Eduardo Miranda de Souza

Biomassa e estrutura da comunidade fitoplanctônica dos
ecossistemas do Banco de Abrolhos, adjacências e no
Atlântico Sul (Brasil x África)

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da
Universidade de São Paulo, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Doutor em
Ciências, área de Oceanografia Biológica.

Orientador:
Prof. Dr. Salvador Ayrton Gaeta

São Paulo
2011

Universidade de São Paulo
Instituto Oceanográfico

Biomassa e estrutura da comunidade fitoplanctônica dos
ecossistemas do Banco de Abrolhos, adjacências e no
Atlântico Sul (Brasil x África)

Eduardo Miranda de Souza

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, área de
Oceanografia Biológica.

Versão revisada

A versão original se encontra disponível do Instituto Oceanográfico

Julgada em ____/____/____ por:

Agradecimentos

Ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de estudos e pela disponibilidade de suas instalações, embarcação, equipamentos, laboratórios e serviços essenciais ao desenvolvimento dessa Tese.

Ao Prof. Dr. Salvador Airtton Gaeta, pela orientação, por todo conhecimento transmitido, estímulo, apoio e recursos colocados a minha disposição durante todo o período em que trabalhamos juntos.

A amiga de trabalho Mayza Pompeu, pelos conhecimentos, técnicas e apoio em todos os momentos foi fundamental para concretização desse trabalho durante todo esse período.

Ao Dr. Milton Kampel, pelos conhecimentos fundamentais em sensoriamento remoto, estímulo nos principais momentos e pela oportunidade em participar de cursos de especialização em *Ocean-Colour* em parceria com o INPE/POGO/IO-USP.

Ao Ministério de Ciência em Tecnologia – MCT, pelo fomento ao PROABROLHOS e pela Primeira Comissão Trans-Atlântico (Brasil x África) em parceria com a Marinha do Brasil.

A Dra. Maria Cordélia Machado do MCT por convidar o Laboratório de Produção Primária do IO/USP para compor o grupo de cientistas da Primeira Comissão Trans-Atlântico (Brasil x África).

Aos colegas de laboratório e embarque, Gustavo (Robinho), João Felipe, Mateus, Pedro, Elder e Vadinho pelo auxílio nas análises e coletas.

A todos da tripulação das embarcações do NOc Prof. W. Besnard e do H38 - Cruzeiro do Sul.

A Universidade Santa Úrsula, RJ e ao Dr. Márcio Tenório por viabilizarem as análises de citometria por fluxo.

Ao Conselho Nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo auxílio financeiro de quatro anos de bolsa de estudos.

A minha companheira Debora que sempre me apoiou com muito amor e paciência em todos os momentos durante esses quatro anos de trabalho.

Aos meus queridos filhos Thiago e Bruna por toda compreensão principalmente durante a minha ausência devido aos embarques ao longo desses quatro anos.

Aos meus pais e irmãos que sempre acreditaram na importância e me apoiaram para a realização desse trabalho.

Há um conceito sobre estruturas mentais comuns a todos os seres humanos, que confere a possibilidade de aprender fazendo relações entre diferentes informações (classificação, comparação, dedução etc.). Tais estruturas se desenvolvem do início ao fim da vida por meio da ação dos indivíduos sobre o meio, num processo de interação com o objeto de conhecimento e com as outras pessoas, o que possibilita a construção de níveis de saber cada vez mais complexos.

Jean Piaget
(Sujeito Epistêmico)

RESUMO

Para estimar a distribuição das diferentes classes de tamanho do fitoplâncton através de imagens de sensoriamento remoto e as propriedades bio-ópticas esse trabalho foi realizado em duas regiões. Durante o inverno de 2007 foi feito o cruzeiro com 58 estações hidrográficas sobre Banco de Abrolhos e adjacências e em 2009 o cruzeiro hidrográfico a longo do Atlântico Sul entre as plataformas continentais do Brasil e da África, limitado pelas latitudes 20°S e 30°S. Os valores de clorofila_*a* total mostraram que a região do Banco de Abrolhos é oligotrófica, com baixa produtividade primária e sustenta pelas células do picoplâncton que são influenciadas diretamente pela disponibilidade de fosfato. A matéria orgânica dissolvida (cdom) foi o constituinte bio-óptico com os maiores valores. Sobre a plataforma Africana, a presença da Corrente de Bengala influenciou diretamente nas altas concentrações da clorofila_*a* e nos tamanhos das células do fitoplâncton. A biomassa dessa região de ressurgência é sustentada por células principalmente do nanoplâncton. As propriedades bio-ópticas da plataforma continental da África são diferentes tanto em valores como nas contribuições relativas das observadas na costa do Brasil. Sobre a plataforma Africana a absorção do fitoplâncton foi o constituinte que prevaleceu sobre os demais (adetrítos e cdom).

Palavras-chave: Clorofila_*a*, fitoplâncton, frações de tamanho, bio-óptica, Banco de Abrolhos, Atlântico Sul e Plataforma Africana.

ABSTRACT

The distribution of different classes of size phytoplankton are estimated using remote sensing and the bio-optical properties this work was carried out in two regions. During the winter of 2007 the cruises were done with 58 hydrographic stations on Abrolhos Bank and adjacencies and in 2009 the hydrographic cruise of South Atlantic between the continental shelf of Brazil and Africa, limited by the latitudes 20°S and 30°S. The values of chlorophyll *a* showed that the region of the Bank is oligotrophic area, with low primary productivity and supports for cells of picoplankton that are influenced straightly by the availability phosphate. The organic dissolved matter (cdom) was the constituent bio-optical with the highest values. On the African continental shelf, the presence of Benguela Current influenced straightly the high concentrations of chlorophyll *a* and the sizes of phytoplankton cells. The upwelling biomass of this region is supported by nanoplankton. The bio-optical properties of continental shelf of Africa are different from Brazilian shelf, the values and in the relative contributions the phytoplankton absorption prevailed over the others constitute (detritus and cdom).

Key-words: Chlorophyll *a*, phytoplankton, size fraction, bio-optical, Abrolhos, South Atlantic, African Shelf.

SUMÁRIO

	Pag.
Lista de Figuras	9
Lista de Tabelas	16
 CAPÍTULO 1	 1
1 Introdução	1
1.1 Aspectos gerais.....	1
1.2 Objetivos	7
1.2.1 Objetivo geral.....	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	7
1.3 Área de estudo.....	9
1.3.1.1 Características gerais	9
1.4 Sensoriamento remoto da cor do oceano	11
 CAPÍTULO 2	 13
Banco de Abrolhos e Adjacências.....	13
1 Área de estudo	13
1.1 Características gerais.....	14
2 Material e Métodos	16
2.1 Cruzeiro hidrográfico	16
2.2 Clorofila_a e nutrientes	18
2.3 Citometria por fluxo	19
2.4 Bio-óptica	22
2.4.1 Material Orgânico Dissolvido Colorido.....	22
2.4.2 Material Particulado Total	22
2.5 Sensoriamento Remoto.....	24
2.5.1 Aquisição das imagens MODIS	24
2.5.2 Processamento das imagens.....	24
3 Resultados.....	25
3.1 Seções verticais	26

3.1.1	Temperatura	26
3.1.2	Salinidade	27
3.1.3	Nutrientes dissolvidos	31
3.1.4	Clorofila_a Total.....	38
3.1.5	Clorofila_a Fracionada.....	40
3.1.6	Concentrações celulares	46
3.2	Distribuição horizontal	50
3.2.1	Temperatura	50
3.2.2	Salinidade	51
3.2.3	Nutrientes dissolvidos	53
3.2.4	Clorofila_a Total.....	55
3.2.5	Análise estatística dos parâmetros físico-químicos e clorofila_a Total 57	
3.2.6	Clorofila_a Fracionada.....	59
3.2.7	Análise estatística da clorofila_a fracionada	61
3.2.8	Concentrações celulares	65
3.3	Material particulado e dissolvido	67
3.3.1	Coeficiente de absorção do fitoplâncton	71
3.4	Sensoriamento remoto	74
3.4.1	Clorofila_a	74
3.4.2	Coeficientes de absorção do fitoplâncton por frações de tamanho ...	80
CAPÍTULO 3		83
Atlântico Sul (Brasil x África)		83
1	Área de estudo	83
1.1	Características gerais.....	83
2	Material e métodos	85
2.1	Cruzeiro hidrográfico	85
2.2	Bio-óptica	87
2.3	Material Orgânico Dissolvido Colorido	87
2.4	Material Particulado Total.....	87

2.5	Sensoriamento Remoto.....	89
2.5.1	Aquisição das imagens MODIS	89
2.5.2	Processamento das imagens.....	89
3	Resultados	91
3.1	Seções verticais	91
3.1.1	Temperatura	91
3.1.2	Salinidade	93
3.1.3	Clorofila_ <i>a</i> Total.....	99
3.1.4	Clorofila_ <i>a</i> Fracionada.....	103
3.2	Material particulado e dissolvido	110
3.2.1	Coeficiente de absorção do fitoplâncton <i>in situ</i>	117
3.3	Sensoriamento remoto	118
3.3.1	Clorofila_ <i>a</i>	118
3.3.2	Coeficientes de absorção do fitoplâncton por frações de tamanho .	119
CAPÍTULO 4		125
1	Discussão	125
2	Conclusões e considerações finais.....	131
Referências Bibliográficas		133

Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema do Giro Subtropical do Atlântico Sul - Adaptado de Peterson & Stramma (1991).	10
Figura 2 – Cruzeiro de meso-escala do projeto ProAbrolhos realizado entre os meses de julho e agosto de 2007.	14
Figura 3 - Diagrama simplificado do sistema ótico do FACSCalibur ®	19
Figura 4 – Exemplo de um histograma utilizado para a determinação e separação das células do fitoplâncton.	21
Figura 5 – Esquema com os três parâmetros de fluorescência do FACSCalibur ®	21
Figura 6 - Exemplo de espectros dos coeficientes de absorção do $a_{\text{fito}}(\lambda) = a_{\text{part}}(\lambda) - a_{\text{det}}(\lambda)$ por espectrofotometria.....	24
Figura 7 - Seções verticais da temperatura durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.	28
Figura 8 – Seções verticais da salinidade durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos, em 2007.	29
Figura 9– Diagrama da Temperatura (°C) pela Salinidade (TS) de todas as estações de coleta durante o cruzeiro do ProAbrolhos, no inverno de 2007.....	30
Figura 10 – Seções verticais das concentrações de Nitrito (μM) durante o cruzeiro de inverno do ProAbrolhos em 2007.	33
Figura 11 – Seções verticais das concentrações de Nitrato (μM) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.	34
Figura 12 – Seções verticais das concentrações de Fosfato (μM) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.	35
Figura 13 – Seções verticais das concentrações de Silicato (μM) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.	36
Figura 14 – Seções verticais das concentrações de Amônia (μM) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.	37
Figura 15– Seções verticais de clorofila <i>a</i> Total ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.....	39

Figura 16 - Seções verticais de clorofila <i>a</i> fracionada (mg.m^{-3}) de $20\mu\text{m}$ durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.	41
Figura 17 - Seções verticais de clorofila <i>a</i> fracionada de $2\mu\text{m}$ (mg.m^{-3}), durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.	42
Figura 18 - Seções verticais de clorofila <i>a</i> fracionada de $0,2\mu\text{m}$ (mg.m^{-3}) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.	43
Figura 19– Concentrações (%) das clorofilas <i>a</i> fracionadas ao longo das Radiais.....	44
Figura 20 - Comparação da biomassa fracionada coletada em águas da plataforma continental e o talude (0 – 150 metros).....	44
Figura 21 - Distribuição vertical da clorofila <i>a</i> fracionada em diversas profundidades da área de estudo do ProAbrolhos.	45
Figura 22 - Seções verticais das concentrações das células do nanoplâncton (Cel/L) através da citometria por fluxo durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.....	47
Figura 23 - Seções verticais das concentrações das células do pico (Cel/L) através da citometria por fluxo durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.....	48
Figura 24 – Concentrações celulares (Log_{10}) distribuídas por tamanho sobre a plataforma e o talude	49
Figura 25 - Concentrações celulares (Log_{10}) distribuídas por tamanho em diferentes radiais.....	49
Figura 26 – Distribuição horizontal da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) na superfície e a 180 m de profundidade durante o cruzeiro de inverno do ProAbrolhos 2007	52
Figura 27 - Distribuição horizontal da salinidade na superfície e 180 m de profundidade durante o cruzeiro de inverno do ProAbrolhos 2007.	52
Figura 28 – Distribuição horizontal das concentrações de Nitrito e Nitrato μM durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.....	54
Figura 29– Distribuição horizontal das concentrações de Fosfato e Silicato μM durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.....	54
Figura 30– Distribuição horizontal das concentrações de Amônia μM e da razão N:P durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.....	55
Figura 31 - Distribuição horizontal das concentrações de clorofila <i>a</i> total (mg.m^{-3}) e da fluorescência (mg.m^{-3}) na superfície da água durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.	56

Figura 32 - Distribuição dos pontos amostrais no plano fatorial I-II da ACP dos dados físicos, químicos e biológicos. Os auto-vetores estão representados por setas e os triângulos representam os pontos amostrais.....	58
Figura 33 – Distribuição horizontal das concentrações de clorofila <i>a</i> Fracionada (mg.m^{-3}) na superfície da água durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.....	60
Figura 34 – Diagrama do Fosfato (μM) em função da clorofila_ <i>a</i> 20 μm	62
Figura 35 - Diagrama do Fosfato (μM) em função da clorofila_ <i>a</i> 2 μm	62
Figura 36 - Diagrama do Fosfato (μM) em função da clorofila_ <i>a</i> 0,2 μm	62
Figura 37 - Diagrama da Profundidade (m) em função da clorofila_ <i>a</i> 20 μm	63
Figura 38 - Diagrama da Profundidade (m) em função da clorofila_ <i>a</i> 2 μm	63
Figura 39 - Diagrama da Profundidade (m) em função da clorofila_ <i>a</i> 0,2 μm	63
Figura 40 - Diagrama da clorofila_ <i>a</i> Total em função da clorofila_ <i>a</i> 20 μm	64
Figura 41 - Diagrama da clorofila_ <i>a</i> Total em função da clorofila_ <i>a</i> 2 μm	64
Figura 42 - Diagrama da clorofila_ <i>a</i> Total em função da clorofila_ <i>a</i> 0,2 μm	64
Figura 43 – Distribuição (cel/L) horizontal das células eucarióticas do nanoplâncton (A) e do picoplâncton (B) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.....	66
Figura 44 – Distribuição (cel/L) horizontal das células procarióticas do picoplâncton (<i>Synechococcus sp.</i>) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.	66
Figura 45 - Distribuição horizontal da absorção (m^{-1}) do fitoplâncton em 443nm (A) e em 667nm (B) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.....	68
Figura 46 - Distribuição horizontal da absorção (m^{-1}) dos detritos (A) e do CDOM em 443nm durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.....	68
Figura 47 - Diagrama ternário das colaborações relativas das absorções do a_{fito} , $a_{\text{det.}}$ e a_{cdom} em 443nm, separadas por agrupamentos e distribuídas no mapa sobre as estações de coleta do ProAbrolhos 2007.....	70
Figura 48 - Espectros de a_{fito} normalizados [$a_{\text{fito}}(\lambda)/\langle a_{\text{fito}} \rangle$] e selecionados segundo a predominâncias das classes de tamanho de 20 μm a partir das concentrações de clorofila <i>a</i> (mg.m^{-3}), ProAbrolhos 2007.....	72

Figura 49- Espectros de a_{fito} normalizados $[a_{fito}(\lambda)/\langle a_{fito} \rangle]$ e selecionados segundo a predominâncias das classes de tamanho de $2\mu m$ a partir das concentrações de clorofila a ($mg.m^{-3}$), ProAbrolhos 2007.....	72
Figura 50- Espectros de a_{fito} normalizados $[a_{fito}(\lambda)/\langle a_{fito} \rangle]$ e selecionados segundo a predominâncias das classes de tamanho de $0,2\mu m$ a partir das concentrações de clorofila a ($mg.m^{-3}$), ProAbrolhos 2007.	73
Figura 51 - Média dos espectros de absorção do fitoplâncton normalizados $[a_{fito}(\lambda)/\langle a_{fito} \rangle]$ selecionados segundo a predominâncias das classes de tamanho a partir das concentrações de clorofila a ($mg.m^{-3}$) durante o ProAbrolhos 2007.	73
Figura 52 - Concentrações de clorofila a estimadas a partir de dados MODIS-Aqua, algoritmo OC3M, para a região do Banco de Abrolhos e adjacências. 25-27/07/07; 28/07-31/07/07; 01-03/08/07 e 04-07/08/07	76
Figura 53 - Concentrações de clorofila a estimadas a partir de dados MODIS-Aqua, algoritmo OC3M, para a região do Banco de Abrolhos e adjacências. 08-10/08/07; 11-13/08/07 e 14-15/07/08.	77
Figura 54 – Vórtice observado de clorofila a estimadas a partir dos sensores MODIS-Aqua, algoritmo OC3M, na do Banco de Abrolhos, inverno de 2007.....	77
Figura 55 - Diagrama de dispersão da clorofila a OC3 versus a clorofila a <i>in situ</i> medida durante o inverno do ProAbrolhos 2007.	78
Figura 56 – Diagrama de dispersão das clorofilas a OC3 obtidas por satélite (MODIS) versus as concentrações de $a_{fito}m^{-1}$ em diferentes comprimentos de onda, A(443nm), B(488nm), C(667nm) e D(678nm) durante o inverno do ProAbrolhos 2007.	79
Figura 57 – Imagem de satélite MODIS-Aqua relativa ao picoplâncton (coeficientes a_{fito} 443nm) durante o ProAbrolhos 2007.	81
Figura 58 – Imagem de satélite MODIS-Aqua relativa ao nanoplâncton (coeficientes a_{fito} 443nm) durante o ProAbrolhos 2007.	81
Figura 59 – Imagem de satélite MODIS-Aqua relativa ao microplâncton (coeficientes a_{fito} 443nm) durante o ProAbrolhos 2007.	81
Figura 60 – Imagem de satélite MODIS-Aqua com as contribuições relativas de cada fração de tamanho do fitoplâncton (coeficientes a_{fito} 443nm) durante o ProAbrolhos 2007. – Verde (picoplâncton), Vermelho (picoplâncton) e Azul (microplâncton)	82
Figura 61 – Sistema de correntes sobre a plataforma Africana (AC, Angola, BCC, Corrente Costeira de Bengala; BOC, Corrente Oceânica de Bengala, BD, Divergência de Bengala; ABF, Fronte de Angola-Bengala; CG, Giro Ciclônico).....	84

