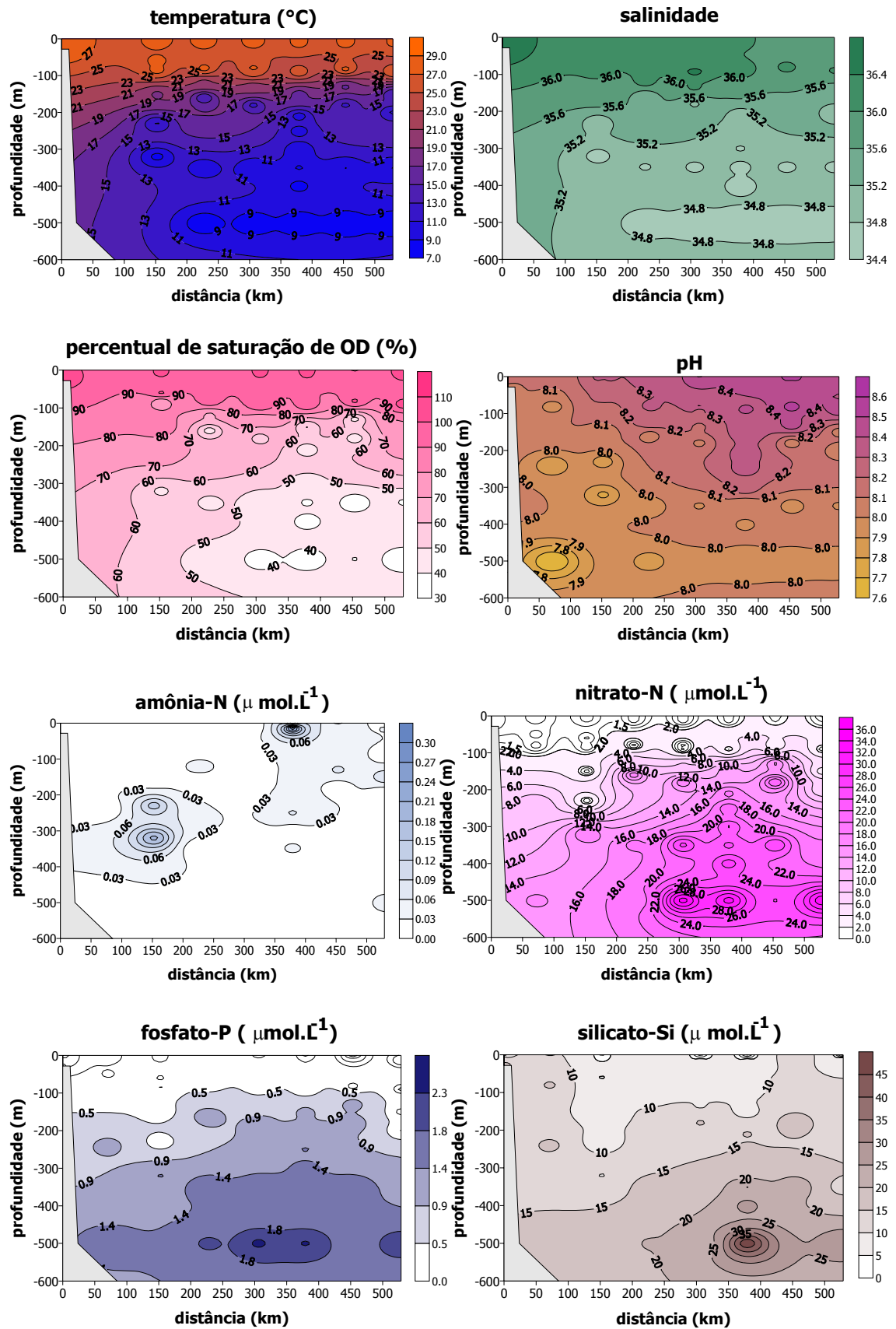


Figura 5.25 Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 3 (5°S) durante o outono.

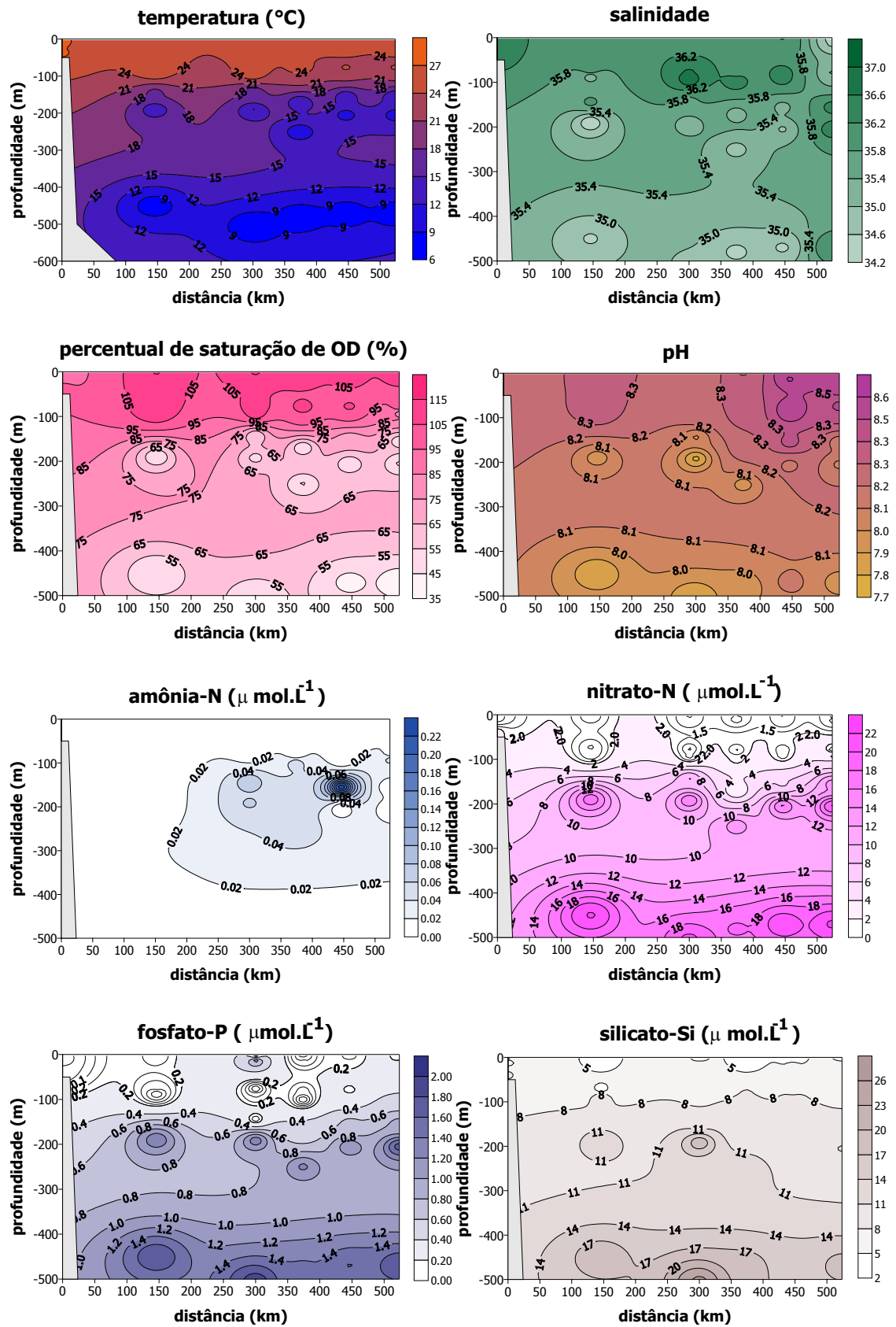


Figura 5.26. Distribuição vertical dos parâmetros abióticos no perfil 3 (5°S) durante a primavera.

5.1.2. Estatística Descritiva dos Parâmetros Abióticos

5.1.2.1. Camada Fótica

As medianas das concentrações de oxigênio dissolvido na camada fótica, apresentaram pequena variação entre as diferentes épocas do ano, com valores elevados e superiores a 4 ml.L^{-1} (Anexo 2).

A dispersão dos valores do O.D. durante o inverno apresentou-se muito mais assimétrica, apesar de ter o menor número de valores válidos, com mediana próxima aos valores máximos e com uma cauda inferior bastante longa, indicando a presença de alguns valores mínimos bastante baixos; também apresentou um maior valor do quartil inferior. Em seguida as concentrações registradas durante a primavera apresentaram uma amplitude quartílica bastante reduzida, indicando pequena variabilidade e a presença de pontos extremos nos dois lados da distribuição, com simetria negativa, em consequência de um valor mínimo bastante acentuado (Figura 5.27).

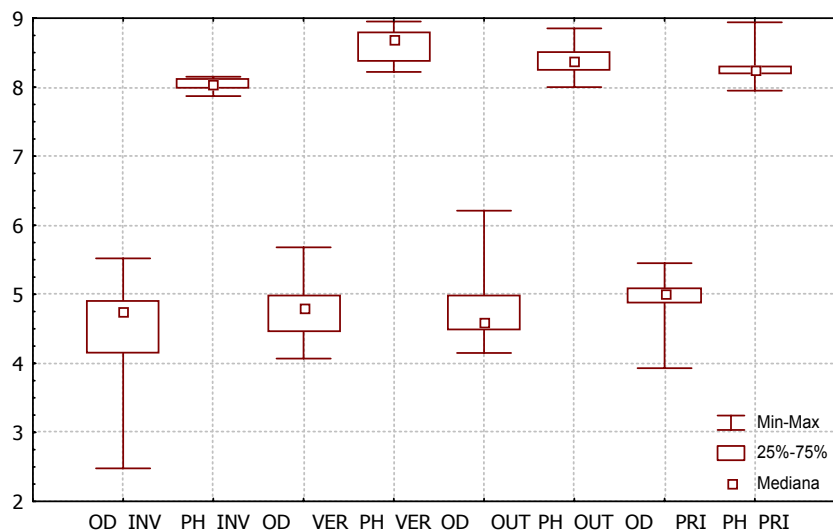


Figura 5.27. Variação do oxigênio dissolvido e pH na camada fótica, nos diferentes períodos sazonais.

Observando a figura 5.28, notamos que a mediana de saturação de O.D. esteve maior durante a primavera, com distribuição simétrica, e pouca variabilidade; no verão é observado uma amplitude quartílica maior e no inverno uma cauda inferior maior. A assimetria é positiva tanto no verão como no outono, que também apresentou o maior valor.

Quanto ao pH, pode-se observar que a mediana se manteve sempre na faixa alcalina, acima de 8,0 com maiores medianas durante o verão e menores no inverno, apresentando pequenas amplitudes quartílicas e pequena variação em toda a área estudada (Figura 5.27 e Anexo 2).

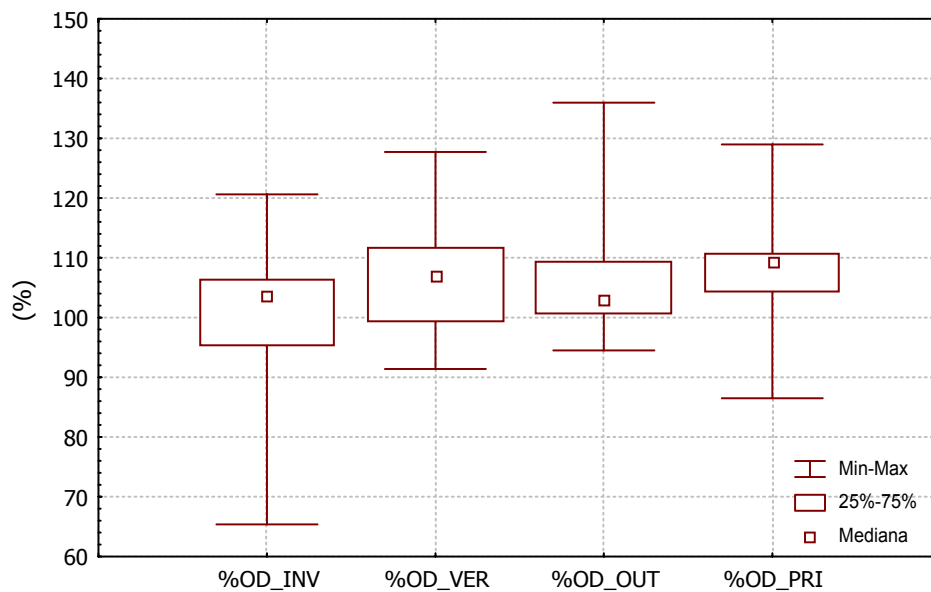


Figura 5.28. Variação do percentual de saturação de oxigênio dissolvido na camada fótica, nos diferentes períodos sazonais.

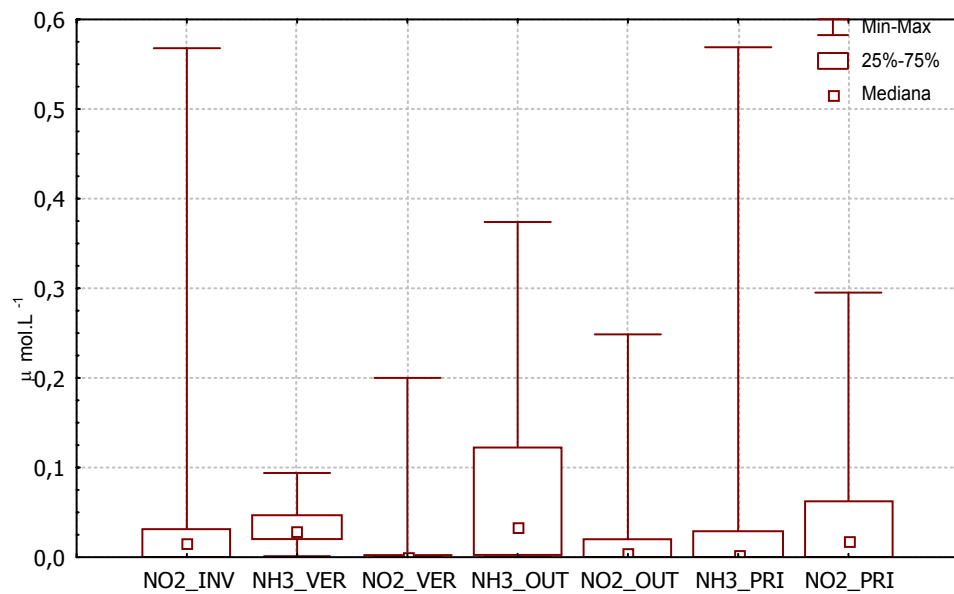


Figura 5.29. Variação da amônia-N e do nitrito-N na camada fótica, nos diferentes períodos sazonais.

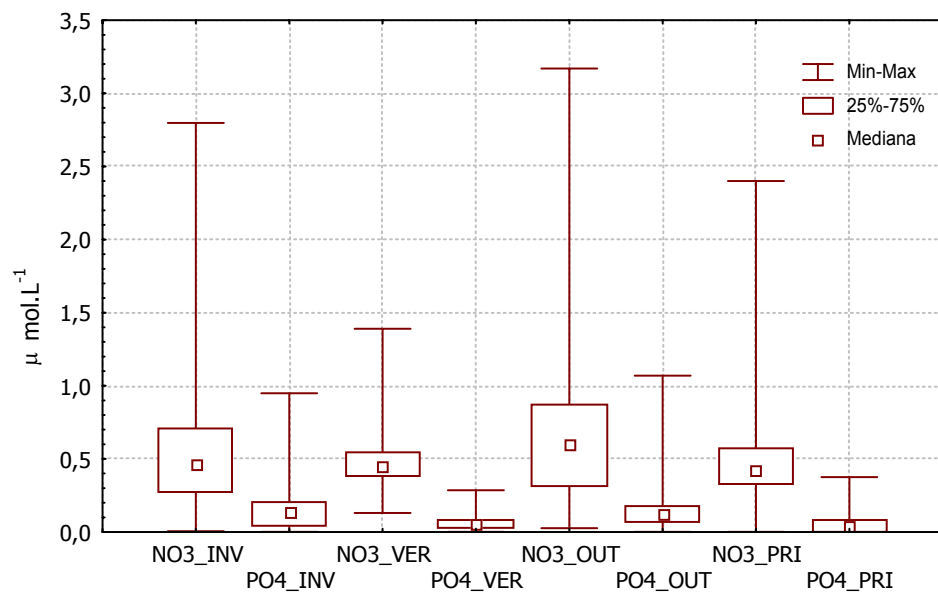


Figura 5.30. Variação do nitrato-N e fosfato-P na camada fótica, nos diferentes períodos sazonais.

Os teores de amônia-N, nitrito-N, nitrato-N e fosfato-P nesta camada, apresentaram concentrações bastante baixas, estando em alguns momentos abaixo do limite de detecção como no caso da amônia-N, nitrito-N e fosfato-P (Anexo 3).

De uma forma geral, todos eles apresentaram uma distribuição assimétrica positiva, em alguns casos com caudas superiores bastante longas e maiores valores quartílicos superiores. Porém, através dos diversos períodos sazonais, as medianas não apresentaram grande variação. As longas caudas superiores são reflexo da presença de valores máximos bastante elevados, que estão localizados na base da camada fótica, e em alguns momentos com penetração da nutriclina, provocada por uma termoclina bastante próxima à superfície (Figuras 5.29 e 5.30).

As amplitudes quartílicas para o fosfato-P, estão são bastante reduzidas, mostrando uma grande estabilidade na concentração e distribuição deste nutriente na camada da área estudada; enquanto que para amônia-N são elevadas durante o outono e para o nitrato-N no inverno e outono.

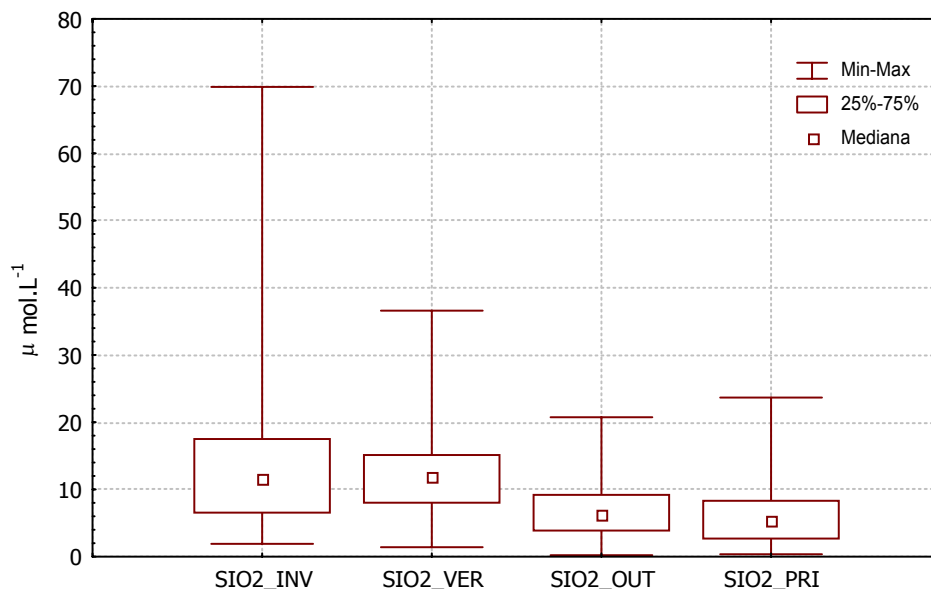


Figura 5.31. Variação do silicato-Si na camada fótica, nos diferentes períodos sazonais.

As medianas das concentrações do silicato-Si, apresentaram grande variação através dos ciclos sazonais, com maiores valores no inverno e verão (cerca de $12 \mu\text{mol.L}^{-1}$) e menores no outono e primavera (cerca de $6 \mu\text{mol.L}^{-1}$), com distribuição assimétrica positiva, estando a amplitude quartílica maior no inverno como também a amplitude entre máximo e mínimo, quando também foi registrado a concentração máxima mais elevada (Figura 5.31 e Anexo 3).

5.1.2.2. Camada Afótica

Nas águas oceânicas foram registradas as medianas mais baixas de temperatura, salinidade, oxigênio e pH, e mais elevadas de nitrato-N, fosfato-P. Quanto ao silicato-Si isto acontece apenas durante os períodos de verão e outono.

Pelos dados do Anexo 4 podemos observar que a mediana da temperatura nesta camada, apresentou, durante o verão, o valor mediano, os quartis inferior e superior mais elevados, indicando a presença de águas menos frias em relação aos outros períodos sazonais, e no outono, o valor mediano mais baixo.

Os valores medianos registrados para a salinidade estiveram entre 35 e 36, e uma amplitude salina inferior a 4, estando durante o verão a mediana mais elevada, e valores mínimo e máximo inferiores aos dos outros períodos.

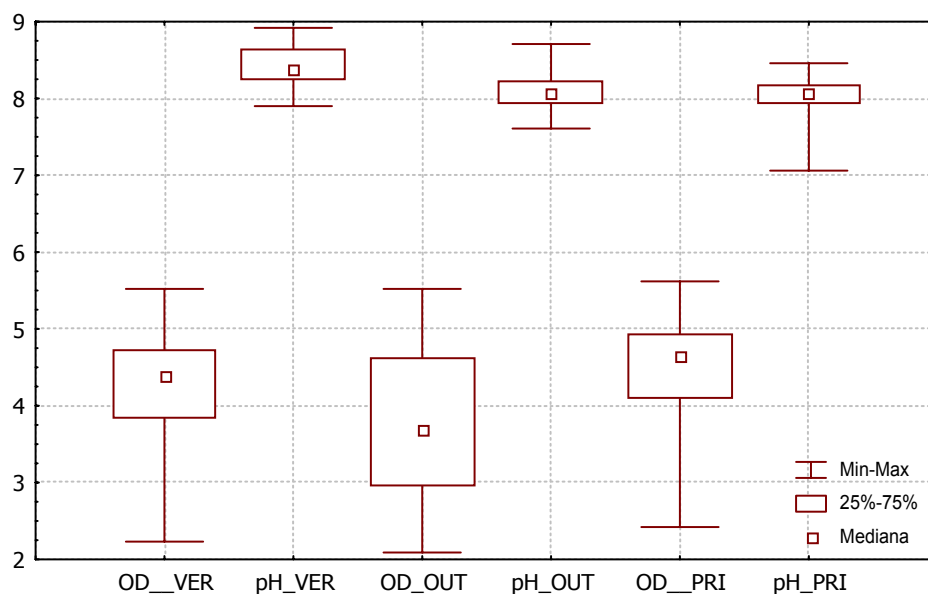


Figura 5.32. Variação do oxigênio dissolvido e pH na camada afótica, nos diferentes períodos sazonais.

Nesta camada pode-se observar que as medianas das concentrações de oxigênio dissolvido se mantiveram elevadas, com distribuição assimétrica negativa no verão e primavera e uma boa simetria no outono; uma amplitude interquartílica maior que na camada fótica, e os quartiles inferiores influenciados pelas baixas concentrações registradas nas maiores profundidades (Figura 5.32).

O pH apresentou também variações maiores que na camada fótica e com medianas acima de 8,0 com um certo grau de assimetria negativa, acompanhando a variação das concentrações de oxigênio dissolvido e sofrendo influencia dos processos de mineralização da matéria orgânica quando ocorre maior liberação de gás carbônico, diminuindo o pH (Figura 5.32 e Anexo 5).

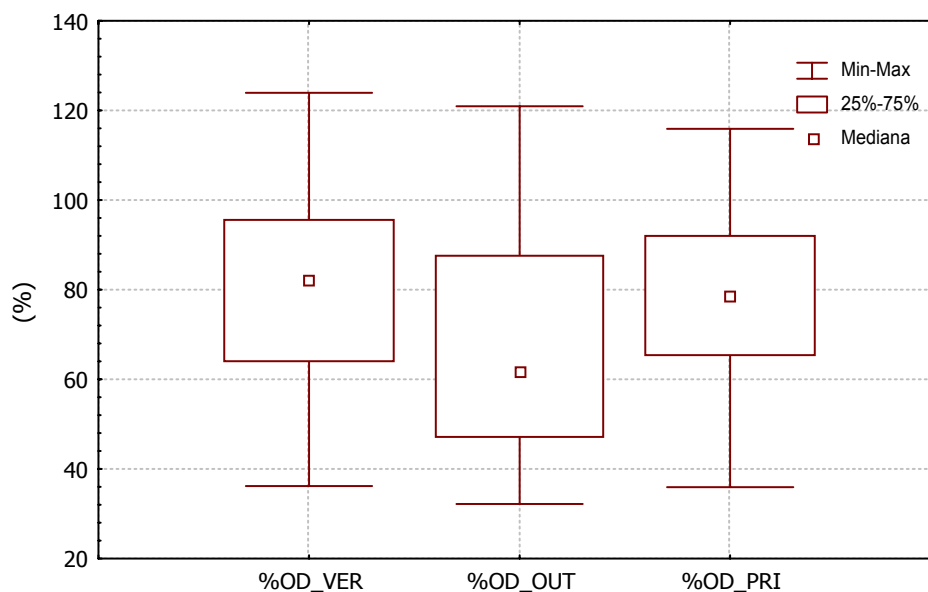


Figura 5.33. Variação do percentual de saturação de oxigênio dissolvido na camada afótica, nos diferentes períodos sazonais.

Observando-se a figura 5.33, os valores medianos próximos a 80% de saturação de oxigênio são registrados no verão e primavera, enquanto que no outono a mediana foi de 60%. Observamos uma amplitude interquartílica bastante grande, com valores máximos no verão e mínimos no outono. No verão e primavera a assimetria é negativa com mediana próxima aos valores quartílicos superiores, indicando maior número destes valores, enquanto que no outono é observado o inverso (Anexo 5).

As concentrações de nitrato-N apresentaram uma grande assimetria positiva com caudas superiores bastante grandes, principalmente na primavera quando foram registrados as maiores concentrações, sendo que as mínimas registradas estiveram próximas a $0,2 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (Figura 34). Esta grande amplitude apresenta a variação provocada pela nitracлина, que tem um aumento das concentrações com aumento da profundidade. O valor mediano, apresentado no Anexo 4, foi maior no outono ($12,55 \mu\text{mol.L}^{-1}$) e menor no verão ($3,94 \mu\text{mol.L}^{-1}$).

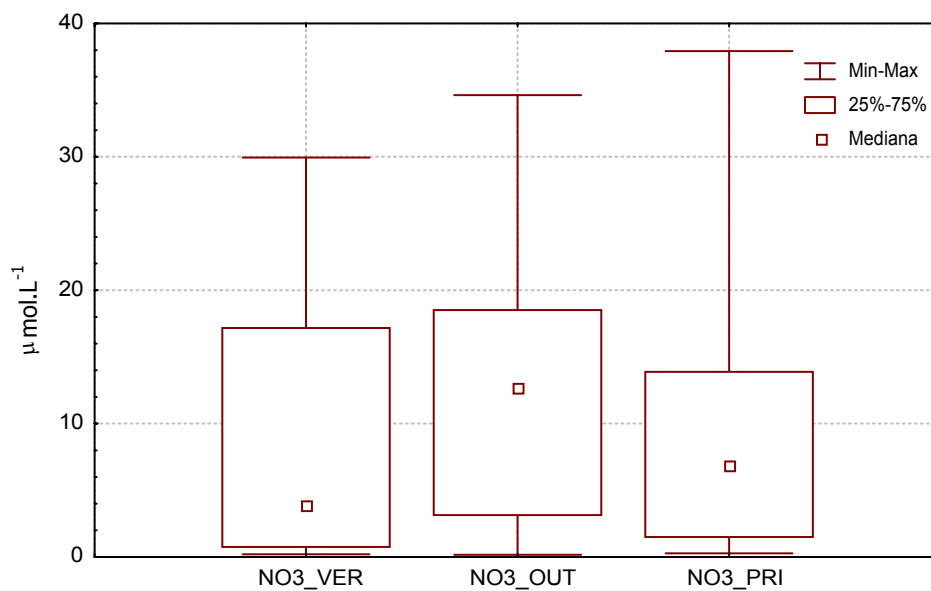


Figura 5.34. Variação do nitrato-N na camada afótica, nos diferentes períodos sazonais.

As concentrações de fosfato-P apresentaram uma ampla variação com valores abaixo do limite de detecção até o máximo de $2,4 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (Anexo 6). A distribuição das concentrações foi assimétrica positiva, com a menor mediana no verão e a maior no outono, que também apresentou maiores valores dos quartis superior e inferior (Figura 5.35). Os teores deste nutriente apresentaram uma elevada correlação positiva com os de nitrato-N (figura 5.64), com aumento da profundidade.

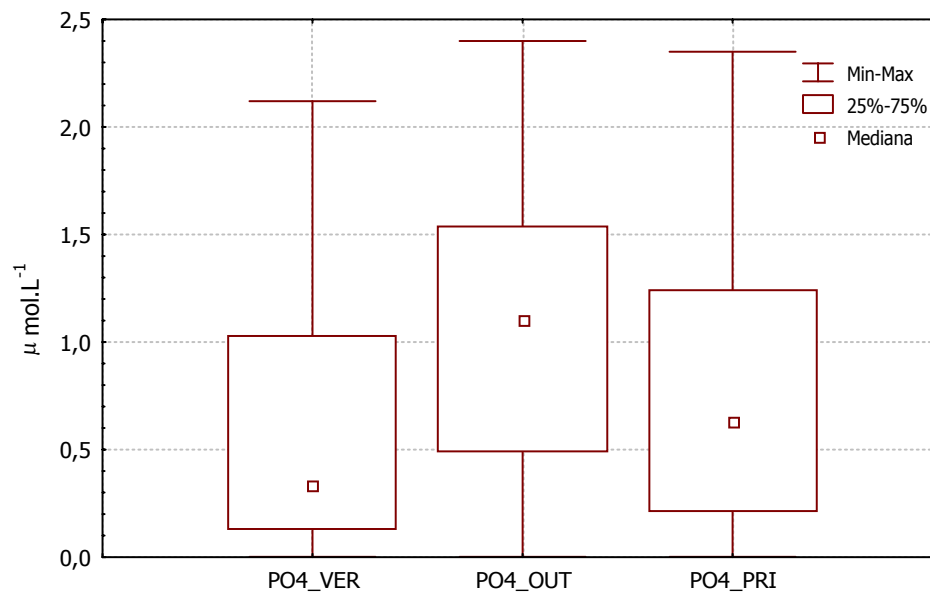


Figura 5.35. Variação do fosfato-P na camada afótica, nos diferentes períodos sazonais.

A concentração mediana apresentada pelo silicato-Si, foi maior no verão, com amplitudes quartílicas semelhantes e assimetrias positivas, com caudas superiores equivalentes entre si, ou seja assimetria em direção dos valores mais elevados (Figura 5.36). Estas concentrações são maiores que na camada fótica, indicando um aumento deste nutriente em relação à profundidade porém sem formar uma correlação muito grande com os outros nutrientes nem um gradiente bem definido em relação à profundidade. (Anexo 6)

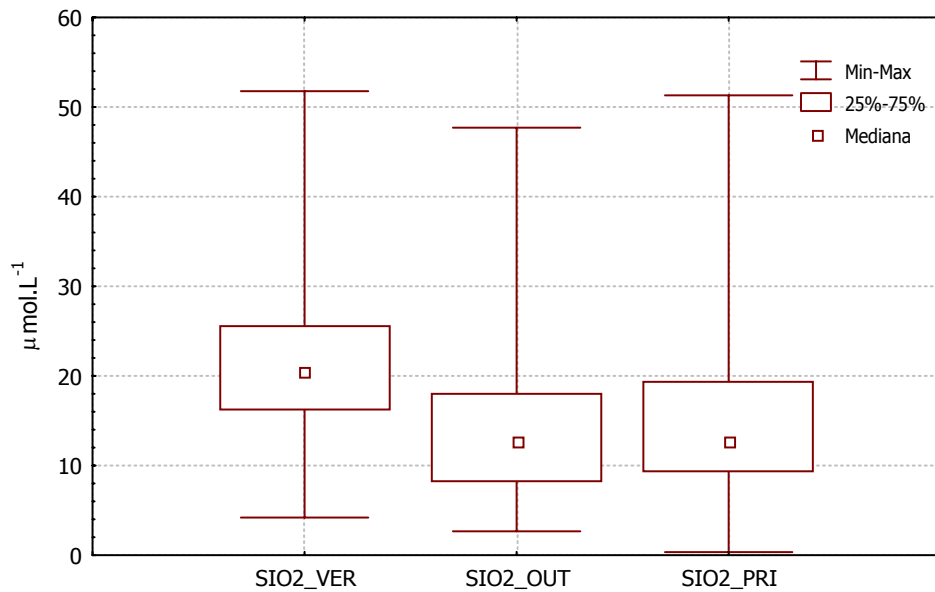


Figura 5.36. Variação do silicato-Si na camada afótica, nos diferentes períodos sazonais.

5.1.3. Análise dos Componentes Principais (ACP) dos Parâmetros Abióticos

5.1.3.1 ACP Geral dos Parâmetros Abióticos

Na segunda etapa foi realizada uma análise dos componentes principais (ACP), sendo utilizados os diferentes níveis de coleta nas diferentes áreas estudadas, com todos os parâmetros abióticos. As duas primeiras componentes (PC1 e PC2) explicaram cerca de 70% da variância original (Anexo 7). A primeira componente (PC1) explicou 59,1% da variância total, sendo influenciada pela profundidade, e que pode ser interpretada como um contraste entre, de um lado a temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e pH, com pesos negativos; e de outro lado o nitrato-N, fosfato-P e silicato-Si com pesos positivos (Figura 5.37).

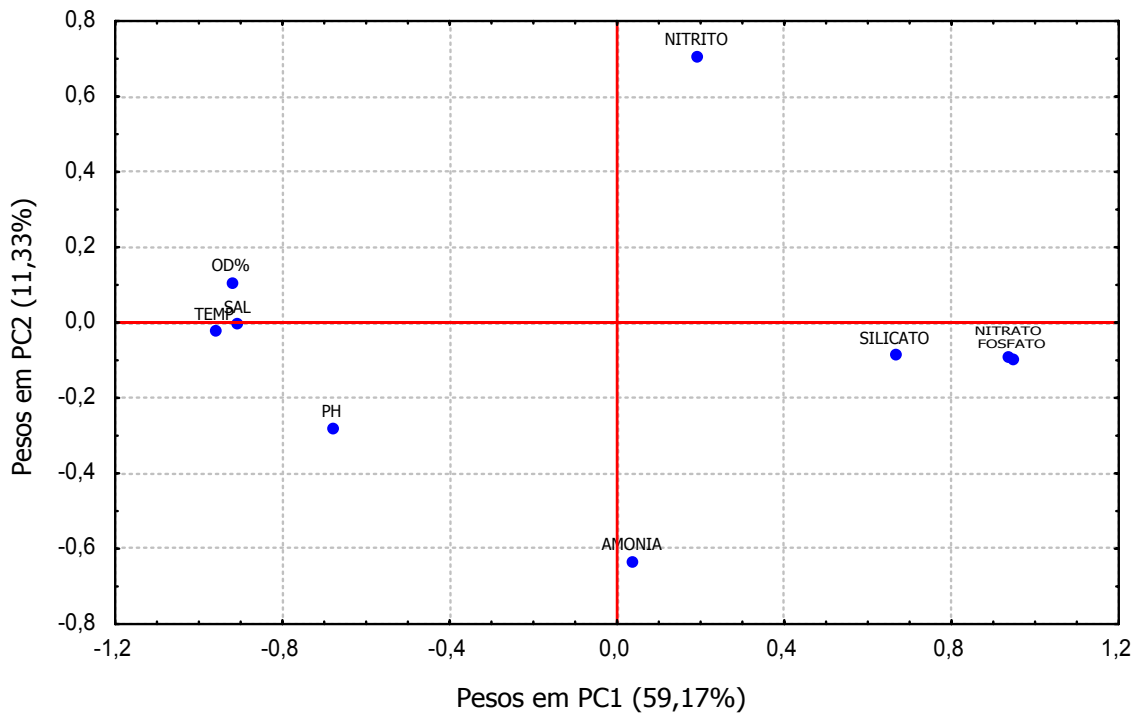


Figura 5.37. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos em todas as comissões juntas, com estratificação entre as camadas fótica e afótica.