Figura 62 – Cruzeiro Trans-Atlântico I realizado entre meses de outubro e dezembro de 2009.	86
Figura 63 - Exemplo de espectros dos coeficientes de absorção do $a_{\text{fito}}(\lambda) = a_{\text{part}}(\lambda) - a_{\text{det}}(\lambda)$ por espectrofotometria.....	89
Figura 64 - Perfil vertical de temperatura entre o Brasil e a África na latitude 20°S, TAI-2009.	95
Figura 65 - Perfil vertical de temperatura até 500 metros de profundidade entre o Brasil e a África na latitude 20°S, TAI-2009.	95
Figura 66 - Perfil vertical de temperatura até 500 metros de profundidade (A) costa do Brasil e (B) Costa da África, latitude 20°S, TAI-2009.	95
Figura 67 - Perfil vertical de temperatura entre o Brasil e a África na latitude 30°S, TAI-2009.	96
Figura 68 - Perfil vertical de temperatura até 500 metros de profundidade entre o Brasil e a África na latitude 30°S, TAI-2009	96
Figura 69 - Perfil vertical de temperatura até 500 metros de profundidade (A) costa do Brasil e (B) Costa da África, latitude 30°S, TAI-2009.	96
Figura 70 - Perfil vertical da salinidade entre o Brasil e a África na latitude 20°S, TAI-2009.	97
Figura 71 - Perfil vertical de Salinidade até 500 metros de profundidade entre o Brasil e a África na latitude 20°S, TAI-2009	97
Figura 72 - Perfil vertical da salinidade até 500 metros de profundidade (A) costa do Brasil e (B) Costa da África, latitude 20°S, TAI-2009.....	97
Figura 73 - Perfil vertical da salinidade entre o Brasil e a África na latitude 30°S, TAI-2009.	98
Figura 74 - Perfil vertical da salinidade até 500 metros de profundidade entre o Brasil e a África na latitude 30°, TAI-2009.....	98
Figura 75 - Perfil vertical da salinidade até 500 metros de profundidade (A) costa do Brasil e (B) Costa da África, latitude 30°S, TAI-2009.....	98
Figura 76 - Perfil vertical da clorofila_a (mg.m ⁻³) Total entre o Brasil e a África na latitude 20°, TAI-2009.	101
Figura 77 - Perfil vertical da clorofila_a (mg.m ⁻³) Total, (A) costa do Brasil e (B) Costa da África, latitude 20°S, TAI-2009.....	101

Figura 78- Perfil vertical da clorofila _a (mg.m ⁻³) Total entre o Brasil e a África na latitude 30°, TAI-2009.	102
Figura 79 - Perfil vertical da clorofila _a (mg.m ⁻³) Total, (A) costa do Brasil e (B) Costa da África, latitude 30°S, TAI-2009.....	102
Figura 80 - Distribuição do percentual das frações de tamanho do fitoplâncton na superfície ao longo de P2 20° S durante TA-I em 2009.	105
Figura 81- Distribuição do percentual das frações de tamanho do fitoplâncton no Zmc ao longo de P2 20° S durante TA-I em 2009.	105
Figura 82 - Distribuição do percentual das frações de tamanho do fitoplâncton na superfície ao longo de P1 30° S durante TA-I em 2009.	106
Figura 83 - Distribuição do percentual das frações de tamanho do fitoplâncton no Zmc ao longo de P1 30° S durante TA-I em 2009.	106
Figura 84 – Comparação das diferentes frações de tamanho do fitoplâncton no entre P1 e P2, TA-I 2009.	107
Figura 85 – Comparação das diferentes frações de tamanho do fitoplâncton na superfície sobre as plataformas continentais (Brasil x África), TA-I 2009.	107
Figura 86 – Comparação das diferentes frações de tamanho do fitoplâncton no Zmc sobre as plataformas continentais (Brasil x África), TA-I 2009.....	107
Figura 87 - Absorbância do CDOM em 443nm entre o Brasil e a África	113
Figura 88 - Absorbância dos detritos em 443nm entre o Brasil e a África.....	113
Figura 89 - Absorbância do fitoplâncton em 443nm entre o Brasil e a África.....	113
Figura 90 - Diagrama ternário das contribuições relativas dos componentes de absorção (a_{fito} , a_{det} , a_{cdom}) de P2 (20°S) durante o TA-I em 2009.....	114
Figura 91 – Diagrama ternário das contribuições relativas dos componentes de absorção (a_{fito} , a_{det} , a_{cdom}) de P1 (30°S) durante o TA-I em 2009.....	114
Figura 92 – Contribuição relativa da absorbância dos componentes bio-óticos entre o Brasil e a África nos setores (E,F,G, L e K) próximos ou nas plataformas continentais. ...	115
Figura 93 – Contribuição relativa da absorbância dos componentes bio-óticos entre o Brasil e a África nos setores (A,B,C,D,J,I e H) mais afastados das plataformas continentais.....	115
Figura 94 – Mapa com indicando setores organizados segundo as contribuições relativas da absorbância dos componentes bio-óticos.	116

Figura 95 – Compara das médias dos valores da absorção dos constituintes bio-ópticos (m^{-1}) sobre as plataformas continentais (Brasil x África).....	116
Figura 96 – Razão entre a clorofila_a Total ($mg.m^{-3}$) <i>in situ</i> e a absorção(m^{-1}) do fitoplâncton <i>in situ</i> durante o TA-I 2009	117
Figura 97 - Estimativas de concentração de clorofila_a OC3 através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.....	121
Figura 98 - Estimativas dos coeficientes de absorção (m^{-1}) do fitoplâncton (a_{fito}) Carder, em 412nm através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.	121
Figura 99- Estimativas dos coeficientes de absorção (m^{-1}) do fitoplâncton (a_{fito}) Carder, em 443nm através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.....	121
Figura 100 - Estimativas dos coeficientes de absorção (m^{-1}) do fitoplâncton (a_{fito}) Carder, em 488nm através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.	121
Figura 101- Estimativas dos coeficientes de absorção (m^{-1}) do fitoplâncton (a_{fito}) Carder, em 531nm através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.	122
Figura 102 - Estimativas dos coeficientes de absorção (m^{-1}) do fitoplâncton (a_{fito}) Carder, em 551nm através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.	122
Figura 103 – Estimativas dos coeficientes de absorção (m^{-1}) do fitoplâncton (a_{fito}) Carder, em 667nm através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.	122
Figura 104 – Distribuição da estimativa de absorção do fitoplâncton $> 20\mu m$	123
Figura 105– Distribuição da estimativa de absorção do fitoplâncton $> 2\mu m$	123
Figura106 – Distribuição da estimativa de absorção do fitoplâncton $> 0,2\mu m$	123
Figura 107 – Distribuição da estimativa de absorção do fitoplâncton $> 20\mu m$ (vermelho), $> 2\mu m$ (verde) e $> 0,2\mu m$ (azul).	124

Lista de Tabelas

Tabela 1 - <i>Características físicas das principais massas d'água da costa do Brasil segundo Stramma & Schott (1999)</i>	10
Tabela 2 – Bandas espectrais do sensor MODIS /Aqua	11
Tabela 3 – Valores da profundidade (m) máxima e mínima da zona eufótica e termoclina.	30
Tabela 4 – Valores máximos e mínimos das concentrações dos nutrientes dissolvidos sobre a plataforma e o talude durante cruzeiro de inverno do ProAbrolhos em 2007.....	38
Tabela 5 - Valores máximos e mínimos das concentrações de clorofila_a (mg.m^{-3}) sobre a plataforma e o talude durante cruzeiro de inverno do ProAbrolhos em 2007.	45
Tabela 6 – Valores de máximo e mínimo das concentrações do fitoplâncton (cel/L) analisadas por citometria e distribuídas sobre a plataforma continental e o talude.	50
Tabela 7 – Valores da clorofila_a fracionada sobre a Plataforma e o Talude, Proabrolhos, 2007	56
Tabela 8 – Correlação das variáveis físicas, químicas e biológicas na formação dos eixos da ACP.....	58
Tabela 9 - Síntese dos resultados da ACP realizada a partir das variáveis físicas, químicas e biológicas.	58
Tabela 10 – Limites geográficos dos cruzeiros hidrográficos realizados entre o Brasil e o continente Africano entre outubro e novembro de 2009.	86
Tabela 11 — Valores da clorofila fracionada na superfície durante TA-I 2009.	108
Tabela 12 – Valores da clorofila fracionada no Zmc durante TA-I 2009.....	108
Tabela 13 - – Valores da clorofila fracionada superfície sobre as plataformas continentais (Brasil x África) em P12durante TA-I 2009.	108
Tabela 14 – Valores da clorofila fracionada no Zmc sobre as plataformas continentais (Brasil x África) em P2 durante TA-I 2009.	108
Tabela 15 – Valores da clorofila fracionada na superfície sobre as plataformas continentais (Brasil x África) em P1 durante TA-I 2009.....	109
Tabela 16 – Valores da clorofila fracionada no Zmc sobre as plataformas continentais (Brasil x África) em P1 durante TA-I 2009.	109
Tabela 17 – Comparação dos valores da absorção dos constituintes bio-ópticos (m^{-1}) sobre as plataformas continentais (Brasil x África)	116

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAF	Água Antártica de Fundo
AC	Água Costeira
ACAS	Água central do Atlântico Sul
AIA	Água Intermediária da Antártica
APAN	Água Profunda do Atlântico Norte
APC	Água profunda Circumpolar
AS	Atlântico Sul
AT	Água Tropical
CB	Corrente do Brasil
CBG	Corrente de Bengala
CDOM	Matéria Orgânica Dissolvida
CSA	Corrente Sul-Atlântica
CSE	Corrente Sul Equatorial
DO	Densidade Óptica
EW	Elevação de Walvis
FTP	File Transfer Protocol
FSC	Forward Scatter
FST	Frente Subtropical
H0	Hipótese Nula
IOP	Propriedade Óptica Inerente
ND	Não detectado
PA	Plataforma Africana
PB	Plataforma do Brasil
PROPLANAS	Projeto Produção e Plâncton no Atlântico Sul Subtropical
RGST	Atlântico Sul na região do Giro Subtropical
SSC	Side Scatter
TA-I	Trans-Atlântico I
Zmc	Profundidade de máximo de clorofila

CAPÍTULO 1

1 Introdução

1.1 Aspectos gerais

Nos ecossistemas marinhos a flutuação da biomassa de cada nível trófico tem sido explicada por dois tipos de controle (Shiomoto *et al.*, 1998): pelo controle dos fatores ambientais físico-químicos e pelos produtores (Smith & Eppley, 1982) ou pelos consumidores (Dagg & Turner, 1982, Frost, 1987).

O tamanho dos produtores primários é um importante atributo ecológico nos ecossistemas marinhos. Acredita-se que as características físicas e químicas de um ecossistema podem influenciar no tamanho desses microorganismos (Parsons & Takahashi, 1973). A dominância de uma determinada categoria de tamanho reflete na habilidade dos organismos fitoplanctônicos em melhor resolver problemas causados pela flutuabilidade, aproveitamento de nutrientes dissolvidos, crescimento e herbivoria (Hallegraeff, 1981). Sobre outro aspecto, a distribuição por diferentes classes de tamanho do fitoplâncton exerce uma forte influência sobre a dinâmica da cadeia trófica.

A estrutura trófica do ecossistema planctônico é função das variações da composição e abundância dos organismos que determinam alterações na produção primária e, evidentemente, na transferência de energia para os níveis tróficos superiores. O estudo desses diferentes compartimentos de tamanho do fitoplâncton pode fornecer informações sobre o tipo de cadeia trófica, através da qual a matéria e a energia fluem a partir desses produtores primários (Malone, 1977; Bienfang & Takahashi, 1983; Weber & El-Sayed, 1987; Chisholm, 1992).

Os nutrientes são fatores que limitam o crescimento da biomassa fitoplanctônica no meio marinho assim como a disponibilidade de cada constituinte pode determinar a classe de tamanho dominante, uma vez que são necessários para as funções metabólicas realizadas pelo fitoplâncton.

A razão entre as concentrações molares do nitrogênio, fósforo e silício na camada eufótica das águas marinhas, assim como os processos determinantes do seu enriquecimento por esses elementos, são capazes de induzir alterações na densidade das comunidades fitoplanctônicas além de dar subsídios para explicar a variação da composição taxonômica dessas comunidades (Dugdale & Holm Hansen, 1967; Ryther & Dunstan, 1971; Mann, 1982; Ramirez *et al.*, 2006).

Portanto, esses fatores se comportam de forma não conservativa, apresentando dependência direta dos processos de demanda biológica, pela biomassa fitoplanctônica na zona eufótica, e dos aportes oriundos de processos físicos (advecção, intrusão de águas mais ricas), biológicos (regeneração), climáticos (chuvas e ventos) e drenagem continental.

Em regiões de giros oligotróficos de baixa produtividade tem sido observada uma elevada variabilidade nos fluxos mediados pelo fitoplâncton sem que estejam acompanhados por mudanças na magnitude do estoque de biomassa, estrutura de tamanhos das comunidades microalgais ou no tipo de rede trófica dominante da comunidade microbiana (Marañon *et al.*, 2001). Não obstante, poucos estudos abordam como as mudanças espaciais e temporais na composição taxonômica da comunidade micro e nanofitoplanctônica podem afetar a variabilidade nas produtividades nesses ambientes.

Além da dinâmica trófica, o fitoplâncton é o principal fixador de dióxido de carbono (CO_2) nas camadas superficiais dos oceanos, convertendo-o fotossinteticamente em carbono orgânico particulado e rapidamente transportando-o para as camadas mais profundas até o sedimento. Este processo é conhecido como “bomba biológica” (Eppley & Peterson, 1979; Longhurst & Harrison, 1989). Principalmente em regiões oceânicas temperadas e polares esse

processo é o responsável pelo sumidouro de CO₂ atmosférico, enquanto que regiões equatoriais são as principais fontes.

Mesmo sendo o maior sumidouro de CO₂ atmosférico e responsável por 60% do sequestro da atmosfera Takahashi et al.(2009) apontam que o Atlântico Sul é uma das regiões menos amostradas dentre os oceanos globais.

Os oceanos tropicais e subtropicais, na sua grande maioria, são caracterizados por águas oligotróficas, pouca biomassa fitoplanctônica. Porém por meio de métodos mais modernos de microscopia eletrônica e por epifluorescência (Johnson & Sieburth, 1979; Blanchot *et al.*, 1992) e posteriormente pela citometria por fluxo (Olson *et al.*, 1985; Campbell & Vaulot, 1993; Partensky *et al.*, 1996) foi possível observar e descrever os principais grupos taxonômicos dessas regiões.

As cianobactérias, que constituem o grupo dominante nos ambientes oligotróficos, são subdivididas em: 1) células isoladas pertencentes ao picoplâncton (autótrofos microscópicos inferiores a 2 µm) e 2) filamentos pluricelulares (tricomas). As cianobactérias cocoides são representadas basicamente por *Prochlorococcus* e *Synechococcus*. A relação inversa entre a concentração de nutrientes e o tamanho celular (Herbland *et al.*, 1985) é evidenciada pela dominância de picoeucariotes e picocianobactérias como *Synechococcus*, menores e mais numerosos (Chisholm *et al.*, 1992) e principalmente *Prochlorococcus* (Blanchot & Rodier, 1996), um pouco maiores e menos abundantes (Johnson & Sieburth, 1979 ; Waterbury *et al.*, 1979).

Além das cianobactérias outros grupos podem apresentar altas biomassas sob determinadas condições, como os picoeucariontes e organismos do nano e microplâncton. Um paradigma amplamente aceito no passado era que grande parte da variabilidade temporal e geográfica da biomassa total e produtividade no fitoplâncton marinho estariam relacionadas às frações maiores do plâncton. O picoplâncton permaneceria como um componente 'background' cuja atividade permaneceria relativamente constante (Rodríguez *et al.*, 1998). Entretanto as

mudanças na produtividade primária total estariam associadas às alterações na distribuição das classes de tamanhos e na estrutura da rede trófica (Marañon *et al.*, 2001).

Para complementar as técnicas *in situ* de determinação das concentrações de clorofila *a* e os tamanhos das células do fitoplâncton, o sensoriamento remoto da cor do oceano fornece potencialmente produtos de relevância ecológica e biogeoquímica. Sabe-se hoje que é possível diferenciar alguns grupos dominantes da comunidade fitoplanctônica e sua dinâmica espacial e temporal (Ciotti *et al.*, 2002; Ciotti & Bricaud, 2006). Além de aspectos ecológicos inerentes (i.e., condicionamento das cadeias tróficas), ao se discriminar grupos dominantes do fitoplâncton marinho, que exercem funções diferenciadas, aumenta-se consideravelmente o conhecimento sobre ciclos biogeoquímicos (Alvain *et al.*, 2005). O desempenho fotossintético do fitoplâncton é igualmente passível de ser observado por sensores em satélite (Behrenfeld *et al.*, 2009). Outro produto em imagens da cor do oceano é a quantificação da matéria orgânica dissolvida, principal reservatório de carbono dos oceanos, e de extrema importância para as trocas de carbono entre os oceanos e a atmosfera, (Siegel *et al.*, 2002).

Nas regiões de ecossistemas costeiros onde há conflito de interesses, principalmente por sua produtividade e fragilidade frente aos impactos gerados pelas atividades humanas, as margens continentais compreendem aproximadamente, 10% da superfície e 0,5% de todo o volume dos oceanos. Entretanto, sustentam 25 a 30% de toda produção primária marinha global.

Já em outros ambientes, como os recifes coralíneos, os processos ecológicos além de dependerem da integridade na estrutura da cadeia trófica (Bellwood *et al.* 2004) são altamente sensíveis às mudanças globais e às alterações locais das condições físico-químicas da água do mar. Estes sistemas possuem diferentes capacidades de adaptação às altas taxas de sedimentação e à elevada turbidez.

Na costa nordeste do Brasil, o Banco de Abrolhos representa um dos mais importantes ecossistemas marinhos desse país, abrangendo a maior biodiversidade do Atlântico Sul (Leão *et al.*, 2003) e tem sido classificado como “Área de Extrema Importância Biológica” pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002), sendo foco de diversas ações prioritárias, governamentais e não-governamentais, para conservação e uso sustentável de sua biodiversidade marinha.

Por ser esse um ambiente que recebe uma forte influência do sistema Corrente do Brasil, o ecossistema pelágico da região do Abrolhos e adjacência é fortemente oligotrófico com concentrações máximas de clorofila *a* raramente superiores a $0,5 \text{ mg.m}^{-3}$ (Brandini *et al.*, 1997). A baixa magnitude do fluxo de nitrato por difusão através da termoclina restringe a quantidade de matéria orgânica na zona eufótica destas regiões. Neste cenário, os organismos do pico- e nanoplâncton são os autótrofos dominantes (Teixeira & Gaeta, 1991; Gaeta *et al.*, 1999, Susini-Ribeiro, 1999). Devido ao pequeno tamanho dos autótrofos, há várias etapas e ramificações na teia alimentar pelágica, típicas de região tropical, diminuindo a eficiência de transferência da produção primária aos níveis tróficos superiores. Estudos sobre excreção do fitoplâncton, produção primária e concentração de clorofila *a*, realizados por Vieira & Teixeira (1981), Panouse & Susini (1987) e Bonecker *et al.* (1992), confirmaram as condições oligotróficas da plataforma continental da região do Banco de Abrolhos e adjacências.

As atividades desenvolvidas nesse estudo estão inseridas dentro de dois grandes projetos de âmbito nacional: ProAbrolhos e Trans-Atlântico.