Estes sinais contrários indicam que os dois grupos estão correlacionados negativamente. O nitrito-N e amônia-N não têm qualquer influencia nesta componente, porém, dominam a segunda componente, indicando que em determinados locais existem processos de mineralização da matéria orgânica em diferentes estágios, estando negativamente correlacionados.

Nas figuras 5.38 a 5.40 estão plotados os escores gerais dos dados hidrológicos em PC1 e PC2 para as diferentes províncias e camadas fótica e afótica, sendo, para uma melhor visualização, cada um destes um desmembramento do gráfico original. Na província nerítica foram observadas águas com maior temperatura, salinidade, saturação de oxigênio dissolvido e pH, sem apresentar uma variação sazonal definida.

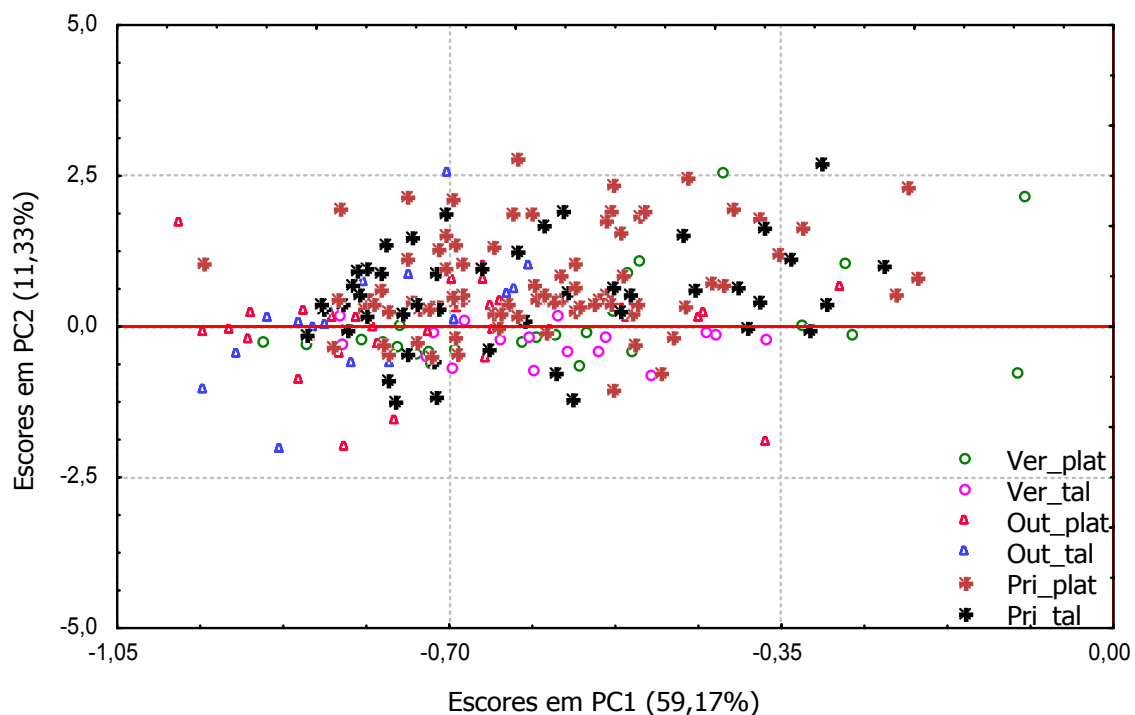


Figura 5.38. Gráfico dos escores nas duas primeiras componentes, na análise feita com os parâmetros abióticos em todas as comissões juntas na camada fótica da plataforma e talude.

A camada fótica da província oceânica, é também caracterizada pela alta temperatura, salinidade, saturação de O.D., pH e pobre em nutrientes, sendo que durante o outono e verão as águas apresentaram um pH mais alto; também durante o outono em alguns pontos registraram-se teores de amônia-N mais altos e na primavera teores de nitrito-N mais elevado.

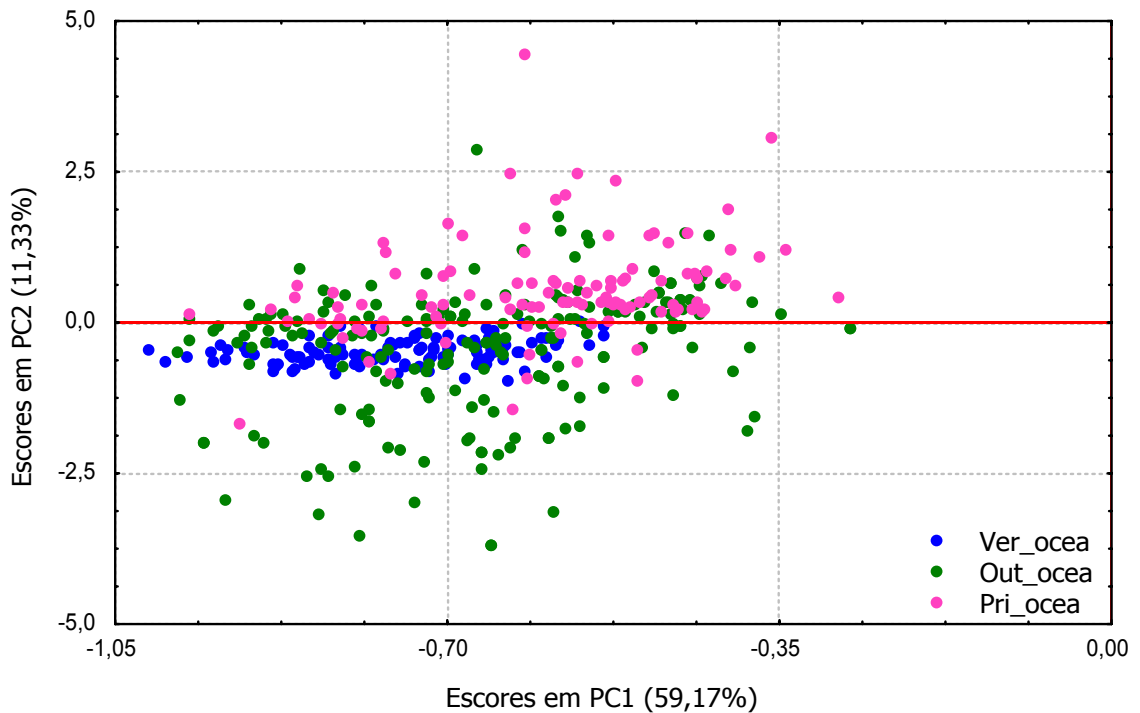


Figura 5.39. Gráfico dos escores nas duas primeiras componentes, na análise feita com os parâmetros abióticos em todas as comissões juntas na camada fótica oceânica.

Na camada afótica foram registrados grandes variações das concentrações dos parâmetros analisados, desde águas mais quentes até as mais frias, de águas mais ricas em nutrientes até níveis de concentrações muitas baixos. Observa-se que a distribuição dos escores apresenta uma tendência de separação entre os diferentes períodos sazonais onde no outono os níveis de amônia-N exercem certa influência e na primavera são os de nitrato-N, não havendo no verão maior influência destes nutrientes (Figura 5.40).

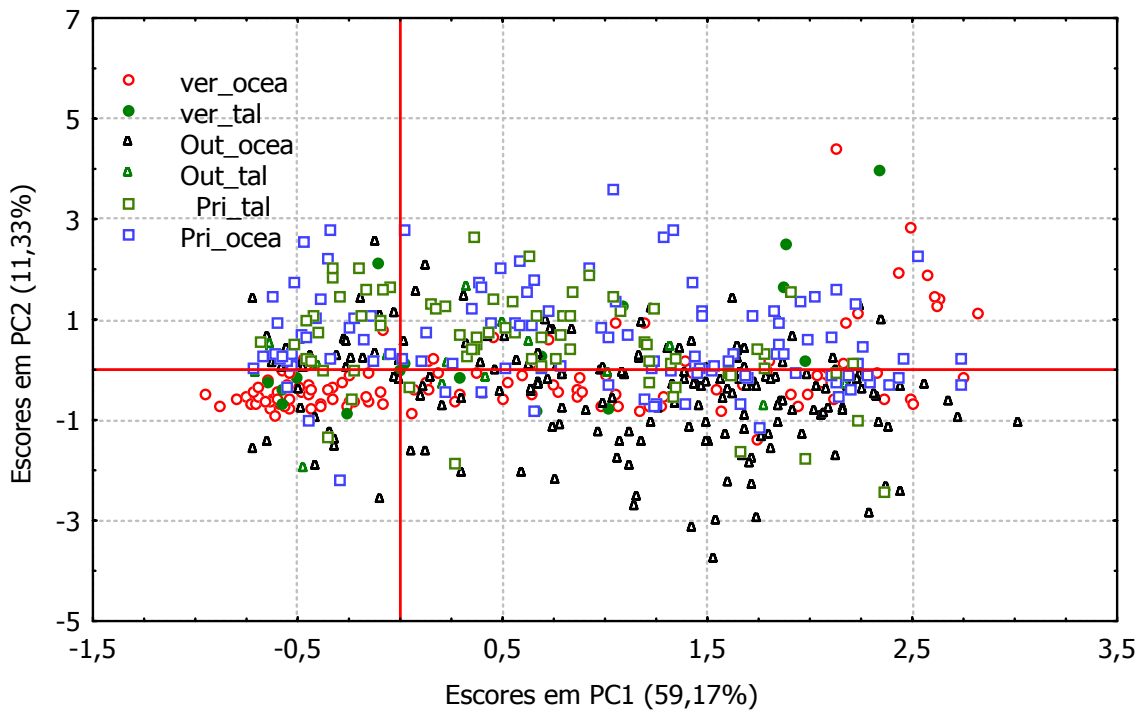


Figura 5.40. Gráfico dos escores nas duas primeiras componentes, na análise feita com os parâmetros abióticos em todas as comissões juntas na camada fótica oceânica.

5.1.3.2 ACP dos Dados Abióticos nos diferentes períodos sazonais.

Quando se analisa cada período separadamente, as duas primeiras componentes explicaram mais de 70% de variância total, sendo que a primeira componente explicou sozinha mais de 60%, indicando uma grande estabilidade na camada estudada.

Na primeira componente também foi observado um contraste entre as camadas fótica e afótica, separando as águas superficiais de maior temperatura, salinidade, O.D., pH, e menores teores de nutrientes, com as águas mais profundas, ricas em nutrientes, com menores temperaturas, salinidade, saturação de O.D. e pH (Figuras 5.41 a 5.46).

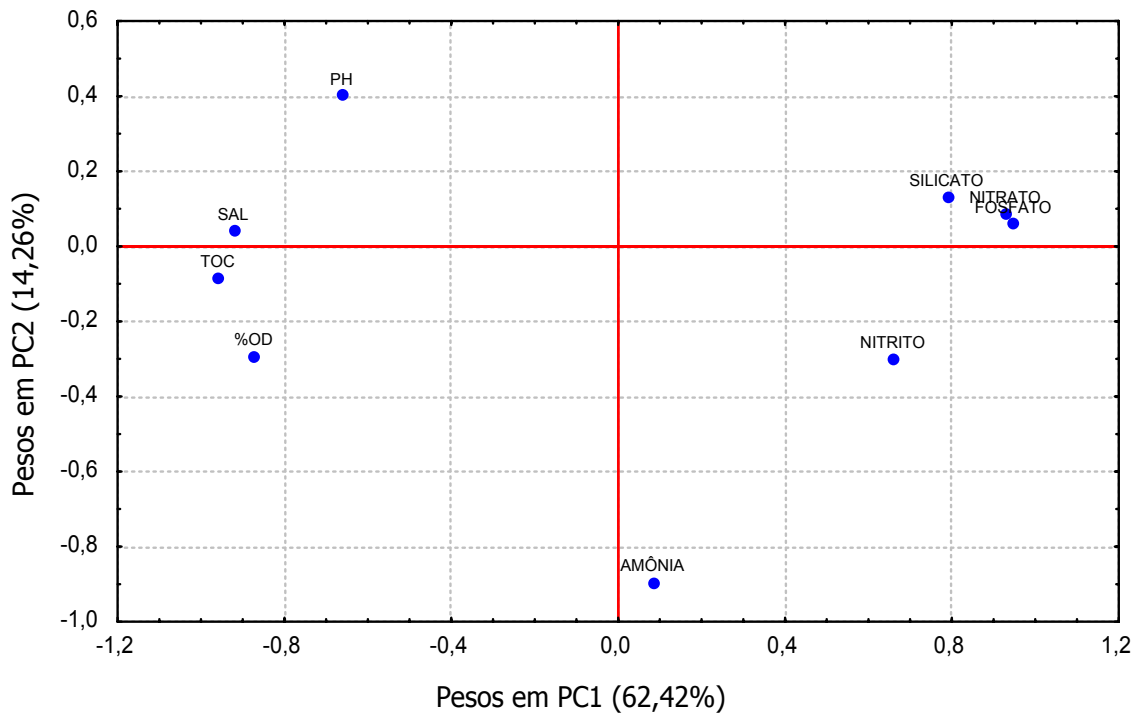


Figura 5.41. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos durante o verão.

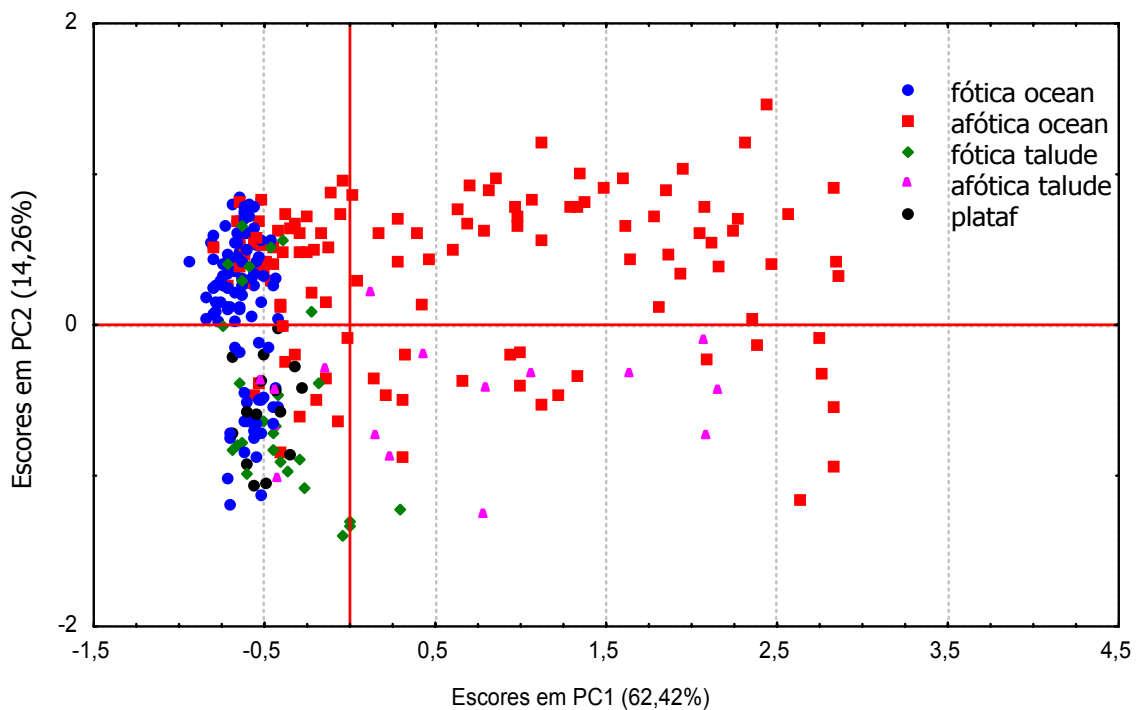


Figura 5.42. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos durante o verão com estratificação entre as camadas fótica e afótica.

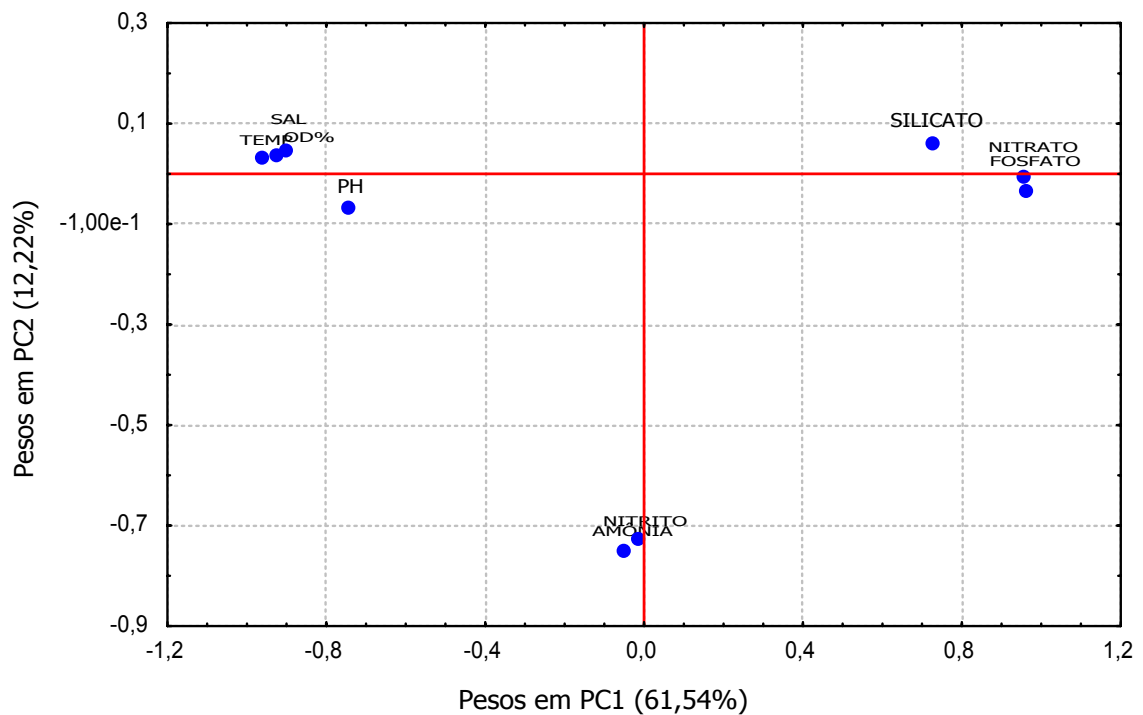


Figura 5.43. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos durante o outono.

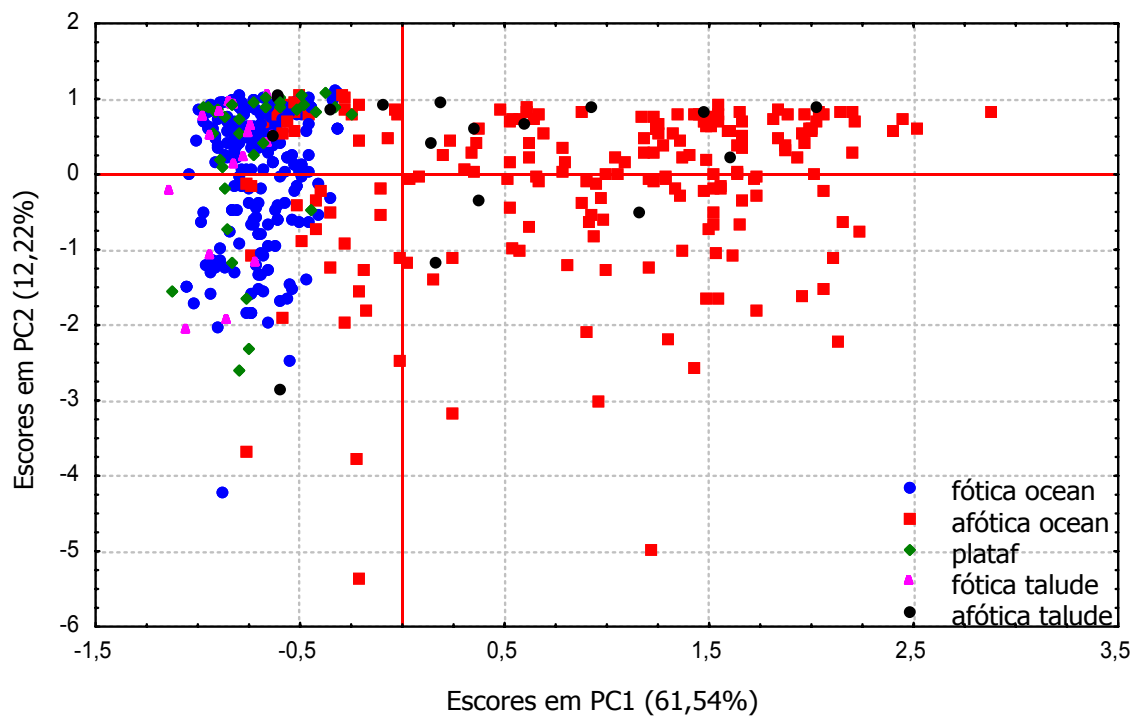


Figura 5.44. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos durante o outono, com estratificação entre as camadas fótica e afótica.

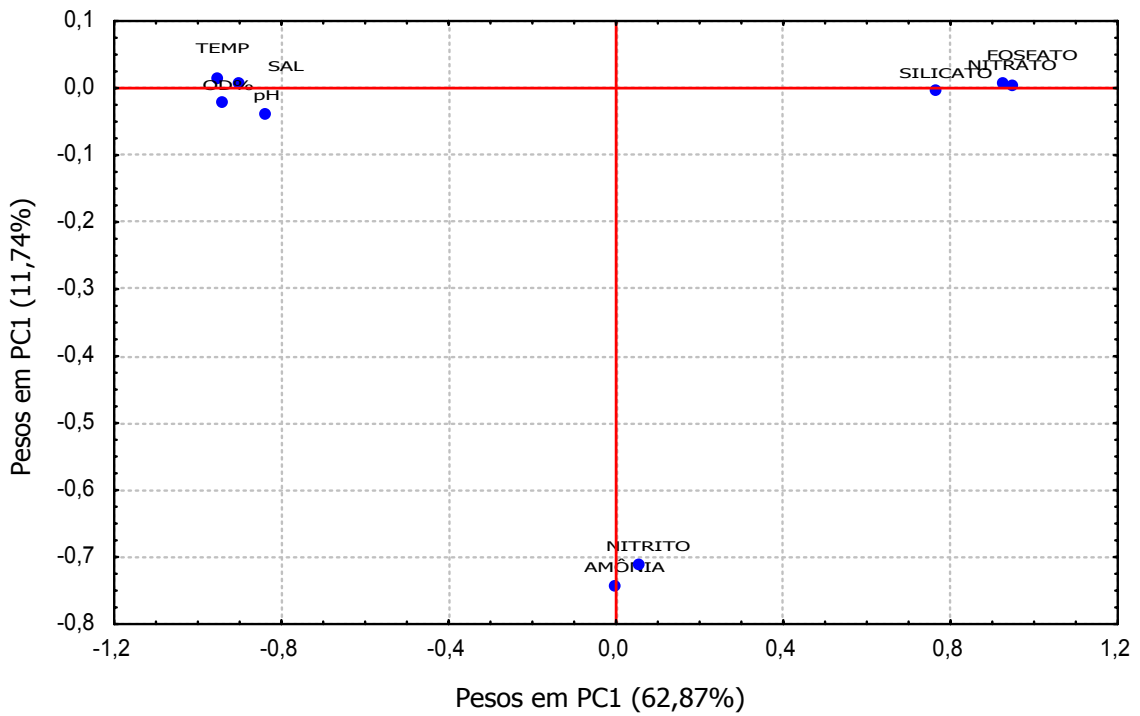


Figura 5.45. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos durante a primavera.

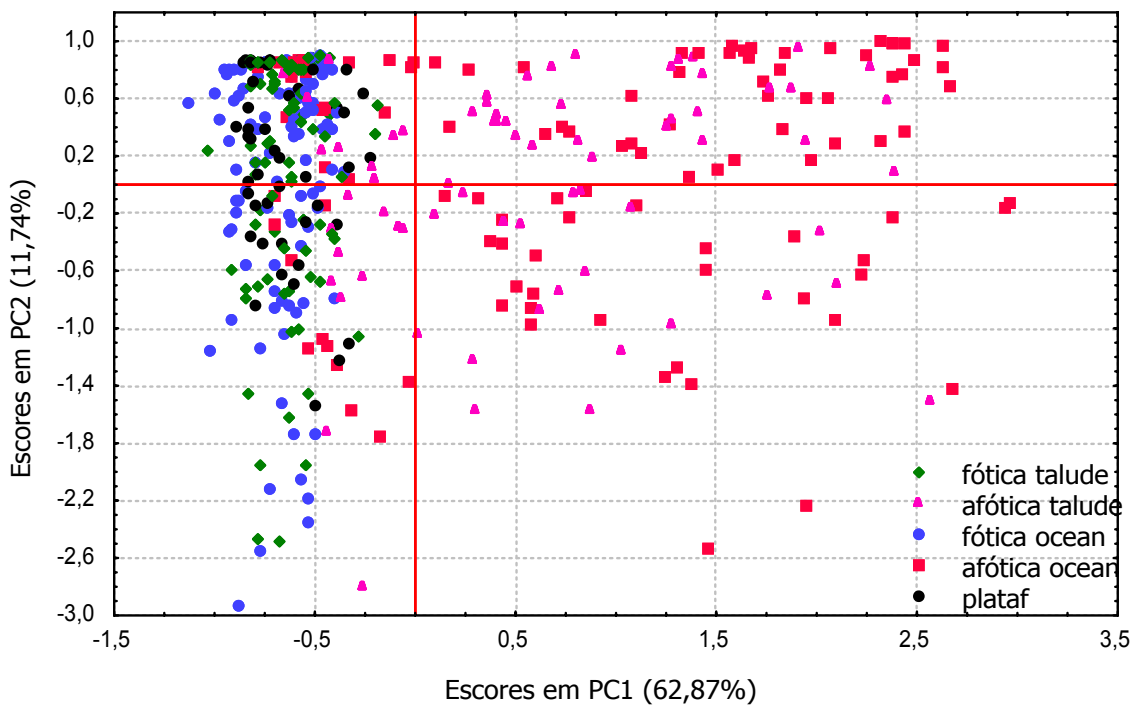


Figura 5.46. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos durante a primavera, com estratificação entre as camadas fótica e afótica.

Do ponto de vista sazonal, podemos observar que durante o verão, os valores de temperatura, salinidade, pH e silicato, foram maiores; durante o outono, amônia-N, nitrato-N, fosfato-P e clorofila *a* estiveram mais elevados, e apenas o oxigênio dissolvido durante a primavera, mostrando a perfeita interação entre clorofila *a* e nutrientes dissolvidos.

Na camada afótica, para os diferentes cruzeiros realizados, durante o verão a temperatura, a salinidade, o pH e o silicato-Si foram mais elevados; no outono foi o nitrato-N que esteve mais elevado, enquanto que na primavera foi o fosfato-P.

5.2. Biomassa Primária

5.2.1 Distribuição Horizontal da Clorofila *a*

Na camada superficial as concentrações de clorofila *a* foram menores durante o inverno e maiores no outono. As concentrações máximas estiveram localizadas principalmente na área da plataforma e talude continental ao norte da área estudada. Durante a primavera, são observadas também concentrações elevadas na região oceânica ao sul da ZEE-NE (Figura 5.47).

A distribuição das concentrações na profundidade de 50% de penetração da luz, ficou muito próxima da observada na camada superficial, mostrando uma homogeneidade espacial entre os diferentes níveis de coleta (Figura 5.48).

Na profundidade de 1% de penetração da luz a variação da distribuição espacial também é muito próxima das camadas superficiais, porém apresentando teores mais elevados de clorofila *a* (Figura 5.49).

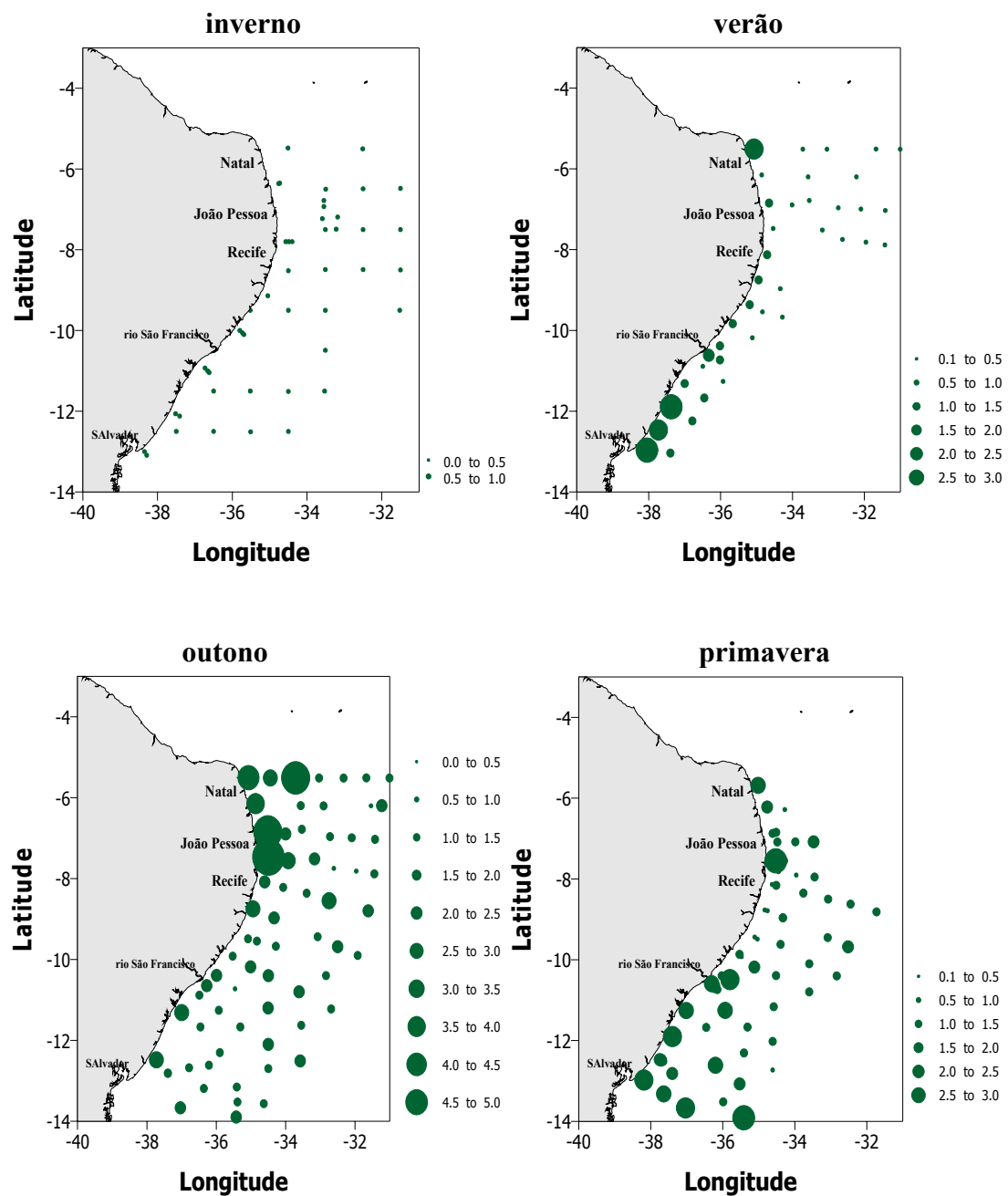


Figura 5.47. Variação horizontal da clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na camada superficial.

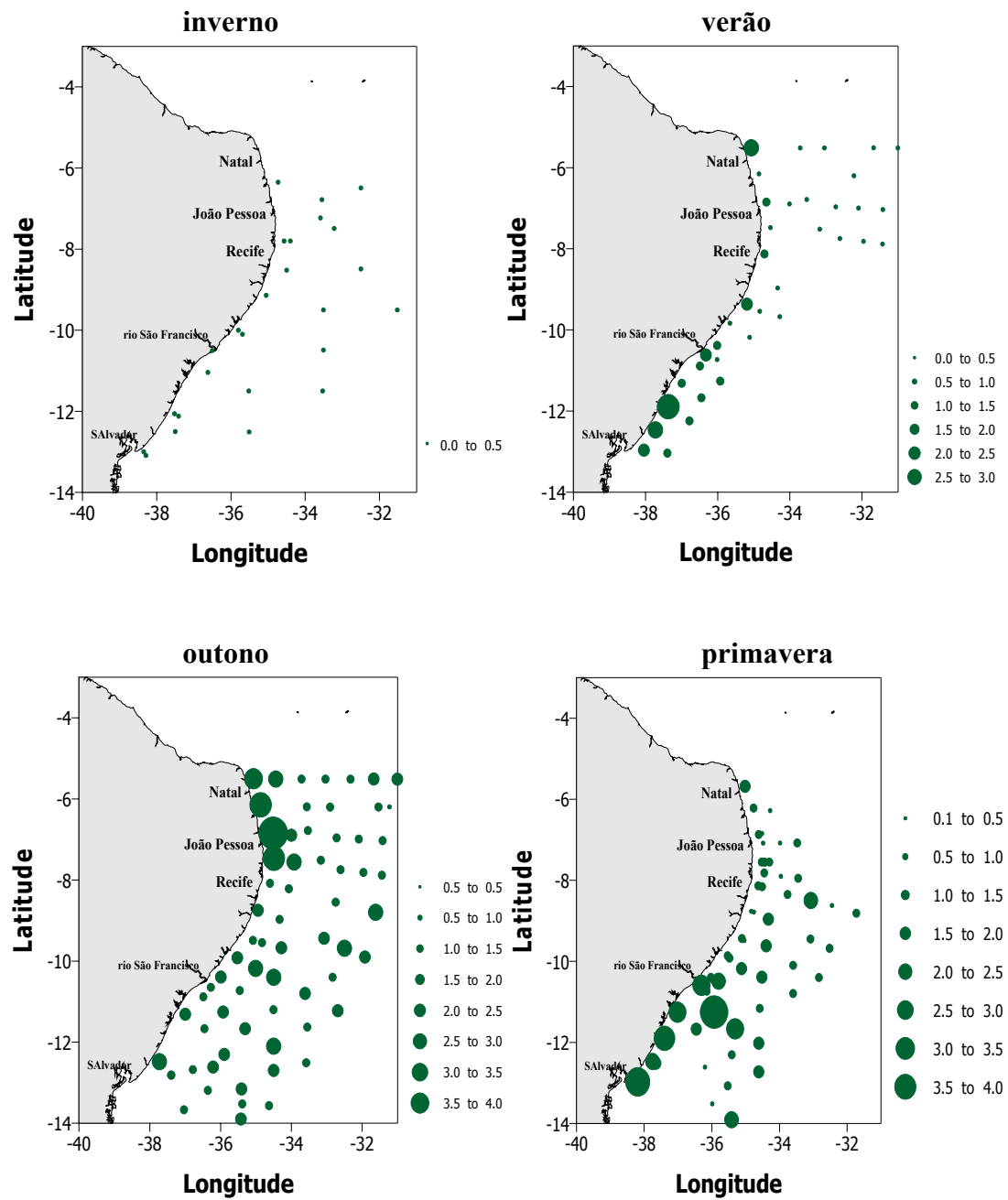


Figura 5.48. Variação horizontal da clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na profundidade de 50% de penetração da luz.

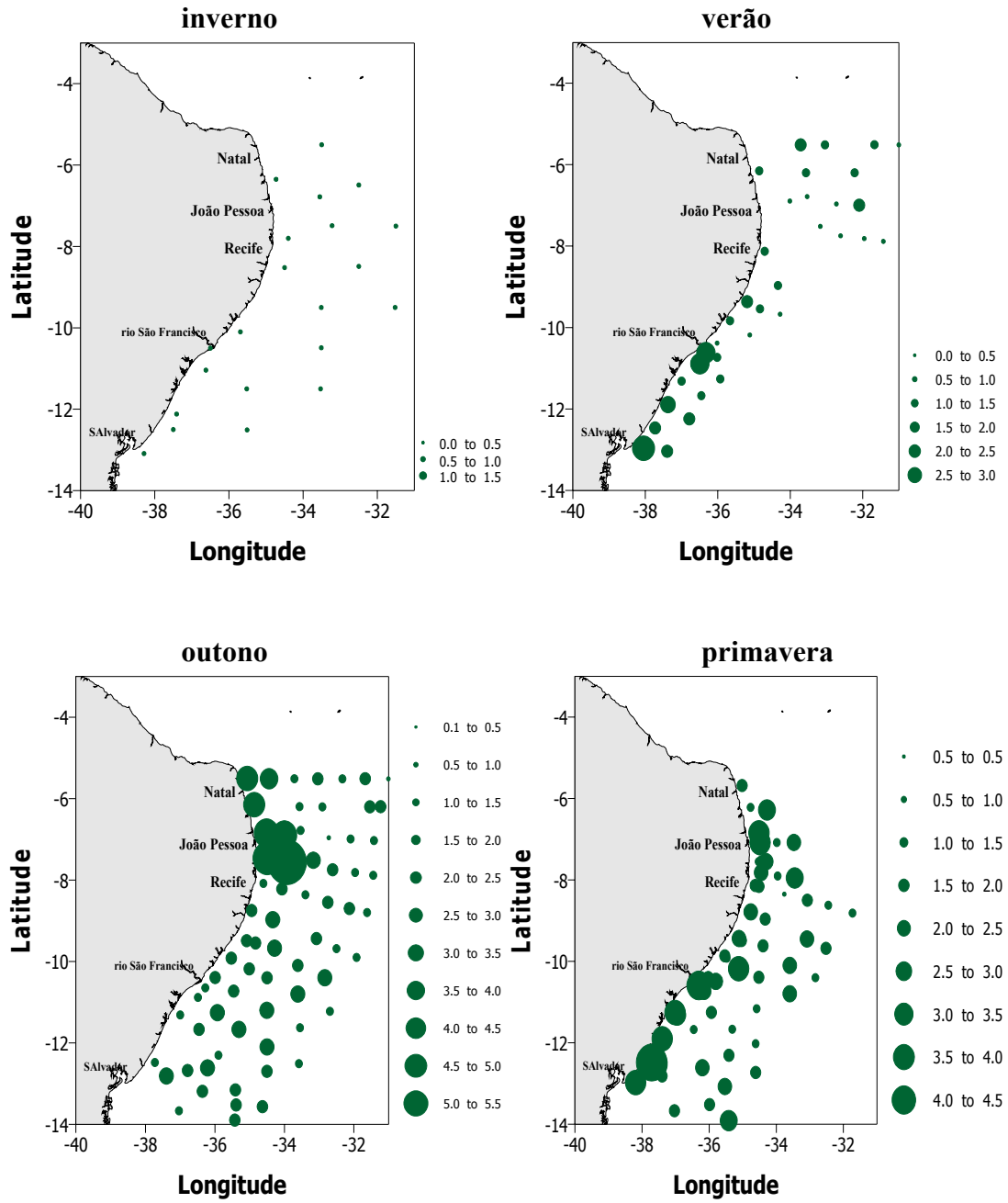


Figura 5.49. Variação horizontal da clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na profundidade de 1% de penetração da luz.

5.2.2. Estatística Descritiva

Nesta etapa foi realizada uma análise estatística básica, observando os valores medianos, a distribuição das concentrações e sua variação nas diferentes áreas e épocas do ano.

As medianas das concentrações de clorofila *a* na camada superficial, apresentaram grande variação entre as diferentes épocas do ano, apresentando entretanto valores muito baixos e inferiores a 1 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com exceção do teor registrado na plataforma continental durante o período do outono. As menores concentrações foram registradas no inverno (ZEE-I), período no qual foi registrada a menor variação nas concentrações. Os maiores teores foram observados no outono (ZEE-III), que também apresentam a maior amplitude quartílica, maior valor máximo (4,46 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na plataforma e 3,79 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na área oceânica), grande dispersão assimetria positiva, e quartil inferior com maior número de valores. (Figura 5.50)

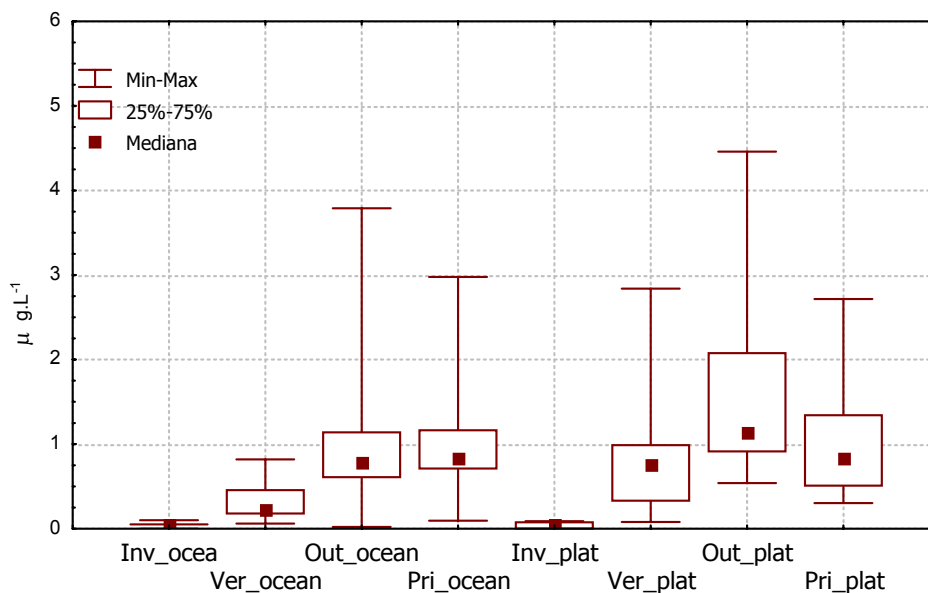


Figura 5.50. Clorofila *a* na camada superficial.

Em relação às diferentes áreas, as concentrações medianas na plataforma estiveram sempre mais elevadas que as oceânicas (Anexo 9), como também os mínimos, máximos e valores dos quartiles inferior e superior.

No nível de profundidade de 50% de penetração da luz, a variação apresentou o mesmo ritmo cíclico da profundidade anterior. Podemos observar que na área da plataforma a dispersão é muito mais assimétrica que na área oceânica, exceto na primavera, com grandes caudas superiores, indicando a presença de valores máximos bastante altos. Os maiores teores foram observados no outono, que também apresenta o maior valor máximo ($3,87 \mu\text{g.L}^{-1}$ na plataforma) e na primavera a maior amplitude quartílica, o maior valor máximo ($3,79 \mu\text{g.L}^{-1}$) mostrando grande variação das concentrações (Figura 5.51).

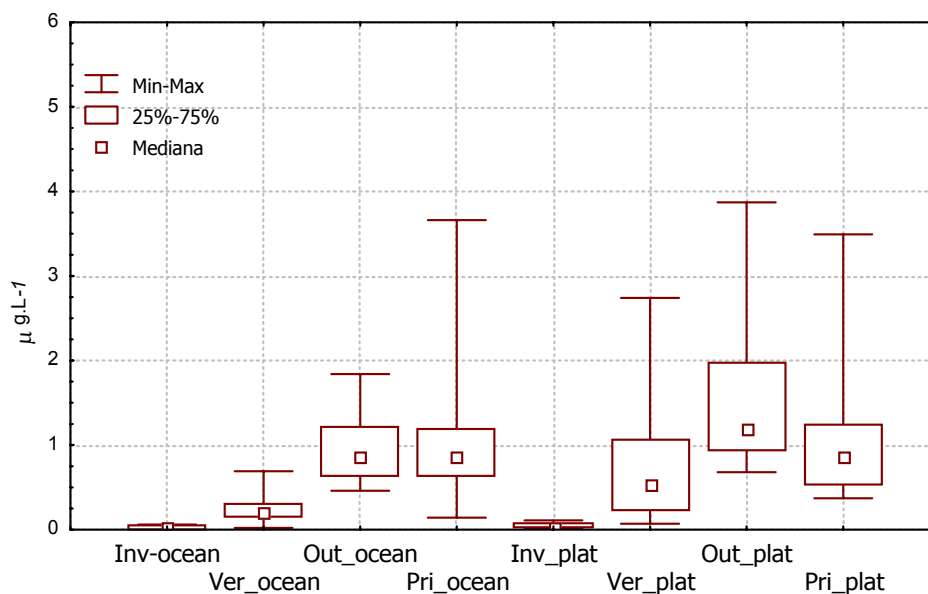


Figura 5.51. Distribuição mediana, concentrações máximas e mínimas da clorofila *a* na profundidade de 50% de penetração da luz.

No inverno as concentrações continuaram muito baixas, sendo mais elevadas na plataforma que na área oceânica, tanto as medianas, os mínimos, máximos como os quartiles (Anexo 10).

Na profundidade equivalente a 1% de penetração da luz, são registradas na primavera as maiores medianas ($1,45 \mu\text{g.L}^{-1}$ na plataforma e $1,26 \mu\text{g.L}^{-1}$ na área oceânica). Durante o outono foi registrado o maior valor máximo de $5,14 \mu\text{g.L}^{-1}$, na região oceânica. Durante o verão a distribuição é bastante simétrica, com maior amplitude inter-quartílica na plataforma e menor variação nas concentrações da área

oceânica. No inverno as concentrações continuaram muito baixas e pouca variação (Figura 5.52).

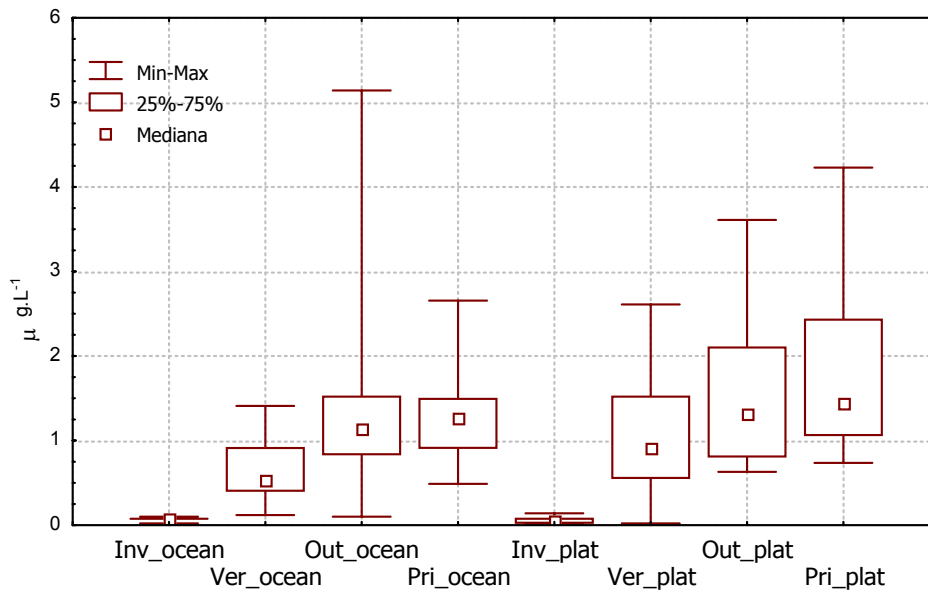


Figura 5.52. Distribuição mediana, concentrações máximas e mínimas da clorofila *a* na profundidade de 1% de penetração da luz.

Na profundidade equivalente a 1% de penetração da luz, as medianas são maiores nas duas áreas e em todos os períodos, em relação aos outros níveis de profundidade. Ao mesmo tempo, as concentrações medianas na plataforma durante o verão, outono e primavera são maiores em relação à área oceânica (Anexo 11).

5.2.3. ACP da Biomassa Primária e Parâmetros Abióticos.

Numa segunda etapa foi realizada uma análise dos componentes principais (ACP) com o objetivo de observar as correlações entre os fatores abióticos e clorofila *a*, nas diferentes áreas, níveis de profundidade e estações do ano. Nesta análise, os resultados de oxigênio dissolvido, pH e amônia-N durante o inverno, não são considerados, devido ao fato de não terem sido realizadas coletas nesta camada. Nas Comissões realizadas no verão e outono, os valores de temperatura e salinidade não foram incluídos devido a sua pouca variação e conseqüentemente grande estabilidade na

camada fótica através de todos os períodos, o que é característico das regiões tropicais podendo-se obter uma análise mais objetiva, não apresentando, neste período, uma influência significativa. Também foram excluídos nos gráficos alguns valores extremos (outliers) sem muita influência, com o objetivo de obter uma melhor representação dos mesmos.

Durante o inverno as duas primeiras componentes explicam cerca de 50% da variância total, sendo que a primeira componente apresenta um contraste entre águas com maior produtividade e águas mais quentes (Figura 5.53).

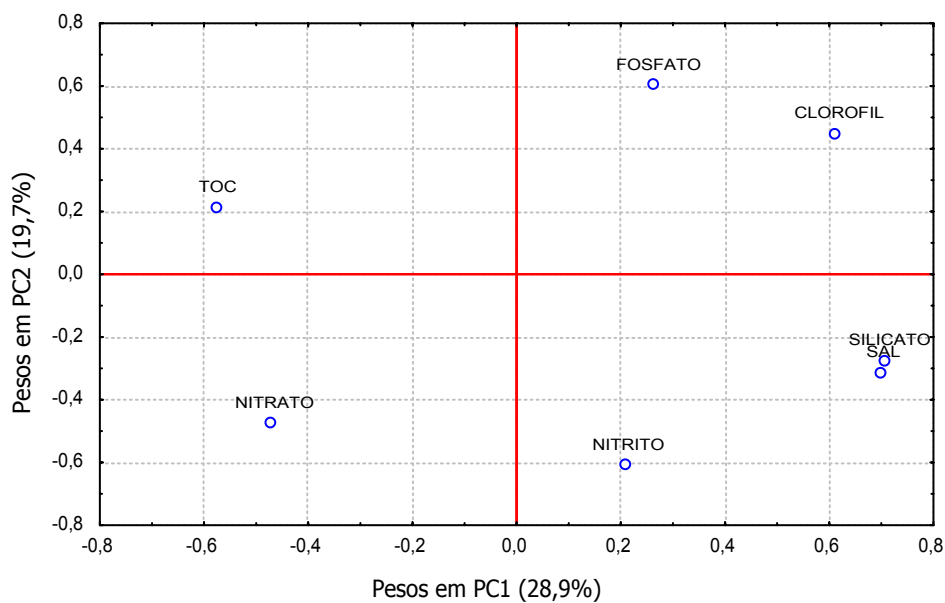


Figura 5.53. Componentes Principais (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos e clorofila *a* durante o inverno.

Na segunda componente o elemento principal é o fosfato-P em contraste com o nitrito-N, indicando a presença de processos de nitrificação em profundidades diferentes daquelas com maior teor de fosfato-P.

Observando a figura 5.54, que apresenta os escores da variância total, pela primeira componente podemos observar que águas com maior teor de clorofila *a* se localizam no limite inferior da camada fótica, principalmente nas estações costeiras, que recebem maior aportes de silicato-Si, seguidas das oceânicas com maiores concentrações de fosfato-P. Uma vez que estas apresentam uma correlação negativa com as concentrações de nitrato-N, provavelmente neste período existiu um déficit neste nutriente.

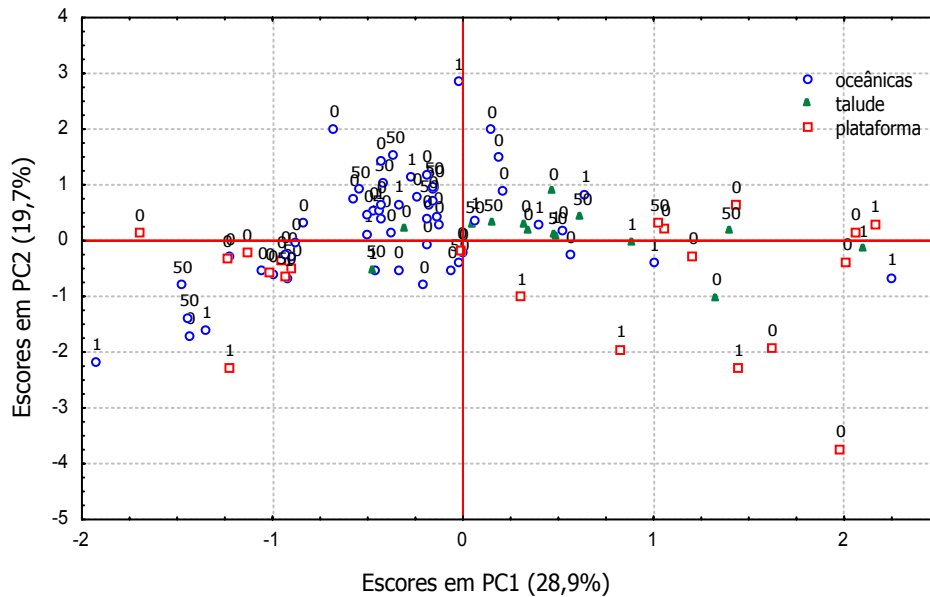


Figura 5.54. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos e clorofila *a* durante o inverno. (0=superfície; 50=50% penetração luz e 1= 1% penetração luz)

A segunda componente que explica cerca de 20% da variância total, apresenta como principais elementos o fosfato-P em contraste com o nitrito-N (Anexo 12), e separam as águas oceânicas onde geralmente o fosfato-P não é limitante, das águas costeiras que neste período tem a maior influência continental, provoca pelo período chuvoso nesta região.

Durante o verão as duas primeiras componentes explicam cerca de 55% da variância total, e a primeira componente apresenta um contraste entre águas mais alcalinas e menos produtivas, com águas com maior teor de nutrientes, clorofila e mais saturadas em oxigênio (Figura 5.55). Neste período os resultados das concentrações de clorofila *a* da área oceânica este, entre Recife e Salvador, não foram incluídos.

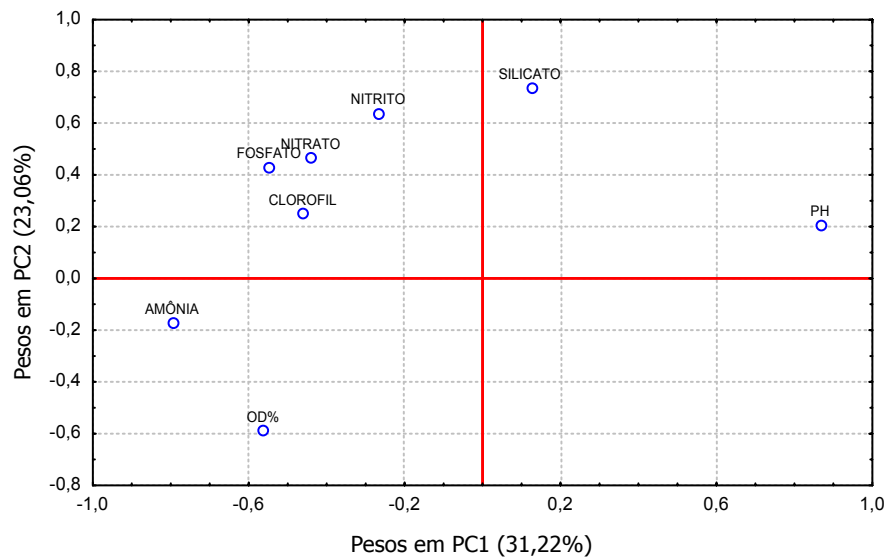


Figura 5.55. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros químicos e clorofila *a* durante o verão.

A figura 5.56 que apresenta a distribuição dos escores, onde se pode observar que existe uma nítida separação entre determinadas áreas (componente 1), sendo que as águas menos produtivas estiveram localizadas na região oceânica entre Pernambuco e Rio Grande do Norte. Aquelas com maiores concentrações de nutrientes, clorofila e mais saturadas com oxigênio dissolvido, estiveram localizadas na profundidade de 1% de penetração da luz, principalmente na província nerítica entre Recife-PE e Salvador-BA.

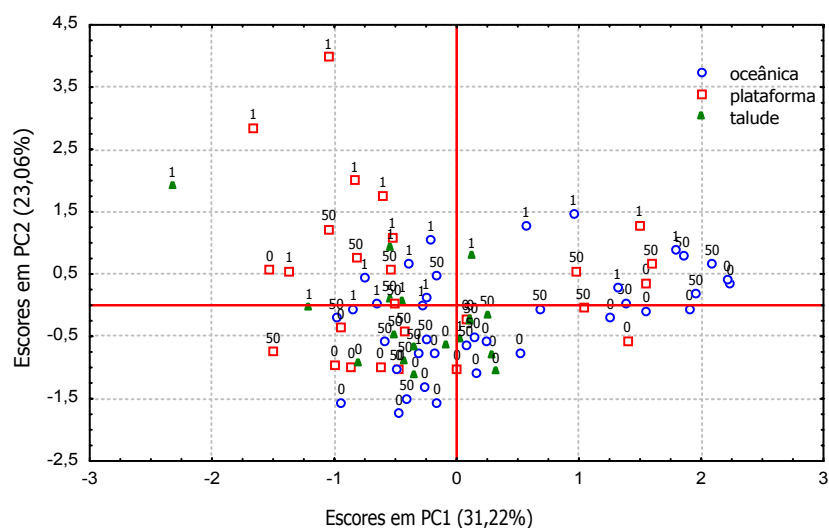


Figura 5.56. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros abióticos e clorofila durante as diferentes campanhas. (0=superfície; 50=50% penetração luz e 1= 1% penetração luz)

Analisando-se a segunda componente que explica cerca de 23% da variância total, observa-se um contraste entre o silicato-Si e nitrito-N e o percentual de saturação de O.D. (Anexo 13), indicando águas mais costeiras e profundas, com processos de nitrificação em contraste com oceânicas superficiais mais saturadas devido a processos turbulentos provocados pelos ventos e ondas superficiais.

Durante o outono, as duas primeiras componentes (PC1 e PC2) explicam cerca de 40% da variância total, sendo que a primeira componente apresenta um contraste entre águas mais ricas e mais profundas com águas mais superficiais e menos produtivas (Figura 5.57).

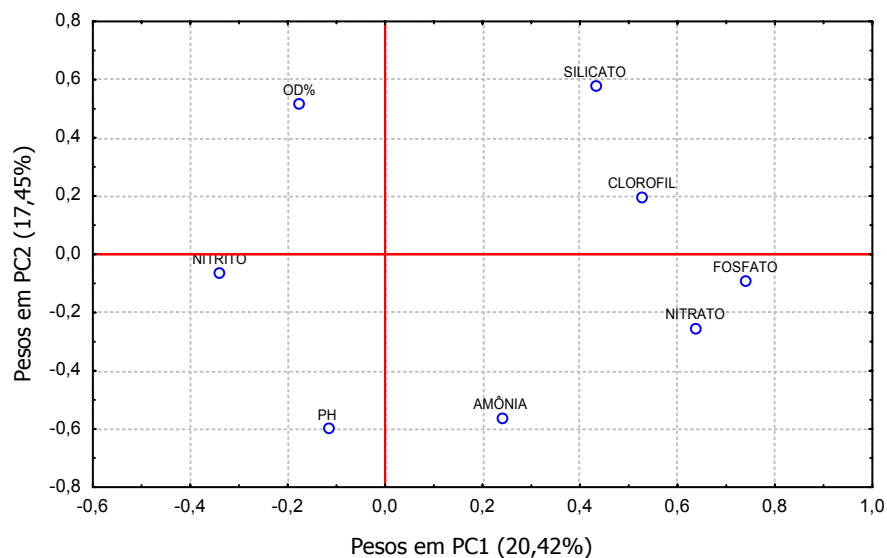


Figura 5.57. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros químicos e clorofila *a* durante o outono.

Ao observar a figura 5.58, que apresenta a distribuição dos escores entre as duas primeiras componentes, vemos que as águas com maior biomassa primária são aquelas localizadas na profundidade de 1% de penetração da luz, que tem as maiores concentrações de nitrato-N e fosfato-P, e com os quais mantém a maior correlação positiva; áreas mais próximas da costa com maior teor de silicato-Si. Observou-se também que em algumas áreas da região oceânica, amônia-N tem certa importância na produção primária, e cuja fonte deveria ser a mineralização da matéria orgânica.

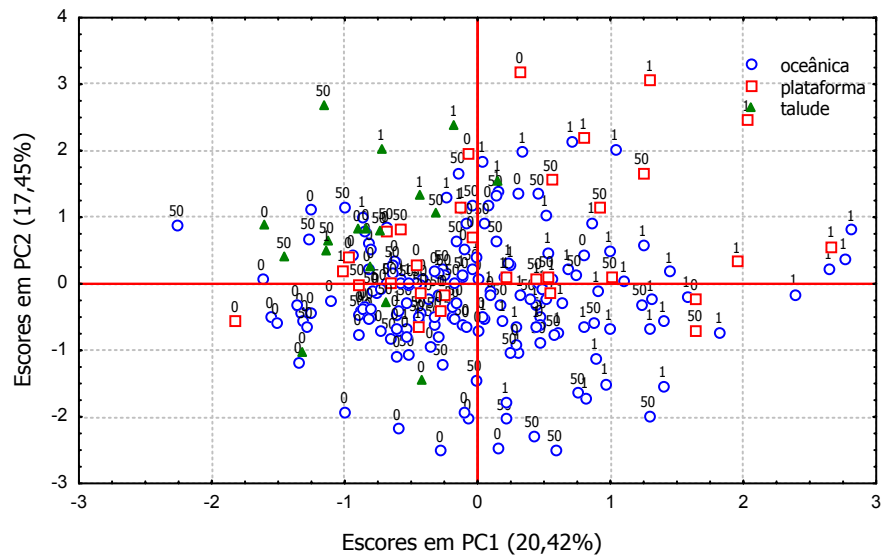


Figura 5.58. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros químicos e clorofila *a* durante o outono. (0=superfície; 50=50% penetração luz e 1= 1% penetração luz)

Na segunda componente, que explica cerca de 17% da variância total, há um contraste entre as águas neríticas mais profundas com mais silicato-Si e oceânicas menos produtivas, mais alcalinas e com mais nitrogênio amoniacal, que apresenta uma correlação inversa com os teores de clorofila *a* (Anexo 14).

Durante a comissão realizada na primavera as duas primeiras componentes explicaram cerca de 40% da variância total, apresentando um contraste entre as águas mais salinas e mais ricas em clorofila *a* com as águas mais quentes, mostrando a preferência dos organismos fotossintetizantes pelas águas menos quentes e com maior teor de nutrientes, localizadas na base da camada fótica.

A primeira componente apresenta a variação da profundidade e a segunda apresenta um contraste entre a fertilidade das águas, onde as que têm maior teor de nutrientes, com maior clorofila e as superficiais mais saturadas em oxigênio dissolvido, estiveram menos produtivas (Figura 5.59).

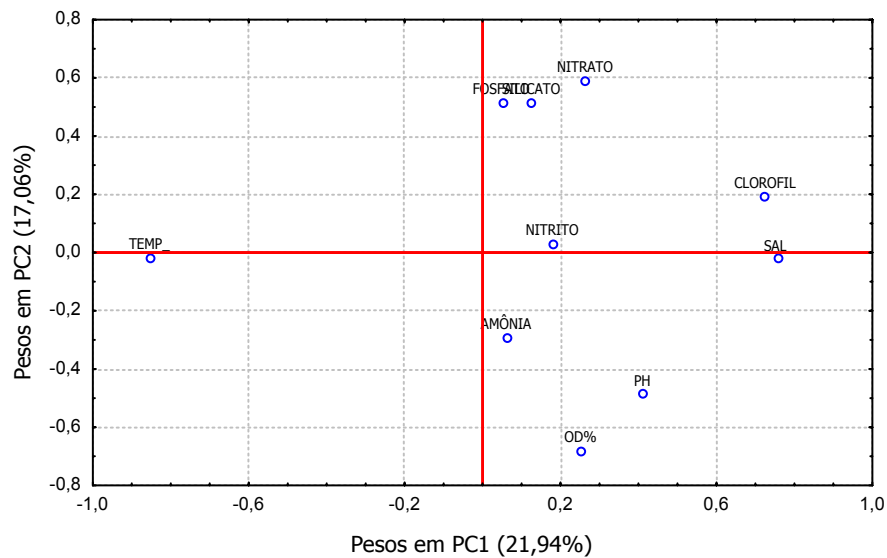


Figura 5.59. Pesos nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros químicos e clorofila *a* durante a primavera.

A figura 5.60 apresenta os escores nas duas primeiras componentes, onde mostra que as águas na camada superficial e na profundidade de 50% de penetração da luz, tanto oceânicas como da plataforma, estiveram mais quentes, mais saturadas em O.D., mais alcalinas e com alguns pontos onde amônia teve um pequeno grau de relevância.

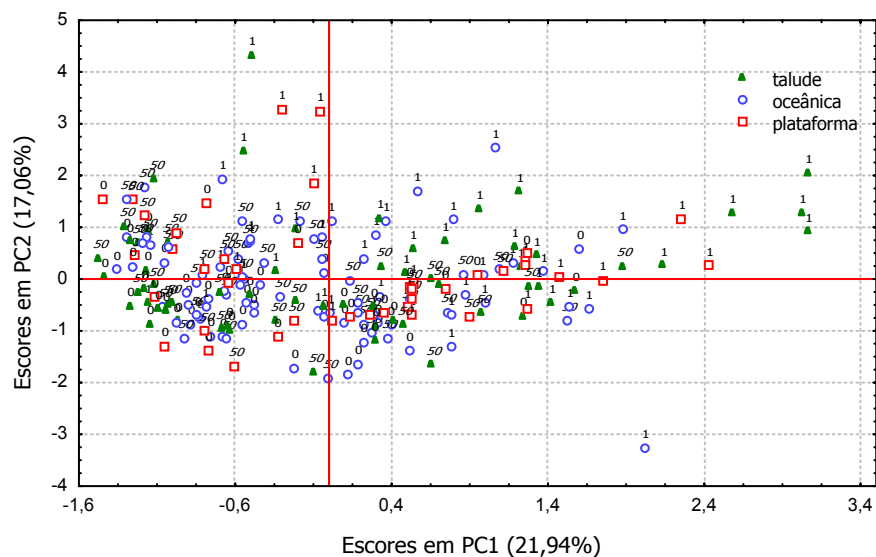


Figura 5.60. Escores nas duas primeiras componentes (PC1 e PC2), na análise feita com os parâmetros químicos e clorofila *a* durante a primavera. (0=superfície; 50=50% penetração luz e 1= 1% penetração luz)

Enquanto que nas águas localizadas a 1% de penetração da luz foram mais ricas em nutrientes, e com maior teor de clorofila *a*. A relevância da salinidade, indica que o máximo de salinidade esteve localizado na base da camada fótica.

Pelo anexo 15 é observado que na PC1 o maior peso positivo foi da salinidade, seguido da clorofila *a*, em contraste com a temperatura, e na segunda componente o elemento principal foi o nitrato-N em contraste com o percentual de saturação de OD, mostrando uma clara separação entre águas mais ricas e profundas, com as mais superficiais mais pobres.

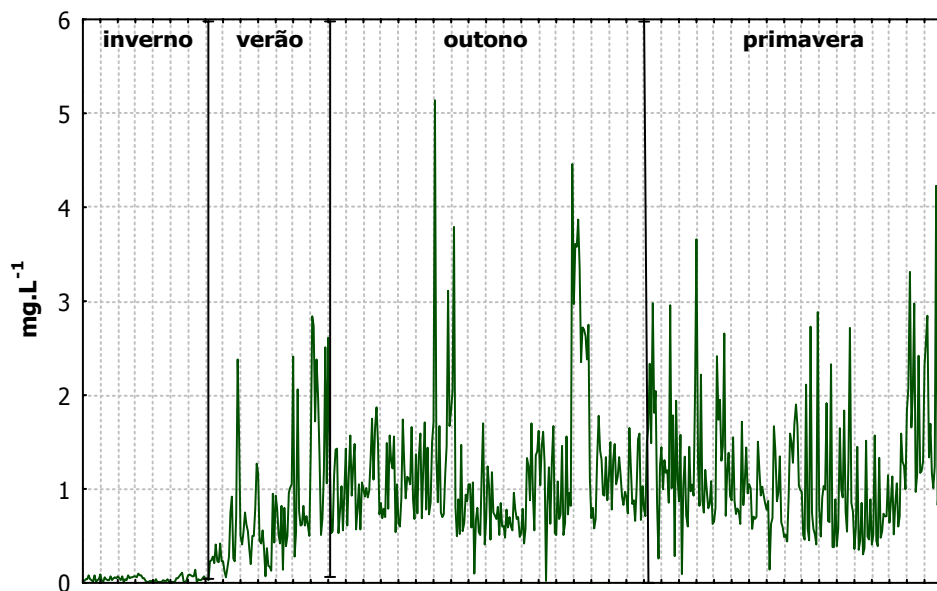


Figura 5.61. Variação das concentrações da clorofila *a* durante o inverno, verão, outono e primavera na região oceânica do Nordeste do Brasil.