O ProAbrolhos (Produtividade, Sustentabilidade e Utilização do Ecossistema do Banco de Abrolhos) como um grande projeto multidisciplinar, envolve diferentes Centros de Pesquisa, Universidades e Institutos. Tem como a principal meta a aquisição de informações críticas sobre a estrutura e o funcionamento do ecossistema do Banco de Abrolhos, gerando subsídios para a gestão sustentável do uso de seus recursos naturais. Esse projeto faz parte do Programa Institutos do Milênio 2005 – 2008

O Trans-Atlântico é um projeto motivado principalmente pela ausência de dados oceanográficos e meteorológicos existente na região do Atlântico Sul entre as costas do Brasil e do continente africano. Essa iniciativa é composta por diferentes subprojetos, conectados entre si, cujos dados físicos, ópticos, químicos e biológicos coletados, embora tratados e analisados por diferentes pesquisadores, foram integrados de forma a obter uma visão unificada da oceanografia do Atlântico Sul subtropical. Neste sentido, de integração de esforços gerou um subprojeto com o objetivo do estudo da distribuição das propriedades bio-ópticas do material particulado e dissolvido, biomassa do plâncton, estrutura da comunidade e produtividade primária da comunidade fitoplanctônica no Atlântico Sul Subtropical, nascendo assim o Projeto Produção e Plâncton no Atlântico Sul (PROPLANAS) que é composto pelas Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e pela Universidade de São Paulo (USP).

Ambos os projetos foram desenvolvidos e financiados com o apoio do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

A partir da obtenção dos dados físicos, ópticos, químicos e biológicos pretende-se contribuir para o entendimento da estrutura e funcionamento dos ecossistemas do Banco de Abrolhos e áreas adjacentes, gerando subsídios para a gestão sustentável de seus recursos naturais da do Banco de Abrolhos e adjacências.

Da mesma maneira, a obtenção de dados no setor sul do Oceano Atlântico irá subsidiar novos conhecimentos de interesse atual para melhor compreender a estrutura termohalina, fluxos de os níveis de nutrientes, as condições ambientais, a estrutura e comunidades fitoplanctônicas, produtividade primária do fitoplâncton, a interação da luz com constituintes ópticos, os fluxos de CO₂ na interface oceano-atmosfera, contribuindo para incrementar a compreensão do papel do fitoplâncton nos ciclos biogeoquímicos tanto regional como globalmente.

1.2.2 Objetivos específicos

- Descrever as distribuições dos campos de temperatura, salinidade e nutrientes dissolvidos;
- Descrever as distribuições de biomassa fitoplanctônica indexada pela concentração de clorofila *a* total e fracionada por diferentes classes de tamanho (pico-, nano- e microplâncton);

- Descrever as distribuições de densidade das células do pico- e nanoplâncton através da citometria de fluxo;
- Caracterizar bio-opticamente a distribuição dos coeficientes de absorbância pela matéria orgânica dissolvida colorida (*CDOM*), detritos e fitoplâncton a partir de dados *in situ*;
- Gerar imagens com estimativas da clorofila *a* e coeficientes de absorção fitoplâncton (a_{fito}) a partir de dados de refletância do sensor MODIS/Aqua;
- Processar e analisar dados de sensoriamento remoto (sr) da cor do oceano, contribuindo para a identificação de feições oceanográficas de meso e larga-escala e para a determinação das estimativas de clorofila *a* na superfície do mar relacionando com a estrutura de tamanho do fitoplâncton;
- Gerar imagens de distribuição espacial dos diferentes tamanhos do fitoplâncton através das estimativas da clorofila *a* e a_{fito} por sensoriamento remoto

Além de fornecer novas informações sobre a área de estudo, será testada a Hipótese Nula (H_0) onde o comportamento bio-óptico das Águas da Corrente do Brasil (CB) não difere daquele observado nas Águas da Corrente de Bengala (CBG).

1.3 Área de estudo

Esse trabalho foi realizado em duas diferentes áreas de estudo, uma que abrange a plataforma continental do Brasil entre a cidade de Belmonte (16°S) no estado da Bahia e o extremo sul do estado de Espírito Santo (22°S), ao norte do estado do Rio de Janeiro (Figura 1) e a outra área de estudo está compreendida entre a costa do Brasil e o continente Africano nos limites das latitudes de 30°S e 20°S (Figura 2). Para melhor compreender as diferentes áreas de estudo os resultados serão apresentados em dois capítulos distintos:

CAPITULO 2 – Banco de Abrolhos e Adjacências

CAPITULO 3 – Atlântico Sul (Brasil x África)

1.3.1.1 Características gerais

A circulação oceânica superficial do Oceano Atlântico Sul é caracterizada por um giro anticiclônico fechado, chamado Giro Anticiclônico do Atlântico Sul (Figura 3), que tem como limite sul, a região conhecida como Frente Subtropical (FST – Peterson e Stramma, 1991).

Ao longo dessa frente oceanográfica há o encontro das águas superficiais de origem sub-antártica com aquelas de origem tropical ou subtropical que, ao se encontrarem, afundam gerando uma massa de água conhecida como ACAS. Esta, por sua vez, espalha-se sobre toda a bacia oceânica do Atlântico Sul em sub-superfície. Rica em nutrientes e oxigênio, a ACAS promove o enriquecimento da zona costeira sudeste do Brasil através de fenômenos de soerguimento na região de quebra de plataforma sul-sudeste do Brasil e pelas conhecidas ressurgências de Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC) (Castro *et al.*, 2006).

Sobre a região da FST, a circulação oceânica é dominada por um sistema de correntes chamado de Corrente do Atlântico Sul, ou Corrente Sul-Atlântica (CSA).

Figura 1 - Esquema do Giro Subtropical do Atlântico Sul - Adaptado de Peterson & Stramma (1991).

Tabela 1 - Características físicas das principais massas d'água da costa do Brasil segundo Stramma & Schott (1999).

Massas	Água costeira (AC)	Água Tropical (AT)	Água Central do Atlântico Sul (ACAS)	Água Intermediária da Antártica (AIA)
Temperatura (°C)	26,00 - 28,87	>18,00	5,95 – 18,35	4,92 – 5,90
Salinidade	≤ 34,00	>36,00	34,52 – 36,40	34,48 – 34,78

1.4 Sensoriamento remoto da cor do oceano

O sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) lançado a bordo dos satélites Terra (EOS AM) e Aqua (EOS PM), em dezembro de 1999 e maio de 2002, respectivamente, fornece visões sinópticas de processos oceânicos em diferentes escalas de espaço e tempo, além de imagens da biomassa fitoplanctônica. O instrumento MODIS possui alta sensibilidade radiométrica (12 bit) e opera em 36 bandas espectrais, com comprimento de onda variando entre 400nm e 1440nm. Os canais de 8 a 14 estão na faixa da radiação (Tabela 1).

Tabela 2 – Bandas espectrais do sensor MODIS /Aqua

Cor do Oceano / Fitoplâncton	Canais	Largura dos comprimentos		Comprimento específico
	8	405	420	412
	9	438	448	443
	10	483	493	488
	11	526	536	531
	12	546	556	551
	13	662	672	667
	14	673	683	678

A relação entre a radiação espectral solar emergente da água do mar e a concentração superficial da biomassa fitoplanctônica (concentração de clorofila *a*) é comumente conhecida por algoritmo bio-óptico. O algoritmo OC3 desenvolvido para os dados do sensor MODIS (O'Reilly, 2000) é baseado nesses modelos empíricos para estimativa da abundância do fitoplâncton e utiliza razões ou diferenças entre as bandas (443 e 490nm) e (510 e 555nm).

Além do fitoplâncton, a presença de diferentes concentrações e tipos de substâncias dissolvidas e partículas não-algais podem causar variações nas propriedades ópticas dos oceanos, limitando a precisão de modelos empíricos (Gordon e Morel, 1983).

Mesmo com toda tecnologia dos sensores e o desenvolvimento de algoritmos sofisticados, a obtenção dos dados e a interpretação dos IOPs (Propriedade Ótica Inerente) é dificultada, pois o sistema da água do mar ou de rios é constituído por materiais particulados e dissolvidos e cada um com suas características de absorção e fluorescência própria (Coble *et al.*, 2004).

CAPÍTULO 2

Banco de Abrolhos e Adjacências

1 Área de estudo

O Complexo dos Abrolhos constitui-se numa área de mais de quatro milhões de hectares, no Extremo Sul da Bahia, formada por extensos recifes de corais, manguezais, restingas e remanescentes da Mata Atlântica brasileira. Constituído por um alargamento da plataforma continental que chega a atingir 250 km, o Banco de Abrolhos situa-se na parte sul da margem continental leste, caracterizada por larguras inferiores a 50 km (Figura 2). É caracterizado por uma feição topográfica peculiar, onde estão localizados os bancos como o de Royal Charlotte e o dos Abrolhos, além da cadeia de Vitória-Trindade (Figura 1). A declividade da plataforma atinge uma média de 0,3 m/Km e profundidade da quebra da plataforma varia entre as isóbatas de 35 a 80 metros e a profundidade da base do talude varia de 1600 a 3600 metros.

Figura 2 – Cruzeiro de meso-escala do projeto ProAbrolhos realizado entre os meses de julho e agosto de 2007.

1.1 Características gerais

A circulação ao largo da costa do Brasil pode ser dividida no escoamento de cinco massas de água: a Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e Água Antártica de Fundo (AAF). A circulação de grande escala da AT, ACAS e AIA no oceano Atlântico Sul (AS) ocorre na forma de um grande giro anticiclônico. Entretanto, ao longo do braço norte do giro, a Corrente Sul Equatorial (CSE), o fluxo dessas massas de água ocorre em latitudes diferentes (Stramma & England, 1999; Rodrigues *et al.*, 2007). A APAN flui para sul ocupando profundidades entre 1200 e 3900 m nas proximidades do Equador e entre 1700 e 3000 m na região da Confluência Brasil-Malvinas. Nas regiões próximas ao fundo oceânico ocorre o fluxo da AAF para o norte.

A AT ocupa a porção superficial do AS e tem como principal região de formação a porção noroeste deste oceano (Stramma & England, 1999). É uma massa de água quente e salina apresentando temperatura superior à 20° C e salinidade maior que 36 ao largo do Sudeste Brasileiro (Silveira *et al.*, 2000). A partir da latitude de bifurcação da CSE, uma parte dessa massa de água é advectada para norte, ao longo do continente Sul Americano, formando a Corrente Norte do Brasil e o restante origina a Corrente do Brasil (CB). Diversos autores corroboram que, entre a superfície e 100 m de profundidade, a bifurcação destas correntes ocorre entre as latitudes de 10° e 20° S (Stramma & England, 1999; Silveira *et al.*, 2000; Rodrigues *et al.*, 2007; Soutelino, 2008).

As forças físicas do ecossistema do Banco de Abrolhos incluem a Corrente do Brasil (CB) e suas oscilações que, a partir do talude, afetam diretamente as características físicas, químicas e biológicas das águas costeiras (Silveira *et al.*, 1994; Silveira *et al.*, 2000). Sobre a plataforma continental, os ventos e as marés forçam correntes variáveis espacial e temporalmente (Castro & Miranda, 1998). As trocas de massa e de energia entre estuários da costa leste e a plataforma continental adjacente, onde esta última é estreita, provavelmente estão diretamente relacionadas à dinâmica da CB do que outras regiões do litoral brasileiro. A CB, transportando na camada superficial a Água Tropical (AT), essencialmente oligotrófica, reforça esta característica na zona de plataforma continental por ela banhada. Além disso, essa corrente tem grande estratificação promovendo a estabilidade vertical da zona eufótica e determinando concentrações máximas de clorofila acima da nutriclina (Gaeta *et al.*, 1999; Ekau, 1999). A mesma CB transporta, na região do talude, abaixo da camada de mistura, a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), rica em sais nutrientes dissolvidos. Embora ainda pouco estudadas, há evidências de processos de ressurgência costeira da ACAS na região sul do Banco de Abrolhos (Schmid *et al.*, 1999; Pereira *et al.*, in press).

A temperatura média do ar é 28 °C no verão e 23 °C no inverno. Os ventos dominantes durante o verão (outubro a fevereiro) são de nordeste. Ventos de leste são comuns de março a setembro e fortes ventos de sudeste podem ocorrer durante tempestades de inverno, entre maio e agosto (NIMER, 1989). A temperatura da água varia anualmente de 25 a 27 °C durante o verão e 22 a 24 °C durante o inverno, mostrando fraco gradiente vertical. A salinidade varia em torno de 36,5 a 37 (CASTRO; MIRANDA, 1998).

2 Material e Métodos

2.1 Cruzeiro hidrográfico

A estratégia amostral adotada para esse trabalho está inserida dentro do “ProAbrolhos” visando atender aos objetivos propostos pelo projeto. Com apoio do N/Oc Prof. W. Besnard do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo foram realizadas 12 radiais (Figura 1) ao largo da costa nordeste do Brasil, entre as cidades de Belmonte (Bahia) e Cabo de São Tomé (Rio de Janeiro).

O cruzeiro foi realizado durante o inverno de 2007 entre os meses de julho e agosto. Foram realizadas 58 estações hidrográficas (Figura 1), sendo que os intervalos entre estações foram determinados a partir de critérios dinâmicos e baseados na escala de ajustamento geostrófico.

Em todas as estações amostradas foram realizados perfis verticais contínuos de hidrografia (temperatura e salinidade) com equipamento Conductivity, Temperature, Depth – CTD (Falmouth Scientific Inc.) e fluorímetro acoplado, utilizando um dos canais de comunicação do CTD. Um sistema coletor de água tipo *Rosette* com garrafas de Niskin (12L) também foi acoplado ao CTD.

Em laboratório, os dados hidrográficos foram reduzidos e editados de acordo com as recomendações da UNESCO (1988).

A coleta de água para as análises de sais nutrientes, clorofila *a* total e fracionada, células do pico- nanoplâncton por citometria, material particulado (detritos + fitoplâncton) e matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM) foi realizada com o sistema *Rosette* descrito acima. Nos casos em que a *Rosette* apresentou problemas foi utilizado o guincho hidrográfico. As profundidades de coleta de água foram pré-determinadas nos seguintes níveis: 0, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 125, 150 e 200 m, além da profundidade(Z) do máximo(m) de clorofila *a*(c) (Zmc).

Em todas as estações foram coletadas amostras de água em superfície para determinação dos coeficientes de absorção específica pelo CDOM e pelo material particulado (MP - fitoplâncton e detritos) e em 32 estações, foram coletadas amostras no Zmc, para essas análises.

Em todas as estações diurnas foram realizados perfis verticais através da zona eufótica (limitados até 200 m), estimada a partir de medidas com o disco de Secchi.

Em 29 estações foram realizadas coletas de água em determinadas profundidades (superfície, Zmc e abaixo da Zmc) para a obtenção de amostras de: clorofila *a* fracionada (pico- nano- e microplâncton), CDOM, material particulado e contagem e identificação celular por citometria por fluxo.

2.2 Clorofila_ *a* e nutrientes

A abundancia fitoplanctônica total foi estimada a partir de amostras de 300 mL filtradas sobre filtros de fibra de vidro da marca Whatman® GF/F com porosidade de 0,4µm. O mesmo volume foi utilizado para determinar biomassa fitoplanctônica por diferentes frações de tamanhoem que o microplâncton foi retido em membranas de 20µm, o nanoplâncton em membranas de 2µm e o picoplâncton também em filtros GF/F.

Todos os filtros foram mantidos em nitrogênio líquido e as concentrações de clorofila *a* total e fracionada foram determinadas em laboratório por fluorescência em fluorímetro Turner 10-AU-005 após extração em 5 mL de acetona 90% a -4°C por 12 horas (Holm-Hansen *et al.*, 1965., Shoaf & Lium, 1976; Stramski & Morel, 1990; Welschmeyer, 1994).

As amostras para análise dos nutrientes dissolvidos foram transferidas diretamente das garrafas de Niskin para frascos de polietileno e congeladas a – 20°C. As análises químicas seguiram os seguintes métodos: nitrito (Grasshoff, 1983), nitrato, fosfato e silicato (Strickland & Parson, 1972) e amônia (Koroleff, 1970).

As análises, tanto para a obtenção das concentrações de clorofila *a* Total e fracionada, como para a determinação dos nutrientes, foram realizadas no laboratório de Produção Primária do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

2.3 Citometria por fluxo

Para a estimativa da abundância e tamanho do fitoplâncton foram feitas análises utilizando técnicas de citometria por fluxo, em que foram coletados 2 mL de água do mar, adicionado formol tamponado e mantidos em nitrogênio líquido.

No laboratório de Ecologia do Fitoplâncton Marinho da Universidade Santa Úrsula RJ, as análises de citometria por fluxo foram realizadas com o equipamento FACScalibur (Becton Dickinson®). Para aquisição e análise dos dados foi utilizado o programa CellQuest da Becton Dickinson®. O sistema óptico do FACScalibur (Figura 3) é composto por um laser de argônio (488 nm) e um sistema de filtros e lentes que permitem a distinção de 2 parâmetros de tamanho através das razões entre FSC (Forward Scatter), SSC (Side Scatter) e os três parâmetros de fluorescência (Fotomultiplicadores FL1, FL2 e FL3).

O feixe de luz emitido pelo laser atravessa a amostra e é retroespalhado de acordo com as características de tamanho, forma e fluorescência das células. Após passar através da amostra, o feixe de luz é separado espectralmente por um conjunto de espelhos dicróicos e filtros.

Figura 3 - Diagrama simplificado do sistema óptico do FACScalibur ®

Foi utilizada como líquido de transporte das células, uma solução reproduzindo as mesmas condições de salinidade e pH. Em seguida, essa solução foi filtrada três vezes em membranas de 0,2 μm de poro para evitar qualquer tipo de contaminação externa.

Como padrão e referência durante as leituras das amostras, foi introduzida uma pequena quantidade de micro esferas artificiais (beads) com 1 μm de diâmetro que, quando excitadas, emitem fluorescência regular entre 400 – 800nm. Essas mesmas “beads” foram utilizadas para determinar o tamanho relativo das células.

O tempo de aquisição para cada amostra foi de 5 minutos e a velocidade de fluxo foi determinada conforme a concentração de células da estação ou profundidade coletada. Em cada amostra o tempo total de análise e o volume gasto foi registrado para posterior cálculo dos volumes de aquisição em célula por litro (cel/L).

As diferentes populações do fitoplâncton foram discriminadas em citogramas (Figura 5) por suas características de tamanho e fluorescência. Foram selecionadas as células eucarióticas autotróficas que floresceram no comprimento da clorofila *a* (650nm), o que corresponde ao FL3 (comprimento de ondas no vermelho) e as células que, além do FL3, também floresceram no comprimento do laranja 585nm para a distinção das células procarióticas (Figura 5).

Em seguida, as diferentes populações do fitoplâncton identificadas e separadas através do programa por suas características de tamanho e fluorescência (Figura 4) foram identificadas, separadas em “gates” e realizada a contagem celular (cel/L).

Para esse trabalho foram utilizadas duas diferentes classes de tamanho do fitoplâncton, seguindo as definições de Sieburth *et al.* (1978). As células compreendidas entre 0,2 e 2 μm como picoplâncton e as células entre 2 e 20 μm como nanoplâncton.

Figura 4 – Exemplo de um histograma utilizado para a determinação e separação das células do fitoplâncton.

Figura 5 – Esquema com os três parâmetros de fluorescência do FACSCalibur[®]

2.4 Bio-óptica

O conjunto de dados bio-óticos foi coletado para a determinação dos coeficientes de absorção específica pela matéria orgânica dissolvida (CDOM), e pelo material particulado composto pelo fitoplâncton e detritos.