A figura 5.61 apresenta a variação das concentrações de clorofila *a* em todas as estações e períodos de coleta, mostrando que durante o inverno as concentrações foram muito baixas, enquanto que no outono estiveram mais elevadas. De uma forma geral as maiores concentrações correspondem à profundidade de 1%, tanto na região oceânica como na plataforma. Também são observados dentro de cada comissão faixas com

menores concentrações, sendo estas localizadas durante o verão, na região oceânica ao norte de Pernambuco e na plataforma do Estado de Alagoas; no período correspondente ao outono, os pontos de menor concentração estiveram principalmente ao norte de Pernambuco e durante a primavera ao sul de Pernambuco até a pluma do Rio São Francisco.

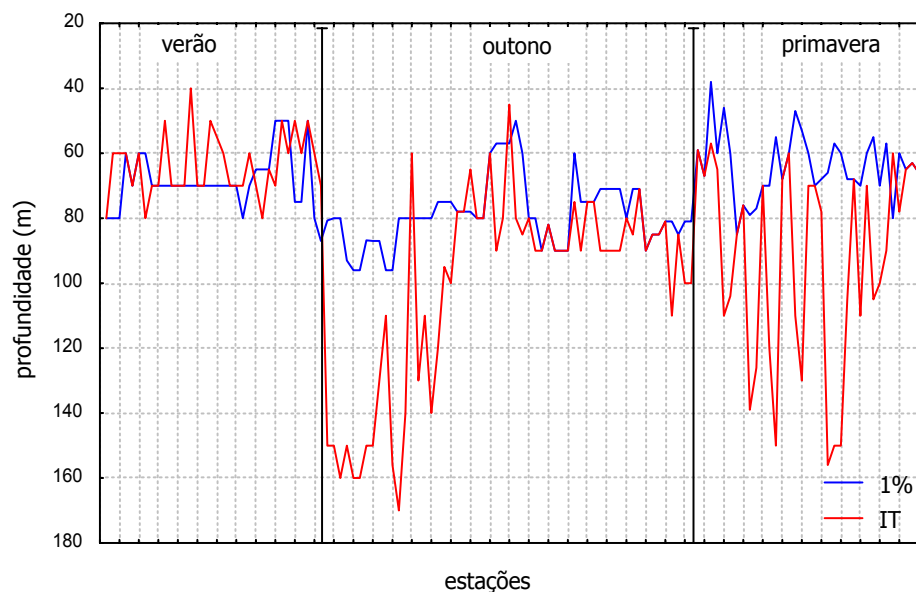


Figura 5.62. Profundidade da camada eufótica (1%) e profundidade do início da termoclina (IT) durante o verão, outono e primavera.

Observando a variação da profundidade da camada fótica, esta foi mais profunda durante o outono, quando também foram observadas elevações da termoclina acima da profundidade de 1% de penetração da luz (Figura 5.62 e Anexo 16), coincidindo com os aumentos nas concentrações de clorofila *a*.

Nas figuras 5.63 e 5.64 são apresentadas as correlações entre os parâmetros estudados. Na camada fótica não é observadas correlações significativas, o que indica uma grande instabilidade, influenciada por diversos fatores físicos e meteorológicos, modificando a espessura da camada bem misturada. Apesar destes resultados, foi observado que a clorofila *a* apresentou aumentos quando o fosfato-P, o nitrato-P e em menor escala amônia-N, tiveram aumentos nas concentrações.

Na camada afótica, que é uma camada mais estável, algumas correlações foram mais elevadas ($r > 0,8$), sendo positivas entre a temperatura, salinidade, percentual de saturação de OD, e principalmente entre o nitrato-N e fosfato-P, e entre estes componentes com o silicato-Si. As negativas estiveram entre temperatura, salinidade, percentual de saturação de OD em contraste com nitrato-N, fosfato-P e silicato-Si.

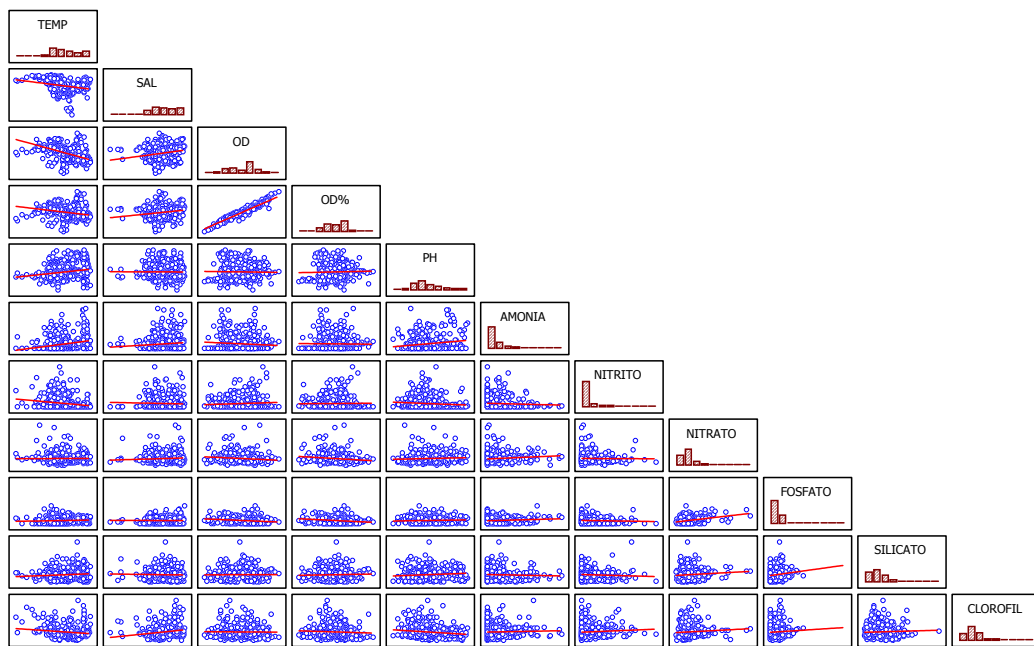


Figura 5.63. Correlações entre os parâmetros abióticos e clorofila a na camada fótica.

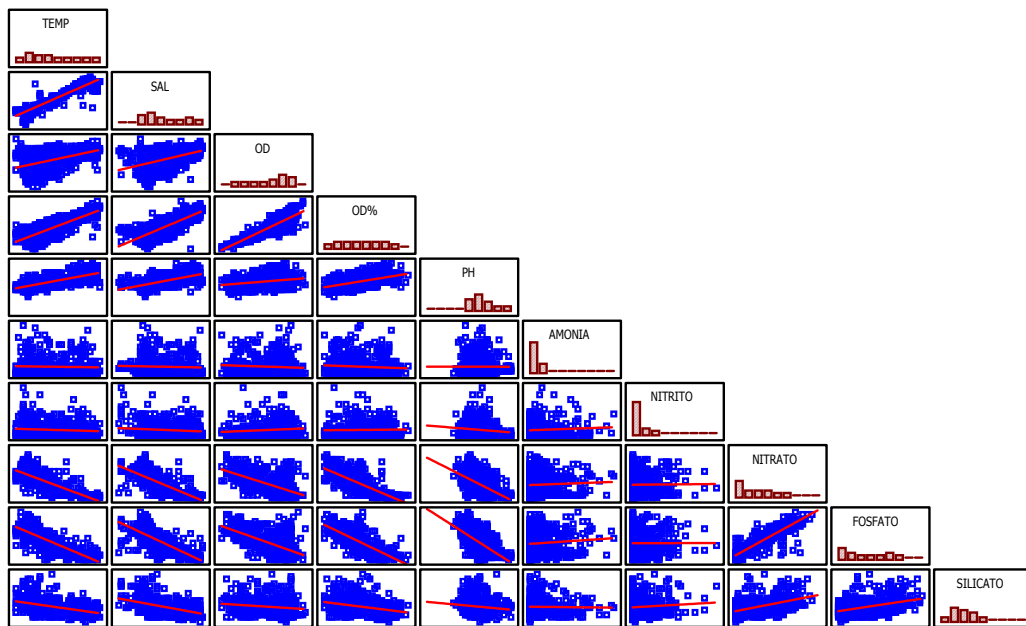


Figura 5.64. Correlações entre os parâmetros abióticos na camada afótica.

5.3. Fluxo Difusivo Vertical de Nutrientes

Neste capítulo são descritos os resultados relativos ao cálculo do transporte difusivo vertical de nutrientes. São apresentadas inicialmente as distribuições verticais de concentração de nutrientes e de viscosidade turbulentas, obtidas a partir dos processos de normalização dos dados de campo. Em seguida, é calculado o fluxo difusivo vertical, quando são explicitadas as duas parcelas componentes do transporte difusivo de nitrato-N e fosfato-P.

5.3.1. Distribuição vertical de nutrientes

As Figuras 5.65 a 5.72 apresentam as distribuições verticais de nitrato-N e fosfato-P obtidas *in situ*, e aquelas representadas pelo modelo analítico proposto. Estas estão separadas de acordo com o nutriente considerado e com o cruzeiro oceanográfico. As Figuras 5.64 e 5.65 agrupam todas as distribuições de nitrato-N e fosfato-P obtidas nas diferentes campanhas de campo.

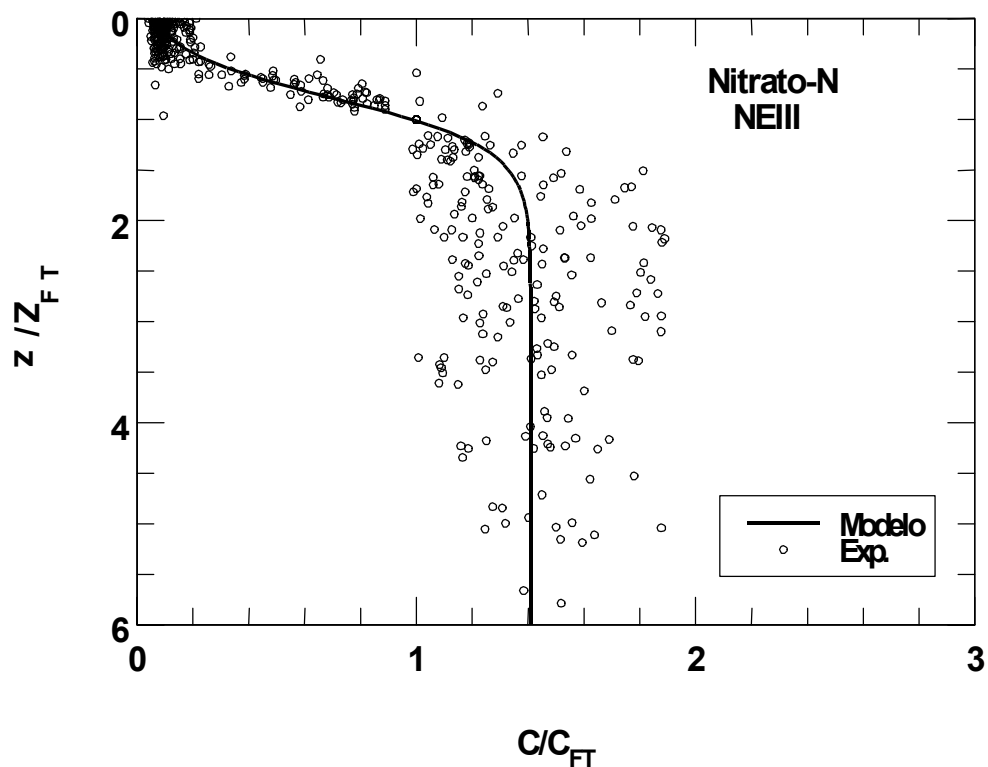


Figura 5.65. Distribuição vertical de nitrato-N, Campanha NEIII.

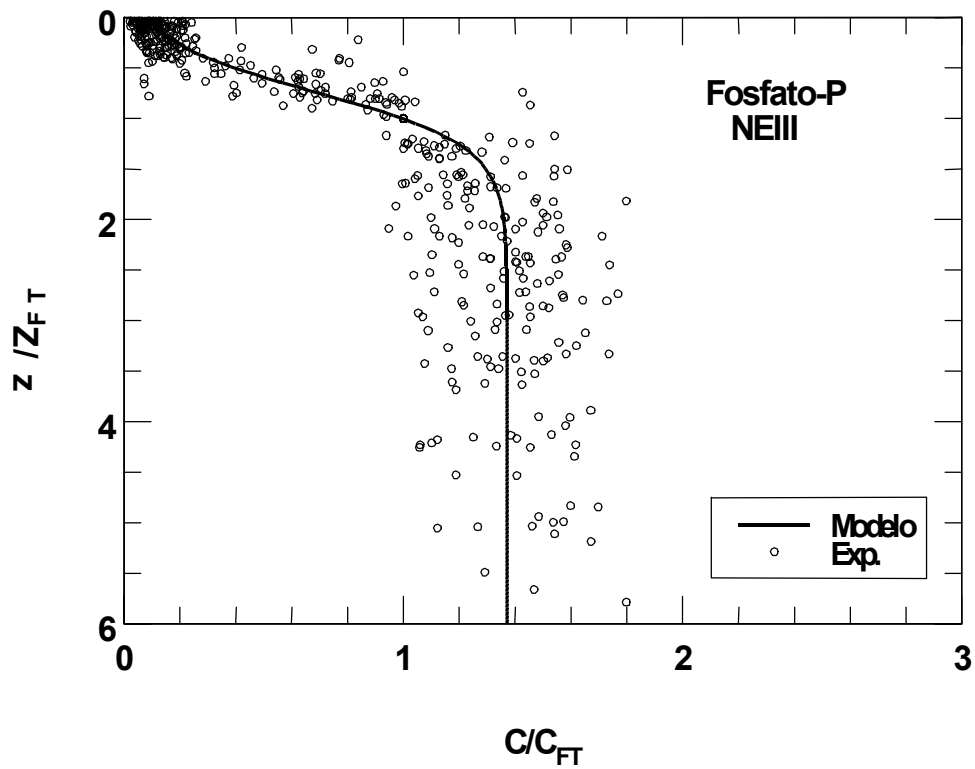


Figura 5.66. Distribuição vertical de fosfato-P, Campanha NEIII.

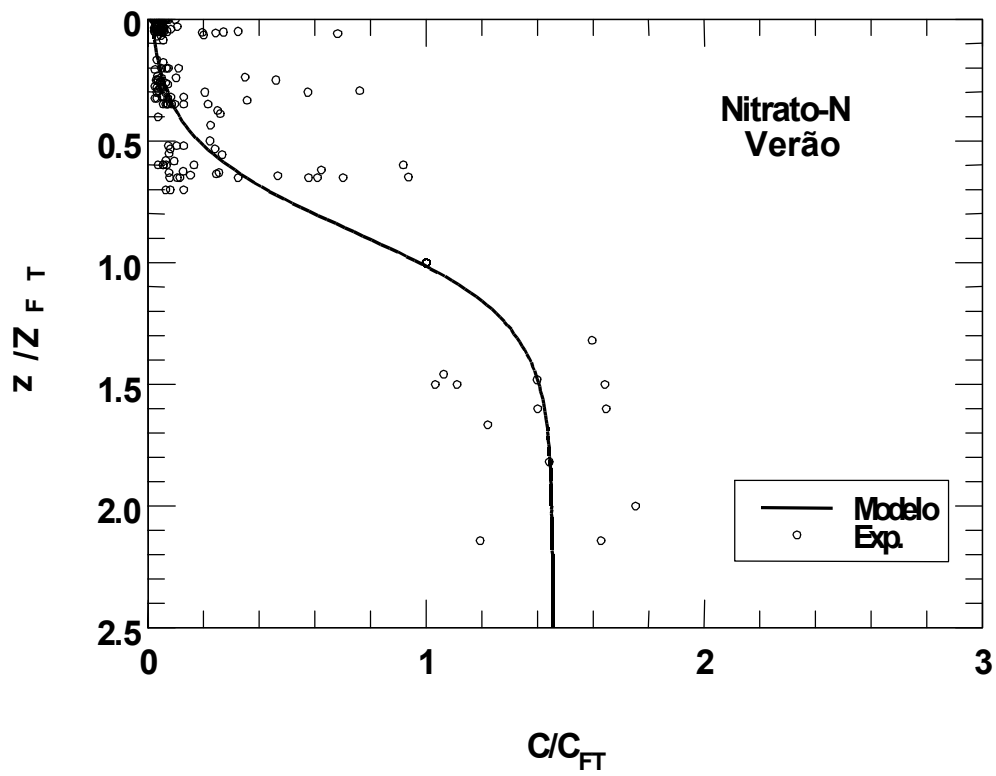


Figura 5.67. Distribuição vertical de nitrato-N durante o verão.

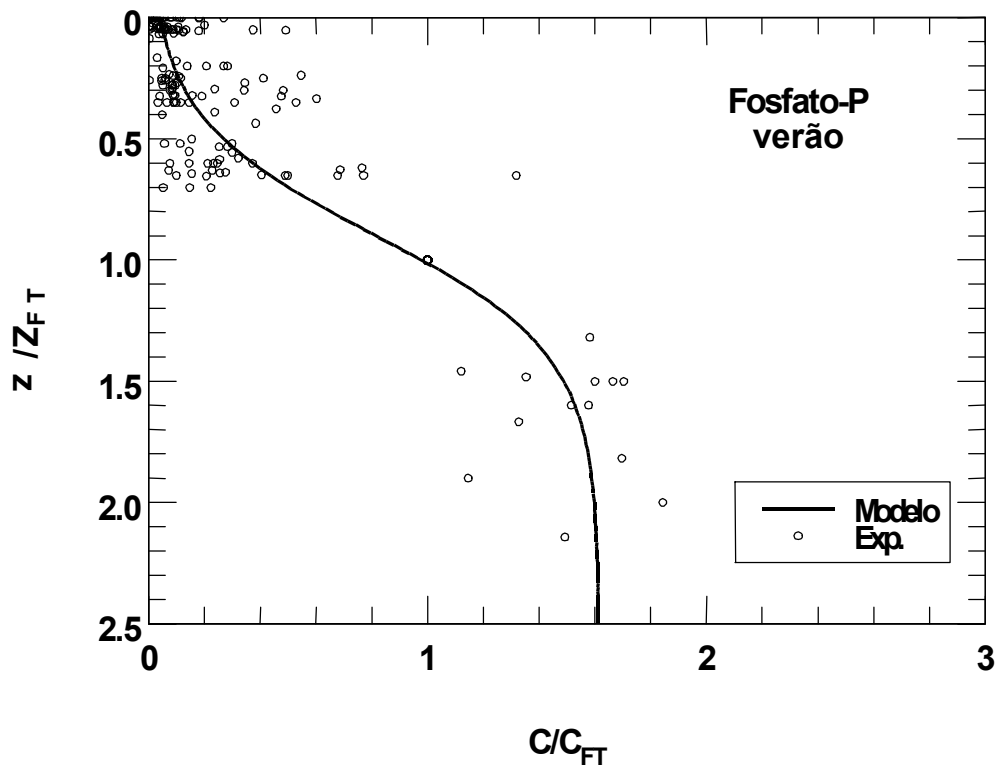


Figura 5.68. Distribuição vertical de fosfato-P durante o verão.

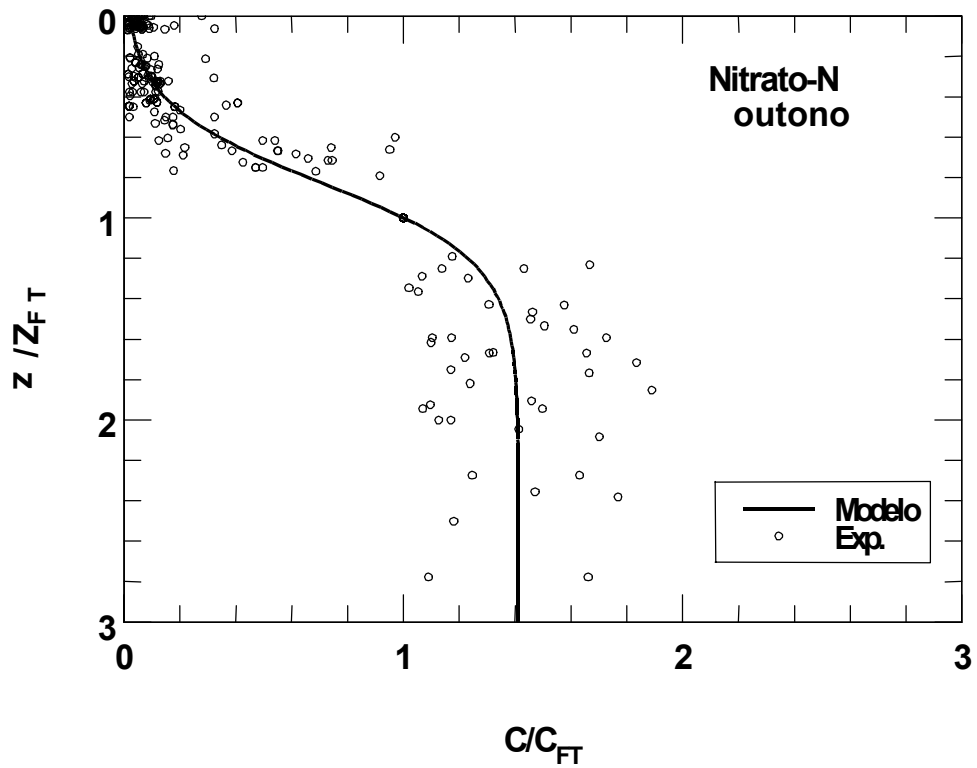


Figura 5.69. Distribuição vertical de nitrato-N durante o outono.

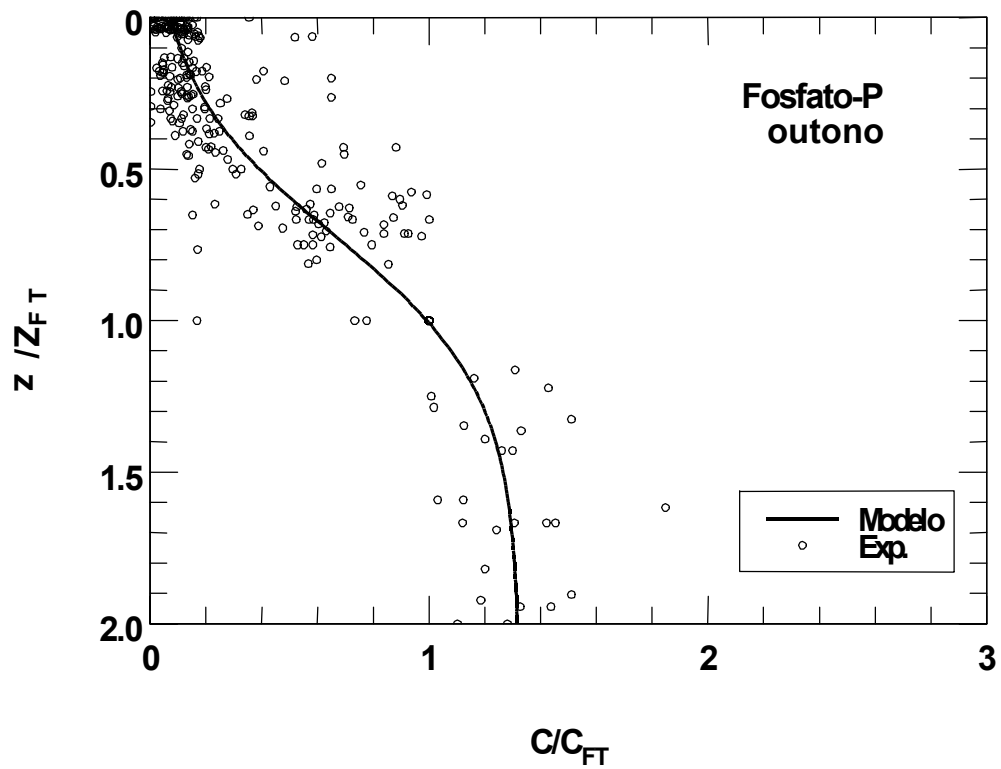


Figura 5.70. Distribuição vertical de fosfato-P durante o outono.

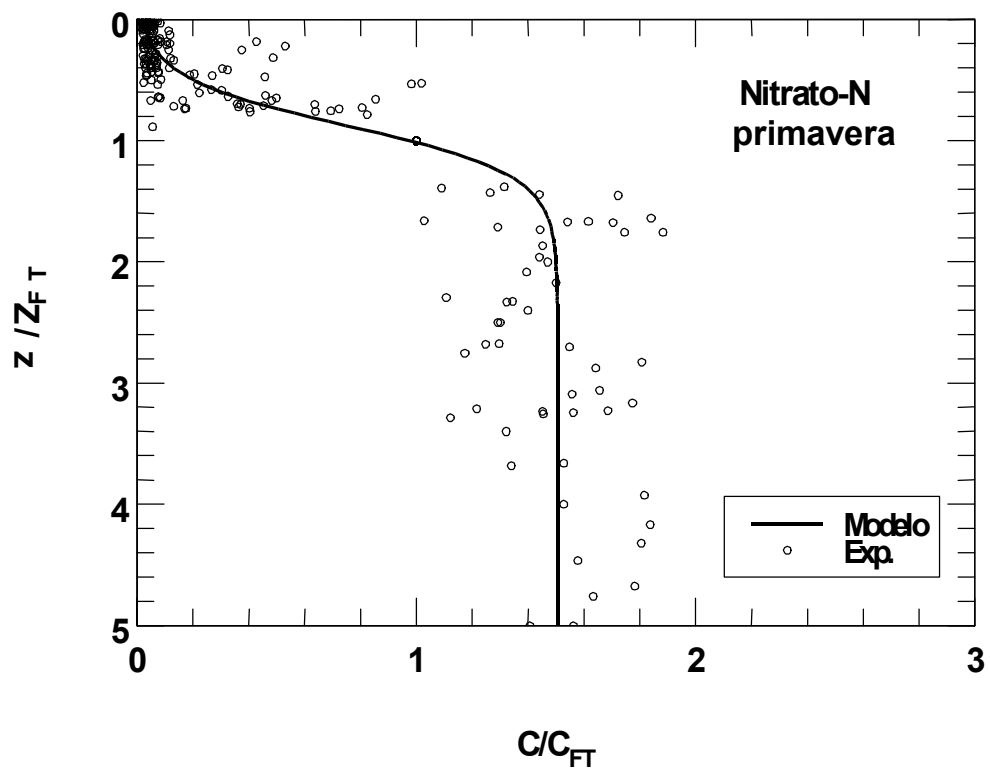


Figura 5.71. Distribuição vertical de nitrato-N durante a primavera.

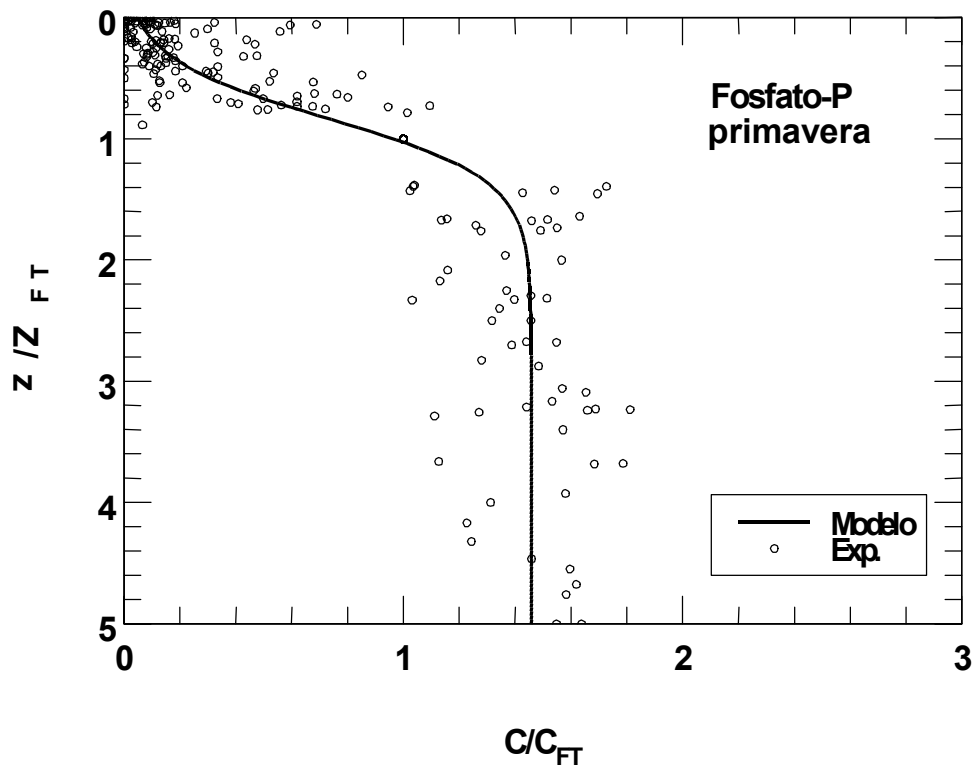


Figura 5.72. Distribuição vertical de fosfato-P durante a primavera.

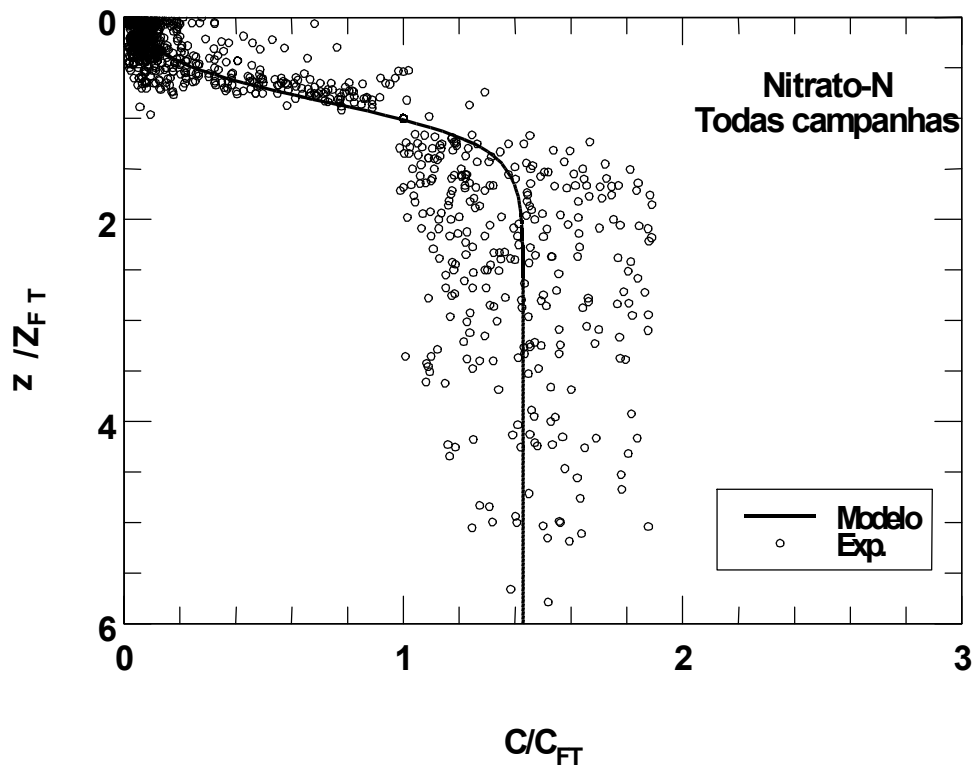


Figura 5.73. Distribuição vertical de nitrato-N, todas as Campanhas.

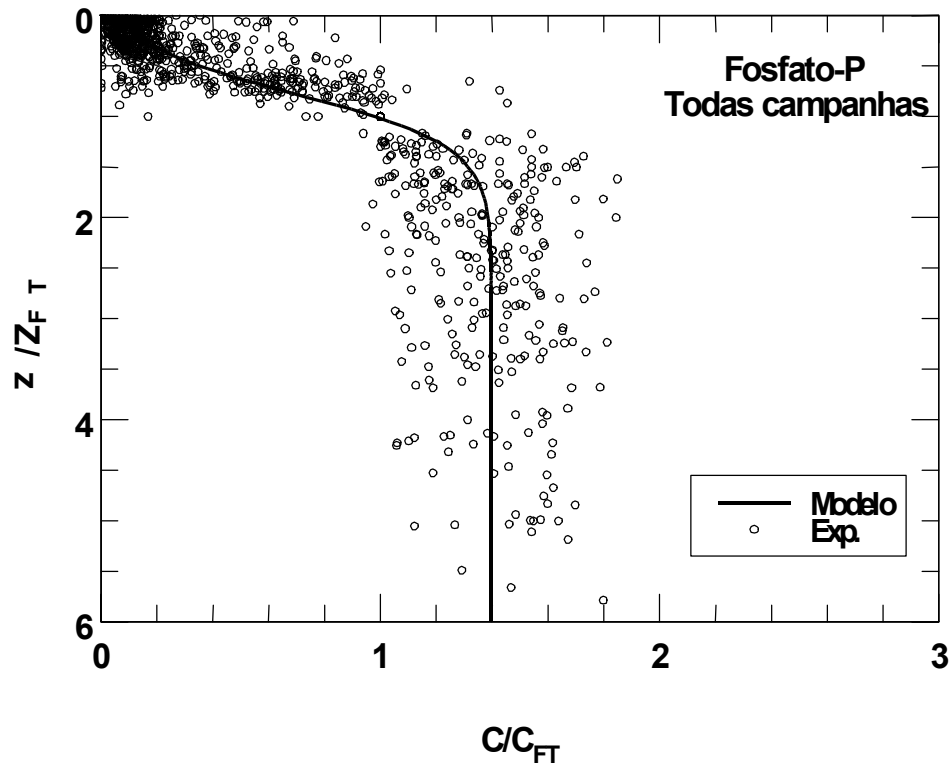


Figura 5.74. Distribuição vertical de fosfato-P, todas as Campanhas.

A Tabela 5.1 a seguir apresenta os principais parâmetros que caracterizam as curvas teóricas (modelo analítico) das Figuras 5.65 a 5.74. Os parâmetros $\frac{C_K}{C_{FT}}$, $-\frac{r}{Z_{FT}}$, $\frac{C_0}{C_{FT}}$, ε , e $\frac{N_0/N_{FT}}{P_0/P_{FT}}$, foram obtidos a partir do ajuste das curvas teóricas aos dados de campo, utilizando-se de técnica de mínimos quadrados.

Tabela 5.1. Parâmetros característicos das curvas teóricas, fornecidas pelo ajuste do modelo analítico às distribuições experimentais.

Campanha	$Z_{FT}^{(1)}$ (m)	C_{FT} (mg.L ⁻¹)	$\frac{C_K}{C_{FT}}$	$-\frac{r}{Z_{FT}}$	$\frac{C_0}{C_{FT}}$	$\varepsilon^{(2)}$	$\frac{N_0 / N_{FT}}{P_0 / P_{FT}}$
N_{total}	267	0,221	1,43	4,64	0,029	0,160	2,28
P_{total}		0,034	1,40	3,85	0,066	0,167	
verão _N	235	0,144	1,45	5,31	0,015	0,159	2,67
verão _p		0,010	1,61	4,08	0,040	0,155	
outono _N	298	0,232	1,41	5,1	0,021	0,133	3,52
outono _p		0,040	1,32	3,92	0,074	0,151	
primavera _N	290	0,173	1,50	4,94	0,019	0,167	2,74
primavera _p		0,032	1,46	3,97	0,052	0,180	
NEIII _N	245	0,332	1,41	4,00	0,058	0,166	1,40
NEIII _p		0,054	1,37	3,75	0,081	0,164	

(1) Para a Tabela 5.1, nos casos dos agrupamentos de todas os cruzeiros oceanográficos (N_{total} e P_{total}), foram calculados os valores médios de C_{FT} e de Z_{FT} a partir dos valores de cada campanha.

$$(2) \varepsilon = \sqrt{\left[\frac{1}{n(n-2)} \right] \left[n \sum y^2 - (\sum y)^2 - \frac{[n \sum xy - (\sum x)(\sum y)]^2}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \right]}$$

é o erro padrão da estimativa, sendo aqui uma medida da quantidade de erro na previsão de teórica (y) para um universo de n de pontos experimentais (x).

5.3.2. Distribuição vertical de viscosidade turbulenta

A formulação adotada para representar a distribuição vertical de viscosidade turbulenta (v_t), necessária ao cálculo do fluxo difusivo de nutrientes, foi determinada a partir das medidas de campo acerca das características da microestrutura turbulenta existentes na coluna d'água, realizadas com a utilização da sonda perfiladora SCAMP (*Self-Contained Autonomous MicroProfiler*). A parametrização da viscosidade turbulenta foi baseada apenas nas informações adquiridas durante a Comissão realizada na primavera. Na ausência de dados mais precisos para os outros períodos de coleta, e considerando-se o caráter geral da expressão proposta (normalização pelas escalas características das forçantes interfaciais – vento e ondas), esta formulação foi aplicada a todos as campanhas de campo.

A expressão final para distribuição vertical de viscosidade turbulenta, derivada da proposição de SILVA e ARAÚJO (2001), é dada por :

$$v_t(z) = \frac{3 a^3 k}{2 Z_{FT}^2} e^{-kz} \quad (5.1)$$

onde:

$v_t(z)$ = viscosidade turbulenta normalizada

a = amplitude da onda (m)

k = número de onda (m^{-1})

A Tabela 5.2 apresenta os valores característicos de intensidade de vento (W) medidos durante as campanhas de campo. Verifica-se, a partir da Tabela 5.2, que a intensidade do vento apresentou uma variação sazonal durante o período do estudo, apresentando valores (máximo e médio) mais elevados durante o inverno, realizado no período de inverno, enquanto que os menores valores foram registrados durante o verão, no período de verão. A relação de todos os dados da intensidade do vento é apresentada em Anexo (Anexos 17-19).

Tabela 5.2. Características da intensidade do vetor velocidade de vento medido durante as campanhas de campo do REVIZEE-NE.

Característica	inverno	verão	outono	Primavera
Máxima (m s ⁻¹)	13,89	8,23	11,83	10,80
Mínima (m s ⁻¹)	2,06	2,57	1,03	3,09
Média (m s ⁻¹)	8,75	3,97	6,87	7,10
desvio padrão (m s ⁻¹)	2,76	1,42	2,00	1,78
Variância (m s ⁻¹)	7,60	2,01	4,01	3,16

A equação (5.1) apresentou a melhor representação dos dados calculados, quando comparada com a dos dados medidos através da sonda SCAMP. Esta proposição sofre uma influência bastante forte da intensidade do vento, e conseqüentemente da onda de gravidade gerada.

Os valores de intensidade de velocidade de vento constantes da Tabela 5.2 possibilitam inferir sobre os parâmetros de primeira ordem característicos das ondas de superfície, conforme descrito no item 4.5 da metodologia. Conhecendo-se estes valores (e a profundidade do final da termoclina), verifica-se que a distribuição de viscosidade turbulenta proposta pela equação (5.1) se aproxima bastante da expressão sugerida Kitaigorodskii (1960), não apenas no seu valor superficial $v_t(z=0)$, mais também no comportamento ao longo da profundidade (decaimento exponencial normalizado pelo número de onda).

5.3.3 Fluxo Difusivo Vertical de Nutrientes

Após promover a normalização dos perfis verticais de nitrato-N e fosfato-P com a utilização da profundidade (Z_{FT}) e concentração (C_{FT}) medidos no final da termoclina, a análise dos dados experimentais das campanhas do REVIZEE-NE indicaram uma distribuição ao longo da coluna d'água capaz de ser aproximada por um

modelo analítico simples do tipo curva de crescimento logístico de *Verhulst-Pearl*. Neste caso, os ajustes por técnica de mínimos quadrados indicaram que os valores de erro padrão da estimativa, calculados para todas as campanhas oceanográficas, se mantiveram no intervalo $0,13 \leq \varepsilon \leq 0,18$.

Complementarmente, medidas da microestrutura turbulenta, obtidas *in situ* (SILVA e ARAÚJO, 2001), permitiram também identificar uma forma adimensional para quantificar a distribuição vertical de viscosidade turbulenta, necessária ao cálculo do fluxo difusivo de nutrientes. A expressão final para a viscosidade adotada mostrou-se bastante semelhante a algumas das formulações propostas em literatura, onde fica evidenciada a influência preponderante dos mecanismos de cisalhamento eólico e da quebra de ondas superficiais como fontes principais de geração de turbulência interfacial.

Reescrevendo a expressão final para o fluxo difusivo vertical de nutrientes em sua forma adimensional tem-se :

$$\phi = - \underbrace{\frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial C}{\partial z} \right)}_V = - \underbrace{Z_{FT} \frac{\partial v_t}{\partial z} \frac{\partial C}{\partial z}}_{V.1} - \underbrace{v_t \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}}_{V.2} \quad (5.2)$$

onde :

(V.1) é a parcela do fluxo difusivo associado ao efeito combinado das variações das distribuições verticais de viscosidade turbulenta e concentração C;

(V.2) é a parcela do fluxo difusivo associado ao efeito combinado da distribuição vertical de viscosidade turbulenta e da curvatura da distribuição vertical de concentração C.

As Figuras 5.75 e 5.76 apresentam as distribuições verticais das parcelas (V.1) e (V.2) e do fluxo difusivo total (V), em suas formas adimensionais. Estes foram calculados considerando-se os modelos analíticos propostos para os perfis de nitrato-N e fosfato-P obtidos a partir do agrupamento de todos os dados experimentais (Figuras

5.75 e 5.76), e da formulação proposta para a distribuição vertical de viscosidade turbulenta (equação (5.1)).

De acordo com estas figuras, verifica-se que o fluxo difusivo vertical é totalmente dominado pela parcela (V.2), resultante do efeito combinado entre a distribuição vertical de viscosidade turbulenta e curvatura da distribuição vertical de concentração C. Em ambos os casos (nitrito-N e fosfato-P), observa-se a existência de transporte vertical significativo apenas em profundidade inferiores a $2,5 Z_{FT}$. Nesta região tem-se $\frac{(V.1)}{(V.2)} = O(10^{-5})$.

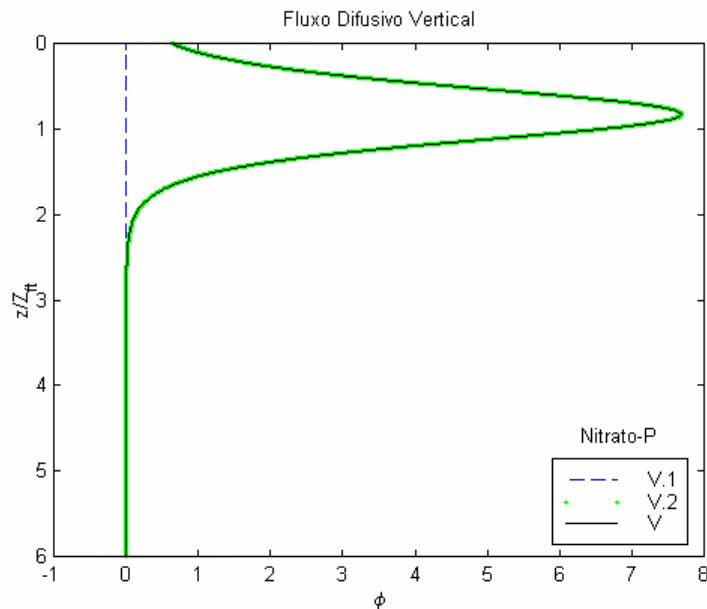


Figura 5.75. Distribuição vertical das parcelas (V.1 e V.2) e do fluxo difusivo total (V) de nitrito-N, obtidos a partir do agrupamento de todos os dados experimentais.

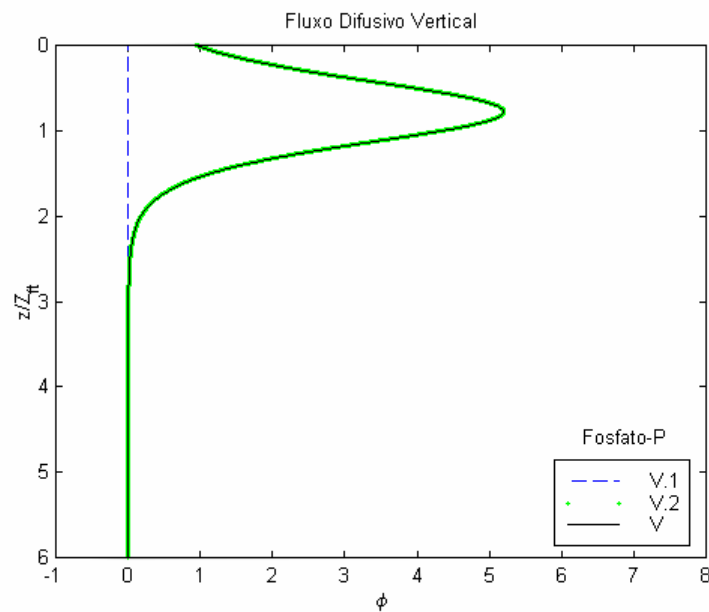


Figura 5.76. Distribuição vertical das parcelas (V.1 e V.2) e do fluxo difusivo total (V) de fosfato-P, obtidos a partir do agrupamento de todos os dados experimentais.

A Tabela 5.3 apresenta alguns valores adimensionais representativos dos perfis verticais de fluxo difusivo obtidos a partir das Figuras 5.11 e 5.12. Estes são :

- ϕ_0 = fluxo difusivo na superfície ($z = 0$);

- $\left(\frac{z}{Z_{FT}}\right)_{MAX}$ = profundidade adimensional relativa a ϕ_{MAX} .

- ϕ_{MAX} = fluxo difusivo máximo na coluna d'água, localizado na profundidade

adimensional $\left(\frac{z}{Z_{FT}}\right)_{MAX}$;

Tabela 5.3. Parâmetros característicos dos perfis verticais de fluxo difusivo de nutrientes.

Parâmetro	Nitrato-N	Fosfato-P
ϕ_0	0,63	0,94
$\left(\frac{z}{Z_{FT}}\right)_{MAX}$	0,83	0,78
ϕ_{MAX}	7,68	5,20

Os valores constantes da Tabela 6.1 indicam que :

- (a) próximo à superfície, o fluxo difusivo vertical de fosfato-P é cerca de 50 % mais importante do que o fluxo de nitrato-P, ou seja $\frac{(0,94)_P}{(0,63)_N} \cong 1,49$;
- (b) os máximos fluxos difusivos verticais de nutrientes (nitrato-N e fosfato-P) ocorrem a uma profundidade de cerca de $0,80 Z_{FT}$. Em termos dimensionais, isso equivaleria a uma profundidade de cerca de 214 m (Tabela 5.1);
- (c) o fluxo vertical máximo de nitrato-N é cerca de 50 % mais importante do que o valor máximo verificado para o fosfato-P, ou seja $\frac{(7,68)_N}{(5,20)_P} \cong 1,48$.

Analisando-se agora o balanço de nutrientes na coluna d'água através da versão simplificada da equação de transporte advectivo-difusivo de constituintes (equação (5.3)) chega-se a :

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial C}{\partial z} \right)}_v + F = S \quad (5.3)$$

Esta expressão sugere que o fluxo difusivo vertical de nutrientes nas camadas superiores do oceano é balanceado pelos mecanismos de produção e de consumo/perda locais. Considerando-se que os principais mecanismos de produção (F) de nitrato-N e fosfato-P na coluna d'água podem estar associados à degradação local da matéria orgânica, e que as perdas (S) destes minerais são decorrentes, sobretudo, do consumo local fitoplantônico e da remoção por adsorção ao material em suspensão (e posterior afundamento), chega-se a :

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial C}{\partial z} \right)}_{\dot{v}} + \text{mineralização matéria orgânica} = (\text{fotossíntese} + \text{afundamento}) \quad (5.4)$$

A Figura 5.77 a seguir ilustra o balanço de nutrientes expresso pelas equações (5.3) e (5.4).

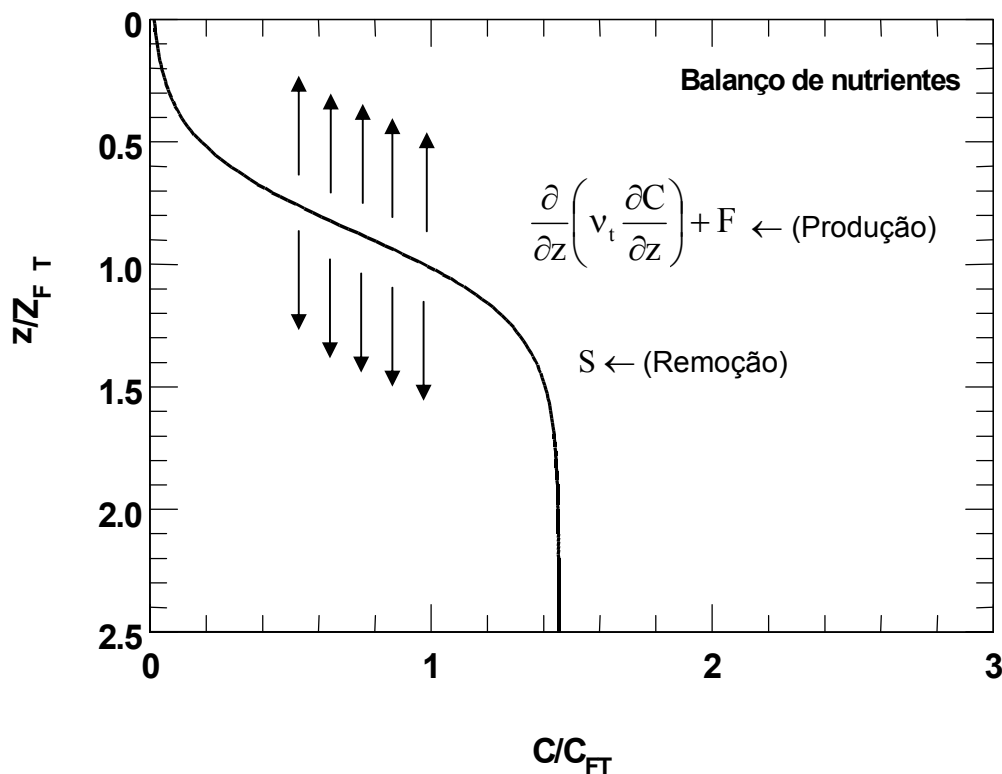


Figura 5.77. Modelo ilustrativo do balanço de nutrientes nas camadas superiores do oceano.

Com o objetivo de analisar as profundidades médias de máxima concentração de biomassa fitoplanctônica - $Z_{\text{MAX}}^{\text{FITO}}(1\%)$ - e de máximo fluxo difusivo vertical de nutrientes ($0,80 Z_{\text{FT}}$), são apresentados os valores de cada uma na Tabela 5.4. A profundidade de máxima concentração de biomassa é associada aqui à profundidade limite inferior da zona fótica (MEDEIROS e outros, 1999, MARAÑON e outros, 2000, entre outros), ou seja, àquela que corresponde a 1 % de penetração da energia luminosa que atinge a superfície. Por se mostrarem próximos, o valor médio para $Z_{\text{MAX}}^{\text{FITO}}(1\%)$ na Tabela 6.2 foi calculado a partir dos valores observados para todas as estações oceânicas das campanhas oceanográficas. Da mesma forma, para o cálculo da profundidade $0,80 Z_{\text{FT}}$ da Tabela 6.2, considerou-se o valor médio de Z_{FT} representativo de todas as estações oceânicas das campanhas oceanográficas (Tabela 5.1).

Tabela 5.4. Profundidades médias características da máxima produção fitoplanctônica ($Z_{\text{MAX}}^{\text{FITO}}(1\%)$) e de máximo valor de fluxo difusivo vertical de nutrientes (ϕ_{MAX}).

Parâmetro	z (m)	$\left(\frac{z}{Z_{\text{FT}}}\right)$	ϕ_{N}	ϕ_{P}
Máxima produção fitoplanctônica - $Z_{\text{MAX}}^{\text{FITO}}(1\%)$	71	0,27	1,98	2,26
Máximo fluxo vertical nutrientes - $0,80 Z_{\text{FT}}$	214	0,80	7,68	5,20

De acordo com as informações constantes da Tabela 5.4, verifica-se que :

- o limite inferior da zona fótica, que, na região em estudo, corresponde à profundidade de máxima produção fotossintética, está situada a uma profundidade de cerca de um terço do limite inferior da termoclina permanente ($Z_{\text{MAX}}^{\text{FITO}}(1\%) \cong 0,27 Z_{\text{FT}}$);
- nas proximidades da região de máxima produção fitoplanctônica ($Z_{\text{MAX}}^{\text{FITO}}(1\%) \cong 0,27 Z_{\text{FT}}$), o valor (adimensional) do fluxo difusivo vertical de nitrato-N é da ordem de 1,98 (Figura 5.11). Este valor corresponde apenas a

cerca de um terço do fluxo máximo observado na profundidade $0,80 Z_{FT}$ (Tabela 6.1, $\frac{1,98}{7,68} = O\left(\frac{1}{4}\right)$). No caso do fosfato-P, tem-se um fluxo vertical adimensional da ordem de 2,26, o que equivale a pouco menos da metade do valor máximo observado a $0,80 Z_{FT}$ (Tabela 6.1, $\frac{2,26}{5,20} = O\left(\frac{1}{2}\right)$);

A região de máxima produtividade fitoplanctônica, que corresponde às profundidades limites de penetração de energia radiante, se encontra, portanto, localizada bem acima do ponto de máximo fluxo vertical de nutrientes (71 m). Nessas profundidades limites, o fluxo vertical de nitrato-N é reduzido a praticamente um quarto de seu valor máximo, enquanto que o transporte vertical de fosfato-P é reduzido à metade do valor máximo na coluna d'água. Estes resultados explicam, em parte, a baixa biomassa primária sistematicamente verificada na região oceânica em estudo.

6. DISCUSSÃO

6.1 Características Hidrológicas

As províncias nerítica e oceânica objetos deste estudo, que estão localizadas na área oceânica sul da ZEE do Nordeste do Brasil, compreendidas entre as latitudes 5°S (Bacia Potiguar-RN) e 13°S (Salvador-BA), e entre as 12 e 200 milhas náuticas a partir da linha da costa, apresentaram características típicas de regiões tropicais oligotróficas, com temperaturas elevadas e pequeno gradiente térmico, salinidades elevadas, sem a presença de grandes aportes de nutrientes dissolvidos, ocasionais ou temporais, que dão sustentação à base da cadeia alimentar, conseqüentemente com baixos níveis de biomassa primária.

Em regiões oceânicas de baixas latitudes, a variação da temperatura não é muito acentuada, o que provoca pequenas alterações nos ritmos biológicos dos seres vivos. Esta característica tem também como conseqüência à presença de uma termoclina permanente e profunda, que forma uma barreira ecológica reduzindo a renovação de nutrientes entre as camadas profundas e superficiais, limitando a produção primária, o que é uma das causas da baixa produtividade das regiões tropicais.

MEDEIROS e outros (1999) observaram que as isotermas superficiais apresentavam uma tendência de acompanhamento da linha da costa, com um gradiente positivo na direção oposta, enquanto que na camada intermediária, predominaram águas frias, e isotermas perpendiculares à costa, ao contrário da camada superficial. Também registraram uma termoclina permanente, sendo mais rasa e acentuada na região norte, com profundidade média de 80m, enquanto que na secção central e sul, esteve mais profunda (média de 120 m) e variação mais suavizada. A homogeneidade térmica, como a descrição e variação da termoclina descrita por estes pesquisadores, foram as mesmas registradas durante as quatro comissões do REVIZEE NE.

A amplitude térmica registrada na camada superficial, oscilou entre os valores medianos de 2,11°C até 4,75°C, com uma variação sazonal bastante definida, menores valores medianos no inverno e maiores no verão, períodos que equivalem ao período chuvoso e de estiagem no Nordeste do Brasil.

Na camada termoclinal, a variação da temperatura é sempre muito acentuada variando entre 25°C e 10°C, numa faixa aproximada entre 100-300 m, iniciando-se na Água Tropical Superficial (ATS) e alcançando a Água Central do Atlântico Sul (ACAS).

Segundo MASCARENHAS (1984), as variações temporais e espaciais da profundidade da camada de mistura, estão principalmente associadas às trocas de energia com a atmosfera através da superfície do mar. A resposta da camada de mistura à atmosfera acontece principalmente em 3 escalas de tempo

1º. escala de tempo diurna

2º. escala de resposta durante tempestades e furacões

3º. escala de tempo sazonal.

BRAINERD e GREGG (1995), fazem uma distinção entre a camada de mistura e a camada bem misturada, sendo a primeira, a camada que estaria sendo ativamente misturada a partir da superfície em tempo determinado, correspondendo à camada onde há uma forte turbulência dirigida diretamente pelas forças superficiais. A segunda, seria a camada mais profunda que foi misturada num passado recente, na escala de tempo equivalente a um dia ou mais.

A salinidade nos oceanos oscila, em geral, entre 33 e 37, dependendo de diversos fatores de natureza meteorológica, topográfica e de aportes fluviais (LOZANO, 1978).

Na área do presente estudo, os valores de salinidade estiveram dentro desta faixa de variação, seguindo o modelo de distribuição de uma região tropical. Foi também observada uma profundidade de salinidade máxima próxima ao início da termoclina, a partir de onde decresce lentamente até valores mínimos próximos a 34.

MEDEIROS e outros (1999) registraram valores de 36,2 a 37,8, na camada superior de 200 m, encontrando também a profundidade de salinidade máxima acima da termoclina.

Na camada fótica não foi registrada uma variação horizontal e sazonal acentuada com valores medianos sempre acima de 36,0, e amplitude salina inferior a 2,5, sendo observada a menor mediana durante o inverno e a maior no outono, sem uma variação sazonal definida.

Nas camadas mais profundas, os valores medianos de salinidade foram menores que na camada superior indicando que nesta última, existem fortes processos de evaporação, enquanto que as outras são influenciadas pelo transporte de massas de águas através da Corrente Sul Equatorial (CSE).

Segundo RILEY e CHESTER (1971) e TOMZACK e GODFREY apud STRAMMA e SCOTH (1999), a água de salinidade máxima, (densidade $\sigma_\theta = 25,0$), encontrada a 100 m de profundidade, a qual é formada pelo afundamento de água superficial na transição tropical/subtropical, local de elevadas taxas de evaporação. Ainda, devido à existência de um gradiente da variação de salinidade que coincide com a termoclina, é formada uma barreira de densidade (picnoclina) que também impede a troca de nutrientes entre estas massas de água.

Segundo STRAMMA e SCHOTT, loc. cit., a camada superficial do Atlântico tropical é ocupada pela Água Tropical Superficial (ATS), com temperaturas de aproximadamente 27°C, formando ainda, a camada de mistura do Atlântico Tropical. Na parte inferior da termoclina, a temperatura diminui de 25°C para 15°C em poucos metros, e a isoterma de 20° C vem a representar o limite inferior da ATS. SIGNORINI (1978) descreveu as águas do Atlântico Sul do Brasil, que tem como características básicas, baixas concentrações de nutrientes, assim como de biomassa e produtividade, o que é uma consequência da massa de água superficial quente e salina.

Como relatado por STRAMMA e SCHOTT, loc. cit., a distribuição zonal de velocidade, as correntes equatoriais não estão completamente confinadas às diferentes massas de água, e a descrição do campo (área de influência) do fluxo é unicamente uma aproximação para separar as diferentes distribuições verticais.

Os processos envolvidos na extinção da luz solar submarina são complexos. A transparência da água do mar é afetada por moléculas dispersas, partículas em suspensão e substâncias coloridas dissolvidas. Dispersão molecular é importante nas águas azuis oceânicas, relativamente inférteis, enquanto que partículas e substâncias dissolvidas são associadas com águas mais produtivas (GRAHAM, 1966). A transparência da água é uma consequência direta do grau de insolação, ângulo de incidência e nebulosidade, sendo que nas áreas tropicais há mais disponibilidade de luz durante o ano todo que nas outras áreas.

A transparência na região estudada é elevada, como na maior parte das áreas oceânicas, devido aos poucos aportes de material em suspensão, pela falta de grandes aportes fluviais, e por ser uma região oligotrófica, com densidades planctônicas bastante baixas, que não impediram a penetração dos raios solares.

Os resultados obtidos da profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, não apresentaram uma variação espacial e temporal definida, porém nos indicam que a camada fótica nesta região é bastante profunda, chegando, em alguns casos, a 90 m, o que está de acordo com outras áreas oceânicas tropicais oligotróficas.

O oxigênio dissolvido é condicionado espacial e temporalmente, por mudanças das atividades biológicas na coluna de água, como também pelas condições químicas e físicas existentes. BOYER e outros (1999) relatam que o oxigênio tem sido utilizado como um parâmetro físico semi-conservativo como traçador de massas de água (WORTHINGTON apud BOYER e outros, loc. cit.); é também um produto da fotossíntese, e um requisito básico dos processos respiratórios; sua distribuição está sendo também utilizada para medir atividades biológicas (WILLIAMS e PARDUE, 1981) e também, como uma ferramenta auxiliar para descrever a penetração do gás carbônico em águas mais profundas (KEELING e SHERTZ, 1992); e por ser um agente oxidante, está sendo correlacionado com perfis verticais de carbono orgânico dissolvido (OGURA, 1970).

O fluxo do oxigênio através da interface ar-água é um fator físico importante que governa sua concentração nos oceanos. Este fluxo é principalmente controlado pelo nível de saturação e da solubilidade do oxigênio na camada superficial, podendo também ser adicionado pela entrada de bolhas de ar provocadas pela quebra das ondas de superfície, independentemente do nível existente (BOYER et al., loc. cit.).

Foi observado durante todos os períodos estudados, que as concentrações medianas de oxigênio dissolvido na camada fótica, apresentaram pequena variação, tanto espacial como temporal, indicando pouca demanda e grande influência dos processos físicos advectivos e difusivos, mantendo as águas sempre saturadas ou próximas ao nível de saturação.

Na distribuição vertical, foi registrada uma profundidade de concentração máxima, situada na base da camada fótica, em consequência de uma maior atividade fotossintética, como indicado pelo registro da concentração máxima de clorofila *a*; a

partir deste ponto, com aumento da profundidade, foi registrada uma diminuição nas concentrações, encontrando-se águas deficitárias em oxigênio em profundidade superior à do final da termoclina, atingindo percentuais de saturação próximos a 30%. Este déficit não foi observado na a coluna d'água que cobre o talude continental.

MEDEIROS e outros (1999) registraram valor mediano elevado na camada superficial e na profundidade de 200 m, de 4,7 e 4,4 ml.L⁻¹, respectivamente, representando $\geq 100\%$ e 82,4% de saturação

De acordo com RILEY e CHESTER (1971), a distribuição vertical do oxigênio dissolvido é similar na maior parte dos oceanos com a seguinte configuração: a) a camada superficial bem misturada pelo vento, registra um teor de oxigênio dissolvido uniforme em equilíbrio com a atmosfera e se estende até a termoclina, produzindo uma coluna d'água estável. Uma camada subsuperficial máxima pode coincidir com uma máxima produtividade; b) abaixo desta, o conteúdo do oxigênio decresce com o aumento da profundidade, como resultado da oxidação orgânica e ausência de produtores primários.

A camada superficial dos oceanos, em contato com o ar, apresenta um pH que oscila entre entre 8,10 e 8,84, dependendo da temperatura, salinidade e pressão parcial do OD e dióxido de carbono na atmosfera. Em camadas mais profundas onde a troca de gases com a atmosfera não acontece, o pH varia de acordo com o conteúdo de CO₂ dissolvido na água, que é modificado através da atividade biológica (SVERDRUP, 1959).

Na área estudada, os valores de pH mantiveram-se sempre alcalinos e seguiram o modelo de variação das massas oceânicas, com um perfeito efeito tampão, principalmente na camada superficial. Na coluna d'água, o pH foi para um valor mínimo de 7,04, isto acontece, segundo RILEY e CHESTER loc. cit., que descreveram todo o sistema ácido-básico nos oceanos, devido a que o pH diminui com o decréscimo da temperatura e o aumento da pressão hidrostática; pela diminuição ao mesmo tempo, da formação de carbonatos e bicarbonatos (principalmente de cálcio) com o aumento da profundidade e da concentração de CO₂ dissolvido na água.

A distribuição dos nutrientes dissolvidos na região oceânica estudada apresentou dois padrões definidos, um superficial, com variações muito pequenas, e outro vertical

com um gradiente positivo em direção à profundidade, a partir da base da camada fótica, formando a nutriclina, com uma relação inversa à termoclina.

A camada fótica apresentou concentrações características de áreas oligotróficas, próximas ao nível mínimo de detecção, e em muitos casos, abaixo deste valor, principalmente no que se refere às concentrações de amônia-N e nitrito-N, que são os primeiros produtos da mineralização da matéria orgânica, e são rapidamente oxidadas para a forma mais estável, o nitrato-N. As medianas máximas para amônia-N foram de $0,03 \mu\text{mol.L}^{-1}$ durante o verão e outono, e abaixo do limite de detecção na primavera, apesar de neste período ter sido registrado o valor máximo de $0,57 \mu\text{mol.L}^{-1}$; indicando níveis de matéria orgânica muito baixos e/ou processos muito rápidos de regeneração de nutrientes.

O valor mediano máximo calculado para o nitrato-N foi de $0,61 \mu\text{mol.L}^{-1}$, no outono; o de fosfato-P foi de $0,12 \mu\text{mol.L}^{-1}$, no período de inverno e o de silicato-Si $11,92 \mu\text{mol.L}^{-1}$ no verão.

O silicato-Si foi o nutriente que apresentou nesta camada a maior variação entre os valores medianos. Apesar de que, no período chuvoso há na região nordestina um aumento dos aportes continentais para área costeira, estes aportes não tiveram influência aparente na região oceânica, devido ao pequeno fluxo continental e posicionamento das correntes oceânicas, tendo provavelmente a influência de outros fenômenos físicos, como fluxos horizontais e verticais através das diferentes massas de água. Por não entrar no ciclo da matéria orgânica, o silicato-Si é um componente importante na composição das carapaças de diatomáceas e exoesqueletos de outros seres, alternando períodos de maior ou menor consumo, de acordo com crescimento populacional.

Em geral as águas da camada fótica apresentaram sempre temperatura, salinidade, saturação de oxigênio dissolvido e pH mais elevados, sendo que durante a primavera estes parâmetros foram maiores, enquanto que no inverno os valores de temperatura estiveram menores.

Na camada afótica a variação da temperatura foi muito maior, quando em alguns pontos, durante o verão e a primavera, foram registradas temperaturas mais altas com baixos teores de nutrientes, o que é uma consequência de afundamentos esporádicos da camada de mistura até a camada afótica (MARTIN e RICHARDS, 2001) e uma termoclina mais profunda, como observado na área localizada em latitudes superiores a

10°S, como registrado por Medeiros et. al., (1999) e Advíncula (2000). Na maior parte das estações, as águas apresentaram-se com águas frias temperaturas, menos salinas, menos oxigenadas e teores elevados de nitrato-N, fosfato-P e silicato-Si, principalmente durante o período de outono.

Na camada afótica, a demanda biológica por nutrientes dissolvidos é praticamente inexistente, provocando um aumento das concentrações, principalmente das formas mais estáveis, que são o nitrato-N, fosfato-P e silicato-Si, com valores medianos máximos de 12,55 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ de nitrato-N, 1,09 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ de fosfato-P e 20,46 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ de silicato-Si. As concentrações de amônia-N e nitrito-N continuaram muito baixas. A grande variação espacial é consequência da variação temporal da profundidade da nutriclina e da picnoclina, sendo em alguns momentos registrada uma penetração da termoclina na camada superficial e/ou afundamento da camada de mistura.

COSTA (1991) e MEDEIROS e outros (1999) relataram que o padrão de distribuição vertical na região oceânica nordestina para as concentrações de nutrientes dissolvidos, é semelhante ao de outras áreas oligotróficas, baixos na camada superficial e aumentando com a profundidade devido à degradação da matéria orgânica.

Na região oceânica, principalmente na camada superficial e onde não existem ressurgências, a circulação vertical é mínima devido a uma termoclina permanente, o que provoca um déficit de nutrientes nesta camada, tornando-os fatores limitantes para a produtividade primária.

Quanto à variação sazonal dentro da camada afótica, é observado que durante o verão as concentrações de nitrato-N e fosfato-P são mais baixas, enquanto que as de silicato-Si são pouco mais elevadas; durante o outono acontece o inverso, maiores teores de nitrato-N e fosfato-P, mostrando uma boa correlação entre as concentrações destes nutrientes.

A distribuição dos nutrientes é determinada pela circulação oceânica (PELEGRINI e CSANADY, 1991), por processos biológicos de absorção e remineralização, pela precipitação de detritos orgânicos através da coluna de água com consequente regeneração dos nutrientes e enfim pela migração vertical do zooplâncton (POSTMA, 1971; CHESTER, 1993).

O nitrogênio é unicamente um componente estrutural das células e apresenta uma razão relativamente estável com o carbono e fósforo, que também são dois elementos estruturais e participam constantemente dos processos energéticos, razão pela qual o nitrogênio proveria, teoricamente, uma medida mais satisfatória de produção. O nitrogênio é considerado limitante devido ao fato de ser o nutriente mais rapidamente esgotado nas águas superficiais marinhas (DUGDALE e GOERING, 1967).

O nitrato-N é o produto final da oxidação e a forma mais estável dos compostos nitrogenados na água do mar (SILLEN apud GRASSOFF et al, 1983). Em muitas áreas marinhas é considerado o micronutriente que controla a produção primária na zona fótica, quando a concentração da amônia é baixa (esta seria a forma preferida do fitoplâncton, segundo HARVEY apud RILEY e CHESTER, 1971; TANAGUCHI, 1972; BARBER e SMITH, 1981). A concentração do nitrato-N nesta camada é controlada pelo transporte advectivo das camadas mais profundas (EPPLEY et al., 1979), oxidação microbiana da amônia-N e absorção pelos produtores primários. Se a penetração da luz na água é suficiente, a taxa de absorção é geralmente mais rápida que os processos de transporte de nitrato em muitas áreas superficiais. Desta maneira, as concentrações superficiais de nitrato-N em muitas áreas oceânicas estão próximas à 0 $\mu\text{mol.L}^{-1}$. Em áreas de ressurgência, a taxa de transporte de nitrato-N é maior que a taxa de consumo, o que mantém altos níveis de produção orgânica. O nitrito-N, por outro lado, sendo uma espécie química intermediária entre a amônia e o nitrato, tem oxidação muito rápida, sendo um composto nitrogenado muito instável.