2.4.1 Material Orgânico Dissolvido Colorido

Para a obtenção de valores da matéria orgânica dissolvida foram filtrados 150 mL de água do mar em determinadas estações e profundidades de coleta utilizando filtros de membrana da marca Nucleopore® de 0,2µm. A água filtrada foi estocada em garrafas de vidro tipo âmbar e preservadas em refrigeradores. Em laboratório foi realizada a leitura da densidade óptica (D.O.) de cada amostra de água filtrada entre 250 a 800 nm, utilizando um espectrofotômetro da marca Hitachi modelo U-3010 para a determinação dos coeficientes de absorção específica pela matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM) através da absorbância e transmitância (a_{cdom}).

Os valores de D.O. foram convertidos em coeficientes de absorção (m^{-1}) e multiplicados por 2,303 (valor que converte $\log_{10}$ para $\log_e$) e normalizados pelo caminho óptico (0,1m).

2.4.2 Material Particulado Total

Para a obtenção do material particulado total foram filtrados de 1 a 3 litros de água do mar em cada profundidade de coleta utilizando filtros da marca Whatman tipo GF/F de 25 mm de diâmetro e poros com tamanho de 0,7µm, em seguida foram preservados em nitrogênio líquido até o momento da análise.

No laboratório de Produção Primária do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), após descongelar os filtros e mantê-los abrigados da luz direta foram realizadas medidas de absorbância e transmitância entre 800 e 350 nm (D.O) (Figura 6), utilizando uma esfera integradora acoplada ao espectrofotômetro da marca Shimatzu modelo UV-2450. Este método proposto por Mitchell (1990) foi utilizado para determinação do particulado total (a_{part}) = detritos (a_{det}) + fitoplâncton (a_{fito}).

Um filtro branco embebido com água do mar filtrada em 0,2µm foi usado como branco. A fração pigmentar foi retirada, lavando o filtro com Hipoclorito durante um período de extração de 24hs. O filtro foi lido novamente no espectro para a medida não pigmentada (a_{det}) e, posteriormente, a absorbância devido ao fitoplâncton (a_{fito}) ou fração pigmentada foi obtida pela subtração das duas frações.

Os coeficientes de absorção (m^{-1}) referentes às leituras do a_{det} e a_{fito} foram calculados da forma: $a_{part}(\lambda) = 2,303 \text{ DO} / (v/a)$, onde 'v' é o volume filtrado de água e 'a' é a área do particulado sobre o filtro. A absorção pelo fitoplâncton consiste, então, nas diferenças entre as duas leituras:

$$a_{fito}(\lambda) = a_{part}(\lambda) - a_{det}(\lambda).$$

Figura 6 - Exemplo de espectros dos coeficientes de absorção do $a_{\text{fito}}(\lambda) = a_{\text{part}}(\lambda) - a_{\text{det}}(\lambda)$ por espectrofotometria.

2.5 Sensoriamento Remoto

2.5.1 Aquisição das imagens MODIS

Imagens da cor do oceano de (1 km) do sensor MODIS/Aqua foram adquiridas gratuitamente via FTP (File Transfer Protocol), da página da internet <http://oceanocolor.gsfc.nasa.gov/> e selecionadas conforme o período dos cruzeiros e as datas das coletas respeitando a diferença máxima de 12 horas em relação aos horários de coleta *in situ*.

2.5.2 Processamento das imagens

As imagens adquiridas foram manipuladas e processadas por meio do programa SeaDAS 5.2 (SeaWiFS Data Analysis System) disponível gratuitamente na internet através da página da internet <http://oceanocolor.gsfc.nasa.gov/>.

Depois das imagens salvas em computadores foram processadas do nível 1A (L1A) para o nível 2 (L2). O processamento para nível 2 segue o passo

intermediário para nível 1B (L1B), que corresponde às radiâncias calibradas e geolocalizadas. A partir do nível 1B, a refletância da superfície do mar foi obtida para as bandas refletivas de 8 a 16, de interesse em cor do oceano como citado anteriormente. Os dados dos produtos L2 das imagens (concentração de clorofila a e a_{fito}) foram extraídos para cada estação de coleta *in situ*, em janelas espaciais de 3 x 3 pixels centradas nas coordenadas das estações realizadas *in situ*. Cada imagem foi processada digitalmente de modo a gerar mapas superficiais de parâmetros geofísicos de interesse, tais como a concentração de clorofila a (CSM) e coeficientes de absorção pelo fitoplâncton (a_{fito}) nos comprimentos de onda 412, 443, 488, 531, 551, 667 e 678 nm dentro dos limites geográficos amostrados *in situ*.

As concentrações de clorofila- a foram estimadas através do algoritmo OC3 a partir de razões entre bandas $R(\text{razão máxima})$ $sr443/Rsr551$ ou $Rsr488/Rsr551$ (O'Reilly *et al.*, 2000).

3 Resultados

Para distinguir águas com influências costeiras com diferentes propriedades físico-química e bio-ópticas foi utilizado um critério de organização baseado nas estações localizadas sobre a plataforma continental (a partir 19 metros) e sobre o talude em direção às maiores profundidades (4034 metros).

Para melhor visualização e compreensão do conjunto de dados hidrográficos coletados nas estações em diferentes profundidades foram feitas seções verticais ao longo das 12 radiais, sendo a primeira (R1) localizada mais ao norte da área de estudo e, em ordem sequencial, a última (R12), no extremo sul da área de estudo (Figura 2).

3.1 Seções verticais

3.1.1 Temperatura

A Figura 8 apresenta as seções verticais de temperatura referentes às doze radiais ocupadas durante o cruzeiro de Abrolhos em 2007. Em todas as seções em que a profundidade local é superior a 200 metros de profundidade, pode ser observada a estratificação da coluna d'água (Figura 7). A termoclina variou entre 54 e 150m profundidade. As estratificações mais rasas foram observadas nas radiais mais ao norte e as mais profundas ao sul, mantendo a média em 109m.(Tabela 3).

Nas seções onde a profundidade local é inferior a 50m, a coluna d'água apresenta-se completamente homogênea, ou seja, a camada de mistura inicia-se na superfície e alcança o solo marinho. Essa característica pode ser observada em pontos amostrados na R5, em que a profundidade local máxima é de 55m.

Em toda área amostrada, o valor médio da temperatura foi de 23,66°C. No limite da zona eufótica, a média diminuiu para $22,67 \pm 2,10$ °C, nas estações do talude foi de $23,03 \pm 2,26$ °C e nas estações mais rasas sobre a plataforma, a média passou para $24,37 \pm 0,67$.

Nas seções localizadas mais ao sul (R9, R10, R11 e R12) podem ser observados valores de temperatura decrescendo do talude em direção a plataforma gerando um gradiente.

3.1.2 Salinidade

Em toda área amostrada o valor médio da salinidade foi de 37,08. No limite da zona eufótica, a média diminuiu para $36,89 \pm 0,45$, nas estações do talude foi de $36,95 \pm 0,46$ e nas estações mais rasas sobre a plataforma a média foi de $37,23 \pm 0,22$. As menores concentrações de sal foram observadas na R9 na quebra da plataforma com o talude.

Os perfis verticais da salinidade (Figura 8) seguem a mesma tendência dos perfis de temperatura descritos anteriormente, diminuindo suas concentrações conforme o aumento da profundidade. Nas radiais e estações sobre a plataforma continental as águas tornam-se também homogêneas.

Esses padrões de salinidade acompanhados com os de temperatura são característicos da ACAS e podem ser observados pela tendência apresentada no diagrama da temperatura pela salinidade (T/S) na figura 9.

Figura 7 - Seções verticais da temperatura durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.

Figura 8 – Seções verticais da salinidade durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos, em 2007.

Figura 9– Diagrama da Temperatura (°C) pela Salinidade (TS) de todas as estações de coleta durante o cruzeiro do ProAbrolhos, no inverno de 2007.

Tabela 3 – Valores da profundidade (m) máxima e mínima da zona eufótica e termoclina.

	Plataforma		Talude	
	Zona Eufótica	Termoclina	Zona Eufótica	Termoclina
Média	32m	-	70m	109m
Máximo	81m	-	100m	150m
Mínimo	5m	-	43m	54m

3.1.3 Nutrientes dissolvidos

As concentrações mínimas detectadas e as máximas do nitrito dissolvido sobre a plataforma continental variaram entre 0,02 e 0,18 μM obtendo a média de 0,06 μM . No talude, o menor valor foi 0,02 μM , por outro lado o maior valor do nitrito observado foi 0,33 μM mantendo a mesma média das concentrações em 0,06 μM (Tabela 4).

Nas seções verticais do nitrito (Figura 10) é possível observar que as maiores concentrações ficaram entre R2 e R4, sendo que em R3 essas concentrações alcançam a superfície sobre a plataforma e nas menores profundidades onde existem elevações no talude. Já nas Radiais R4 e R10, as concentrações elevadas do nitrito ficaram abaixo de 100m de profundidade. Não há um gradiente de concentração, porém em R2 a distribuição do nitrito em todo o perfil ficou limitada a estratificação da coluna d'água. Já em R11, ao sul da região, as concentrações foram muito baixas ou não detectáveis.

As concentrações mínimas detectadas e as máximas do nitrato dissolvido sobre a plataforma continental variaram entre ND (não detectado) e 0,50 μM obtendo a média de 0,16 μM . No talude, as menores concentrações também não foram detectadas, porém a máxima concentração de nitrato nas regiões mais profundas alcançou 5,72 μM , porém a média das concentrações ficou em 0,06 μM (Tabela 4).

Nas seções verticais do nitrato (Figura 11) é possível observar que as maiores concentrações estão abaixo da camada de mistura, ou seja, o afloramento dessas concentrações está limitado pela estratificação da coluna d'água. Sendo assim, menores concentrações estão entre a superfície e ~50m. Mesmo na área sobre a plataforma, onde não há estratificação da coluna, as concentrações são baixas em relação às observadas abaixo da termoclina.

É possível observar que em R9, onde estão as maiores concentrações de nitrato, também ocorrem as maiores diferenças de temperatura entre 100 e 150m de profundidade.

As concentrações mínimas detectadas e as máximas do fosfato dissolvido sobre a plataforma continental variaram entre 0,45 e 4,52 μM obtendo a média de 1,85 μM . No talude, a menor concentração foi de 0,17 e a máxima foi de 3,18 μM , a média das concentrações ficou em 0,98 μM (Tabela 4).

Nas seções verticais apenas em R1 as concentrações de fosfato puderam ser observadas abaixo de 100m de profundidade, sendo o seu afloramento regulado pela termoclina dessa região. Nos demais perfis é possível observar um gradiente do talude em direção à plataforma continental, da mesma forma que as maiores concentrações entre (R2 e R12) são observadas em águas de superfície sobre plataforma continental.

As concentrações mínimas detectadas e as máximas do silicato dissolvido sobre a plataforma continental variaram entre 0,24 e 0,72 μM obtendo a média de 0,46 μM . No talude, a menor concentração foi de 0,05 e a máxima foi de 2,07 μM , a média das concentrações ficou em 0,36 μM (Tabela 4).

Nas seções verticais não foi possível observar nenhum gradiente, porém os maiores valores foram observados entre 100 e 150m de profundidade em R2 e em R7 abaixo de 150m. Mais uma vez R11 apresentou as menores concentrações ou estiveram abaixo do limite de detecção de 0,01 μM .

Figura 10 – Seções verticais das concentrações de Nitrito (μM) durante o cruzeiro de inverno do ProAbrolhos em 2007.

Figura 11 – Seções verticais das concentrações de Nitrato (μM) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.

Figura 12 – Seções verticais das concentrações de Fosfato (μM) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.

Figura 13 – Seções verticais das concentrações de Silicato (μM) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.

Figura 14 – Seções verticais das concentrações de Amônia (μM) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.

Tabela 4 – Valores máximos e mínimos das concentrações dos nutrientes dissolvidos sobre a plataforma e o talude durante cruzeiro de inverno do ProAbrolhos em 2007.

	Plataforma					Talude				
	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Silicato (μM)	Fosfato (μM)	Amônia (μM)	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Silicato (μM)	Fosfato (μM)	Amônia (μM)
Média	0,06	0,16	0,46	1,85	0,23	0,06	0,52	0,36	0,98	0,17
Máximo	0,18	0,50	0,72	4,52	0,62	0,33	5,72	2,07	3,18	0,45
Mínimo	0,02	ND	0,24	0,45	ND	0,02	ND	0,05	0,17	ND

3.1.4 Clorofila_a Total

A concentração mais baixa da clorofila_a total observada em toda a área de estudo foi de $0,01\text{mg.m}^{-3}$ e o máximo de clorofila total (Zmc) foi de apenas $1,33\text{mg.m}^{-3}$ sobre o talude em R4. A média da clorofila_a total em toda área de estudo ficou em $0,29\text{ mg.m}^{-3}$ (Tabela 6).

Nos perfis verticais é possível observar que os Zmc ficam acima da termoclina nos pontos de coleta com as maiores profundidades locais ($>200\text{m}$) ou, onde não há uma termoclina e há apenas a camada de mistura, as maiores concentrações estão próximas a superfície. Também é possível observar um gradiente da região oceânica em direção a região costeira (Figura 15).

Figura 15– Seções verticais de clorofila *a* Total (mg.m⁻³) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.

3.1.5 Clorofila_a Fracionada

As concentrações de clorofila_a total maior que 20µm (microplâncton) apresentaram grandes contribuições na superfície da água nas radiais R3, R5 e R7 sendo que estas estações de coleta estão sobre a plataforma continental ou profundidades menores que 200m (Figura 16). Por outro lado, as menores células do fitoplâncton, o picoplâncton (>0,2µm), foram as que menos contribuíram (Figura 17) para a biomassa sobre águas mais rasas (R5 e R7).

Na figura 18 é possível observar que em algumas radiais o nanoplâncton esteve mais presente em regiões em águas mais profundas e o microplâncton e em águas mais rasas.

Ao obter a média das contribuições de cada classe de tamanho para a biomassa total do fitoplâncton e distribuí-las conforme o local de coleta (plataforma ou talude), o gráfico da Figura 20 mostra que as menores células foram as que mais corroboraram para a biomassa da região do talude. As células do nanoplâncton foram as que mais contribuíram para a biomassa do fitoplâncton sobre a plataforma continental.

A Figura 21 mostra a distribuição do tamanho das células por todas as profundidades amostradas em toda área de estudo. Nesse caso, as células do micro- e do nanofitoplâncton não apresentam nenhum de padrão de distribuição nem fatores limitantes aparentes. As menores células (picoplâncton) corroboraram com as maiores concentrações acima de ~40m de profundidade, podendo ser limitadas pela camada de penetração da luz, ou pela disponibilidade de nutrientes.

Figura 16 - Seções verticais de clorofila *a* fracionada (mg.m⁻³) de 20µm durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.

Figura 17 - Seções verticais de clorofila *a* fracionada de 2 μ m (mg.m⁻³), durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.

Figura 18 - Seções verticais de clorofila *a* fracionada de $0,2\mu\text{m}$ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.

Células de superfície

Figura 19– Concentrações (%) das clorofilas a fracionadas ao longo das Radiais.

Figura 20 - Comparação da biomassa fracionada coletada em águas da plataforma continental e o talude (0 – 150 metros).

Figura 21 - Distribuição vertical da clorofila_a fracionada em diversas profundidades da área de estudo do ProAbrolhos.

Tabela 5 - Valores máximos e mínimos das concentrações de clorofila_a (mg.m^{-3}) sobre a plataforma e o talude durante cruzeiro de inverno do ProAbrolhos em 2007.

	Plataforma				Talude			
	Total	20 μm	2 μm	0,2 μm	Total	20 μm	2 μm	0,2 μm
DVP	0,265	0,132	0,059	0,188	0,123	0,091	0,065	0,022
Média	0,496	0,162	0,161	0,182	0,184	0,080	0,098	0,034
Máximo	1,031	0,452	0,263	0,659	0,455	0,445	0,227	0,092
Mínimo	0,104	0,000	0,051	0,038	0,018	0,004	0,005	0,004

3.1.6 Concentrações celulares

Na Figura 22 é possível observar que as menores células estimadas por meio da citometria por fluxo foram as que mais contribuíram para a concentração celular, tanto na plataforma como no talude. Sendo que as células que floresceram no comprimento da ficoeritrina (*Synechococcus sp.*) obtiveram as maiores concentrações celulares na região da plataforma e as células picoeucariótica foram as que mais corroboraram com as concentração sobre o talude.

Com exceção de R10, as contribuições das células do nanoplâncton foram observadas abaixo dos 50m de profundidade. Por outro lado observa-se um gradiente da plataforma em direção ao talude das células do picoplâncton, sendo essas concentrações limitadas pela estratificação da coluna d'água nos pontos mais próximos a plataforma (Figura 23 e 24).

Assim como a biomassa fitoplanctônica fracionada foi sustentada por células menor que 2 μ m, as maiores contribuições para as concentrações de célula por Litro em toda área de estudo também foram sustentadas pelas menores células contadas através da citometria (Figura 25).

Figura 22 - Seções verticais das concentrações das células do nanoplâncton (Cel/L) através da citometria por fluxo durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.

Figura 23 - Seções verticais das concentrações das células do pico (Cel/L) através da citometria por fluxo durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos em 2007.

Figura 24 – Concentrações celulares (Log_{10}) distribuídas por tamanho sobre a plataforma e o talude

Figura 25 - Concentrações celulares (Log_{10}) distribuídas por tamanho em diferentes radiais

Tabela 6 – Valores de máximo e mínimo das concentrações do fitoplâncton (cel/L) analisadas por citometria e distribuídas sobre a plataforma continental e o talude.

	Plataforma			Talude		
	Eucariótico 2 (µm)	Eucariótico 0,2 (µm)	Procariótico Synechococcus	Eucariótico 2 (µm)	Eucariótico 0,2 (µm)	Procariótico Synechococcus
Média	2,3E+03	2,8E+04	3,9E+04	3,6E+03	2,5E+04	1,1E+04
Máximo	4,0E+04	1,1E+05	1,3E+05	2,6E+04	8,9E+04	4,7E+04
Mínimo	1,2E+02	1,5E+03	6,2E+03	5,7E+01	2,3E+02	3,3E+00

3.2 Distribuição horizontal

3.2.1 Temperatura

Na Figura 26 é possível observar que há campos de temperatura variando da região mais ao norte em direção ao sul. Entre as cidades de Caravelas e Belmonte foram observadas as mais elevadas temperaturas em águas superficiais e mais ao sul, abaixo da cidade de Vitória, é possível observar uma água mais fria contornando o continente nessa região.

Observando a distribuição horizontal a 180m de profundidade (Figura 26) é possível verificar a intrusão de águas com temperaturas mais baixas contornando a quebra da plataforma continental entre R9 e R12. Essa mesma água segue da plataforma em direção ao talude em R9 quando há a diminuição da profundidade, formando assim um corredor de águas mais frias, provavelmente Água Central do Atlântico Sul (ACAS) sob a Água Costeira (AC).

3.2.2 Salinidade

Os valores de máxima e mínima da salinidade na superfície da água nas radiais pouco variaram (37,5 e 36,5). Assim como foi observado o aumento da temperatura em direção ao norte, pôde ser observado também o aumento da salinidade nessa mesma direção e as águas de superfície menos salinas ficaram ao sul da cidade de Vitória contornando a costa.