COSTA (1991) reportou concentração mínima de nitrato-N de 1,22 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ na superfície, durante a Operação Nordeste III, em 1986 (período de inverno). MEDEIROS e outros (1999) registraram valores mínimos de 10 a 20 vezes menores que os anteriormente citados, chamando a atenção para esta discrepância, o que deveria ser investigado, já que poderia estar acontecendo um evento ocasional, uma variação temporária ou algum problema metodológico. Durante todas as comissões, as concentrações mínimas registradas estão próximas com aquelas determinadas por MEDEIROS e outros loc. cit., o que indica que a diferença com os valores relatados por COSTA loc. cit., devem ser conseqüência de diferenças ou problemas metodológicos.

OKUDA (1960) também concluiu que a camada fótica desta área estaria esgotada de nutrientes, com valor mínimo de $0,2 \mu\text{mol.L}^{-1}$ de nitrato-N, até os 100 m de profundidade.

MARAÑON e outros (1999) registraram na camada superficial, concentrações de nitrato-N e nitrito-N abaixo do nível de detecção do método empregado ($<0,05 \mu\text{mol.L}^{-1}$), o que estaria de acordo com os resultados de outros pesquisadores como FRAZEL e BERBERUAN, HOOD apud MARAÑON e outros loc. cit. No presente trabalho foi registrado que a camada fótica apresentou valores inferiores a $0,5 \mu\text{mol.L}^{-1}$ nos primeiros 50 m e menor que $1 \mu\text{mol.L}^{-1}$ até o final da camada fótica, exceto no período do outono, quando chegou quase a duplicar esta concentrações.

SCHINDLER apud GRANALI e outros (1988), afirmou que na opinião convencional dos pesquisadores, no oceano, os compostos nitrogenados são os nutrientes limitantes para o desenvolvimento do fitoplâncton. KELLER (1989) explicou este fato afirmando que mesmo o fósforo apresentando um ciclo sazonal similar aos compostos de nitrogênio, provavelmente nunca será limitante nos oceanos devido à sua rápida reciclagem dentro de um sistema.

O nitrogênio tem sido considerado por vários pesquisadores, como fator limitante do crescimento e produção do fitoplâncton nas águas costeiras e oceânicas do Brasil, entre eles TEIXEIRA, 1973; TEIXEIRA e VIEIRA, 1976; TEIXEIRA e TUNDISI, 1981; BRANDINI, 1990; AIDAIR e outros, 1993; GAETA e outros, 1995; METZLER, 1996.

No Atlântico subtropical e tropical é observado uma profundidade bem definida de concentração máxima de nitrato-N, exatamente abaixo da camada do mínimo do oxigênio dissolvido, aproximadamente entre 400-800 m, com valores pouco acima das $32 \mu\text{mol.L}^{-1}$ (GRASSHOFF et al., 1983), o que também foi registrado neste trabalho.

As relações das concentrações celulares ótimas N:P para o desenvolvimento do fitoplâncton, apresentada por REDFIELD (1958) como sendo de 16:1, apresentaram-se muito baixas na camada fótica (5 a 10:1) e mais elevadas na camada afótica (12 a 14,6:1), indicando que o nitrogênio é o nutriente limitante na região estudada, sendo durante o inverno, o período no qual foi registrado o menor valor mediano (5:1).

O fósforo é um elemento-traço abundante e um dos nutrientes mais importantes no ciclo orgânico. A concentração média na água do mar tem sido estimada em

aproximadamente $2 \mu\text{mol.L}^{-1}$, porém nas camadas superficiais, na zona fótica, os níveis são geralmente muito baixos, exceto em áreas de ressurgência ou em áreas costeiras onde os rios transportam excessos de fertilizantes da atividade agrícola ou da lixiviação das rochas. Nesta camada, o fósforo é absorvido pelo fitoplâncton e ingressa na cadeia alimentar do mar. Com a morte e degradação dos diversos organismos, ele volta para a coluna d'água (KOROLEFF, 1983).

De acordo com AIDAR e outros. (1993), o fitoplâncton, juntamente com as bactérias, é a causa mais preponderante da diminuição das concentrações de fosfato nas áreas superiores da camada fótica. Por outro lado, a regeneração do íon fosfato é muito rápida na coluna de água, impedindo em geral que ele seja o nutriente limitante em áreas oceânicas. Em seu estudo, CONKRIGHT e outros (2000) relatam que a distribuição do fosfato no círculo central oceânico apresenta uma relativa constância através do ano.

TEIXEIRA e outros apud RESSUREIÇÃO (1990), afirmaram que a possibilidade do fósforo constituir-se fator limitante primário é rara. Porém MARGALEF e VIVES apud RESSUREIÇÃO loc. cit., consideraram que o fósforo é o fator limitante em 50% dos casos quando as concentrações são inferiores a $0,5 \mu\text{mol.L}^{-1}$.

As concentrações de fosfato-P registradas, oscilaram entre valores na camada superficial abaixo do limite de detecção e aqueles da camada mais profunda de $2,35 \mu\text{mol.L}^{-1}$, não sendo um fator limitante no ambiente marinho em nossa área de estudo.

COSTA (1991) relata que é o fósforo o nutriente limitante na região oceânica, porém esta conclusão é decorrente dos valores elevados de nitrato-N, aumentando a relação N:P.

O silicato-Si foi o nutriente que apresentou as maiores concentrações em todas as profundidades de coleta. Biologicamente o silicato-Si, em comparação com os demais nutrientes, não se enquadra entre os mais utilizados, apenas por alguns organismos, entre eles as diatomáceas, como também é menos rápida sua degradação. Na área estudada, o silicato-Si não mostrou evidências de ressurgências, porém apresentou gradiente elevado em áreas costeiras com grande influência continental.

O silicato-Si esteve sempre disponível em concentrações não limitantes, com relações silicato-nitrogênio >1 . Segundo CONLEY e MALONE, (1992) a limitação potencial por silicato seria indicada por uma razão entre silicato e nitrogênio <1 . Com

base na dinâmica de assimilação de nutrientes, a tomada de silicato pode ser limitada mesmo a concentrações relativamente altas deste elemento. Determinou concentrações de silicato $<3 \mu\text{g.L}^{-1}$ e as razões silicato para nitrogênio <1 foram estimadas para amostras oceânicas coletadas a 1% de penetração da luz, sob condições de estratificação, podendo, portanto sugerir limitação da produção nova nestas águas por este elemento, ao contrário do registrado neste estudo, uma vez que em geral as concentrações estiveram $>2 \mu\text{mol.L}^{-1}$ e uma relação silicato:nitrato >1 .

A concentração média de silicato-Si dissolvido na água do mar é na ordem de $35 \mu\text{mol.L}^{-1}$, porém ela varia de traços, na camada superficial, à aproximadamente $150 \mu\text{mol.L}^{-1}$, em águas profundas do Oceano Pacífico. Sendo também que, a água do mar é extremamente insaturada com silicato-Si (KOROLEFF, 1983).

Em áreas mais ricas, o movimento advectivo, além de aportar nutrientes desde a camada mais profunda até a superfície, possibilita acumulação dos organismos nesta camada, diminuindo a sedimentação fitoplanctônica. Isto proporciona condições favoráveis para o desenvolvimento da população zooplanctônica, um aumento de alimento para os níveis superiores da cadeia alimentar, com características físicas e químicas apropriadas para a reprodução desenvolvimento larval; e tempo de residência suficiente para manter o crescimento de uma população. Outro fator ecológico dos afloramentos é facilitar uma maior reciclagem da matéria orgânica, com aumento da remineralização *in situ*.(HAYS et al., 1996)

6.2 Biomassa Primária e Fluxo de Difusão

Os valores obtidos de clorofila *a* foram muito baixos, apresentando na maioria dos casos, valores medianos $<1 \mu\text{g.L}^{-1}$, exceto durante o outono. Os valores máximos foram registrados, de forma ocasional, no final da camada fótica e em estações mais próximas à costa.

MOURA e outros (1996; 1998; 1999) relataram que ao observar a distribuição horizontal da clorofila *a* dentro da ZEE NE, esta apresenta uma tendência de elevação em alguns pontos próximos à costa e em direção às menores latitudes, principalmente nas áreas adjacentes a bancos, ilhas e montes oceânicos, como os localizados na cadeia Norte Brasileira, Cadeia Fernando de Noronha e Arquipélago São Pedro e São Paulo.

Também relatam que observaram via de regra, uma tendência de aumento dos teores em direção às camadas mais profundas, principalmente no nível de 1% de penetração da luz.

Para METZLER (1996) a concentração de clorofila *a* registrada durante seu estudo nas regiões oceânica e costeira do Sudeste do Brasil, foi sempre inferior a 0,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na região oceânica e variou de 0,12 a 1,41 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na estação costeira, relatando que a produção dominante foi a forma regenerada. Ao mesmo tempo observou que na região costeira a maior disponibilidade de nitrato-N resultou não somente em maiores taxas de assimilação de nitrato-N e maiores relações $-f$, mas também em maiores concentrações de biomassa (clorofila *a*) e maior produtividade (taxa de fixação de carbono), e mesmo não ocorrendo ressurgência, a produção nova média na região oceânica foi mais significativa do que na região costeira.

MARAÑÓN e outros (2000) que realizaram um estudo num transecto longitudinal no oceano Atlântico, entre 50°N e 50°S, encontraram níveis baixos de clorofila *a*, geralmente menores que 0,2 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e especialmente durante setembro e outubro de 1996, inferiores a 0,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$, o que é compatível com nossos resultados, que estiveram abaixo de 0,14 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no período equivalente durante a Comissão realizada no inverno. Estes autores registraram também uma profundidade de máxima clorofila *a* na base da camada fótica, nas baixas latitudes, como anteriormente relatado por PLATT e outros, FASHAN e outros, FRAZEL e BERBERIAN, apud MARAÑÓN e outros (2000) com concentrações variando entre 0,2 e 0,4 $\mu\text{g.L}^{-1}$, aumentando esta profundidade ao sul do giro central do Oceano Atlântico Tropical. Na ressurgência ao noroeste da África as concentrações foram maiores que 1,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

MEDEIROS e outros (1999) durante a Comissão JOPS-II-5, registraram um gradiente negativo bastante definido das concentrações de clorofila *a* em direção ao oceano, e concentrações maiores ao sul do Cabo Calcanhar, com valor máximo de 0,39 $\mu\text{g.L}^{-1}$, enquanto que na distribuição vertical, as concentrações máximas de clorofila *a* estiveram na profundidade de 100 m. Para MARAÑÓN e HOLLIGAN (1999) a variabilidade temporal na biomassa e composição fitoplanctônica nos giros oligotróficos foi relativamente baixa.

Ao comparar os valores obtidos por estes pesquisadores com os obtidos no presente trabalho, podemos observar que estiveram muito próximos durante o inverno e

no verão até a profundidade de 50% de penetração da luz, e neste estudo mais elevados durante o outono e no nível de 1% de penetração da luz, apresentando uma variação sazonal bastante definida, indicando que, apesar da qualidade de águas oligotróficas e a não presença de áreas de ressurgência, existem fatores físicos, químicos e biológicos temporais bastante característicos que regulam a biomassa primária, entre eles, de grande importância, a elevação da nutríclina na camada fótica durante o outono e primavera, provocando um aumento dos teores de clorofila *a*.

Durante o inverno, as concentrações de clorofila *a* e nitrato-N foram muito baixas, como também a relação N:P, enquanto que no mesmo período as concentrações de silicato-Si foram as mais elevadas, indicando uma grande limitação por nitrato-N. Quando as relações N:P foram maiores, as concentrações de clorofila *a* também foram maiores, como observado durante o outono, onde a relação N:P esteve mais elevada e foram registradas as maiores concentrações de clorofila *a*. A Análise dos Componentes Principais também mostrou uma relação positiva importante entre a clorofila *a* com o nitrato-N e fosfato-P, seguida pela amônia-N.

Em todas as ACP a clorofila *a* esteve bastante próxima com o fosfato-P, indicando que este componente não foi limitante, como considerado por COSTA (1991) e ALBUQUERQUE (1997). As águas mais alcalinas e pobres registradas durante o verão na região oceânica entre Paraíba e a Bacia Potiguar-RN, representaram áreas onde há poucos processos respiratórios e baixos teores de matéria orgânica.

As concentrações de silicato-Si estiveram maiores na área de plataforma e apresentou na segunda componente da ACP, um peso bastante importante. Segundo GALVÃO (2000) na área costeira da ZEE-NE foi registrado um aumento de diatomáceas. MARAÑÓN e outros (2000) relataram que as regiões de maior produtividade, como as costeiras e áreas de ressurgência, são caracterizadas por um aumento da dominância de diatomáceas, e que em águas oligotróficas representam menos que 2% da biomassa total fotossintética, o que já vinha sendo reportado por WATERBURY e outros (1979) e HERBLAND e LÊ BOUTEILLER (1981) e reflete o perfil geral do oceano tropical (LÊ BOUTEILLER et al., 1992).

No seu estudo, MEDEIROS e outros (1999) registraram uma relação inversa entre densidade celular e concentração de clorofila *a*, e também que a fração >20 µm

aumentava em direção à costa enquanto que a fração $<20 \mu\text{m}$ aumentava no sentido contrário.

FRENETTE e outros (1998) concluíram que nos ecossistemas aquáticos, onde o nitrato-N tem um papel importante na economia de nitrogênio pelo fitoplâncton, as condições de alta irradiação favorecem a produção de biomassa máxima por unidade de nitrogênio absorvido pelas células maiores, enquanto que em condições de pouca irradiação as favorecidas são as células menores.

MARAÑON e outros *loc. cit.* também relacionaram esta condição com as condições de oligotrofia, uma vez que o picoplâncton ($<2 \mu\text{m}$) esteve presente em mais de 60% do total integrado de clorofila *a* durante a maior parte do transecto, enquanto que, em áreas de ressurgências e regiões temperadas, a fração dominante do fitoplâncton foi maior que $2 \mu\text{m}$, com os dinoflagelados representando geralmente menos de 4% da biomassa total.

Estes autores concluíram no seu trabalho que as cianobactérias e pequenos flagelados dominam de 70-90% da biomassa total fotossintetizante nas águas oligotróficas do oceano Atlântico e que geralmente a profundidade de clorofila *a* máxima não é a profundidade de densidade máxima, mais uma consequência do aumento da relação clorofila *a*:C, e por isto a produção primária não aumentou com a profundidade.

ZUBKOV e outros (1998) reportaram que a parte procariótica da comunidade picoplânctônica consiste de bactérias heterotróficas taxonomicamente diversas, e dois grupos relativamente aproximados de cianobactérias fotossintetizadoras *Synechococcus* spp. e *Prochlorococcus* spp.

Estes autores também relataram, que concentrações extremamente baixas de nutrientes em regiões oligotróficas não são aparentemente limitantes para o crescimento de *Prochlorococcus* ao contrário de *Synechococcus* e picoeucarióticos que podem ser limitados pela falta de nutrientes como também observado por VALOUT e outros, TARRANT e outros apud ZUBKOV e outros, *loc. cit.* O crescimento das bactérias heterotróficas geralmente depende da disponibilidade de matéria orgânica dissolvida.

ZUBKOV e outros, *loc.cit.*, observaram no Oceano Atlântico duas populações de *Prochlorococcus* distintas, a primeira localizada na camada superior da coluna d'água, formada por células de pequeno porte com baixo conteúdo celular de clorofila

α ; e a segunda, formada por células maiores (a maioria retida num filtro de 0,6 μm), com conteúdo significativo de clorofila a , localizada no fundo da camada superficial. Também registraram que as águas do giro central do oceano Atlântico são habitadas principalmente por *Prochlorococcus* e bactérias heterotróficas (estas representando de 50-70% do número total de células procarióticas do picoplâncton). CARVALHO (2000) observou diferenças morfológicas entre as cianobactérias que vivem na camada superficial daquelas situadas na base da camada fótica, na área de ilhas e bancos oceânicos na ZEE NE.

GALVÃO (2000) descreveu o microfitoplâncton da ZEE NE oceânica no período do verão o qual esteve composto por 70% de dinoflagelados, 23% de diatomáceas e 7% de silicoflagelados, enquanto que o microzooplâncton esteve mais bem representado qualitativamente por espécies de Tintinnina com 57%, ciliados não loricados com 29%, Foraminífera e Radiolario com 7% cada um. Esta pesquisadora também relatou que grande parte das espécies identificadas ocorreram esporadicamente, enquanto que as espécies do nanoplâncton e dinoflagelados não identificadas apresentaram frequência de ocorrência de 98,74% e 77,78% respectivamente. As diatomáceas Pennate e Centricae não identificadas e as espécies *Oxytoxum* sp., *Dictyocha navícula* e *Spiniferites mirabilis* foram consideradas frequentes, variando entre 32,63 a 35,78%. Foi registrada a maior densidade na camada superficial ao leste do Estado Bahia, e na base da camada fótica ao leste do Estado de Alagoas, não coincidindo estas densidades com o nível de biomassa máxima.

Na base da camada fótica esta pesquisadora registrou ainda, maiores densidades na região dos bancos rasos da Cadeia Norte do Brasil e em alguns locais da região oceânica sul, concluindo que o microfitoplâncton foi extremamente pobre e não foi registrada qualquer comunidade típica nas profundidades de coleta.

A forte estratificação registrada e a falta de ressurgências limitaram o enriquecimento orgânico, ficando na dependência de fenômenos cíclicos ou ocasionais, como aumento do fluxo de nutrientes provocado pela diminuição da profundidade da nutriclina, e por procesos de regeneração de nutrientes, para disponibilizar, principalmente, maiores teores de nitrato e aumentar a biomassa fitoplanctônica.

Diversos pesquisadores dentre os quais EPPLEY e RENGER, (1988); e METZLER, (1996) indicaram que produção nova baseada exclusivamente na taxa de

assimilação de nitrato-N pode ser superestimada, pois o nitrato-N também pode ser produto de processos de regeneração. Apesar da amônia ser a forma preferencialmente utilizada e que representa mais de 60% do total de nitrogênio, maior disponibilidade de nitrato-N no fundo da coluna de água resulta em maior percentagem de absorção deste nutriente em detrimento da assimilação de uréia, a fim de satisfazer a demanda de nitrogênio inorgânico.

Isto corroboraria a grande importância dos aportes físicos de nitrato-N através da nitraclina para a manutenção da produção nova e maiores índices de clorofila *a* no fundo da camada fótica, o que aumentaria a importância do cálculo da difusão vertical dos principais nutrientes inorgânicos e separar o nitrato-N novo do regenerado, e a partir daí poder estimar com maior precisão a produção nova.

BURFORD e ROTH LISBERG, (1999) relatam que o nitrogênio orgânico na forma de uréia, aminoácidos livres e aminoácidos compostos podem contribuir para a produção e crescimento tanto de bactérias quanto de fitoplâncton, e HOWARTH apud BURFORD e ROTH LISBERG, loc. cit., põe em dúvida que conclusões sobre a limitação por nutrientes inorgânicos poderão ser realizadas a partir das concentrações existentes, devido a que o fitoplâncton é capaz de utilizar nutrientes orgânicos e os inorgânicos poderão ser rapidamente regenerados.

Para BRONK e outros (1994) grande parte do nitrogênio orgânico disponível em ambientes oligotróficos é refratário, e portanto não é utilizado pelos organismos planctônicos.

Alguns autores relataram que o fitoplâncton depende quase que exclusivamente de nitrogênio regenerado para sua nutrição (DUGDALE, 1976; GLIBERT e MCCARTHY, 1984, METZLER, 1996). EPPLEY e PETERSON, (1979), por exemplo, estimaram que a contribuição do nitrato-N para a produtividade fitoplanctônica em águas oligotróficas é apenas de 10-20%, podendo, em algumas épocas do ano, serem ainda inferiores. Isto poderia não ser generalizado, uma vez que águas oligotróficas podem ter características físicas, químicas e biológicas específicas, e por isto, estes organismos responderem assim a estas formas de adição de nutrientes.

Para MARAÑÓN e outros (2000) o fitoplâncton tem características regionais e respondem segundo estas características, de uma forma mais rápida em altas latitudes e mais lentamente em baixas latitudes, e as relações tróficas oceânicas dependerão

totalmente das inter-relações entre os fatores físicos, químicos e biológicos, sendo o primeiro determinante nos processos bioquímicos e o segundo condicionante dos processos biológicos. Diferenças nas taxas de assimilação entre formas de nitrogênio oxidadas ou reduzidas em cada região, refletem a fonte e o déficit de nitrogênio à qual a população foi submetida anteriormente (SYRETT, apud BURFORD e ROTH LISBERG, 1999; DORTCH e CONWAY, 1984; LUND, 1987; DORTCH, 1990; COCHLAN e HARRISON, 1991).

METZLER (1996), recomenda que as interpretações das relações $-f$ obtidas no seu estudo devem ser cautelosas, pois estas se baseiam em taxas de absorção de nitrato-N, as quais não representariam a real transformação de nitrogênio em biomassa. As altas relações $-f$ observadas em amostras do fundo da zona fótica em águas oceânicas parecem refletir a rápida assimilação de nitrato-N por uma população fitoplanctônica deficiente em nitrogênio, tomada esta que poderá resultar em aumento da biomassa e produtividade se as condições de luz forem favoráveis.

Esta interpretação pode-se tomar como um forte indicativo de que em determinadas regiões é a produção nova a que prevalece, que seria uma consequência da ocorrência de determinados fatores físicos como a presença de luz no topo da nutriclina, onde o grau de turbulência produziria um aumento na difusão de nutrientes.

MARAÑÓN e outros (2000) relataram que durante a Comissão AMT-3 (Transecto Meridional do Atlântico-3) realizada entre setembro e outubro de 1996, foi registrada uma relação inversa significativa entre a taxa diária de crescimento de biomassa e a profundidade da nitraclina, conseqüentemente a relação superficial e a concentração de nitrato-N estaria positivamente correlacionada. Observaram também, que em determinados momentos (particularmente na Comissão AMT-1, entre setembro e outubro de 1995) existiu uma baixa correlação entre a localização da nutriclina e a taxa de crescimento, o que refletiria o dinamismo da relação entre os componentes físicos, químicos e o estado fisiológico do fitoplâncton, representando um retardamento na resposta integrada às perturbações ambientais prévias.

MENGESHA e outros (1999) definiram sua área de estudo no Oceano Índico, como muito oligotrófica, com baixas concentrações de nutrientes (nitrato superficial $<0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$) e baixa biomassa fitoplanctônica. Obtiveram uma relação $-f$ máxima $<0,47$ indicando que a produção regenerada foi a mais importante para o ecossistema.

Isto devido a ser amônia o nutriente com maiores concentrações em todas as campanhas, representando em média 72% da concentração total de NID, seguida de nitrato com ~21% e nitrito com ~7%. No presente estudo, o nitrato-N foi sempre o nutriente mais importante.

MARAÑON e HOLLIGAN (1999) também relataram que o aumento da produtividade na coluna de água, está associado ao aumento de nutrientes, provocado por diversos mecanismos, entre eles o fluxo de difusão, como aqui observado no período de outono, quando da elevação da termoclina e da nutriclina.

Estas conclusões e os resultados obtidos neste trabalho, enfatizam o papel da injeção de nutrientes através da termoclina, controlando a atividade fitoplanctônica o que também foi registrado por outros pesquisadores como MALONE e outros (1993); LETELIER e outros, PLATT e outros apud MARAÑON et al. loc. cit.

WARD e outros (1989) relatam que o transporte físico de nitrato-N para a camada fótica através da nitraclina, é a principal fonte de nitrogênio para a produção nova e que a intersecção do início da nutriclina com a base da camada fótica faz desta faixa de profundidade, uma região de rápida reciclagem do nitrogênio com transformações por assimilação e regeneração, como também pelo fluxo difusivo.

Foi registrada a importância dos aportes temporários de nitrato-N, provocados pelos ventos, e outros processos que provocam turbulência, como estimuladores da produção nova (GOLDMAN, 1993; EPPLEY e RENGER, 1988; MARRA et al. 1990; POLLAR e REGIER, 1988). Também é relatado por JENKINS, apud GOLDMAN loc.cit., que durante seu estudo no Mar Sargaço o registro de intensos aportes de nutrientes em curtos períodos de tempo numa profundidade variando entre 75 e 100 m, que seriam capazes de suportar de 20 a 30% da produção nova anual, e apenas alguns poucos eventos seriam suficientes para estimular a produção nova naquela região.

Estas observações são bastante próximas com as registradas neste estudo, uma vez nitrogênio regenerado e novo, estimularam o aumento das concentrações de clorofila *a*, indicando que a produção regenerada é importante na manutenção dos níveis médios da biomassa primária, enquanto que o aumento dos aportes físico ocasionais elevou os níveis da produção nova. Existindo uma relação significativa entre o crescimento do fitoplâncton e a estrutura física e química da coluna de água.

Para MARTIN e RICHARDS (2001) os nutrientes utilizados pelo fitoplâncton vêm principalmente de profundidades abaixo da zona fótica, sendo o mecanismo de transporte vertical a forma de reabastecimento para a camada superior, principalmente por transportes verticais. O aporte de nitrato-N por afundamentos esporádicos da camada bem misturada seria uma causa secundária.

LAW e outros (2001), e CARR et al., (1995), consideram que o transporte de águas profundas para a camada superficial de mistura é a maior fonte de nutrientes para a biomassa primária em grande parte dos oceanos, considerando a fonte vertical turbulenta de nutrientes como significativa para a camada fótica.

COSTA (1996) relata profundidades de fluxo máximo de nitrato-N entre 50 a 80 m no Mar Mediterrâneo Ocidental, e concluiu que apesar da importante contribuição do fluxo difusivo de nitrato-N para a produção nova, não a explica completamente.

Apesar das formas regeneradas de nitrogênio serem consideradas as principais fontes para a produção do fitoplâncton por diversos autores, são os aportes físicos, provavelmente cíclicos, os que determinaram a quantidade da produção nova na região oceânica sul do Nordeste do Brasil.

A região de máxima produtividade fitoplanctônica, que corresponde às profundidades limites de penetração de energia radiante, se encontra, portanto, localizada bem acima do ponto de máximo fluxo vertical de nutrientes (71 m). Nessas profundidades limites, o fluxo vertical de nitrato-N é reduzido a praticamente um quarto de seu valor máximo, enquanto que o transporte vertical de fosfato-P é reduzido à metade do valor máximo na coluna d'água. Estes resultados explicam, em parte, a baixa biomassa primária sistematicamente verificada na região oceânica em estudo.

6.3. Perspectivas Futuras

A quantificação das variações espaciais e temporais dos processos de troca e dispersão de energia e as conseqüências que estes processos provocam na estrutura física, química e biológica da coluna d'água, são de fundamental importância na pesquisa oceanográfica.

A discussão sobre a variação sazonal e espacial pode ser enriquecida com a repetição de pesquisas, para poder afirmar ou elucidar fatos como o aumento nas

concentrações de nitrato-N e fosfato-P na camada superficial, penetração de massas d'água mais ricas em nutrientes na camada fótica através da diminuição da profundidade da termoclina e nutriclina, conseqüentemente um aumento da biomassa fitoplanctônica, procurando identificar se estes fenômenos são cíclicos ou apenas esporádicos ou deve-se a um erro metodológico. Baseado nisto podemos propor as seguintes linhas de pesquisas:

1. identificar a influência que a Corrente do Brasil e da Corrente Norte do Brasil exercem na distribuição espacial e temporal dos parâmetros físicos, químicos e biológicos;
2. identificação e caracterização de massas de água, utilizando-se a concentração de oxigênio dissolvido e principais nutrientes, como traçadores;
3. identificar padrões de variação espacial e temporal de clorofila *a*.
4. estimativa da produção anual da biomassa primária;
5. realização de novos estudos sobre a difusividade de nutrientes, nos locais que apresentaram maior intensidade;
6. estudo sobre a quantificação dos teores de matéria orgânica em suspensão, de nitrogênio e fósforo total; da quantificação dos processos de regeneração do nitrogênio inorgânico e sua influência na biomassa primária (quantificação da produção regenerada)

Apesar da menor intensidade do fluxo de nutrientes na base da camada fótica, este mostrou ter um papel muito importante como fonte de nitrato-N para a produção de biomassa primária, ou seja da produção nova, uma vez que aportes importantes de matéria orgânica através de fontes externas ou recicladas aparentemente são pouco evidentes, criando uma dependência entre os aportes de nitrato através dos fluxos difusivos e o aumento da biomassa fitoplanctônica.

Para identificar de forma conclusiva a importância da entrada do nitrato novo, seria necessário estabelecer pontos fixos para as medições da intensidade dos processos turbulentos e difusivos, junto com medições contínuas em toda a coluna d'água até a base da camada fótica, que permitam ter uma informação em tempo real e com maior acurácia durante ciclos temporais.

7. CONCLUSÕES

1. Foi registrada uma variação temporal dos nutrientes dissolvidos na camada fótica, bastante significativa, apesar da aparente estabilidade térmica e salina, o que indicou uma forte relação com os processos dinâmicos existentes na área;
2. Foi registrada a presença de uma profundidade de máxima clorofila *a* na base da camada fótica, indicando a existência de uma fonte de nutrientes na base da camada fótica;
3. A relação N:P na camada fótica foi muito baixa, caracterizando o nitrogênio como o nutriente limitante para a produção oceânica;
4. A análise dos dados de nutrientes dissolvidos, indicaram uma distribuição ao longo da coluna de água capaz de ser ajustado por um modelo analítico simples do tipo curva de crescimento logístico de **Verhulst-Pearl**;
5. O fluxo difusivo vertical de nutrientes para a camada fótica é dominado pelo efeito combinado da distribuição vertical de viscosidade turbulenta e da curvatura da distribuição vertical de concentração *C*, existindo um transporte vertical significativo em profundidades menores que $2,5 Z_{FT}$ (Z_{FT} a profundidade do final da termoclina);
6. Próximo à superfície o fluxo difusivo de fosfato-P é cerca de 50% maior que o fluxo de nitrato-N, enquanto que na coluna de água o fluxo máximo de nitrato-N é mais intenso em quase 50% do valor máximo verificado para o fosfato-P;
7. Os máximos fluxos difusivos verticais de nitrato-N e fosfato-P, foram registrados a uma profundidade de cerca de $0,80 Z_{FT}$ (214 m), enquanto que a profundidade média da concentração máxima de clorofila *a* esteve situada a 71 m, onde o valor do fluxo de nitrato-N caiu para $\frac{1}{4}$ do seu fluxo máximo;
8. A falta de fontes importantes de nutrientes e a redução significativa do fluxo de difusão no final da camada fótica também limitaram o desenvolvimento da biomassa primária;
9. O aumento registrado nas concentrações de nutrientes durante o outono foi uma consequência do afundamento da camada fótica, com aumento da taxa de transporte vertical de nutrientes para esta profundidade; o que elevou o valor da relação N:P e disponibilizou maior quantidade de nitrato-N para o fitoplâncton. O aumento de amônia-N observado em algumas estações, também adicionou nitrogênio ao ambiente elevando o valor do NID.

10.O nível de concentração bastante baixo do componente biológico junto com a estrutura física e química provocada por condições de estratificação permanente na coluna de água, caracterizou esta região como oligotrófica.

8. ABSTRACT

In the tropical oceanic region the phytoplankton primary biomass is controlled by light availability and inorganic dissolved nutrients, besides other physical factors as turbulence and sedimentation. The water properties in the photic zone are subjected by a number of different forcing intensities opposite to the deeper waters which varies regularly. In Northeastern Brazil the presence of a permanent and deep thermocline limits the nutrients flux forming a concentration gradient opposite to the light. The aim of the present work was to characterize the oceanic region of the Economic Exclusive Zone of the Northeastern Brazil, between the north littoral of Rio Grande do Norte State (5°S) and Salvador-BA (14°S), from 12 to 200 nautic miles. It was intended to assess the nutrients concentration dynamics and their temporal and spatial variations; their effect in the primary producers distribution in terms of chlorophyll *a* and the trophic level of the region; and the vertical diffusion of the nutrients through the nutricline and their influence in the primary biomass. A Principal Component Analysis was performed and explained 60% of the total variance being utilized all sampling levels (100%, 50%, 1% of light penetration; thermocline beginning, mid and end, and 500 m), showing an inverse correlation between temperature, salinity, pH, dissolved oxygen and phosphate-P, nitrate-N, silicate-Si. This analysis indicated the increase in nutrients mineralization in relation to the depth until the nutricline stabilization and the great relationship between chlorophyll *a*, and nitrate-N and phosphate-P. The median concentration at the photic and aphotic layers were respectively to ammonia-N $\leq 0,03 \mu\text{mol.L}^{-1}$, to nitrate $\leq 0,6$ and $\leq 12,56 \mu\text{mol.L}^{-1}$, to phosphate-P $\leq 0,14$ and $\leq 1,09 \mu\text{mol.L}^{-1}$ and to silicate-Si $< 12,0$ and $\leq 20,5 \mu\text{mol.L}^{-1}$. The chlorophyll *a* presented median values $< 1,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ at surface and $\leq 1,45 \mu\text{g.L}^{-1}$ at 1% light penetration depth. It was defined that the liquid regeneration rate of the C component (nitrate-N or phosphate-P) is a result of the balance among the input of the organic material degradation, the diffusive flux and the removal by phytoplankton absorption, as the sedimentation of the total particulate material (nutrients adsorption), being these the main mechanism in the nutrient vertical balance. This suggests that the ascendant diffuse flux is counterbalanced by sedimentation and phytoplankton consumption. To calculate the turbulent diffusion (v_t) it was used the semi-empirical formulation of Kitaigorodskii (1960), which better represented the diffusive profiles obtained in the field with a SCAMP sound (Self-Contained Autonomous MicroProfiler). The vertical distribution of nitrate-N and phosphate-P concentration was normalized in relation to the concentration and depth verified at the end of the thermocline (Z_{FT}), which resulted in a non dimensional representation. This methodology allows an analytic representation of the curves from the logistic model of Verhulst-Pearl (Jørgensen, 1986). The maximum diffusive depth was at $0.82 Z_{FT}$ (214 m), decreasing to 1/3 at the photic layer base. The nitrate-N maximum flux was nearly 1.5 more intense than the phosphate-P one. This explain the oligotrophic condition of the area. The increase in chlorophyll *a* during the autumn in some sampling points resulted from the increase in the photic layer with a diffusive increase in this depth bringing additional flux of available nutrients, showing the importance of the nitrate physical transport as the main source of nitrate-N to the new phytoplankton production at the oceanic superficial layer.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Apresentação de originais.** NBR – 1339, Rio de Janeiro, 1990b. 4 p.

_____. **Apresentação de citações em documentos.** NBR – 10520. Rio de Janeiro, 1990a, 2 p.

_____. **Informação e documentação – Referências - Elaboração.** NBR – 6023. Rio de Janeiro, 2000, 20 p.

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. **Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables.** [S.l.]: Dover Publications, 1970. 1046p.

ADVÍNCULA, R. **Elementos micronutrientes na camada eufótica da região oceânica entre Recife (Pernambuco) e Salvador (Bahia): distribuição espacial e mecanismos físicos influentes na fertilização das águas.** Recife, 2000. 117 f. Dissertação (Mestrado Oceanografia)- Depto. Ocean. Univ. Fed. Pernamb. CTG, UFPE.

AIDAR, E. et al. Ecosistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila a e suas relações com as condições oceanográficas da região de Ubatuba, S.P. **Public. Esp. Inst. Ocean. S. Paulo**, São Paulo, v. 10, p. 9-43, 1993

ALBUQUERQUE, F. M. F. **Caracterização do Fósforo na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Nordeste Brasileiro entre as Latitudes 12° 30'00" a 02° 30'00" S e as Longitudes 37° 30'00" a 31° 30'00" W.** Natal, 1997, 83 f. Dissertação (Mestrado em Bioecologia Aquática). Departamento de Oceanografia e Limnologia da UFRN.

ALBUQUERQUE, G. B. de **A influência dos ventos superficiais e da temperatura dos oceanos Atlântico e Pacífico na variabilidade da precipitação leste do nordeste do Brasil.** Recife, 2001. f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Oceanografia). Depto. de Oceanogr. C.T.G., UFPE.

ANDRADE, E. de; FREIRE, G. S. S.; OLIVEIRA, M.A. de. Estudos geoquímicos dos platôs marginais dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte (Brasil). **Arq. Ciênc. Mar**, Fortaleza, v. 19, n. 1 e 2, p. 93-101, dez. 1979.

ARAGÃO, J. O. R.; ROUCOU, P.; HERZALLAH, A.; FONTAINE, B.; JANICOT, S. **Variabilité atmosphérique sur l'ê Nordeste Brésilien dans l'ê modele de circulation générale du LMD (1970-1988).** Publications de L'association Internationale de Climatologie, 7, Panaglotis Maheras (Ed.), Grécia, p. 432-438, 1994

ATKINSON, L. P.; PIETRAFESA, L.J.; HOFFMAN, E.E. An evaluation of nutrients **J. Mar. Res.**, Onslow Bay, North Carolina, v. 40, p. 347-699, 1982.

BANSE, K. Zooplankton: pivotal role in the control of ocean production. **ICES J. Mar. Sc.**, [S.l.], v. 52, p. 265-277, 1995.

BARBER, R. T.; SMITH, R.L. Coastal upwelling ecosystems. In: LONGHURST, A. R.(Ed.).**Analysis of marine ecosystems**. London: Academic Press, 1981. p. 31-68.

BARBOSA, C. M. B. de M. Sedimentos carbonáticos da plataforma continental do Estado da Paraíba. **Trab. Ocean. da Univ. Fed. de Pernambuco**, Recife, v. 20, p.125-144, 1987-1989.

BASHKIROV, G. S. Turbulence and certain marine hydrological phenomena. **Scientific Papers of OIIMF Gidroteknika**, 20, 1959.

BECKER, H. **Caracterização física e química dos bancos e ilhas oceânicas do nordeste brasileiro – Uma Contribuição ao Programa Revizee**. São Carlos, 2001. f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Centro de Cien. Biol. e da Saúde da Univ. São Carlos.

BIANCHI, M.; FOSSET, C.; CONAN, P. Nitrification rates in the NW Mediterrean Sea. **Aqua. Microb. Ecol.**, Oldendorf Luhe. v. 17, n. 3, p. 267-278, jun. 1999.

BISHOP, S. S.; YODER, J. A.; PAFFENHOFER, G. A. Phytoplankton and nutrient variability along a cross-shelf transect off Savannah, Gerogia, U.S.A. **Est. Coast. Mar. Sc.**, London, v.2, p. 359-368, 1980.

BOEBEL O.,SCHMID, C.; ZENK, W. Kinematic elements of Antartic Intermediate Water in the western South Atlantic. **Deep-Sea Research II**, Oxford, v.46, p. 355-392, 1999.

BONIFACIO, C. M. **Variação dos parâmetros físicos e químicos na plataforma continental de Itamaracá - PE**. Recife, 1990, 76 f. Monografia (Eng. de Pesca). Recife, Univ. Fed. Rural de Pernambuco., Depto de Eng. de Pesca.

BOYER, T. CONKRIGHT, M. E.; LEVITUS, S. Seasonal variability of dissolved oxygen, percent oxygen saturation, and apparent oxygen utilization in the Atlancic and Pacific Oceans. **Deep-Sea Research I**, Oxford, v. 46, p 1593-1613, 1999.

BRAINERD K. E. ; GREGG, M. C. Surface mixed and mixing layer dephts. **Deep-Sea Res. I**, Oxford, v. 42, n. 9, p. 1521-1543, 1995.

BRANDINI, F. P. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/March 1984). **Hydrobiologia**, [S.l.], v. 196, p. 11-148, 1990.

BRASIL. Conselho Nacional de Estatística. Norma de Apresentação tabular. **Rev. Bras. Estatis.**, Rio de Janeiro, v. 24, p. 42-48, 1963.

BURFORD M. A.; ROTH LISBERG, P. C. Factors limiting phytoplankton production in a tropical continental shelf ecosystem. **Est. Coas. Shelf Sci.**, [S.l.], v. 48, p. 541-549, 1999

CALAND-NORONHA, M. de C.; MORAIS, J. O. de. Aspectos da poluição marinha em frente ao município de Fortaleza. **Arq. Ciênc. Mar**, Fortaleza, v. 12, n. 2, p. 109-115, dez. 1972.

CARPENTER, J. H. The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, v. 10, p. 135-140, 1965.

_____. New measurements of oxygen solubility in pure and natural waters. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, v. 11, p. 264-277, 1966.

CARR, M.E.; LEWIS, M.R.; KELLEY, D. A physical estimate of new production in the equatorial Pacific along 150°W. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, v. 40, n. 1, p. 138-147, 1995.

CARTON, J. A. Tropical Atlantic Circulation. In: MAJUMBAR, S. K. (Ed.). **Physical-Chemical Dynamics and Human Impact**. Easton: [s. n.], 1997. p. 74-87.

CARVALHO, I. **Alça microbiana planctônica de águas oceânicas do nordeste do Brasil**. Recife, 2000, 99 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal). Departamento de Zoologia, UFPE.

CAVALCANTI, L. B.; COELHO, P. A.; KEMPF, M.; MABESOONE, J. M.; SILVA, O. C. da. Shelf of Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). **Trab. do Inst. Oceanog. da Universidade Federal de PE**, Recife, v. 7-8, p. 137-150, 1967.

_____. KEMPF, M. Estudo da Plataforma Continental na área do Recife (Brasil). **Trab. Oceanogr. da Universidade Federal de PE**, Recife, v. 9-11, p. 149-158, 1970.

CHAPRA, S. C.; RECKHOW, K. H. **Engineering approaches for lake management**. [S.l.]: Butterworth Publishers, 1983. v. 2: Mechanistic modeling.

CHESTER, R. **Marine geochemistry**. London: Chapman & Hall, 1993. 668 p.

COLE, G. A. **Textbook of limnology**. [S. L.]: The C.V. Mosby Company, 1975. 283p.

COLMAN, J. S. **El mar: introducción al estudio de la oceanografía**. Barcelona: Ediciones Omega, 1953. 268 p.

CONKRIGTH, M. E.; GREGG, W. W.; LEVITUS, S. Seasonal cycle of phosphate in the open ocean. **Deep-Sea Research I**, Oxford, v. 47, p. 159-175, 2000.

CONLEY, D. J.; MALONE, T. C. Annual cycle of dissolved silicate in Chesapeake Bay: implications for the production and fate of phytoplankton biomass. **Mar. Ecol. – Prog. Ser.**, [S.l.], v. 81, p. 121-128, 1992.

COSTA, K. M. P. da **Hidrologia e Biomassa Primária da Região Nordeste do Brasil entre as Latitudes de 8° 00' 00" e 2° 44' 30" S e as Longitudes de 35° 56' 30" e 31° 48' 00" W.** Recife, 1991. 217 f. Dissertação (Mestrado Oceanografia Biológica). Depto. Ocean. Univ. Fed. Pernamb.

_____. **Distribución de los nutrientes en el Mediterráneo Occidental (Golfo de León e Mar Catalán)-influencia de los factores físicos.** Barcelona, 1996. Tese (Doutorado em Ciências). Centre d'Estudis Avancats de Blanes de la Universidad Politécnica de Catalunya. 207 f.

_____; MACÊDO, S. J. de. Condições ecológicas da área do Porto do Recife. In: CONGRESSO NORDESTINO DE ECOLOGIA, 1991, Recife. **Anais...** Recife, 1991.

_____; QUEIROZ, C. M. de; MACEDO S. J. de. Hidrologia e plâncton da plataforma continental de Pernambuco. ENCONTRO BRASILEIRO DE GERENCIAMENTO COSTEIRO, 3., 1985, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 1989. p.337-362.

CRANK, Y. **The mathematics of diffusion.** Oxford: University Press, 1956. 347p.

CULLEN, J. J., The deep chlorophyll maximum: comparing vertical profiles of chlorophyll *a*. **Can. J. Fis. Aq. Sci.**, [S.l.], v. 39, p. 791-803, 1982.

DeMASTER, D. J.; KNAPP, G. B.; NITTROVER, C.A. Biological uptake and accumulation of silica on the Amazon continental shelf. **Geochim. Cosmochim. Acta** [S.l.], v. 47, p. 1713-1723, 1983.

DEURMAN, K. L.; GARGETT, A. E. Time and space scales of vertical mixing and advection of phytoplankton in the upper ocean. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, v. 28, n. 5, p. 801-815, 1983.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - D.H.N. **XXXV Comissão Oceanográfica - Operação Norte Nordeste I.** Noc "Almirante Saldanha" (14/09 a 16/12/1967) Rio de Janeiro, Marinha do Brasil. 1968, 600 p.

_____. **XXXVI Comissão Oceanográfica. Operação Norte/Nordeste II.** Noc "Almirante Saldanha" (02/04 a 01/06/1968). Rio de Janeiro, Marinha do Brasil, 1969, 236 p.

_____. **CXXV Comissão Oceanográfica. Operação Nordeste III.** Noc "Almirante Saldanha" (22/04 a 12/07/86). Rio de Janeiro, Marinha do Brasil, 1986,

DORTCH, Q.; CONWAY, H.L. Interactions between nitrate and ammonium uptake: variation with growth rate, nitrogen source and species. **Mar. Biol.** [S.l.], v. 79, p. 151-164, 1984.

_____. The interaction between ammonium and nitrate uptake in phytoplankton. **Mar. Ecol. – Prog. Ser.** [S.l.], v. 61, p. 183-201, 1990.

DUGDALE, R. C. Nutrient limitation in the sea: dynamics, identification and significance. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, p.685-695, 1976.

DUGDALE, R. C; GOERING, J. J. Uptake of new regenerated forms of the nitrogen in primary productivity. **Limnol. Ocean.**, Lawrence, v. 12, p. 196-206, 1967

DUXBURY, A. B.; DUXBURY, A. C. **Fundamentals of oceanography**. 2. ed. Dubuque, Wm.: C. Brown Publishers,1996. 308p.

EDIGER, D.; YILMAS, A. Characteristics of deep chlorophyll maximum in the Northeastern Mediterranean with respect to environmental conditions. **Jour. Mar. Syst.**, [S.l.], v. 9, p. 291-303, 1996.

EDMOND, J. M.; BOYLE, E. A.; STALLARD, R. F. Chemical mass balance in the Amazon plume. **Deep-Sea Res.**, Oxford, v. 28, p. 1339-1374, 1981.

EPPLEY, R. W. Relations between nutrient assimilation and growth in phytoplankton with a brief review of estimates of growth rates in the ocean.. In: T. Platt (ed.) **Physiological bases of phytoplankton ecology**, Can. Bull. Fish. Aquat. Sci., Ottawa. p. 251-263, 1981

_____. ; PETERSON, B.J. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. **Nature**. [S.l.], v. 282, p. 677-680, p. 1979.

_____. ; RENGER, E. H. Nanomolar increase in surface layer nitrate concentration following a small wind event. **Deep-Sea Res.**, Oxford, v.35, p. 1119-1125, 1988.

_____. ; RENGER, E. H.; HARRISON, W. G. Nitrate and phytoplankton production in southern California coastal waters. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, v. 24, p. 4079-4096, 1979.

_____. ; RENGER, E. H.; VENRICK, E. L. A study of Plankton dynamics and nutrient cycling in the central gyre of the north Pacific Ocean. **Limnol Oceanogr.**, Lawrence, v. 18, n. 4, p. 534-551, 1973.

EVANS, D. L.; SIGNORINI, S. R. Vertical structure of the Brazil Current. **Nature**, [S.l.], v. 315, p. 48-50, 1985.

FALKOWSKI, P. G.; STONE, D. P. Nitrate uptake in marine phytoplankton: energy sources and the interaction with carbon fixation. **Mar. Biol.**, [S.l.], v. 32, p. 77-84, 1985.

FALKOWSKI, P. G.; ZIEDMANN, D.; KOLBER, Z. Role of eddy pumping in enhancing primary production in the ocean. **Nature**, [S.l.], v. 352, p.55-58, 1991.

FLORES MONTES, M. de J.; MACÊDO, S. J. ; KOENING, L. N:Si:P ratio in the Santa Cruz Channel, Itamaracá-PE: a nyctemeral variation. **Brazilian Archives of Biology and Technology- An International Journal.**, Curitiba, v. 45, n. 2, p: 115-124, jun. 2002.

FOGG, G. E. Some comments on picoplankton and its importance in the pelagic ecosystem. **Aquat. Microb. Ecol.**, [S.l.], v. 9, p. 32-39, 1995.

FONTELES-FILHO, A. A.; KURISAKA, S. Some oceanographic conditions related to the Caribbean red snapper fishery off the northeast Brazil. **Arq. Ciênc. Mar**, Fortaleza, v. 10, n. 2, p. 177-180, dez. 1970.

FREIRE, J.S.S.; OLIVEIRA, M.A. de; ANDRADE, E. Distribuição da temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e massas d'água na região entre 01o - 04o N e 40o -42o W. **Arq. Ciênc. Mar**, Fortaleza, v. 23, p. 1-9, jul. 1984.

FRENETE, J.J.; VINCENT, W.F.; LEGENDRE, L. Sixe-dependent C:N uptake by phytoplankton as a function of irradiance: Ecological implications. **Limnol. Oceanogr.** Lawrence, v. 43, n. 6, p. 1362-1368, sept. 1998.

FURHMAN, J.A.; SLEETER, T.D.; CARLSON, C.A.; PROCTOR, L.M. Dominance of bacterial biomass in the Sargasso Sea and its ecological implications. **Mar. Ecol. Prog. Sci.**, [S.l.], v. 57, p. 207-217, 1989.

GAETA, S. A. et al. Photosynthetic parameters of coastal marine phytoplankton from the Ubatuba region, Brazil. **Public. Esp. Inst. Oceanogr.**, São Paulo, v. 11, p. 163-169, 1995.

GALVÃO, I. B. **O nanôplankton e o microplâncton da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil (REVIZE NE-II)**. Recife, 2000, 176f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica). CTG, Depto. Ocean. da UFPE.

GARSIDE, C. ; GARSIDE, J. C. Euphotic-zone nutrient algorithms for the NABE and EqPac study sites. **Deep-Sea Res. II**, Oxford, v. 42, n. 2-3, p. 335-347, 1995.

GASPAR, P.; GRÉGORIS, Y.; LAFEVRE, J. M. A simple eddy kinetics energy-model for simulations of the oceanic vertical mixing: test of station PAPA and long-term upper ocean study site. **J. Geophy. Res.**, [S.l.], v. 95, n. 69, p. 16179-16193, 1990.

GEIDER, R. J., GREENE, R. M.; KOLBER, Z. Fluorescence assesment of the maximun quantum efficiency of photosynthesys in the western North Atlantic. **Deep-Sea Res. I**, Oxford, v. 40, p. 1205-1224, 1993.

GLIVER, P. M. Regional studies of daily seasonal and size fraction variability in ammonium remineralization. **Mar. Biol.**, [S.l.], v. 70, p. 209-222, 1982.

GLIVER, P.M.; McCARTHY, J.J. Uptake and assimilation of ammonium and nitrate by phytoplankton: indices and nutritional status. **J. Plank. Res.**, [S.l.], v. 6, p. 677-697, 1984.

GLOVER, H. E.; PREZELIN, B. B.; CAMPBELL, L. A nitrate-dependent *Synechococcus* bloom in surface Sargasso Sea water. **Nature**, [S.l.], v. 331, p. 161-163, 1988.

GOLDMAN, J. C. Spatial and temporal discontinuities of biological processes in pelagical surface waters. In: ROTHCHILD, B.J. (Ed.). **Toward a theory of biological-physical interactions in the world ocean**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. p. 273-296.

_____. Potential role of large oceanic diatoms in new primary production. **Deep-Sea Res. I**, Oxford, v. 40, n. 1, p. 159-168, 1993.

_____. ; McCARTHY, J. J.; PEAVY, D. G. Growth rate influence on the chemical composition of phytoplankton in oceanic waters. **Nature**, [S.l.], n. 279, p.210-215, 1979

GORINI, M. A.; CARVALHO, J. C. Geologia da margem continental inferior brasileiro. In: SCHOBENHAUS, C. (Ed.). **Geologia do Brasil**. Brasília:Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, 1984, p. 473-489.

GOULD, R. W. The deep chlorophyll maximum in the world ocean: a review. **The Biologist**, [S.l.], v. 66, p. 4-13, 1987.

GRAHAM, J. J. Secchi disc observations and extinction coefficients in the central and eastern North Pacific Ocean. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, v. 11, n. 2, p. 184-190, apr. 1966.

GRANELI, E. et al. Is the same nutrient limiting potential phytoplankton biomass formation in different coastal areas of the Southern Baltic. **Kieler Meeresforsch.**, Kiel, n. 6 p. 191-202, 1988.

GRASSHOFF, K. EHRHARDT, M., KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. 2nd. rev. extended ed. New York: Verlag Chemie, 1983. 317 p.

HARRISON, W. G. Experimental measurements of nitrogen remineralization in coastal waters. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, v. 23, p. 644-694, 1978

_____. Uptake and recycling of soluble reactive phosphorus by marine microplankton. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, Canadá, v. 10, p. 127-135, 1983.

HAYWARD, T. L. The nutrient distribution and primary production in the Central North Pacific. **Deep-Sea Res.**, Oxford, v. 34, n. 9, p. 1593-1627, 1987.

HAYWARD, T. L. The shallow oxygen maximum layer and primary production. **Deep-Sea Res. I**, Oxford, v. 41, n. 3, p. 559-574, 1994.

HENDERSON-SELLERS, B. **Engineering limnology**. [S.l.]: Pitman Publishers, 1984. 356p.

HERBLAND, A.; LÉ BOUTEILLER, A. The size distribution of phytoplankton community in the subsurface chlorophyll maxima in the western North Pacific Ocean. **J. Plank. Res.**, [S.l.], v. 59, p. 393-406, 1981.

_____; VOITURIEZ, B. Hydrological structure analysis for estimating the primary production in the tropical Atlantic Ocean. **J. Mar. Res.**, [S.l.], v. 37, p. 87-101, 1979.

HUANG, N. E. On surface drift currents in the ocean. **Journal Fluid Mechanics**, [S.l.], v. 91, p.191-208, 1979.

ENCICLOPÉDIA dos Municípios brasileiros. Rio de Janeiro: IBGE, 1966. v. 17, p. 135-145.

IBGE. **Normas de apresentação tabular**. (3 Ed.) Fund. Inst. Bras. Geogr. e Est. Rio de Janeiro, 1993, 62 p.

ICHIYE, T. Upper ocean boundary-layer flow determined by dye diffusion. **Physics Fluids Supplements**, [S.l.], v. 10, p. 270-277, 1967.

INFOCLIMA/SECTMA: boletim de informações climáticas. Recife: Secretaria de Ciência e Tecnologia e Meio Ambiente, Diretoria de Recursos Hídricos, 1998. n. 2.

ITTEKOT, V. & LACERDA, L. D. Carbon and metal in Brazilian waters. Cruise Report – JOPS 90/91 (Ed. Ekau, W.; Alfred-Weneger Institute, Bremerhaven, F.R.D.). p. 59-66, 1991

JACKSON, G. A. Phytoplankton growth and zooplankton grazing in oligotrophic waters. **Nature**, [S.l.], v. 284, p. 439-441, 1980.

JIAO, N.Z.; WANG, R. Size structures of microplankton biomass and production in Jiaozhou Bay, China. **J. Plank. Res.**, v.16, p. 1609-1625, 1994.

JOINT, I.R.; POMROY, A.J. Production of picoplankton and small nanoplankton in the Celtic Sea. **Mar. Biol.**, v. 77, p. 19-27, 1983

JØRGENSEN, S. E. **Fundamentals of ecological modelling. Developments in environmental modeling 9**. [S.l.]: Elsevier Sciences Publishers, 1986. 389 p.

JOSEPH, L.; VILLAREAL, T. A.; LIPSCHULTZ. A high sensitivity nitrate reductase assay and its implication to vertically migrating *Rhizosolenia mats*. **Aq. Mic. Ecol.**, Oldendorf Luhe, v. 12, n. 1, p. 95-104, 1997.

KARL, D. M. et al. Seasonal and interannual variability in primary production and particulate flux at Station ALOHA. **Deep-Sea Res. II**, Oxford, v. 43, p. 539-568, 1996.

_____; LUKAS, R. The Hawaii Ocean Times-series (HOT) program background, rationales and implementation. **Deep-Sea Res. II**, Oxford, v. 43, p. 129-156, 1996.

KARLSON, B.; EDLER, L.; GRANÉLI, W. Subsurface chlorophyll maxima in the Skagerrak: processes and plankton community structure. **J. Sea Res.**, Texel, v. 35, n. 1-3, p. 139-158, 1996.

KEELING, R.; SHERTZ, S. Seasonal and interannual variations in atmospheric oxygen and implications for the global carbon cycle. **Nature**, [S.l.], v. 358, p. 723-727, 1992.

KELLER, A. A. Modelling the effect of temperature, light and nutrients on primary productivity: An empirical and a mechanistic approach compared. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, v. 34, n. 1, p. 82-95, 1989.

KEMPF, M. A plataforma continental de Pernambuco (Brasil): nota preliminar sobre a natureza do fundo. **Trab. Oceanogr. Universidade Federal de PE**, Recife, n. 9-11, p. 111-124, 1970.

_____. COUTINHO, P. N.; MORAIS, J. O. Plataforma continental do Norte e Nordeste do Brasil: nota preliminar sobre a natureza do fundo. **Trab. Oceanogr. Universidade Federal de PE**, Recife, n. 9-11, p. 9-26, 1970.

KING, F. D.; DEVOL, A.H. Estimates of vertical eddy diffusion through the thermocline from phytoplankton nitrate uptake rates in the mixed layer of the eastern tropical Pacific. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, v.24, n. 4, p. 645-651, 1979.

KITAIGORODSKII, S. A., On the computation of the thickness of the wind mixing layer in the ocean. **Izv.Geophys. Ser.**, 3:425-431, 1960.

_____.; DONELAN, A. A.; LUMLEY, J. L. Wave-turbulence interaction in upper ocean. Part II. Statistical characteristics of wave and turbulent components of the random velocity field in the marine surface layer. **J. Phys. Ocean.**, [S.l.], v. 13, p. 1988-1989. 1983.

KOROLEFF, In: GRASSHOFF, K. et al., **Methods of seawater analysis**. 2.ed. New York: Verlag Chemie, 1983. 317 p.

KUTHTIN, V. V.; KUZMENKO, N. V.; SHRAMKO, O. V. Green light as a possible pressing factor for oceanic phytoplankton near the base of the euphotic zone. **J. Theor. Bio.**, London. v. 188, n. 3, p. 319-322, 1997.

LANDE, R. L.; WOOD, M. Suspension times of particulates in the upper ocean. **Deep-Sea Research**, Oxford, v. 34, n. 1, p. 61-72, 1987.

LAW, C. S.; MARTIN, A. P.; LIDDICOAT, M. I. A Lagrangian SF₆ tracer study of an anticyclonic eddy in the North Atlantic: patch evolution, vertical mixing and nutrient supply to the mixed layer. **Deep-Sea Res. II**, Oxford, v. 48, p. 705-724, 2001.

LAWS, E. A.; DiTULLIO, G. R.; REDALJE, D. G. High phytoplankton growth and production rates in the North Pacific subtropical gyre. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, v. 32, p. 905-918, 1987.

_____. ; DiTULLIO, G. R.; CARDER, K. L. Primary production in the deep blue sea. **Deep-sea Research.**, Great Britain, v. 37, n. 5, p. 713-730, 1990.

LÊ BOUTELLIER, A.; BLANCHOT, J.; RODIER, M. Size distributions patterns of phytoplankton in the western Pacific: towards a generalization for the tropical open ocean. **Deep-Sea Research**, Oxford, v. 39, p. 805-823, 1992.

LEE, T. N.; ATKINSON, L. P.; LEGECKIS, R. Detailed observations of a Gust Frontal eddy on the Georgian continental shelf, april 1977. **Deep-Sea Res.**, Oxford, v. 28, p. 347-378, 1981.

LI, W. K. W.; SUBBARAO, D. V.; HARRISON, W. G. Autotrophic picoplankton in the tropical ocean. **Science**, [S.l.], v. 219, p. 292-295, 1983.

LOHRENZ, S. E. et al. Seasonal variability in primary production and particle flux in the Northwestern Sargasso Sea: US JGOFS Bermuda time-series study. **Deep-Sea Research**, Oxford, v. 39, p. 1373-1391, 1992.

LOZANO CABO, F. **Oceanografía, biología marina y pesca**. Madrid: Ed. Paraninfo, 1978. 445p.

LUND, B.A. Mutual interference of ammonium, nitrate and urea on uptake of ¹⁵N sources by the marine diatom *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve. **J. expl. Mar. Biol. Ecol.** [S.l.], v. 113, p. 167-180, 1987.

MACEDO S. J. de ; MEDEIROS, C.; LINS, I. C. The influence of Mangrove forest in the northeastern coast of Brazil. WORKSHOP OF JOINT OCEANOGRAPHIC PROJECTS, 2., 1985, Bremen. **Anais...** Bremen, 1995.

_____. ; FLORES MONTES, M. J.; LINS, I. C. S. Aspectos hidrológicos das regiões costeira e oceânica do Nordeste Brasileiro. II Workshop Projeto REVIZEE. Recife. **Resumos...** Recife, p. 5, 1996.

_____. FLORES MONTES, M. J.; COSTA, K. M. P. da. Projeto REVIZEE - Condições hidrológicas e químicas da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste Brasileiro, entre as latitudes 13°05'S e 0°30'N. II Workshop REVIZZE Nordeste, 1998. **Resumos...** Genipabú-RN, março 1998.

MACEDO S. J. de; FLORES MONTES, M. J.; MUNIZ, K. Distribuição dos nutrientes dissolvidos na região oceânica do nordeste brasileiro. VIII COLACMAR, 1999. **Libro de resúmenes ampliados...** Trujillo, Perú, outubro/1999. p. 666-667

MAGLIOCCA, A. Some chemical aspects of the marine environment off the Amazon and Pará Rivers, Brazil. **Bol. Inst. Oceanogr. Univ. São Paulo**, São Paulo, v. 20, n. 1, p.61-84, 1971.

_____. O mínimo de oxigênio na costa leste do Brasil entre 7° e 22° S. **Bol. Inst. Oceanogr. Univ. São Paulo**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 79-94, 1978.

MALONE, T. C.; PIKE, S. E.; CONLEY, D. J. Transient variations in phytoplankton productivity at the JGOFS Bermuda time series station. **Deep-Sea Research I**, Oxford, v. 40, p. 903-924, 1993.

MARAÑÓN, E.; HOLLIGAN, P. M. Photosynthetic parameters of phytoplankton from 50 degrees N to 50 degrees S in the Atlantic Ocean. **Mar. Ecol.-Prog. Ser.**, Oldendorf Luhe, v. 176, p. 191-203, 1999.

_____. HOLLIGAN, P. M.; VARELA, M. Basin-scale variability of phytoplankton biomass, production and growth in the Atlantic Ocean. **Deep-Sea Res. I**, Oxford, v. 47, p. 825-857, 2000.

MARRA, J.; BIDIGARE, R.R.; DICKEY, T.D. Nutrients and mixing, chlorophyll and phytoplankton growth. **Deep-Sea Res.**, Oxford, v. 37, p. 127-143, 1990.

MARTIN, A. P. ; RICHARDS, K. J. Mechanisms for vertical nutrient transport within a North Atlantic mesoscale eddy. **Deep-Sea Res. II**, Oxford, v. 48, p. 757-773, 2001.

MASCARENHAS JR., A. da S. Os modelos unidimensionais da Camada de Mistura no Oceano. SEMINÁRIO DE MODELAGEM NUMÉRICA DO MAR, 1., 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: INPE, 1984.

MASSART, D. L. *et. al.* **Handbook of Chemometrics and Qualimetrics**. Part A, Elsevier, Amsterdam, Capítulo 17, 1998.

MATOS, C. M. A. **Estudo crítico da determinação de amônia em água do mar**. Salvador, 1984, 86 f. Dissertação (Mestrado em Química). Depto de Quím. da Univ. Fed. da Bahia.

McCARTHY, J.J.; GOLDMAN, J.C. Nitrogenous nutrition of marine phytoplankton in nutrient-depleted waters. **Science**, v. 203, p. 670-672, 1979

MEDEIROS, C. et al. Hydrography and phytoplankton biomass and abundance of North-East Brazilian waters. **Arc. Fish. Mar. Res.**, [S.l.], v. 47, n. 2-3, p. 133-151, 1999

MELO FILHO, J. A. A. Caracterização da situação atual da área Programa-Suape, sob o ponto de vista da poluição ambiental. CONDEPE. (Comunicação Técnica, 1). Recife, 15 p., 1977.

METZLER, P. M. **Contribuição para o conhecimento dos processos de tomada e regeneração de compostos nitrogenados pela plâncton na região oeste do Atlântico Sul.** São Paulo, 1996, 137 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica). Inst. Ocean. Univ. São Paulo.

_____. ; GLIBERT, P. M.; GAETA. S. A. New and regenerated production in the South Atlantic off Brazil. **Deep-Sea Res. I**, Oxford, v. 44, n. 3, p. 363-384, 1997.

MILLERO, F. J. Effect of changes in the composition of seawater on the density-salinity relationship. **Deep-Sea Research I**, Oxford, v. 47, p. 1583-1590, 2000

MIRANDA, L. B. de. **Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) a Ilha de São Sebastião (SP).** São Paulo, 1982. 123 p. (Tese Livre Docente do Departamento de Oceanografia Física). IOUSP, 1982.

MOURA, R. T. de. **Biomassa, produção primária do fitoplâncton e alguns fatores ambientais na baía de Tamandaré, Rio Formoso, Pernambuco, Brasil.** Recife, 1992. 290 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica). Depto. de Oceanogr. da Univ. Fed. de Pernamb.

MOURA, G. F.; MELO, G.; SASSI, R.; CARVALHO, F. A.; FEITOSA, F.A.; MOREIRA, F.A. **Biomassa primária fitoplanctônica.** In: REVIZEE/SCORE NORDESTE, 1998. Relatório Final da Campanha REVIZEE NE I. Recife, 11 p.

_____. MELO, G.; SAMPAIO, J. A.; SARMENTO, M. S. R.; SILVA, E. G. Biomassa primária fitoplanctônica da campanha REVIZEE NE-II. In: REVIZEE/SCORE NORDESTE, 1999. **Relatório Final da Campanha REVIZEE NE II.** Recife, 20 p.

_____. SAMPAIO, J. A.; MELO, G.; SARMENTO, M. S. R.; MELO, M. R. P. Relatório de biomassa primária fitoplanctônica (REVIZEE-NE III). In: REVIZEE/SCORE NORDESTE, 2000. **Relatório Final da Campanha REVIZEE NE III.** Recife, 22 p.

NEUMANN-LEITÃO, S. et. al. Mesozooplankton biomass and diversity in coastal and oceanic waters of the North-Eastern Brazil. **Arc. Fish. Mar. Res.**, [S.l.], v. 47, n. 2-3, p. 153-155, 1999.

NIENCHESKI, L. F.; BAUMGARTEN, M. G. Z. **Levantamento bibliográfico e identificação do estado atual do conhecimento.** Rio de Janeiro: FEMAR, 1999, 172 p.

NIENCHESKI, L. F. **Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil - Oceanografia Química – Programa REVIZEE.** Rio de Janeiro: FEMAR/SECIRM, 1996, 192 p.

NIMER, E. Climatologia da Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 2, p. 3-51, 1972.

OGURA, N. The relation between dissolved organic carbon and apparent oxygen utilization in the western North Pacific. **Deep-Sea Research**, Oxford, v. 17, 117-151, 1970.

OKUDA, T. Chemical oceanography in the South Atlantic Ocean adjacent to North-Eastern, Brazil. **Trab. Inst. Biol. Mar. Oceanogr.**, Recife, v. 2, n. 1, p. 155-174, 1960.

_____ ; CAVALCANTI, L. B. Algumas condições oceanográficas na área Nordeste de Natal. **Trab. Inst. Oceanográfico.**, Recife, v. 3-4, n. 1, p. 3-25, 1963.

OLAIZOLA, M. et al. Synotic study of variations in the fluorescence-based maximum quantum efficiency of photosynthesis across the North Atlantic Ocean. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, v. 41, p. 755-765, 1996.

OLIVEIRA, M. A. de. Distribuição da matéria orgânica na plataforma continental do Estado do Ceará. **Arq. Ciênc. Mar.**, Fortaleza, v. 16, n. 2, p. 105-110, dez. 1976.

OSBORN, T. R. Estimates of the local rate dissipation measurements. **J. Phys. Oceanogr.**, [S.l.], v. 10, p. 83-89, 1980.

OSCHLIES, A.; GARCON, V. An eddy-permitting coupled physical-biological model of the North Atlantic – 1. Sensitivity to advection numerics and mixed layer physics. **Glob. Biogeochem. Cyc.**, Washington, v. 13, n. 1, p. 135-160, 1999.

OTTMANN, F. A propos des crues du Capibaribe. **Trab. Inst. Biol. Marit. Oceanogr.**, Univ. Recife, v. 2, p. 259-266, 1960^a.

_____. Une hypothèse sur l'origine des "arrecifes" du Nordeste brésilien. **C. R. somm. Soc. géol. France.** p. 175-176, 1960^b.

_____. "L'Atol das Rocas" dans l'Atlantique Sud tropical. **Revue Géogr. phys. Géol. dynam.**, v. 5, p. 101-107, 1963.

_____ ; COUTINHO, P.N. Estudo dos sedimentos de Cabedelo, recolhidos pela D.H.N. **Inst. Oceanogr., Univ. Recife**, internal report, 3 p., 1962.

_____. Etudes sédimentologiques dans le port de Recife (Brésil). **Cahiers océanogr.**, v. 15, p. 161-169, 1963.

_____ ; OTTMANN, J.M. les sédiments de l'embouchure du Capibaribe. **Trab. Inst. Biol. Marit. Oceanogr.**, Univ. Recife, v. 1, p. 51-69, 1959a.