Seguindo o mesmo padrão de deslocamento das águas mais frias a 180m de profundidade, as baixas concentrações de salinidade também contornaram ao sul da quebra da plataforma continental e seguiram em direção ao talude em R9, aflorando novamente nessa mesma profundidade ao norte da área de estudo (Figura 27).

Devido a essas diferenças de temperatura e salinidade apresentadas e conforme o aumento da profundidade, ocorre a estratificação da coluna d'água em toda área de estudo com profundidade acima ~100m.

Figura 26 – Distribuição horizontal da temperatura (°C) na superfície e a 180 m de profundidade durante o cruzeiro de inverno do ProAbrolhos 2007

Figura 27 - Distribuição horizontal da salinidade na superfície e 180 m de profundidade durante o cruzeiro de inverno do ProAbrolhos 2007.

3.2.3 Nutrientes dissolvidos

Em águas de superfície é possível observar que as maiores concentrações do Nitrito estão próximas à costa, principalmente da cidade de Caravelas onde o Rio Caravelas desemboca no mar. Mais ao norte existe também a influência do Rio Caí.

Na área mais ao sul, fora da plataforma continental, em algumas estações, as concentrações do Nitrito foram as mais baixas ou até mesmo não detectadas (Figura 28).

As concentrações do Nitrato foram baixas ou não detectáveis nas radiais mais ao norte acima da cidade de Vitória, principalmente sobre o talude. Com exceção de R9, as maiores concentrações são observadas próximas ao continente, principalmente na saída de rios, como da cidade de Vitória (Figura 28).

As maiores concentrações do fosfato foram todas observadas nas estações próximas ao continente, provavelmente por influência antrópica nos rios que desembocam no mar, como o Rio Caravelas e Caí (Figura 29).

Mais uma vez no talude, em R9 foram observadas altas concentrações de nutrientes, como o silicato e amônia, e um gradiente pela costa em direção ao norte da área de estudo, entre as cidades de Vitória e Belmonte, (Figura 29).

A razão entre as concentrações dos nutrientes nitrogenados N:P (Nitrito + Nitrato + Amônia) pelo Fosfato pode indicar a presença de determinados grupos de fitoplâncton ou limitar o crescimento. A distribuição do resultado dessa razão mostrou os maiores valores sobre o talude ao sul da área de estudo, porém não foi detectada nenhuma relação com as concentrações de células do fitoplâncton nem com a clorofila_a Total ou Fracionada (Figura 30).

Figura 28 – Distribuição horizontal das concentrações de Nitrito e Nitrato μM durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.

Figura 29– Distribuição horizontal das concentrações de Fosfato e Silicato μM durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.

Figura 30– Distribuição horizontal das concentrações de Amônia μM e da razão N:P durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.

3.2.4 Clorofila_a Total

Na Figura 34, pode ser observado na superfície da água o aumento das concentrações de clorofila *a* em direção a região costeira, principalmente próxima a Caravelas, onde a concentração máxima de clorofila *a* total foi de $1,2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Comparando os valores de clorofila *a* total extraída com os valores de fluorescência (perfilador) obtidos ao longo do cruzeiro, pode-se observar que ambos apresentam a mesma tendência das concentrações.

As estimativas de clorofila *a* total obtidas durante o cruzeiro de inverno mostram que a região de estudo possui características de águas oligotróficas. Essa observação se deve ao fato de que há baixas concentrações de clorofila *a* ($0,01 - 1,20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) em boa parte da área estudada (Figura 31).

Diferente das seções verticais onde os máximos de clorofila (Z_{mc}) no talude ficam em torno de 100 metros de profundidade, limitados pela disponibilidade de nutrientes abaixo da termoclina, na distribuição horizontal, os Z_{mc} são observados sobre a plataforma continental e sob a influência de rios.

Figura 31 - Distribuição horizontal das concentrações de clorofila a total (mg.m^{-3}) e da fluorescência (mg.m^{-3}) na superfície da água durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.

Tabela 7 – Valores da clorofila_a fracionada sobre a Plataforma e o Talude, Proabrolhos, 2007

	Plataforma				Talude			
	Clorofila_a Total	Clorofila_a 20 μm	Clorofila_a 2 μm	Clorofila_a 0,2 μm	Clorofila_a Total	Clorofila_a 20 μm	Clorofila_a 2 μm	Clorofila_a 0,2 μm
Média	0,50	0,16	0,16	0,18	0,184	0,064	0,098	0,034
Máximo	0,104	0,003	0,509	0,379	0,018	0,005	0,005	0,004
Mínimo	1,030	0,452	0,262	0,658	0,455	0,445	0,227	0,092

3.2.5 Análise estatística dos parâmetros físico-químicos e clorofila_a Total

A análise em componentes principais extraiu dois eixos com uma porcentagem acumulada de explicação de 56,7% da variância total dos dados, sendo o eixo I responsável por 34,6% e o eixo II, por 22,1% (Tabela 8 e Figura 29). Suas correlações com os eixos da ACP estão demonstrados na Tabela 9.

O Eixo I está correlacionado positivamente com as seguintes variáveis apresentadas em ordem decrescente de importância: temperatura, salinidade e clorofila *a*, no lado positivo, e nitrato, silicato e fosfato, no lado negativo. O Eixo I ordenou as amostras em função da profundidade de coleta, de modo que as amostras da camada de água superficial quente e salina estão concentradas no lado positivo deste eixo; em contraposição àquelas da camada de água profunda 100-200 metros, apresentando temperaturas e salinidades mais baixas e maiores teores de nitrato, silicato e fosfato, dispostas no lado negativo deste eixo.

O Eixo II é formado em seu lado positivo pelo fosfato, nitrito, clorofila *a*, amônia e silicato, listados em ordem decrescente de importância. O eixo II ordenou principalmente as amostras em função dos teores de clorofila *a*, fazendo com que as estações de profundidades intermediárias (máximo profundo de clorofila *a*) ou superficiais de estações rasas fossem dispostas do lado positivo deste eixo em contraposição às demais (Figura 32).

Figura 32 - Distribuição dos pontos amostrais no plano fatorial I-II da ACP dos dados físicos, químicos e biológicos. Os auto-vetores estão representados por setas e os triângulos representam os pontos amostrais.

Tabela 8 – Correlação das variáveis físicas, químicas e biológicas na formação dos eixos da ACP.

	Eixo I	Eixo II
Autovalores	2,765	1,768
Porcentagem	34,56	22,00
Porcentagem acumulada	34,56	56,66

Tabela 9 - Síntese dos resultados da ACP realizada a partir das variáveis físicas, químicas e biológicas.

	Eixo I	Eixo II
Temperatura	0,577	0,021
Salinidade	0,574	0,003
Nitrito	-0,029	0,520
Nitrato	-0,500	-0,019
Silicato	-0,152	0,290
Fosfato	-0,151	0,532
Amônia	-0,070	0,372
Clorofila a	0,192	0,472

3.2.6 Clorofila_a Fracionada

A distribuição horizontal da clorofila_a em função dos diferentes tamanhos das células do fitoplâncton 20, 2 e 0,2 μ m segue a mesma tendência da clorofila Total, em que os Zmc são observados sobre a plataforma continental e próximos à costa.

Diferente dos Zmc apresentados nas seções verticais onde as concentrações máximas foram sustentadas pelas células do nanoplâncton (2 μ m) e picoplâncton (0,2 μ m), na Figura 30 é possível observar que as células nanoplâncton foram as que menos contribuíram seguidas pelas células do microplâncton que mostram uma distribuição na superfície em função da plataforma continental.

Por outro lado, as concentrações do picoplâncton se restringiram aos pontos de coletas mais próximos do continente onde a maior concentração de clorofila e a maior contribuição relativa aos diferentes tamanhos foram observadas no ponto mais próximo a saída do Rio Caravelas (Figura 33).

Figura 33 – Distribuição horizontal das concentrações de clorofila *a* Fracionada (mg.m⁻³) na superfície da água durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.

3.2.7 Análise estatística da clorofila_a fracionada

Através de regressões lineares foram realizados diversos testes para uma possível relação entre as diferentes concentrações de clorofila_a fracionada, os nutrientes e a profundidade de coleta.

Testes foram realizados entre todas as frações de tamanho por cada tipo de nutriente disponível e somente houve uma relação direta com o Fósforo. Nas figuras 34 e 35 o R^2 entre as concentrações em 20 e 2μm, em relação ao fósforo, não ultrapassou 0,09. Por outro lado, na Figura 36 é possível observar a boa relação entre as menores células e as concentrações de Fósforo, alcançando um R^2 em 0,69. Essa relação direta e positiva é também observada nas distribuições horizontais tanto do picoplâncton como a distribuição do fósforo.

Para verificar se há alguma relação com os tamanhos de fração com as profundidades amostradas, também foram aplicados testes de regressão linear.

Novamente a resposta do picoplâncton em função da profundidade foi maior que as outras frações onde o R^2 foi de 0,73 (Figura 40), seguido pelo nanoplâncton com $R^2=0,40$.

Essa boa relação direta do picoplâncton com a profundidade aponta para uma limitação dessas pequenas células em relação à disponibilidade de luz na coluna d'água, pois suas concentrações diminuem conforme o aumento da profundidade (Figura 39).

As concentrações de clorofila_a Total foram testadas com as contribuições relativas das concentrações fracionadas. Tanto com o micro- e com o nanoplâncton, o R^2 dessas frações não ultrapassou 0,53 e 0,40 (Figura 40 e 41). A regressão linear mostrou que, em média, a biomassa da área de estudo é sustentada ($R^2=0,73$) pelas células do picoplâncton (Figura 42).

Figura 34 – Diagrama do Fوسفato (µM) em função da clorofila_a 20µm.

Figura 35 - Diagrama do Fوسفato (µM) em função da clorofila_a 2µm.

Figura 36 - Diagrama do Fوسفato (µM) em função da clorofila_a 0,2µm.

Figura 37 - Diagrama da Profundidade (m) em função da clorofila_a 20µm.

Figura 38 - Diagrama da Profundidade (m) em função da clorofila_a 2µm.

Figura 39 - Diagrama da Profundidade (m) em função da clorofila_a 0,2µm.

Figura 40 - Diagrama da clorofila_a Total em função da clorofila_a 20μm.

Figura 41 - Diagrama da clorofila_a Total em função da clorofila_a 2μm.

Figura 42 - Diagrama da clorofila_a Total em função da clorofila_a 0,2μm.

3.2.8 Concentrações celulares

A abundância das células do fitoplâncton e a sua distribuição geográfica na superfície da água do mar sobre a área de estudo foi estimada a partir da contagem e separação por tamanho por meio da citometria em fluxo.

Nas radiais R1, R3, R5 e R7, situadas ao norte da região, houve o predomínio por células do picoplâncton procarióticas (*Synechococcus sp.*) principalmente em R5 onde a maior concentração foi de $1,3E+05$ cel/L (Figura 43). É observado também um gradiente dessas células contornando a costa. No setor sul, o predomínio foi pelas células eucarióticas também do picoplâncton alcançando as maiores concentrações celulares nas estações de coleta próximas à cidade de Vitória (Figura 43).

As células do nanoplâncton foram as que menos contribuíram em toda a superfície da região, tendo um pequeno aumento de suas concentrações próximo também à cidade de Vitória (Figura 44).

Figura 43 – Distribuição (cel/L) horizontal das células eucarióticas do nanoplâncton (A) e do picoplâncton (B) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.

Figura 44 – Distribuição (cel/L) horizontal das células procarióticas do picoplâncton (*Synechococcus sp.*) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.

3.3 Material particulado e dissolvido

A Figura 45 mostra a distribuição horizontal da absorção da luz pelo fitoplâncton (a_{fito}) em 443 e 667nm, valores obtidos por espectrofotometria, da mesma forma que na Figura 45 está a distribuição horizontal da absorção dos detritos (a_{det}) e da matéria orgânica dissolvida colorida (a_{cdom}) ambos em 443nm.

A distribuição do a_{fito} em 443nm obteve os maiores valores sobre a região da plataforma mais distante da costa e predominando sobre a região mais ao sul entre R6 R12. Os maiores valores de a_{fito} em 667nm se concentraram próximos a costa, principalmente, às cidades de Caravelas e Vitória seguindo as mesmas tendências da distribuição da clorofila_ a sobre a plataforma continental.

As maiores absorções dos detritos se restringiram às regiões costeiras, podendo-se observar um gradiente do talude em direção à plataforma onde há saídas de grandes rios, como em Caravelas (Figura 46).

Na Figura 46, a distribuição horizontal do a_{cdom} não segue nenhuma tendência nem gradientes, sua distribuição mostra tanto valores mais elevados, como os menos valores sobre o talude como a plataforma, ou seja, a matéria orgânica dissolvida está sobre toda área de estudo. Essa forma de distribuição provavelmente aponta para a influência dos bancos de recifes coralinos espalhados no fundo oceânico em toda a área de estudo mesmo sobre o talude.

Figura 45 - Distribuição horizontal da absorção (m^{-1}) do fitoplâncton em 443nm (A) e em 667nm (B) durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.

Figura 46 - Distribuição horizontal da absorção (m^{-1}) dos detritos (A) e do CDOM em 443nm durante o cruzeiro de inverno, ProAbrolhos 2007.

Para um melhor estudo dos compartimentos bio-ópticos foram elaborados diagramas ternários para verificar as colaborações relativas que são representadas por diferentes cores (verde, cinza e vermelho), conforme o agrupamento das contribuições nos diagramas (Figura 47).

É possível observar uma maior contribuição dos detritos próxima à cidade de Caravelas em direção a Belmonte, com o predomínio da matéria orgânica dissolvida. Já a contribuição da absorção do fitoplâncton se concentrou mais ao sul da área de estudo, porém não há uma tendência, nem um gradiente (Figura 47).

Figura 47 - Diagrama ternário das colaborações relativas das absorções do a_{fita} , $a_{det.}$ e a_{cdom} em 443nm, separadas por agrupamentos e distribuídas no mapa sobre as estações de coleta do ProAbrolhos 2007.

3.3.1 Coeficiente de absorção do fitoplâncton

Com o objetivo de identificar pelo menos três tamanhos diferentes do fitoplâncton a partir dos coeficientes de absorção a_{fito} em 443nm, cada curva espectral da absorção da luz pelo fitoplâncton foi parametrizada de acordo com o descrito em Ciotti *et al.* (2002). Para tanto, o coeficiente de absorção de luz pelo fitoplâncton, $(a_{fito}(\lambda), m^{-1})$ foi inicialmente normalizado pelo valor de absorção médio, computado dentro de espectro do visível (entre 400 e 700 nm), gerando $\langle a_{fito} \rangle(\lambda)$. Essa normalização ocorreu para minimizar as diferenças nas concentrações de células de fitoplâncton, que controlam a magnitude geral da curva de absorção e independem da concentração de clorofila *a*. Em seguida, os picos de absorção do fitoplâncton em 443nm foram separados conforme a predominância das classes de tamanho em cada amostra nas concentrações de clorofila *a* ($mg.m^{-3}$) fracionada.

Nas Figuras 48, 49 e 50 são apresentados espectros de absorção (Abs.) do fitoplâncton entre 400 e 700nm obtidos por espectrofotometria.

Os espectros da Figura 45 foram separados a partir das contribuições de clorofila_a Fracionada de 20 μm , obtendo valores dos coeficientes de Abs. em 443nm variando entre 1,5 e 1,8 m^{-1} (Figura 51). Já os espectros referentes à fração de tamanho de 2 μm ficaram entre 1,8 e 2,1 m^{-1} (Figura 51). Por fim, os espectros separados a partir das concentrações de clorofila_a de 0,2 μm obtiveram os coeficientes de absorção acima de 2,1 m^{-1} (Figura 51).

Após a separação dos espectros por tamanho do fitoplâncton foram realizadas as médias para cada fração (Figura 51) estabelecendo valores únicos em 443nm.

Figura 48 - Espectros de a_{fitop} normalizados [$a_{fitop}(\lambda)/\langle a_{fitop} \rangle$] e selecionados segundo a predominância das classes de tamanho de $20\mu m$ a partir das concentrações de clorofila a ($mg.m^{-3}$), ProAbrolhos 2007.

Figura 49- Espectros de a_{fitop} normalizados [$a_{fitop}(\lambda)/\langle a_{fitop} \rangle$] e selecionados segundo a predominância das classes de tamanho de $2\mu m$ a partir das concentrações de clorofila a ($mg.m^{-3}$), ProAbrolhos 2007.

Figura 50- Espectros de a_{fito} normalizados $[a_{fito}(\lambda)/\langle a_{fito} \rangle]$ e selecionados segundo a predominância das classes de tamanho de $0,2\mu m$ a partir das concentrações de clorofila a ($mg.m^{-3}$), ProAbrolhos 2007.

Figura 51 - Média dos espectros de absorção do fitoplâncton normalizados $[a_{fito}(\lambda)/\langle a_{fito} \rangle]$ selecionados segundo a predominância das classes de tamanho a partir das concentrações de clorofila a ($mg.m^{-3}$) durante o ProAbrolhos 2007.

3.4 Sensoriamento remoto

3.4.1 Clorofila_a

As Figuras 52 e 53 apresentam imagens com estimativas de clorofila_a OC3M processadas em nível L2 dos sensores MODIS-Aqua. Cada imagem representa a média de três dias durante as datas de que foram realizadas as coletas de clorofila_a *in situ* durante o cruzeiro do ProAbrolhos de 2007.

Os tons de azul, nas áreas mais ao largo nas imagens, representam concentrações mais baixas de clorofila *a* ($< 0,2 \text{ mg.m}^{-3}$) típicas de águas oligotróficas da Corrente do Brasil (CB). As águas mais ricas, em tons de amarelo a vermelho, ocorrem nas áreas mais costeiras e associadas com feições batimétricas. Comparativamente, pode-se observar que as concentrações de clorofila *a* aumentaram, em média, da primeira (Figura 49-A) para a segunda (Figura 49-B), apesar da maior cobertura de nuvens presentes entre 28 e 31/07/2007. A partir daí, as concentrações médias decrescem. Este padrão de comportamento dos campos superficiais de clorofila *a* pode estar associado a sistemas atmosféricos, como passagens de frentes e ventos intensos durante o inverno.

As imagens também apresentam o mesmo padrão de distribuição das concentrações de clorofila *in situ*, onde as concentrações mais elevadas praticamente ficaram sobre a plataforma continental.

Entre os dias 08 e 13/07/ 2007 (Figura 50-A, B) podem ser observados valores mais elevados próximos à cidade de Vitória.

A presença de vórtices também são feições normalmente observadas nessa área de estudo. A primeira descrição hidrográfica e dinâmica desses vórtices, localizado geralmente a cerca de 100 km do litoral de Vitória, foi realizada por SCHMID *et al.* (1995), numa campanha de medição oceanográfica ao largo da região que inclui a cadeia Vitória – Trindade. Tal vórtice também foi detectado por GAETA *et al.* (1999). Os autores encontraram um vórtice ciclônico de 50 km de diâmetro, com núcleo frio, centrado na latitude de 20,3°S e longitude 38,9°W. A análise de nutrientes e de fitoplâncton apresentada por estes, mostrou pela primeira vez, que o bombeamento de águas mais ricas pelo vórtice de Vitória contribuiu significativamente para o aumento da produção fitoplanctônica nas águas tropicais da costa leste do Brasil.

A formação de vórtices na área de estudo também foi observada durante o período desse trabalho (inverno de 2007) a 160 km de distância da costa, seu centro localizado na latitude 21,45°S e longitude 39,24°W com aproximadamente 55 km de diâmetro (Figura 54)

Devido às más condições meteorológicas e de navegação, não foi possível amostrar essa região onde ocorreu o vórtice.

Figura 52 - Concentrações de clorofila *a* estimadas a partir de dados MODIS-Aqua, algoritmo OC3M, para a região do Banco de Abrolhos e adjacências. 25-27/07/07; 28/07-31/07/07; 01-03/08/07 e 04-07/08/07

Figura 53 - Concentrações de clorofila *a* estimadas a partir de dados MODIS-Aqua, algoritmo OC3M, para a região do Banco de Abrolhos e adjacências. 08-10/08/07; 11-13/08/07 e 14-15/07/08.

Figura 54 – Vórtice observado de clorofila *a* estimadas a partir dos sensores MODIS-Aqua, algoritmo OC3M, na do Banco de Abrolhos, inverno de 2007.

Para verificar a qualidade dos valores das concentrações de clorofila_a estimadas por satélite foi feito o teste de regressão linear entre os dois parâmetros. O resultado apresentado é uma boa correlação direta entre esse dois compartimentos, onde o valor de R^2 foi de 0,72, ou seja, as medidas através do algoritmo OC3 para essa área de estudo são confiáveis (Figura 55).

Nos diagramas seguintes (Figura 56) também foram realizados testes através da regressão linear para verificar as relações entre a clorofila_a OC3 e os coeficientes de absorção (a_{fito}) em 443, 488, 667 e 678nm obtidos também por imagens MODIS-Aqua através do modelo de Carder.

A maior relação entre a clorofila a OC3 e a_{fito} foi observada nos comprimentos 667 e 678nm onde o valor do R^2 foi de 0,71 para ambas as regressões lineares. Já os coeficientes em 443 e 488nm o R^2 diminui para 0,33 e 0,55 respectivamente (Figura 56).

Figura 55 - Diagrama de dispersão da clorofila a OC3 versus a clorofila a *in situ* medida durante o inverno do ProAbrolhos 2007.

Figura 56 – Diagrama de dispersão das clorofilas *a* OC3 obtidas por satélite (MODIS) versus as concentrações de a_{fit} m⁻¹ em diferentes comprimentos de onda, A(443nm), B(488nm), C(667nm) e D(678nm) durante o inverno do ProAbrolhos 2007.

3.4.2 Coeficientes de absorção do fitoplâncton por frações de tamanho

Com a intenção de gerar imagens de satélites para identificar a distribuição horizontal das contribuições relativas de pelo menos três tamanhos diferentes do fitoplâncton sobre a superfície do mar na área de estudo, foram utilizados modelos semi-analíticos (a_{fito_Carder}) a partir dos sensores MODIS.

Esses produtos foram comparados aos valores de absorção espectrais de a_{fito} em 443nm *in situ* e separados por tamanho utilizando a mesma técnica descrita anteriormente para a obtenção das médias dos coeficientes a_{fito} em cada fração de tamanho. A partir dessas médias, cada valor geo-referenciado de a_{fito} foi separado, gerando um novo conjunto de dados. Cada conjunto de dados equivale a uma fração de tamanho que, posteriormente, foram plotados sobre a área de estudo (Figuras 57, 58 e 59).

A Figura 60 mostra uma imagem da distribuição relativa dos coeficientes de a_{fito} por sensoriamento remoto referente às células do picoplâncton da área estudada. Apesar da ausência de dados em algumas áreas devido à presença de nuvens, é possível observar que essas células ocupam águas mais profundas e o entorno da plataforma continental. Por outro lado, a imagem por satélite da Figura 55 mostra que as células do nanoplâncton obtiveram uma contribuição relativa mais expressiva sobre a plataforma continental, principalmente entre as cidades Caravelas e Vitória. Por fim, os coeficientes a_{fito} relativos às maiores células (microplâncton) pouco predominaram sobre as demais frações, podendo observar as maiores concentrações próximas à costa, ao norte da cidade de Vitória (Figura 56). A Figura 57 é uma imagem sobreposta da distribuição das três frações de tamanho do fitoplâncton simultaneamente.

Figura 57 – Imagem de satélite MODIS-Aqua relativa ao picoplâncton (coeficientes $a_{fitô\ 443nm}$) durante o ProAbrolhos 2007.

Figura 58 – Imagem de satélite MODIS-Aqua relativa ao nanoplâncton (coeficientes $a_{fitô\ 443nm}$) durante o ProAbrolhos 2007.

Figura 59 – Imagem de satélite MODIS-Aqua relativa ao microplâncton (coeficientes $a_{fitô\ 443nm}$) durante o ProAbrolhos 2007.

Figura 60 – Imagem de satélite MODIS-Aqua com as contribuições relativas de cada fração de tamanho do fitoplâncton (coeficientes $a_{fito\ 443nm}$) durante o ProAbrolhos 2007. – Verde (picoplâncton), Vermelho (picoplâncton) e Azul (microplâncton)

CAPÍTULO 3

Atlântico Sul (Brasil x África)

1 Área de estudo

1.1 Características gerais

Esta porção subtropical do Atlântico Sul é marcada por importantes feições oceanográficas, como as Correntes do Brasil e Malvinas, a Convergência Subtropical, a recirculação da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e o sistema de Correntes de Bengala e Agulhas (Figura 61)

Do ponto de vista morfológico, esta região possui importantes feições da Cordilheira Meso-Oceânica. A interação destes processos físicos e geológicos são importantes moduladores da biologia em regiões oceânicas (Gordon *et al*, 2008), e subsidiam hipóteses de alteração na biodiversidade e biogeografia dos organismos planctônicos.

Os Giros Subtropicais em regiões oceânicas são caracterizados por uma forte estratificação vertical da coluna d'água que limita o fornecimento de nutrientes provindos abaixo da termoclina para a camada eufótica. Como resultado, a fixação do carbono por produtores primários nessas regiões oligotróficas é baixa. Apesar de sua baixa produtividade, essas regiões, cobrem mais de 60% de toda superfície do oceano global e podem ser responsáveis por mais que 30% do total de toda produção primária no oceano. (Longhurst *et. al*, 1995).

Outro fator relevante sobre os giros subtropicais é sua expansão areal com o aquecimento global. As águas superficiais estão aquecendo com o tempo, tornando-se mais estratificadas e por consequência mais oligotróficas. Polovina *et al* (2008) apontam que as áreas oligotróficas dos oceanos estão expandindo em taxas que variam de 0.8% a 4.3%/ano na última década. Ressalta-se que os giros sub-tropicais compreendem o maior ecossistema em cada bacia oceânica, ocupando aproximadamente 40% da superfície terrestre.

Figura 61 – Sistema de correntes sobre a plataforma Africana (AC, Angola, BCC, Corrente Costeira de Bengala; BOC, Corrente Oceânica de Bengala, BD, Divergência de Bengala; ABF, Fronte de Angola-Bengala; CG, Giro Ciclônico).

2 Material e métodos

2.1 Cruzeiro hidrográfico

A estratégia amostral adotada está inserida dentro do “Projeto Trans-Atlântico I” visando atender os objetivos propostos pelo projeto. Através do navio Hidrográfico Cruzeiro do Sul (H38) da Marinha do Brasil em parceria com o MCT foram realizados dois perfis compreendidos entre a costa do Brasil na longitude e a costa do continente Africano. O primeiro perfil (P1) iniciou se na longitude 33,5°W e foi realizado ao longo da latitude 30°S (Tabela 10) enquanto o segundo perfil (P2) de retorno ao Brasil foi realizado ao longo da latitude 20°S (Figura 62). Durante a Trans-Atlântico I (TA-I), entre os meses de outubro e dezembro de 2009, foi amostrado um total de 100 estações hidrográficas distribuídas ao longo dos dois perfis (Figura 62).

Para complementar o restante do P1 entre a costa do Brasil e a Elevação do Rio Grande (Tabela 10) foi utilizado o Navio Hidrográfico Antares (H-40) da Marinha do Brasil.

Em todas as estações (#129) amostradas foram realizados perfis verticais contínuos de hidrografia (temperatura e salinidade) através de um CTD e um fluorímetro acoplado. Um sistema coletor de água tipo *Rosette* com garrafas de Niskin (5L) também foi acoplado ao CTD.

A coleta de água para as análises de clorofila *a* total, material particulado (detritos + fitoplâncton) e matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM) foi realizada na sub-superfície (5m) enquanto amostras para análises de clorofila *a* fracionada foram realizadas na sub-superfície (5m) e na Zmc.

Todas as profundidades de coleta e Zmc foram determinadas a partir das observações dos perfis de clorofila, temperatura e salinidade realizados durante a descida do CTD no modo online.

Figura 62 – Cruzeiro Trans-Atlântico I realizado entre meses de outubro e dezembro de 2009.

Tabela 10 – Limites geográficos dos cruzeiros hidrográficos realizados entre o Brasil e o continente Africano entre outubro e novembro de 2009.

	Longitude		Latitude	
	inicial	final	inicial	final
H - 40 (P1)	49,81° W	34,70° W	30,00° S	30,00° S
H - 38 (P1)	33,81° W	16,78° E	30,00° S	30,00° S
H - 38 (P2)	12,46° E	39,87° W	20,00° S	20,00° S

2.2 Bio-óptica

O conjunto de dados bio-ópticos foi coletado para a determinação dos coeficientes de absorção específica pela matéria orgânica dissolvida (CDOM), e pelo material particulado composto pelo fitoplâncton e detritos.

2.3 Material Orgânico Dissolvido Colorido

Para a obtenção de valores da matéria orgânica dissolvida foram filtrados 150 mL de água do mar em determinadas estações e profundidades de coleta utilizando filtros de membrana da marca Nucleopore® de 0,2µm. A água filtrada foi estocada em garrafas de vidro tipo âmbar e preservadas em refrigeradores. Em laboratório foi realizada a leitura da densidade ótica (D.O.) de cada amostra de água filtrada entre 250 a 800 nm utilizando um espectrofotômetro da marca Hitachi modelo U-3010 para a determinação dos coeficientes de absorção específica pela matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM) através da absorbância e transmitância (a_{cdom}).

Os valores de D.O. foram convertidos em coeficientes de absorção (m^{-1}) e multiplicados por 2,303 (valor que converte $\log_{10}$ para $\log_e$) e normalizados pelo caminho ótico (0,1m).

2.4 Material Particulado Total

Para a obtenção do material particulado total foram filtrados de 1 a 3 litros de água do mar em cada profundidade de coleta, utilizando filtros da marca Whatman tipo GF/F de 25 mm de diâmetro e poros com tamanho de 0,7µm, em seguida foram preservados em nitrogênio líquido até o momento da análise.

No laboratório de Produção Primária do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), após descongelar os filtros e mantê-los abrigados da luz direta, foram realizadas medidas de absorbância e transmitância entre 800 e 350 nm (D.O) (Figura 63) utilizando uma esfera integradora acoplada ao espectrofotômetro da marca Shimatzu modelo UV-2450. Este método proposto por Mitchell (1990) foi utilizado para determinação do particulado total (a_{part}) = detritos (a_{det}) + fitoplâncton (a_{fito}).

Um filtro branco embebido com água do mar filtrada em 0,2 μ m foi usado como branco. A fração pigmentar foi então retirada, lavando o filtro com Hipoclorito durante um período de extração de 24hs. O filtro foi lido novamente no espectro para a medida não pigmentada (a_{det}) e, posteriormente, a absorbância devida ao fitoplâncton (a_{fito}) ou fração pigmentada foi obtida pela subtração das duas frações.

Os coeficientes de absorção (m^{-1}) referentes às leituras do a_{det} e a_{fito} foram calculados da forma: $a_{part}(\lambda) = 2,303 \text{ DO} / (v/a)$, onde 'v' é o volume filtrado de água e 'a' é a área do particulado sobre o filtro. A absorção pelo fitoplâncton consiste, então, nas diferenças entre as duas leituras:

$$a_{fito}(\lambda) = a_{part}(\lambda) - a_{det}(\lambda).$$

Figura 63 - Exemplo de espectros dos coeficientes de absorção do $a_{\text{fito}}(\lambda) = a_{\text{part}}(\lambda) - a_{\text{det}}(\lambda)$ por espectrofotometria.

2.5 Sensoriamento Remoto

2.5.1 Aquisição das imagens MODIS

Imagens da cor do oceano de (1 km) do sensor MODIS/Aqua foram adquiridas gratuitamente via FTP (File Transfer Protocol), da página da internet <http://oceanocolor.gsfc.nasa.gov/> e selecionadas conforme o período dos cruzeiros e as datas das coletas respeitando a diferença máxima de 12 horas em relação aos horário de coleta *in situ*.

2.5.2 Processamento das imagens

As imagens adquiridas foram todas manipuladas e processadas através do programa SeaDAS 5.2 (SeaWiFS Data Analysis System) disponível gratuitamente na internet através da página da internet <http://oceanocolor.gsfc.nasa.gov/>.

Depois das imagens salvas em computadores foram processadas do nível 1A (L1A) para o nível 2 (L2). O processamento para nível 2 segue o passo

intermediário para nível 1B (L1B), que corresponde às radiâncias calibradas e geolocalizadas. A partir do nível 1B, a refletância da superfície do mar foi obtida para as bandas refletivas de 8 a 16, de interesse em cor do oceano como citado anteriormente.

Os dados dos produtos L2 das imagens (concentração de clorofila *a* e a_{fito}) foram extraídos para cada estação de coleta *in situ*, em janelas espaciais de 3 x 3 pixels centradas nas coordenadas das estações realizadas *in situ*.

Cada imagem foi processada digitalmente de modo a gerar mapas superficiais de parâmetros geofísicos de interesse, tais como a concentração de clorofila *a* (CSM) e coeficientes de absorção pelo fitoplâncton (a_{fito}) nos comprimentos de onda 412, 443, 488, 531, 551, 667 e 678 nm dentro dos limites geográficos amostrados *in situ*.

As concentrações de clorofila-*a* foram estimadas através do algoritmo OC3 a partir de razões entre bandas R(razão máxima) sr443/Rsr551 ou Rsr488/Rsr551 (O'Reilly *et al.*, 2000).

A abundância fitoplanctônica total foi estimada a partir de amostras de 300 mL filtradas sobre filtros de fibra de vidro da marca Whatman® GF/F com porosidade de 0,4µm. O mesmo volume foi utilizado para determinar biomassa fitoplanctônica por diferentes frações de tamanho, em que o microplâncton foi retido em membranas de 20µm, nanoplâncton em membranas de 2µm e o picoplâncton também em filtros GF/F.

Todos os filtros foram mantidos em nitrogênio líquido e as concentrações de clorofila *a* total e fracionada foram determinadas em laboratório, por fluorescência em fluorímetro Turner 10-AU-005 após extração em 5 mL de acetona 90% a -4°C por 12 horas (Holm-Hansen *et al.*, 1965., Shoaf & Lium, 1976; Stramski & Morel, 1990; Welschmeyer, 1994).

3 Resultados

3.1 Seções verticais

Serão apresentados valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e salinidade obtidos através de perfis realizados e cada estação hidrográfica da área de estudo. Os perfis foram amostrados desde a superfície até próximo ao fundo oceânico.

Nesse trabalho serão mostradas seções verticais com os valores de temperatura e salinidade até a profundidade local máxima e seções verticais até 500m de profundidade para melhor visualização com o limite da zona eufótica, início da termoclina e com os perfis de fluorescência.

3.1.1 Temperatura

A seção vertical da temperatura entre a costa do Brasil e o continente Africano ao longo da latitude 30°S (Perfil 2 - P2) mostra a estratificação a 500 - 600m de profundidade na coluna d'água ao longo de todo o perfil amostrado (Figura 64), em que as temperaturas mais elevadas ($> 10^{\circ}\text{C}$) são observadas acima de 500m de profundidade e, abaixo disso, as temperaturas diminuem com o aumento da profundidade chegando abaixo de 2°C nas regiões mais profundas ($> 4000\text{m}$).

A seção vertical até 500m de profundidade (Figura 65) mostra as variações de temperatura existentes entre as duas plataformas continentais (Brasil e África). Nessa seção é possível observar o gradiente (Figura 62) de águas mais quentes ($>25^{\circ}\text{C}$) em direção à África passando para ($<16^{\circ}\text{C}$) acima de 200m de profundidade sobre a plataforma continental. Abaixo desse gradiente é possível

observar outro gradiente de águas mais frias da Plataforma Africana (PA) em direção a Plataforma do Brasil (PB).

A profundidade da estratificação da coluna d'água e sua estabilidade também diminuem em direção à PA ocorrendo o afloramento de águas mais frias nessa região (Figuras 66 e 66-B), possivelmente influenciada pela Corrente de Bengala (CBG) que contorna a PA.

Em P1 (Figura 67), a distribuição de temperatura segue o mesmo padrão que em P2, onde ocorre a estratificação a 500 - 600m de profundidade na coluna d'água ao longo de todo o perfil amostrado.

Ao analisar o perfil até 500m de profundidade (Figura 65) pode se observar um gradiente de temperaturas mais baixas ($< 20^{\circ}\text{C}$), que aflora em águas superficiais a partir de cerca de 0° de longitude em direção à PA caracterizando também a entrada da corrente de Bengala próximo à costa.

Comparando os dois extremos longitudinais de P1 (Figura 66), é possível observar as diferenças das massas d'água que contornam as duas plataformas. Sobre a plataforma continental do Brasil observam-se águas mais quentes ($> 20^{\circ}\text{C}$) e com uma termoclina bem definida até cerca de 150 – 200m de profundidade. No outro extremo, sobre a plataforma continental Africana, águas mais geladas da corrente de Bengala ($< 20^{\circ}\text{C}$) circulam nessa região e há um encurtamento da profundidade da termoclina em direção ao continente devido a ressurgência dessa água mais fria (Figura 66-A).

A Figura 64 mostra o perfil (P1) realizado mais ao sul do Oceano Atlântico (30°S) entre os dois continentes. A distribuição vertical nessa região novamente mostra a estratificação a 500 - 600m de profundidade na coluna d'água onde as temperaturas mais elevadas ($> 10^{\circ}\text{C}$) são observadas acima de 500m de profundidade e, abaixo disso, as temperaturas diminuem com o aumento da profundidade chegando abaixo de 2°C nas regiões mais profundas ($> 4000\text{m}$). Já na Figura seguinte (67), é possível observar que a massa de água acima de 150m

de profundidade, recebe uma forte intrusão de águas mais frias com temperaturas $< 20^{\circ}\text{C}$ da mesma forma a diminuição da profundidade da termoclina segue em direção a PA. Essa massa de água mais fria, a Corrente de Bengala, ressurge em águas superficiais partir da longitude 0° e continua decrescendo até a região costeira (Figura 68).

Comparando as duas plataformas continentais, PB e PA (Figura 69) é possível observar a diferença dos valores de temperatura. Em PB a temperatura da água de superfície próxima a costa ficou $>23^{\circ}\text{C}$ e por outro lado, em PA, os valores de temperatura decrescem para em torno de 15°C na superfície da água.