OTTMANN, F. La marée de salinité dans le Capibaribe. **Trab. Inst. Biol. Marit. Oceanogr.**, Univ. Recife, v. 1, p. 39-49, 1959b.

_____. Estudo da Barra das Jangadas; IV – Estudo dos sedimentos. **Trab. Inst. Biol. Marit. Oceanogr.**, Univ. Recife, v. 2, p. 219-234, 1960.

_____. Estudo da Barra das Jangadas; V – Efeitos da poluição sobre a ecologia do estuário. **Trab. Inst. Biol. Marit. Oceanogr.**, Univ. Recife, v. 7/8, p. 7-16, (1965-1966) 1967.

PALMA, J. J. C. Fisiografia da área oceânica. In: SCHOBENHAUS, C. (Ed.). **Geologia do Brasil**. Brasília:Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, 1984, p. 429-441.

PAIVA, M. P. Impacto da mineração marinha sobre o meio ambiente e outros usos do mar: situação no Brasil. **Bol. Ciênc. Mar**, Fortaleza, n. 48, p.1-19, 1992.

PARKER, R. A. Eddy diffusion as a possible determinant of vertical nitrate and chlorophyll distributions in the Mediterranean Sea. **Jour. Plank. Res.**, [S.l.], v. 4, n. 4, p. 967-971, 1982.

PASSAVANTE, J. Z. O.; GOMES, N. A.; ESKINAZI-LEÇA, E.; FEITOSA, F. A. do N. Variação da clorofila “a” do fitoplâncton na Plataforma Continental de Pernambuco. **Trab. Oceanogr. Univ.Fed. de PE**, Recife, v. 20, p. 145-154, 1987-1989.

_____; FEITOSA, F. A. N. Hidrologia e plâncton da plataforma continental de Pernambuco. 2. Produtividade primária. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE GERENCIAMENTO COSTEIRO, 3., 1985, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 1989. p. 363-369.

PELEGRINI, J. L.; CSANADY, G.T. Nutrient transport and mixing in the Gulf Stream. **J. Geophys. Res.**, [S.l.], v. 96, n. 2, p. 2577-2583, 1991.

PLATT, T.; HARRINSON, W. G. Biogenic fluxes of carbon and oxygen in the ocean. **Nature**, [S.l.] v. 318, p. 55-58, 1985.

POLLARD, R.T.; REGER, L. Large variation in potential vorticity at small spatial scales in the upper ocean. **Nature**. [S.l.] v. 348, p. 227-229, 1990.

POSTMA, H. Distribution of nutrients in the sea and the oceanic nutrients cycle. In: COSTLOW, J.D. (Ed.). **Fertility of the Sea**. New York: Gordon & Breach Science Publication, 1971. v. 2, p. 337-350.

PRESS, W. H.; VETTERLING, W. T.; TEUKOLSKY, S. A. **Numerical recipes in Fortran 90: the art of parallel scientific computing**. Cambridge: University Press, 1996. 1486p.

PROBYN, T.A. Nitrogen uptake by size-fractionated phytoplankton populations in the southern Benguela upwelling system. **Mar. Ecol. – Prog. Ser.** Oldenford Luhe, v. 22, p. 249-258, 1985

PROGRAMA REVIZEE. Coordenação Geral do Programa REVIZEE. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Brasília, 1996. 32 p.

REDFIELD, A. C. The biological control of chemical factors in the environment. **Am. J. Sci.**, [S.l.], v 46, p. 205-221, 1958.

RESSUREIÇÃO, M. G. **Variação anual da biomassa fitoplanctônica na plataforma continental de Pernambuco** : perfil em frente ao Porto da Cidade do Recife. (08° 03' 38" Lat. S. 34° 42' 28" a 34° 52' 00" Long. W). Recife, 1990. 306 f. Dissertação (Mestrado Oceanografia Biológica). Depto. Oceanogr. Univ. Fed. Pe.

REVELANTE, N.; GILMARTIN, M. The relative increase of larger phytoplankton in a subsurface chlorophyll maximum of the northern Adriatic Sea. **J. Plank. Res.**, Oxford, v. 17, n. 17, p. 1535-1562, 1992.

RIBEIRO, C.; ARAÚJO, M. Mathematical modelling as a management toll for water quality control of the tropical Beberibe estuary, NE Brazil. **Hydrobiologia**, [S.l.], v. 475, p. 229-237, 2002.

RYTHER, J. H.; DUSTAN, W. M. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the marine environment. **Science.**, [S.l.], v. 41, p. 213-217, 1971.

RILEY, J. P.; CHESTER, R. **Introduction to marine chemistry**. London: Academic Press, 1971, 465 p.

SELMER, J.S.; FERRIER-PAGES, C.; CELLARIO, C.; RASSOULZADEGAN, F. New and regenerate production in the relation to the microbial loop in the NW Mediterrean Sea. **Mar. Ecol. –Prog. Ser.**, Oldenford Luhe, v. 100, p. 71-83, 1993

SASSI, R.; MOURA, G. F. Nutrient limiting phytoplankton growth from coastal reefs off northeast Brazil. ENCONTRO BRASILEIRO DE PLÂNCTON, 3., 1989, Curitiba. **Memórias...** Curitiba, 1989. p. 57-62.

SCHINDLER, D. W. The coupling of elemental cycles by organisms : evidences from whole-lake chemical perturbations. In : STUMM, W. (Ed.). **Chemical processes in lakes**. John Wiley & Sons, 1985. p. 225-250.

SHARPLES, J.; MOORE, C. M ; ABRAHAM, E. R. Internal tide dissipation, mixing, and vertical nitrate flux at the shelf edge of NE New Zealand. **J. Geophy. Res.**, [S.l.], v. 106, n. 7, p. 14.069-14.081, jul. 2001.

SIGNORINI, S. R. On the circulation and the volume transport of the Brazil Current between the Cape of São Tomé and Guanabara Bay. **Deep-Sea Res.**, Oxford, v. 25, p. 481-490, 1978.

SILVA, M. A.; ARAÚJO, M. Intensidade turbulenta ao longo da coluna d'água na zona eufótica da região dos bancos oceânicos do Nordeste do Brasil. III Workshop REVIZEE-NE. **Resumos...**, 2001.

SILVA, P. C. M. da. Estudo das condições oceanográficas na região profunda a nornordeste de Natal, Estado do Rio Grande do Norte. **Anais Hidrográficos**. Rio de Janeiro. v. 18, p. 291-306, 1960.

SMITH, S. L. Low -frequency fluxes of momentum, heat salt and nutrients at the edge of the Scotian shelf. **J. Geophy. Res.**, [S.l.], v. 83, p. 4079-4096, 1978.

SMITH, S. V. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment. **Limnol Oceanogr.**, Baltimore, v. 29, n. 6, p. 1149-1160, 1984.

SOARES JR., 1989

SOCAL, G.; BOLDRIN, A.; BIANCHI, F. Nutrient particulate matter and phytoplankton variability in the photic layer of the Otranto strait. **J. Mar. Syst.**, Amsterdam, v. 20, n. 1-4, p. 381-398, 1999.

STEELE, J. H. **The structure of marine ecosystems**. Cambridge: Yale University Press, 1974. 128 p.

STEWART, R. W. Mechanics of the air-sea interface. **Physics Fluids Supplements**. [S.l.], v. 10, p. 47-55, 1967.

STRAMMA, L. Geostrophic transport of the South Equatorial Current in the Atlantic. **Jour. Mar. Res.**, [S.l.], v. 49, p. 281-294, 1991.

_____. SCHOTT, F. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. **Deep-Sea Res. II**, Oxford, n. 46, p. 279-303, 1999.

STRICKLAND, J. D. H., PARSONS, T .R. A manual of sea water analysis. **Bull. Fish. Res. Bd. Can.**, v. 125, p. 1-205. 1960.

_____. **A pratical Handbook of Seawater Analysis**. 2nd. ed. Ottawa: [s.n.], 1972.

SVERDRUP, H. V.; JOHNSON, M. W.; FLEMING, R. H. **The Oceans: their physics, chemistry and general biology**. New York: Prentice – Hall, 1959. 1087 p.

TAKAHASHI, M.; HORI, T. Abundance of picophytoplankton in the subsurface chlorophyll maximum layer in subtropical and tropical waters. **Mar. Biol.**, [S.l.], v. 79, p. 177-186, 1984.

TANAGUCHI. Geographical variation of primary production in the western Pacific Ocean and adjacent seas with reference to the interrelations between various parameters of primary production. *Memoirs of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, v. 19, n. ½, p. 1-34, 1972

TAYLOR, A. H. Characteristic properties of models for the vertical distribution of phytoplankton under stratification. **Ecol. Model**, [S.l.], v. 40, p. 175-199, 1988

TCHERNIA, P. **Descriptive regional oceanography**. London: Pergamon Press, 1980. 253 p.

TEIXEIRA, C. Preliminary studies of primary production in the Ubatuba region (Lat. 23°30'S – Long 45°06'W), Brazil. **Bol. Inst. Oceanogr.**, S. Paulo, v. 22, p. 49-58, 1973

_____; GAETA, S. A. Contribution of picoplankton to primary production in estuarine, coastal and equatorial waters off Brazil. **Hydrobiologia**, [S.l.], v. 209, p. 117-122, 1991.

_____; TUNDISI, J.G. The effects of nitrogen and phosphorus enrichments on phytoplankton in the region of Ubatuba (Lat. 23°30'S – Long 45°06'W), Brazil. **Bol. Inst. Oceanogr.**, S. Paulo, v. 30, p. 77-86, 1981.

_____; VIEIRA, A.H.A. Nutrient experiment using *Phaedactylum tricornutum* as an assay organism. **Bol. Inst. Oceanogr.**, S. Paulo, v. 25, p. 29-42, 1976.

THOMSEN, H. *Massas de agua características del Oceano Atlántico (parte sudoeste)*. **Serviero de Hidrografia Naval**. Buenos Aires: Secretaría de Marina, 1962 (Público, H. 632).

TRAVASSOS, P. et al. Thermohaline structure around seamounts and island of North-Eastern Brazil. **Arc. Fish. Mar. Res.**, [S.l.], v. 47, n. 2-3, p. 211-222, 1999.

UNESCO. **International Oceanographic Table**. Wormly, n. 2, 1973. 141 p.

VALIELA, I. **Marine Ecological Processes**. London:Springer-Verlag, 1984. 545p.

VIANNA, M. L. A sub-corrente equatorial atlântica, a macro-fauna dos penedos de S. Pedro e S. Paulo e barreira tropical meso-atlântica. **An. Soc. Nordest. Zool.**, [S.l.], v.1, n.1, p. 58, 1983.

VELDCHUIS, M. J. N. et al. Phytoplankton primary production and biomass in the western wadden sea (The Netherlands): a comparison with na ecosystem model. **Netherlands Journal of the Sea Research**, Netherlands, v. 22, n. 1, p. 37-49, 1988.

WARD, B. B.; KILPATRICK, K.A.; RENGER, E.H.; EPPLEY, R.W. Biological nitrogen cycling in the nitracline. **Limnol. Oceanogr.**, Lawrence, v. 34, n. 3. p. 493-513, 1989.

WATERBURY, J. B.; WATSON, S. W.; GUILLARD, R. R. L. Widespread occurrence of a unicellular, marine, planktonic, cyanobacterium. **Nature**, [S.l.], v. 277, p. 293-294, 1979.

WERNIMONT, G. T. Use of statistics to develop and evaluate analytical methods. **Association of Official Analytical Chemist**. U.S.A., 183 p., 1985.

WILLIAMS, P.J.leB.; PARDUE, D.A. In vitro and in situ derived rates of gross production, net community production and respiration of oxygen in the oligotrophic subtropical gyre of the North Pacific Oceans. **Deep-Sea Res.**, Oxford, v. 38, p. 891-910, 1981

YAMAZAKI, H.; KAMIRKOWSKI, D. The vertical trajectories of motile phytoplankton in a wind-mixed water column. **Deep-Sea Res.**, Oxford, v. 38, n. 2, p. 219-241, 1991.

YENTSCH, C. S.; MENZEL, D. W. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. **Deep-Sea Res.**, Oxford, v. 10, p. 221-231, 1963.

YILMAZ, A.; TUGRUL, S. The effect of cold- and warm-core eddies on the distribution and stoichiometry of dissolved nutrients in the northeastern Mediterranean. **J. Mar. Syst.**, Amsterdam, v. 16, n. 3-4, p. 253-268. 1998.

YIN, K. D.; HARRISON, P. J.; DORTCH, Q. Lack of ammonium inhibition of nitrate uptake for a diatom under low light conditions. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, Amsterdam, v. 228, n. 1, p. 151-165, 1998.

ZAGAGLIA, J. L.; ADVÍNCULA, R., SCHOBER, J. Estrutura termohalina na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Nordeste do Brasil durante a Expedição Oceanográfica JOPS-II. In: II Workshop Projeto REVIZEE. Recife. **Resumos...** Recife, p. 64, 1998.

ZUBKOV, M.V. et al. picoplanktonic community structure on an Atlantic transect from 50°N to 50°S. **Deep-Sea Res. I**, Oxford, v. 45, p. 1339-1355, 1998.

A N E X O S

Anexo 1. Estatística descritiva da temperatura e salinidade na camada fótica.

	N					
	válidos	Mediana	Mínimo	Máximo	quartil inferior	quartil superior
T°C_inv	91	26,36	24,77	26,88	26,22	26,47
Sal_inv	91	36,32	35,52	37,24	36,10	37,06
T°C_ver	82	28,09	26,13	28,63	27,88	28,30
Sal_ver	82	36,52	34,57	36,94	36,33	36,68
T°C_out	217	27,68	25,08	29,39	26,72	28,91
Sal_out	217	36,92	35,05	37,42	36,35	37,18
T°C_pri	238	26,45	22,96	27,72	25,98	27,04
Sal_pri	238	36,57	35,70	37,38	36,30	37,12

Anexo 2. Estatística descritiva do oxigênio dissolvido e pH na camada fótica.

	N	válidos	Mediana	Mínimo	Máximo	Quartil inferior	Quartil superior
OD_inv	60	4,75	2,48	5,52	4,15	4,91	
pH_inv	58	8,05	7,87	8,15	8,00	8,13	
%OD_inv	46	103,58	65,37	120,62	95,29	106,40	
OD_ver	160	4,79	4,07	5,68	4,48	4,98	
%OD_ver	160	107,12	91,39	127,73	99,37	111,53	
pH_ver	161	8,68	8,22	8,95	8,37	8,79	
OD_out	248	4,60	4,15	6,21	4,48	4,98	
%OD_out	245	102,98	94,50	135,98	100,73	109,27	
pH_out	256	8,39	8,00	8,85	8,26	8,51	
OD_pri	238	5,02	3,93	5,45	4,88	5,09	
%OD_pri	229	109,37	86,49	128,98	104,27	110,78	
pH_pri	238	8,25	7,95	8,94	8,19	8,29	

Anexo 3. Estatística descritiva dos nutrientes dissolvidos na camada fótica.

	N válidos	mediana	mínimo	máximo	quartil inferior	Quartil superior
		(μmol.L ⁻¹)				
NO ₂ ⁻ _inv	102	0,02	0,00	0,57	0,00	0,03
NO ₃ ⁻ _inv	98	0,46	0,01	2,80	0,27	0,70
PO ₄ ⁻ _inv	103	0,14	0,00	0,95	0,05	0,20
SiO ₂ ⁻ _inv	103	11,49	1,90	69,89	6,60	17,46
NH ₃ ⁻ _ver	153	0,03	0,00	0,09	0,02	0,05
NO ₂ ⁻ _ver	162	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00
NO ₃ ⁻ _ver	161	0,45	0,13	1,39	0,39	0,55
PO ₄ ⁻ _ver	162	0,05	0,00	0,29	0,03	0,08
SiO ₂ ⁻ _ver	162	11,92	1,40	36,60	8,12	15,00
NH ₃ ⁻ _out	257	0,03	0,00	0,37	0,00	0,12
NO ₂ ⁻ _out	257	0,00	0,00	0,25	0,00	0,02
NO ₃ ⁻ _out	243	0,61	0,03	3,17	0,32	0,88
PO ₄ ⁻ _out	248	0,12	0,00	1,07	0,06	0,18
SiO ₂ ⁻ _out	248	6,17	0,22	20,73	3,77	8,86
NH ₃ ⁻ _pri	237	0,00	0,00	0,57	0,00	0,03
NO ₂ ⁻ _pri	237	0,02	0,00	0,30	0,00	0,06
NO ₃ ⁻ _pri	236	0,43	0,00	2,40	0,33	0,57
PO ₄ ⁻ _pri	237	0,04	0,00	0,38	0,00	0,09
SiO ₂ ⁻ _pri	237	5,41	0,36	23,67	2,79	8,39

Anexo 4. Estatística descritiva da temperatura e salinidade na camada afótica.

	N válidos	Mediana	Mínimo	Máximo	quartil inferior	quartil superior
T°C_ver	136	18,61	5,85	28,34	11,56	24,17
Sal_ver	136	35,76	33,28	37,24	34,67	36,70
T°C_out	211	12,27	5,31	28,96	8,73	20,03
Sal_out	211	35,05	34,31	37,41	34,70	36,11
T°C_pri	183	13,81	3,81	27,02	8,37	20,30
Sal_pri	183	35,32	34,10	37,32	34,64	36,45

Anexo 5. Estatística descritiva do oxigênio dissolvido e pH na camada afótica.

	N válidos	mediana	mínimo	máximo	quartil inferior	quartil superior
OD_ver	137	4,38	2,23	5,52	3,83	4,72
%OD_ver	137	82,10	36,18	123,95	64,21	95,51
pH_ver	137	8,38	7,90	8,92	8,25	8,65
OD_out	198	3,69	2,09	5,52	2,97	4,63
%OD_out	195	61,60	32,17	120,94	46,94	87,37
pH_out	205	8,07	7,61	8,71	7,95	8,22
OD_pri	185	4,64	2,42	5,62	4,11	4,92
%OD_pri	172	78,83	35,91	115,89	65,28	92,13
pH_pri	185	8,08	7,06	8,46	7,95	8,17

Anexo 6. Estatística descritiva dos nutrientes dissolvidos na camada afótica.

	N válidos	mediana	mínimo	máximo	quartil inferior	quartil superior
		$\mu\text{mol.L}^{-1}$				
NH ₃ ⁻ _ver	132	0,03	0,00	0,49	0,02	0,05
NO ₂ ⁻ _ver	136	0,02	0,00	0,51	0,01	0,04
NO ₃ ⁻ _ver	136	3,94	0,20	29,95	0,71	17,16
PO ₄ ⁻ _ver	136	0,34	0,00	2,12	0,13	1,03
SiO ₂ ⁻ _ver	136	20,46	4,20	51,77	16,12	25,66
NH ₃ ⁻ _out	210	0,03	0,00	0,42	0,00	0,12
NO ₂ ⁻ _out	209	0,01	0,00	0,27	0,00	0,03
NO ₃ ⁻ _out	210	12,55	0,18	34,62	3,17	18,56
PO ₄ ⁻ _out	211	1,09	0,00	2,40	0,46	1,54
SiO ₂ ⁻ _out	209	12,43	2,65	47,71	8,32	17,78
NH ₃ ⁻ _pri	183	0,00	0,00	0,38	0,00	0,03
NO ₂ ⁻ _pri	183	0,04	0,00	0,32	0,00	0,09
NO ₃ ⁻ _pri	183	6,82	0,28	37,92	1,52	13,92
PO ₄ ⁻ _pri	183	0,63	0,00	2,35	0,21	1,24
SiO ₂ ⁻ _pri	183	12,68	0,33	51,31	9,33	19,41

Anexo 7. Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada com todos os cruzeiros juntos, em todos os níveis de coleta, para os parâmetros abióticos.

Parâmetros	PC1	PC2
T°C	-0,96	-0,03
Salinidade	-0,91	-0,01
%OD	-0,92	0,10
pH	-0,68	-0,28
Amônia-N	0,04	-0,64
Nitrito-N	0,19	0,71
Nitrato-N	0,94	-0,09
Fosfato-P	0,95	-0,10
Silicato-Si	0,67	-0,09
<i>Variância explicada</i> 59,2%% 11,3%%		

Anexo 8. Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada durante o NE-II em todos os níveis de coleta, para os parâmetros abióticos.

Parâmetros	PC1	PC2
T°C	-0,96	0,00
Salinidade	-0,91	0,14
OD	-0,70	-0,56
%OD	-0,91	-0,32
PH	-0,62	0,52
Amônia-N	0,05	-0,74
Nitrito-N	0,62	-0,42
Nitrato-N	0,93	0,02
Fosfato-P	0,95	-0,01
Silicato-Si	0,79	0,05
<i>Variância explicada</i> 62,4% 14,3%		

Anexo 9. Medianas, máximos e mínimos das concentrações de clorofila *a* na camada superficial da ZEE-NE.

Estação do ano e Área	N válidos	mediana	mínimo	máximo	quartil inferior	quartil superior
INV_ocean	32	0,04	0,00	0,10	0,02	0,05
VER_ocean	24	0,23	0,06	0,82	0,18	0,45
OUT_ocean	54	0,78	0,02	3,79	0,60	1,15
PRI_ocean	34	0,84	0,09	2,98	0,71	1,17
INV_plat	18	0,04	0,00	0,09	0,01	0,07
VER_plat	20	0,75	0,08	2,84	0,32	0,99
OUT_plat	16	1,13	0,54	4,46	0,91	2,07
PRI_plat	37	0,83	0,30	2,72	0,51	1,34

Anexo 10. Medianas, máximos e mínimos das concentrações de clorofila *a*, na profundidade equivalente a 50% de penetração da luz.

Estação do ano e Área	N válidos	Mediana	mínimo	máximo	quartil inferior	quartil superior
INV_ocean	13	0,03	0,01	0,06	0,01	0,05
VER_ocean	23	0,21	0,02	0,69	0,16	0,30
OUT_ocean	53	0,85	0,46	1,84	0,64	1,22
PRI_ocean	30	0,87	0,14	3,66	0,63	1,18
INV_plat	12	0,04	0,01	0,11	0,02	0,07
VER_plat	19	0,54	0,07	2,74	0,23	1,06
OUT_plat	16	1,19	0,68	3,87	0,93	1,99
PRI_plat	36	0,86	0,37	3,49	0,53	1,24

Anexo 11. Medianas, máximos e mínimos das concentrações de clorofila *a*, na profundidade equivalente a 1% de penetração da luz.

Estação do ano e Área	N válidos	mediana	mínimo	máximo	quartil inferior	quartil superior
INV_ocean	14	0,07	0,02	0,10	0,06	0,08
VER_ocean	23	0,53	0,12	1,41	0,41	0,90
OUT_ocean	56	1,15	0,10	5,14	0,84	1,52
PRI_ocean	33	1,26	0,49	2,66	0,91	1,50
INV_plat	7	0,05	0,02	0,14	0,03	0,08
VER_plat	16	0,92	0,02	2,61	0,55	1,52
OUT_plat	16	1,33	0,63	3,61	0,82	2,10
PRI_plat	35	1,45	0,74	4,23	1,06	2,42

Anexo 12. Pesos e variância explicada pelas PC1, PC2 e PC3, na análise realizada durante o ZEE-I na camada fótica, para os parâmetros abióticos e clorofila *a*.

Parâmetros	PC1	PC2	PC3
T°C	-0,5776	0,21703	-0,40411
Salinidade	0,698006	-0,30959	0,342336
Nitrito-N	0,206648	-0,60493	-0,66314
Nitrato-N	-0,47365	-0,47005	-0,18615
Fosfato-P	0,261705	0,608794	-0,51955
Silicato-Si	0,704565	-0,27116	-0,29593
Clorofila <i>a</i>	0,607953	0,453235	-0,12999
<i>Variância explicada</i>	<i>28,89%</i>	<i>19,70%</i>	<i>16,13%</i>

Anexo 13. Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada durante o ZEE-II na camada afótica, para os parâmetros abióticos e clorofila *a*.

Parâmetros	PC1	PC2	PC3
OD%	-0,56	-0,58	0,13
PH	0,87	0,21	0,08
Amônia-N	-0,79	-0,17	-0,12
Nitrito-N	-0,27	0,64	-0,46
Nitrato-N	-0,44	0,47	0,47
Fosfato-P	-0,55	0,43	0,49
Silicato-Si	0,12	0,74	0,05
Clorofila <i>a</i>	-0,46	0,25	-0,54
<i>Variância explicada</i>	<i>31,22%</i>	<i>23,06%</i>	<i>12,58%</i>

Anexo 14. Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada durante o ZEE-III na camada afótica, para os parâmetros químicos e clorofila *a*.

Parâmetros	PC1	PC2	PC3
OD%	-0,18	0,52	-0,60
PH	-0,12	-0,60	-0,51
Amônia-N	0,24	-0,56	0,04
Nitrito-N	-0,34	-0,06	0,00
Nitrato-N	0,64	-0,25	-0,41
Fosfato-P	0,74	-0,09	-0,03
Silicato-Si	0,43	0,58	-0,28
Clorofila <i>a</i>	0,53	0,20	0,44
<i>Variância explicada</i>	<i>20,42%</i>	<i>17,45%</i>	<i>13,28%</i>

Anexo 15. Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais, na análise realizada durante o ZEE-IV na camada afótica, para os parâmetros abióticos e clorofila *a*.

Parâmetros	PC1	PC2	PC3
T°C	-0,85	-0,02	-0,09
Salinidade	0,76	-0,02	0,35
OD%	0,25	-0,68	-0,33
PH	0,41	-0,49	-0,51
Amônia-N	0,06	-0,29	-0,36
Nitrito-N	0,18	0,03	-0,06
Nitrato-N	0,27	0,59	-0,13
Fosfato-P	0,05	0,51	-0,55
Silicato-Si	0,13	0,52	-0,48
Clorofila <i>a</i>	0,73	0,19	0,15
<i>Variância explicada</i>	21,94%	17,06%	12,0%

Anexo 16. Medianas, máximos e mínimos das profundidades equivalentes a 1% de penetração da luz e início da termoclina.

	N válidos	mediana	Mínimo	máximo	quartil inferior	quartil superior
ZEE2_1%	34	70	50	87	65	70
ZEE2_IT	34	68	40	80	60	70
ZEE3_1%	57	80	50	96	75	85
ZEE3_IT	57	90	45	200	80	120
ZEIV_1%	34	64	46	85	59	70
ZEEIV_IT	34	82	57	156	68	110

Anexo 17. Valores de correlação na camada fótica, incluindo os parâmetros abióticos e a clorofila *a*.

	temperatura	salinidade	OD	OD%	pH	amônia-N	nitrito-N	nitrato-N	fosfato-P	silicato-SI	clorofila <i>a</i>
temperatura	1,00										
salinidade	-0,26	1,00									
OD	-0,51	0,22	1,00								
OD%	-0,26	0,20	0,96	1,00							
pH	0,19	-0,01	-0,03	0,03	1,00						
amônia-N	0,26	0,10	-0,09	-0,02	0,18	1,00					
nitrito-N	-0,20	-0,05	0,07	0,01	-0,09	-0,05	1,00				
nitrato-N	0,00	0,09	-0,13	-0,14	0,06	0,13	-0,02	1,00			
fosfato-P	0,06	0,04	-0,17	-0,16	0,04	0,13	-0,07	0,38	1,00		
silicato-SI	0,10	-0,03	0,00	0,04	0,10	-0,04	-0,06	0,09	0,12	1,00	
clorofila <i>a</i>	-0,15	0,22	-0,02	-0,07	-0,15	0,06	0,07	0,09	0,12	0,05	1,00

Anexo 18. Valores de correlação na camada afótica, com todos os parâmetros abióticos

	temperatura	salinidade	OD	OD%	pH	amônia-N	nitrito-N	nitrato-N	fosfato-P	silicato-SI
temperatura	1,00									
salinidade	0,94	1,00								
OD	0,46	0,43	1,00							
OD%	0,82	0,78	0,87	1,00						
pH	0,67	0,59	0,24	0,50	1,00					
amônia-N	-0,04	-0,04	-0,08	-0,09	0,01	1,00				
nitrito-N	-0,10	-0,12	0,12	0,03	-0,13	0,08	1,00			
nitrato-N	-0,81	-0,78	-0,58	-0,78	-0,53	0,05	0,00	1,00		
fosfato-P	-0,83	-0,79	-0,59	-0,81	-0,61	0,08	0,00	0,90	1,00	
silicato-SI	-0,42	-0,47	-0,16	-0,32	-0,14	-0,02	0,09	0,48	0,41	1,00

Anexo 19. Velocidade e direção do vento durante o inverno e verão.

ZEE-1	vel.(nos)	dir.	vel (m/seg)		ZEE-2	vel.(nos)	dir.	vel (m/seg)		vel.(km/h)
1	15		140	7,72	1	5		67	2,57	9,26
2	4		100	2,06	2	6		71	3,09	11,11
3	20		78	10,29	3	9		55	4,63	16,67
4	16		169	8,23	4	6		240	3,09	11,11
5	15		117	7,72	5	5		95	2,57	9,26
6	12		111	6,17	6	6		116	3,09	11,11
7	11		90	5,66	7	7,5		100	3,86	13,89
8	14		120	7,20	8	6		109	3,09	11,11
9	18		129	9,26	9	8		45	4,12	14,82
11	11		170	5,66	10	9		33	4,63	16,67
13	27		162	13,89	11	5		110	2,57	9,26
14	12		79	6,17	12	6		117	3,09	11,11
15	17		102	8,75	13	7		95	3,60	12,96
16	8		157	4,12	14	5		109	2,57	9,26
18	10		130	5,14	15	6		90	3,09	11,11
19	15		163	7,72	16	5		119	2,57	9,26
20	19		145	9,77	17	7		115	3,60	12,96
21	15		90	7,72	18	5		118	2,57	9,26
22	20		110	10,29	19	7		95	3,60	12,96
23	22		144	11,32	20	7		106	3,60	12,96
24	27		168	13,89	21	7		109	3,60	12,96
25	20		94	10,29	22	6		103	3,09	11,11
26	17		80	8,75	33					
27	21		75	10,80	34					
28	24		137	12,35	35					
228	27		180	13,89	36					
229	18		180	9,26	184	10		80	5,14	18,52
230	20		140	10,29	187	16		120	8,23	29,63
231	16		150	8,23	189	11		141	5,66	20,37
232	20		150	10,29	192	10		150	5,14	18,52
233	16		110	8,23	193	13		100	6,69	24,08
234	17		130	8,75	197	9,3		141	4,78	17,22
					198	13		120	6,69	24,08
					201-a	9		140	4,63	16,67

Anexo 20. Velocidade e direção do vento durante o outono e primavera (*continúa...*).

ZEE-3	vel.(nos)	dir.	vel		ZEE-4	vel.(nos)	dir.	vel.	
			(m/seg)	vel.(km/h)				(m/seg)	vel.(km/h)
1	9	130	4,63	16,67	2	11	90	5,66	20,37
2	10	60	5,14	18,52	3	16	150	8,23	29,63
3	16	50	8,23	29,63	4	18	128	9,26	33,34
4	14	10	7,20	25,93	5	10	100	5,14	18,52
5	12	40	6,17	22,22	6	17	140	8,75	31,48
6	10	60	5,14	18,52	7	21	130	10,80	38,89
7	12	40	6,17	22,22	8	17	100	8,75	31,48
8	13	40	6,69	24,08	9	17	10	8,75	31,48
9	11	30	5,66	20,37	10	14	100	7,20	25,93
10	13	30	6,69	24,08	11	14	90	7,20	25,93
11	12	80	6,17	22,22	12	17	120	8,75	31,48
12	10	80	5,14	18,52	13	16	90	8,23	29,63
13	10	110	5,14	18,52	14	14	90	7,20	25,93
14	10	100	5,14	18,52	15	13	130	6,69	24,08
15	15	110	7,72	27,78	16	20	90	10,29	37,04
16	16	110	8,23	29,63	17	11	90	5,66	20,37
17	9	90	4,63	16,67	18	17	110	8,75	31,48
18	15	100	7,72	27,78	19	11	80	5,66	20,37
19	12	80	6,17	22,22	20	10	100	5,14	18,52
21	10	120	5,14	18,52	21	10	110	5,14	18,52
22	2	140	1,03	3,70	22	8	90	4,12	14,82
23	8	140	4,12	14,82	23	10	130	5,14	18,52
24	14	160	7,20	25,93	24	10	130	5,14	18,52
25	13	150	6,69	24,08	25	12	140	6,17	22,22
26	14	150	7,20	25,93	27	13	120	6,69	24,08
27	11	160	5,66	20,37	28	13	70	6,69	24,08
29	12	110	6,17	22,22	29	14	70	7,20	25,93
30	18	100	9,26	33,34	30	17	60	8,75	31,48
31	20	130	10,29	37,04	31	11	50	5,66	20,37
32	20	120	10,29	37,04	32	16	60	8,23	29,63
35	18	110	9,26	33,34	33	15	60	7,72	27,78
130	23	128	11,83	42,60	34	6	60	3,09	11,11
146	16	135	8,23	29,63	35	12	100	6,17	22,22
147	16	115	8,23	29,63	36	14	110	7,20	25,93
148	13	130	6,69	24,08	37	14	120	7,20	25,93
149	12	150	6,17	22,22	39	20	140	10,29	37,04
150	17	122	8,75	31,48	40	14	120	7,20	25,93
151	21	140	10,80	38,89	41	14	110	7,20	25,93
152	18	117	9,26	33,34	42	15	130	7,72	27,78
153	15	133	7,72	27,78	43	11	130	5,66	20,37
154	14	98	7,20	25,93	44	12	130	6,17	22,22
155	19	140	9,77	35,19	45	16	110	8,23	29,63
157	16	112	8,23	29,63	46	12	140	6,17	22,22
158	18	120	9,26	33,34	57	8	130	4,12	14,82

Anexo 21. Velocidade e direção do vento durante o outono e primavera (...*continuação*).

159	18	144	9,26	33,34	58	16	130	8,23	29,63
160	9	66	4,63	16,67	59	14	120	7,20	25,93
161	16	110	8,23	29,63					0,00
162	10	115	5,14	18,52	19	11	80	5,66	20,37
165	11,5	130	5,92	21,30	34	6	60	3,09	11,11
168	10	130	5,14	18,52	165	12	50	6,17	22,22
170	16	120	8,23	29,63	166	12	50	6,17	22,22
173	8	100	4,12	14,82	167	11	60	5,66	20,37
174	12	100	6,17	22,22	168	11	60	5,66	20,37
178	12	90	6,17	22,22	169	16	60	8,23	29,63
179	11	130	5,66	20,37	170	15	50	7,72	27,78
182	8	100	4,12	14,82	171	21	30	10,80	38,89
183	13	100	6,69	24,08	172	21	50	10,80	38,89
					173	11	50	5,66	20,37
					174	11	60	5,66	20,37
					175	16	60	8,23	29,63
					176	16	40	8,23	29,63
					177	16	40	8,23	29,63
					178	19	60	9,77	35,19
					179	19	60	9,77	35,19
					180	15	40	7,72	27,78
					181	15	40	7,72	27,78
					182	11	50	5,66	20,37
					183	11	50	5,66	20,37
					184	11	50	5,66	20,37