3.1.2 Salinidade

A seção vertical das concentrações entre a costa do Brasil e o continente Africano ao longo da latitude 30°S (P2) mostra uma estratificação a 200 - 300m de profundidade na coluna d'água ao longo de todo o perfil amostrado e outra estratificação entre 800 e 1200m de profundidade (Figura 70), com as menores concentrações da salinidade > 35 ao longo desse perfil.

Na Figura 71 o perfil (P2) de salinidade até 500m de profundidade mostra um núcleo de águas mais salinas entre a costa do Brasil até cerca de 0° de longitude alcançando uma profundidade entre 140 e 170m com concentrações de sal > 36 . Assim como a temperatura, é possível observar também a intrusão de águas menos salinas (<36) sobre PA, caracterizada pela corrente de Bengala.

A comparação entre PB e PA pode ser observada na Figura 72 pelas diferenças entre as concentrações de sal sobre essas plataformas já descritas acima. Por outro lado, a haloclina observada em ambos os perfis de P2 se manteve em torno de 150 a 200 m de profundidade.

No Perfil 1, realizado ao longo da latitude 20°S, o padrão de distribuição de sal na coluna d'água acontece de forma homogênea a partir de 1000m de profundidade, tendo apenas uma grande estratificação entre 200 – 300m de profundidade (Figura 74). Observa-se da mesma forma um núcleo de águas mais salinas (>36) diluindo suas concentrações em direção a PA (<36).

Nas duas seções verticais (A – B) da Figura 75 é possível observar que há entrada de águas mais frias sobre as plataformas continentais. Sobre a PB há um núcleo com concentrações de salinidade mais elevadas (<36) entre as longitudes 48° e 46° W, por outro lado, sobre a PA, há a ressurgência de águas menos salinas (<35).

Figura 64 - Perfil vertical de temperatura entre o Brasil e a África na latitude 20°S, TAI-2009.

Figura 65 - Perfil vertical de temperatura até 500 metros de profundidade entre o Brasil e a África na latitude 20°S, TAI-2009.

Figura 66 - Perfil vertical de temperatura até 500 metros de profundidade (A) costa do Brasil e (B) Costa da África, latitude 20°S, TAI-2009.

Figura 67 - Perfil vertical de temperatura entre o Brasil e a África na latitude 30°S, TAI-2009.

Figura 68 - Perfil vertical de temperatura até 500 metros de profundidade entre o Brasil e a África na latitude 30°S, TAI-2009

Figura 69 - Perfil vertical de temperatura até 500 metros de profundidade (A) costa do Brasil e (B) Costa da África, latitude 30°S, TAI-2009.

Figura 70 - Perfil vertical da salinidade entre o Brasil e a África na latitude 20°S, TAI-2009.

Figura 71 - Perfil vertical de Salinidade até 500 metros de profundidade entre o Brasil e a África na latitude 20°S, TAI-2009

Figura 72 - Perfil vertical da salinidade até 500 metros de profundidade (A) costa do Brasil e (B) Costa da África, latitude 20°S, TAI-2009.

Figura 73 - Perfil vertical da salinidade entre o Brasil e a África na latitude 30°S, TAI-2009.

Figura 74 - Perfil vertical da salinidade até 500 metros de profundidade entre o Brasil e a África na latitude 30°, TAI-2009.

Figura 75 - Perfil vertical da salinidade até 500 metros de profundidade (A) costa do Brasil e (B) Costa da África, latitude 30°S, TAI-2009.

3.1.3 Clorofila_a Total

Os valores apresentados nas seções verticais de clorofila_a Total foram obtidos através de um perfilador de fluorescência acoplado ao CTD. Posteriormente esse conjunto de dados foi corrigido com amostras de clorofila_a Total *in situ* coletadas simultaneamente nas estações hidrográficas desse cruzeiro (TA-I 2009).

No perfil (P2) sobre a latitude de 20° (Figura 76) é possível observar um gradiente das concentrações de clorofila_a em direção a PA. Entre 35° S e 0°, as concentrações do máximo de clorofila_a Total (Zmc) são observados abaixo de 75m de profundidade e em algumas áreas (30° - 20° S) o Zmc alcança profundidades > 125m, porém esses Zmc tendem a diminuir a profundidade em direção a PA.

A partir de 0°S em direção a costa de Namíbia os Zmc ficam acima 50m de profundidade aflorando (Figura 77 e 78 -B) sobre a plataforma continental, que nessa região é alargada pelo início da Elevação de Walvis (EW) que formará a Bacia de Walvis (Figura 62). Sobre a EW é possível observar um núcleo com altas concentrações de clorofila_a Total > 3mg.m⁻³ até a costa da Namíbia, caracterizando uma região de alta produtividade fitoplanctônica.

Por outro lado, na outra extremidade de P2, as concentrações do máximo de clorofila_a Total são observadas desde a formação da Cadeia Trindade-Vitória até a quebra da Plataforma Continental do Brasil, na região do Branco de Abrolhos. Esses valores (0,8 - 1 mg.m⁻³) foram observados abaixo de 50m de profundidade (Figura 77 - A) sendo assim, essa região pode ser caracterizada como oligotrófica por apresentar baixas concentrações de clorofila_a.

Nas seções verticais de P1 ao longo da latitude de 30° S, é possível observar dois núcleos de concentração de clorofila_a Total ambos próximos a PA e PB. Nesse perfil é observada a mesma tendência das concentrações entre as

longitudes 45°S e 0° onde os Zmc ficaram abaixo de 75 m de profundidade, porém as profundidades máximas dos Zmc não ultrapassaram 125m (Figura 75).

Nas seções verticais (Figura 79 A-B), comparando as duas plataformas (PB e PA), é possível observar alta concentração de clorofila_a ($> 2,5\text{mg.m}^{-3}$) e o afloramento dessas concentrações na superfície da água próxima a PA entre 12° e 14°. No entanto, os Zmc ($>2,05\text{mg.m}^{-3}$), em direção a costa, permaneceram (Figura 79-B) entre 75m e 40m de profundidade devido à Corrente de Bengala e a termoclina nessa região (Figura 79-B) ficou mais rasa que 100m de profundidade.

Sobre a Plataforma Continental do Brasil, os Zmc diminuem a profundidade conforme a aproximação da costa, passando de 100m para 50m de profundidade. Os valores máximos ficaram entre 1 e $1,5\text{mg.m}^{-3}$, ou seja é uma região de baixa produtividade primária e da mesma forma não é observado o afloramento desses núcleos de concentração de clorofila_a próximo a costa do Brasil.

Figura 76 - Perfil vertical da clorofila_a (mg.m^{-3}) Total entre o Brasil e a África na latitude 20°, TAI-2009.

Figura 77 - Perfil vertical da clorofila_a (mg.m^{-3}) Total, (A) costa do Brasil e (B) Costa da África, latitude 20°S, TAI-2009.

Figura 78- Perfil vertical da clorofila_a (mg.m^{-3}) Total entre o Brasil e a África na latitude 30°, TAI-2009.

Figura 79 - Perfil vertical da clorofila_a (mg.m^{-3}) Total, (A) costa do Brasil e (B) Costa da África, latitude 30°S, TAI-2009.

3.1.4 Clorofila_a Fracionada

As Figuras (80 – 83) mostram a clorofila_a Fracionada dos três tamanhos diferentes (20 μm – microplâncton, 2 μm – nanoplâncton e 0,2 μm – picoplâncton) ao longo dos dois perfis (P1 e P2) e os pontos de coleta representados pelas longitudes correspondentes em que foram amostrados entre o Brasil e a África durante o TA-I em 2009.

Comparando as três frações de tamanho em P2 ao longo de 20° S é possível observar que as maiores células do fitoplâncton (microplâncton) foram as que menos corroboraram (Tabela 11 e 12) para a biomassa total desse perfil (Figuras 80 e 81) mesmo sobre as plataformas continentais onde há grandes concentrações de clorofila.

Nessa latitude (20°S) é possível observar, na média das concentrações, o predomínio do nanoplâncton tanto em águas superficiais como no máximo de clorofila (Zmc) (Figura 81). Porém ao analisar as contribuições relativas a 100% (pico + nano + microplâncton) ao longo de P2 o predomínio das células do nanoplâncton é limitado à região da plataforma Africana (PA) entre a elevação de Walvis e a costa da Namíbia onde são verificadas altas concentrações dessa fração 1,03 mg.m^{-3} no Zmc e 0,84 mg.m^{-3} na superfície.

Ao longo do P2, na região central do Atlântico Sul as maiores contribuições são das células do picoplâncton e que aumentam seus valores em direção costa do Brasil Cadeia Trindade-Vitoria onde predomina sobre a plataforma continental próximo ao Banco de Abrolhos principalmente em águas superficiais (0,61 mg.m^{-3}) (Figura 83 e Tabela 14).

Em P1 ao longo da latitude 30°S, em ambas as profundidades (superfície e Zmc) houve o predomínio das células do picoplâncton principalmente na superfície (Figura 82 e 83), porém em direção e sobre a Plataforma do Brasil as

concentrações diminuem e passa a ser a fração de tamanho com as mais baixas concentrações.

Com o objetivo de fazer a comparação entre os dois extremos longitudinais do Atlântico Sul, foi feita a distribuição dos diferentes tamanhos de fitoplâncton e separadas as estações hidrográficas próximas e sobre as plataformas continentais do Brasil e da África (Figuras 84, 85 e 86).

Na latitude de 20° S, sobre a Plataforma Africana (PA) entre a costa da Namíbia até a Elevação de Walvis, é observado o predomínio das células do nanoplâncton tanto na superfície como em Zmc, alcançando uma média de $0,55\text{mg.m}^{-3}$, sustentando a alta produtividade dessa região.

Na outra extremidade do Atlântico Sul sobre a plataforma do Brasil, entre a região do Banco de Abrolhos e a Cadeia Trindade-Vitória, diferentemente da PA o predomínio nessa região são pelas menores células, o picoplâncton. A contribuição média dessa fração de tamanho para a biomassa local foi de $< 0,3\text{mg.m}^{-3}$.

No perfil ao longo da latitude de 30° S, sobre a Plataforma Africana (PA), é observado em águas superficiais o predomínio das células do picoplâncton seguidas pelo microplâncton, o mesmo acontece no Zcm onde há a maior contribuição do picoplâncton, porém seguido do nanoplâncton (Figura 84). Ou seja, a biomassa fitoplanctônica dessa região, próxima a costa da África do Sul, é sustentada por células do picoplâncton.

Seguindo esse mesmo perfil P1, na mesma latitude, sobre a costa do Brasil, apesar da biomassa ser mais baixa, se comparada ao outro extremo de P1, as tendências são parecidas e sustentando por células do picoplâncton tanto na superfície como em Zmc.

Figura 80 - Distribuição do porcentual das frações de tamanho do fitoplâncton na superfície ao longo de P2 20° S durante TA-I em 2009.

Figura 81- Distribuição do porcentual das frações de tamanho do fitoplâncton no Zmc ao longo de P2 20° S durante TA-I em 2009.

Figura 82 - Distribuição do percentual das frações de tamanho do fitoplâncton na superfície ao longo de P1 30° S durante TA-I em 2009.

Figura 83 - Distribuição do percentual das frações de tamanho do fitoplâncton no Zmc ao longo de P1 30° S durante TA-I em 2009.

Figura 84 – Comparação das diferentes frações de tamanho do fitoplâncton no entre P1 e P2, TA-I 2009.

Figura 85 – Comparação das diferentes frações de tamanho do fitoplâncton na superfície sobre as plataformas continentais (Brasil x África), TA-I 2009.

Figura 86 – Comparação das diferentes frações de tamanho do fitoplâncton no Zmc sobre as plataformas continentais (Brasil x África), TA-I 2009.

Tabela 11 — Valores da clorofila fracionada na superfície durante TA-I 2009.

	Superfície (long. 30° S)			Superfície (long. 20° S)		
	20µm	2mm	0,2mm	20µm	2mm	0,2mm
DVP	0,146	0,208	0,228	0,661	0,542	0,061
Máximo	0,783	1,838	1,229	0,372	1,032	0,213
Mínimo	0,001	0,001	0,017	0,001	0,001	0,008
Média	0,072	0,048	0,160	0,036	0,208	0,073
Soma	5,621	3,749	12,487	1,737	9,995	3,498

Tabela 12 – Valores da clorofila fracionada no Zmc durante TA-I 2009.

	Zmc (long. 30° S)			Zmc (long. 20° S)		
	20µm	2mm	0,2mm	20µm	2mm	0,2mm
DVP	0,156	0,400	0,240	0,049	0,314	0,093
Máximo	0,831	3,505	1,988	0,223	1,438	0,471
Mínimo	0,001	0,003	-0,001	0,002	0,009	0,016
Média	0,107	0,105	0,278	0,039	0,269	0,191
Soma	8,328	8,200	21,712	1,858	12,899	9,163

Tabela 13 - – Valores da clorofila fracionada superfície sobre as plataformas continentais (Brasil x África) em P12 durante TA-I 2009.

	Superfície					
	Plataforma Brasil P2 (long. 20° S)			Plataforma África P2 (long. 20° S)		
	20µm	2µm	0,2µm	20µm	2µm	0,2µm
DVP	0,010	0,085	0,051	0,125	0,298	0,066
MÁXIMA	0,044	0,311	0,200	0,372	1,032	0,213
MÍNIMA	0,004	0,033	0,020	0,006	0,109	0,036
MÉDIA	0,010	0,118	0,091	0,114	0,556	0,120
SOMA	0,125	1,538	1,189	1,476	7,232	1,557

Tabela 14 – Valores da clorofila fracionada no Zmc sobre as plataformas continentais (Brasil x África) em P2 durante TA-I 2009.

	Zmc					
	Plataforma Brasil P2 (long. 20° S)			Plataforma África P2 (long. 20° S)		
	20µm	2µm	0,2µm	20µm	2µm	0,2µm
DVP	0,015	0,082	0,131	0,061	0,353	0,039
MÁXIMA	0,064	0,299	0,471	0,223	1,438	0,224
MÍNIMA	0,004	0,009	0,020	0,030	0,256	0,067
MÉDIA	0,019	0,133	0,271	0,091	0,645	0,134
SOMA	0,246	1,732	3,529	1,277	9,033	1,883

Tabela 15 – Valores da clorofila fracionada na superfície sobre as plataformas continentais (Brasil x África) em P1 durante TA-I 2009.

	Superfície					
	Plataforma Brasil P2 (long. 30° S)			Plataforma África P2 (long. 30° S)		
	20µm	2µm	0,2µm	20µm	2µm	0,2µm
DVP	0,074	0,023	0,180	0,252	0,461	0,406
MÁXIMA	0,283	0,117	0,611	0,783	1,838	1,229
MÍNIMA	0,001	0,014	0,058	0,055	0,014	0,068
MÉDIA	0,042	0,029	0,248	0,257	0,176	0,344
SOMA	0,754	0,513	4,461	3,854	2,640	5,162

Tabela 16 – Valores da clorofila fracionada no Zmc sobre as plataformas continentais (Brasil x África) em P1 durante TA-I 2009.

	Zmc					
	Plataforma Brasil P1 (long. 30° S)			Plataforma África P1 (long. 30° S)		
	20µm	2µm	0,2µm	20µm	2µm	0,2µm
DVP	0,213	0,140	0,154	0,194	0,888	0,468
MÁXIMA	0,831	0,573	0,535	0,829	3,505	1,988
MÍNIMA	0,002	0,016	0,067	0,115	0,004	0,026
MÉDIA	0,113	0,120	0,191	0,263	0,304	0,434
SOMA	2,032	2,163	3,438	3,938	4,557	6,503

3.2 Material particulado e dissolvido

O conjunto de dados do material particulado e dissolvido obtidos durante o TA-I em 2009, foi coletado somente em águas superficiais. No perfil 1 (30° S) essa etapa foi realizada em P1 somente a partir da elevação do Rio Grande do Sul (34° W) em direção a costa da África do Sul e ao longo de P2 (20° S) as coletas foram desde região costeira da Namíbia até a região sobre o Banco de Abrolhos.

Os valores de absorção da matéria orgânica dissolvida colorida (a_{cdom}) em 443nm ao longo dos perfis P1 e P2 foram baixos, desde não detectados até o máximo de $0,018\text{m}^{-1}$.

Sobre a Elevação do Rio Grande do Sul (P1) e sobre a Elevação de Walvis até a costa da Namíbia foram os pontos amostrados que obtiveram os maiores valores dos coeficientes de $a_{cdom}(\text{m}^{-1})$, enquanto no restante da área estudada esses valores foram distribuídos de forma homogênea sem nenhuma tendência ou gradientes (Figura 87).

Os detritos ou substâncias não algais, foram os menos encontrados em toda área estudada. Em P1, na região mais central do Atlântico Sul, essas concentrações, praticamente não foram detectadas. O aumento desses valores ($0,009\text{m}^{-1}$) pode ser observado em P1 próximo a costa da África do Sul (Figura 88).

Os valores de absorção do fitoplâncton seguem a mesma tendência das concentrações de clorofila_a ao longo dos dois perfis P1 e P2, porém os maiores valores foram observados em P1 na área próxima a África do Sul alcançando $0,056\text{m}^{-1}$ diferente das mais altas concentrações de clorofila que ocuparam os pontos amostrados próximo costa da Namíbia. Ao longo de P1 na região central do Atlântico Sul, foram observados os menores valores dos coeficientes de absorção do fitoplâncton (Figura 89).

Para um melhor estudo e interpretação das contribuições relativas dos coeficientes de absorção (a_{fito} , a_{det} , a_{cdom}) em 443nm, foram feitos diagramas ternários (Figuras 90 -93) para ambos os perfis amostrados.

Foram elaborados dois diagramas ternários para cada perfil, porém não há diferenças significativas entre os dois diagramas ou entre as duas latitudes estudadas (20° e 30° S). Em ambos os diagramas é observado que a contribuição relativa do fitoplâncton é > 60% quando há uma diminuição das contribuições do CDOM, por outro lado quando há o aumento das contribuições dos detritos há também o aumento das contribuições do fitoplâncton (Figuras 90 e 91).

Com o objetivo de identificar diferenças nas propriedades bio-ópticas da área de estudo (Atlântico Sul) através dos coeficientes de absorção, as estações hidrográficas foram agrupadas conforme suas similaridades (Figuras 92 -94) formando setores identificados por letras de A – L e que posteriormente esses setores foram organizados conforme a proximidade das regiões costeiras ou das regiões centrais do Atlântico Sul.

Os diagramas separados por estações sobre áreas de plataformas continentais mostram que há uma maior contribuição dos coeficientes do fitoplâncton principalmente nas proximidades costeiras da África >50% enquanto a matéria orgânica dessa mesma região em média ficou <50%. Os diagramas setorizados mostram que há uma maior contribuição da matéria orgânica dissolvida em relação ao demais componentes bio-ópticos com exceção do setor B que apresentou valores >50%.

Ao comparar as propriedades bio-ópticas das duas regiões costeiras do Atlântico Sul (Brasil x África) é notável que os valores de absorção (a_{fito} , a_{det} , a_{cdom}) em 443nm foram mais elevados (Figura 95 e Tabela 17) sobre a Plataforma Africana que a Brasileira.

Comparando as contribuições relativas próximas ao Brasil, praticamente não há diferenças significativas entre a matéria orgânica e o fitoplâncton (média= a_{fito} 0,006 e a_{cdom} 0,005 m^{-1}) , os detritos aparecem em seguida com os menores valores (média= 0,001 m^{-1}) porém do outro lado do Atlântico Sul, na costa Africana, há uma diferença significativa entre a propriedade bio-óptica dessa região que há uma maior contribuição do fitoplâncton (média= a_{fito} 0,026 m^{-1}) sobre os demais componentes (média= a_{det} 0,005 e a_{cdom} 0,009 m^{-1}) (Tabela 17).

Ou seja, há uma diferença tanto nas características bio-ópticas das duas plataformas como há uma diferença entre os valores de cada coeficiente bio-óptico.

Figura 87 - Absorbância do CDOM em 443nm entre o Brasil e a África

Figura 88 - Absorbância dos detritos em 443nm entre o Brasil e a África

Figura 89 - Absorbância do fitoplâncton em 443nm entre o Brasil e a África

Figura 90 - Diagrama ternário das contribuições relativas dos componentes de absorção (a_{fito} , a_{det} , a_{cdom}) de P2 (20°S) durante o TA-I em 2009.

Figura 91 – Diagrama ternário das contribuições relativas dos componentes de absorção (a_{fito} , a_{det} , a_{cdom}) de P1 (30°S) durante o TA-I em 2009.

Figura 92 – Contribuição relativa da absorvência dos componentes bio-óticos entre o Brasil e a África nos setores (E,F,G, L e K) próximos ou nas plataformas continentais.

Figura 93 – Contribuição relativa da absorvência dos componentes bio-óticos entre o Brasil e a África nos setores (A,B,C,D,J,I e H) mais afastados das plataformas continentais.

Figura 94 – Mapa com indicando setores organizados segundo as contribuições relativas da absorbância dos componentes bio-óticos.

Figura 95 – Compara das médias dos valores da absorção dos constituintes bio-óticos (m^{-1}) sobre as plataformas continentais (Brasil x África)

Tabela 17 – Comparação dos valores da absorção dos constituintes bio-óticos (m^{-1}) sobre as plataformas continentais (Brasil x África)

	Brasil			África		
	a_{det}	a_{fito}	a_{cdom}	a_{det}	a_{fito}	a_{cdom}
Média	0,001	0,006	0,005	0,005	0,026	0,009
DVP	0,001	0,001	0,003	0,002	0,012	0,005
Max.	0,002	0,010	0,010	0,009	0,056	0,018
Mín.	0,001	0,004	0,000	0,001	0,012	0,001

3.2.1 Coeficiente de absorção do fitoplâncton *in situ*

Com o mesmo objetivo e utilizando a mesma metodologia já descrita anteriormente no **Capítulo 2 (Banco de Abrolhos e Adjacências)** para identificar pelo menos três tamanhos diferentes do fitoplâncton a partir dos coeficientes de absorção a_{fito} em 443nm, separados a partir das contribuições de clorofila_a Fracionada durante o TA-I 2009 ao longo do Atlântico Sul (Brasil x África), foram obtidas as médias de cada fração estabelecendo valores únicos em 443nm que serviram de índices para a separação das imagens por sensoriamento de a_{fito} do modelo de Carder.

A Figura 96 mostra que há uma boa relação ($R^2 = 0,90$) entre os coeficientes de absorção do fitoplâncton do Atlântico Sul com os valores de clorofila_a Total *in situ* obtidos nas mesmas estações hidrográficas e em águas superficiais durante o TA-I 2009.

Figura 96 – Razão entre a clorofila_a Total (mg.m-3) *in situ* e a absorção(m^{-1}) do fitoplâncton *in situ* durante o TA-I 2009

3.3 Sensoriamento remoto

3.3.1 Clorofila_a

A Figura 97 é uma imagem com estimativas de clorofila_a OC3 processadas em nível L2 dos sensores MODIS-Aqua. A imagem representa a média das datas de início e fim das coletas durante o Perfil 1 ao longo da latitude 30°S onde foram realizadas as coletas de clorofila_a *in situ* durante o cruzeiro Trans-Atlântico I em 2009.

Os tons de azul, nas áreas mais ao largo nas imagens, representam concentrações mais baixas de clorofila a ($< 0,1 \text{ mg.m}^{-3}$) típicas de águas oligotróficas do Atlântico Sul na região do Giro Subtropical (RGST). As águas mais ricas, em tons de amarelo a vermelho, ocorrem nas áreas mais costeiras e associadas com feições batimétricas e influenciadas pela Corrente de Bengala (Figura 97).

Comparativamente, pode-se observar que as concentrações de clorofila a aumentaram significativamente em direção a costa da África onde também ocorre a ressurgência de águas mais frias e ricas em nutrientes, conseqüentemente impulsionando as concentrações de clorofila_a e tornando aquela região como uma das mais produtivas, em questão de fitoplâncton, do mundo.

3.3.2 Coeficientes de absorção do fitoplâncton por frações de tamanho

Com a intenção de gerar imagens de satélites para identificar a distribuição horizontal das contribuições relativas de pelo menos três tamanhos diferentes do fitoplâncton sobre a superfície do mar na área de estudo (Atlântico Sul), foram utilizados modelos semi-analíticos (a_{fito_Carder}) a partir dos sensores MODIS. As Figuras 98 – 103 representam as imagens obtidas por sensoriamento remoto (a_{fito_Carder}) das bandas 412, 443, 488, 531, 551 e 667.

Nas imagens de satélite entre 412 e 667nm é observado que seguem a mesma tendência da imagem da estimativa da clorofila *a* OC3. A comparação entre as imagens mostra que os coeficientes em 443 foram os que obtiveram melhores valores positivos ou detectados pelo satélite na região mais central do Atlântico Sul onde há as menores concentrações de clorofila *a*. A imagem em 551nm foi a que menos gerou informações das concentrações da absorção do fitoplâncton.

Os pixels das imagens foram extraídos, tabelados e feita a normalização em 443 com a média dos valores entre 412 – 667nm para cada valor. Após esse processo foram selecionados apenas os coeficientes em 443nm e organizados conforme os índices das médias de cada fração de tamanho obtidos através dos coeficientes de absorção (m^{-1}) do fitoplâncton *in situ* em 443nm.

Após os coeficientes serem separados por tamanho, cada valor de $a_{fito}(m^{-1})$ foi geo-referenciado e separado gerando um novo conjunto de dados. Cada conjunto de dados equivale a uma fração de tamanho e que foram posteriormente plotados sobre a área de estudo referente a P1 (30° S) com uma amplitude de 5° para norte e mais 5° para o sul, resultando em um perfil com as limitações latitudinais entre 25° e 35° S.

A Figura 104 mostra a distribuição dos coeficientes de absorção do fitoplâncton (m^{-1}) equivalente ao microplâncton ao longo do perfil. Nessa imagem gerada a partir das imagens de satélite, é possível observar que há uma maior

ocupação dessa fração de tamanho nas regiões mais costeiras, o mesmo, porém em menor quantidade, ocorre com as células do nanoplâncton (Figura 105) que se concentraram praticamente sobre a região da plataforma continental da África. A imagem da Figura 106 representa a distribuição das menores células do fitoplâncton, essas células estão distribuídas de forma homogênea em toda área estudada e foram as que mais corroboraram para as concentrações do fitoplâncton.

A imagem gerada na Figura 107 mostra a distribuição das contribuições relativas dos três tamanhos do fitoplâncton estimadas a partir das imagens de absorção do fitoplâncton através do modelo de Carder (MODIS-Aqua). Nessa imagem é possível ver onde há a distribuição e o predomínio de cada fração de tamanho simultaneamente. Ou seja, através dessa imagem é possível observar que há o predomínio do picoplâncton sobre as demais células e que não somente na costa em regiões costeiras são observadas células do microplâncton, como pode observada próxima a Elevação de Walvis e da cadeia meso Atlântica no centro do Atlântico Sul.

Figura 97 - Estimativas de concentração de clorofila_a OC3 através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.

Figura 98 - Estimativas dos coeficientes de absorção (m^{-1}) do fitoplâncton (a_{fitto}) Carder, em 412nm através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.

Figura 99- Estimativas dos coeficientes de absorção (m^{-1}) do fitoplâncton (a_{fitto}) Carder, em 443nm através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.

Figura 100 - Estimativas dos coeficientes de absorção (m^{-1}) do fitoplâncton (a_{fitto}) Carder, em 488nm através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.

Figura 101- Estimativas dos coeficientes de absorção (m^{-1}) do fitoplâncton (a_{fito}) Carder, em 531nm através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.

Figura 102 - Estimativas dos coeficientes de absorção (m^{-1}) do fitoplâncton (a_{fito}) Carder, em 551nm através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.

Figura 103 – Estimativas dos coeficientes de absorção (m^{-1}) do fitoplâncton (a_{fito}) Carder, em 667nm através do Satélite MODIS durante o TA-I em 2009.

Figura 104 – Distribuição da estimativa de absorção do fitoplâncton > 20µm.

Figura 105– Distribuição da estimativa de absorção do fitoplâncton > 2µm.

Figura106 – Distribuição da estimativa de absorção do fitoplâncton > 0,2µm.

Figura 107 – Distribuição da estimativa de absorção do fitoplâncton $> 20\mu\text{m}$ (vermelho), $> 2\mu\text{m}$ (verde) e $> 0,2\mu\text{m}$ (azul).

CAPÍTULO 4

1 Discussão

A estreita largura da plataforma continental da costa leste do Brasil aliada à sua grande variabilidade têm papel fundamental na dinâmica das massas de água na região. Na sua porção norte, a plataforma continental abriga a extensão do Banco Royal Charlotte (em torno de 16°S) e volta a se estreitar ao sul deste banco. Na porção central, a plataforma apresenta a extensão do Banco dos Abrolhos (entre 17° e 20°S) e, na porção sul, volta a se estreitar. Ainda ao sul do Banco dos Abrolhos, em torno de 21°S, abriga, ao largo, a Cadeia de Bancos de Vitória - Trindade.

A topografia da plataforma continental é outro fator determinante na circulação e mistura das massas de água presentes na região. A porção interna da plataforma continental até 20 metros de profundidade tem uma topografia bastante suave. Entretanto, as porções médias e externas abrigam numerosos bancos rasos, canais estreitos de paredes escarpadas, recifes e ilhas, de importância fundamental na circulação e mistura da principal corrente presente na região, o ramo sul da Corrente do Brasil. A forte influência do sistema da Água Tropical (AT) da Corrente do Brasil na estreita plataforma continental da costa leste faz com que o ecossistema pelágico da região seja fortemente oligotrófico.

Durante o inverno de 2007, o resultado da ACP mostrou que a Água Tropical (AT) da Corrente do Brasil dominou a camada de água superficial até 100-150 m de profundidade (aglomerado de amostras dispostas no lado positivo do eixo I, com elevada temperatura e salinidade) e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) esteve presente em profundidades a 150-200 m de profundidade (amostras distribuídas ao longo do lado negativo do eixo I, com temperaturas e salinidades mais baixas e concentrações elevadas de nitrato). Este eixo representa a

estabilidade vertical da coluna de água, com a AT na camada superficial e a ACAS abaixo desta.

As massas d'água presentes no Oceano Atlântico Sul, já foram caracterizadas em diversos trabalhos como, por exemplo, Sverdrup *et al* (1942) e Mamayev (1970) por suas relações T-S (temperatura e salinidade). Stramma & Peterson (1989) apud Stramma (1991) definiram limites entre as massas d'água, baseados em diferentes densidades da APC (Água profunda Circumpolar) e da camada superior da APAN (Água Profunda do Atlântico Norte).

A Água Tropical (AT) é uma massa de água superficial que se origina na costa leste e é transportada para sul pela corrente do Brasil, perdendo suas características quando se mistura com a água sub-antártica na convergência subtropical e é definida pela salinidade superior 36 e temperatura superior a 18°C. Enquanto que a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) é uma massa de água situada entre a Água Tropical e a Água Intermediária Antártica (AIA) Stramma (1991). Tendo cada massa de água, valores característicos de temperatura e salinidade.

A Água Tropical (AT) foi encontrada nas estações mais rasas e acima de ~50 metros nas estações mais profundas.

Segundo (Miranda 1982, Sverdrup *et al.* 1942, Emilsson 1961 e Thomsen 1962), a Água Tropical que está situada na camada mais superficial do oceano, sempre em contato com a atmosfera, sofre influência das variações climáticas das regiões por onde passa. Sua origem ocorre na Zona Tropical, a leste da costa do Estado da Bahia e suas características são definidas pela intensa radiação e excesso de evaporação em relação à precipitação, características do Atlântico Tropical.

A Água Central do Atlântico Sul (ACAS) começou a ser observada abaixo de ~ 50 metros dependendo da estação, até a maior profundidade amostrada. O

menor valor de temperatura observado caracterizando a ACAS segundo o diagrama TS na foi 7,03 °C a 500 metros de profundidade e salinidade de 34,05.

A estabilidade vertical da coluna de água observada principalmente nas estações oceânicas decorrente da estratificação térmica fez com que as concentrações máximas de clorofila *a* ocorressem na camada profunda imediatamente acima da nutriclina. A baixa difusão do nitrato através da termoclina restringe a quantidade de matéria orgânica na zona eufótica destas estações, mantendo uma população fitoplanctônica formada principalmente por organismos pico- e nanoplanctônicos (Teixeira & Gaeta, 1991; Susini-Ribeiro, 1999), dependentes principalmente da reciclagem de nutrientes na zona eufótica (Metzler *et al.*, 1997).

Entretanto, nas estações rasas sobre a plataforma continental e extensão do banco dos Abrolhos observou-se um aumento da biomassa clorofiliana nas amostras da camada superficial (0 - 28 m de profundidade) e em amostras de profundidades intermediárias de outras estações localizadas na borda da plataforma externa (amostras com maiores concentrações de nitrito, fosfato, silicato e amônia, apresentando temperaturas e salinidades elevadas), dispostas no primeiro quadrante do plano fatorial I-II.

O aumento da biomassa clorofiliana observado nestas estações mais rasas parece ser decorrente de processos turbulentos de mistura. Regiões de plataforma continental rasas, como a extensão de Abrolhos, apresentam maiores taxas de mistura da coluna de água e substituição da camada de água sobre o fundo. A profundidade da camada de mistura é determinada pela topografia e pela hidrografia, portanto, o reabastecimento de nutrientes na zona eufótica requer menos gasto de energia externa e ocorre com maior frequência em áreas rasas, fazendo com que níveis de biomassa mais elevados possam ser mantidos por longos períodos (Smetacek, 1988).

Percebe-se ainda a maior influência da ACAS ao sul do Banco dos Abrolhos quando comparamos a distribuição das amostras da camada superficial (até de 100 metros de profundidade) das estações ao sul do Banco com aquelas

das amostras ao norte do Banco. As amostras referentes às estações ao norte do Banco estão dispostas no extremo positivo do eixo I e aquelas das estações ao sul do Banco estão localizadas na região central deste eixo (cruzamento dos dois eixos).

As principais forçantes responsáveis pela variação dos nutrientes e da biomassa clorofiliana observada durante o inverno de 2007 foram: (1) a proporção de contribuição das diferentes massas de água, AT e ACAS, em função da profundidade e do gradiente norte sul e (2) a eutrofização decorrente de processos de mistura turbulenta resultantes das interações da hidrologia com a própria topografia do fundo, fazendo com que a frequência de injeção de uma massa de água com concentrações pouco mais elevadas de nutrientes, sobre a plataforma ou na camada superficial ao longo da quebra da plataforma, fosse capaz de manter níveis de biomassas mais elevados nestas regiões.

Os dados de citometria mostraram que *Synechococcus sp.* foram os organismos mais representativos no período de inverno e, portanto, os principais responsáveis pela produtividade na região de Abrolhos. Estes dados estão de acordo com o trabalho de Susini-Ribeiro (1999) para o período de outono na mesma região. A autora discute os resultados de Glover e colaboradores (1988) para o Mar do Sargasso, mostrando a dependência destes organismos pelo nitrato. Segundo os autores, uma variação nanomolar na concentração de nitrato seria suficiente para disparar uma divisão celular da cianobacteria. A dominância das frações menores do plâncton principalmente em ambientes oligotróficos já é bem estabelecida (Susini-Ribeiro, 1999). Neste período, os pequenos pulsos de injeção de nutrientes novos, associados ao processo de reciclagem e mistura da coluna d'água propiciaram a alta produção medida sobre o banco. Segundo Curl & Small (1965), taxas de assimilação entre 0-3 mostram que a população do fitoplâncton está em condições de deficiência de nutrientes; valores entre 3 – 5 no limite, quase deficiente e valores maiores que 5, o fitoplâncton encontra-se em águas ricas em nutrientes.

A corrente superficial de contorno leste do giro subtropical do Atlântico Sul é a Corrente de Bengala. Na costa sudoeste africana prevalecem ventos de sul e sudeste, responsáveis pelo deslocamento de águas superficiais em direção oposta à costa. Este deslocamento permite o afloramento de águas mais profundas, frias e ricas em nutrientes, constituindo a ressurgência da costa oeste da África (Peterson & Stramma, 1991).

A corrente de Bengala é uma das mais importantes regiões de ressurgência no mundo. A alta produtividade e o sistema de água fria são limitados tanto ao norte como ao sul por águas mais quentes. Ao sul interage com a Corrente de Agulhas, e ao norte com a Corrente de Angola. A ressurgência nessa região alcança os maiores valores perto de Lüderitz na Namíbia. (Hampton *et al*, 1998) e ocorre durante o verão com águas geladas variando entre 8 – 16°C (Brown & Hutchings, 1987).

Entre o final da primavera e o início do verão de 2009, os resultados de temperatura ($< 17^{\circ}\text{C}$), e salinidade < 36 , mostraram a presença da Corrente de Bengala sobre a plataforma Africana. Através dos perfis de temperatura é possível observar um gradiente dessa água mais gelada subindo sobre a plataforma continental, alcançando águas de superfície e tornando a termoclina acima dos 100m de profundidade ou a inexistência da mesma. Junto com essas águas mais geladas ocorreram núcleos de altas concentrações de clorofila_a, essas propriedades físicas caracterizam essa região como de ressurgência e com alta produtividade primária.

Na parte central do Atlântico Sul, onde há influência dos giros sub-tropicais, é uma região considerada oligotrófica e de baixa produtividade primária. Por ser essa também uma região onde ocorre uma forte estratificação da coluna d'água, ocorre a limitação dos nutrientes para a zona eufótica. Essa estratificação foi observada praticamente ao longo de todos os dois perfis (P1 e P2) entre as plataformas continentais e ficaram em média entre 100 e 150m de profundidade. Essa termoclina só foi rompida ou ficou próxima a superfície ($< 50\text{m}$) quando

houve a influência da Corrente de Bengala sobre Elevação de Walvis. Por outro a mudança nas propriedades físicas da água gerou também alteração na comunidade fitoplânctonica.

A distribuição por tamanho das células do fitoplâncton está de acordo com o esperado (Moloney *et al*, (1991) para região central do Atlântico Sul, onde a produtividade é baixa e dominada por células do picoplâncton.

Sobre a plataforma africana, quando as propriedades físico-químicas são alteradas na coluna d'água, em 20° S, ocorre a ressurgência. Esse processo foi observado durante o final da primavera de 2009 e pode ser comprovado também através das altas concentrações da clorofila *a*.

Na região de ressurgência, a biomassa do fitoplâncton foi sustentada pelas células do nanoplâncton, porém em 30° S as maiores contribuições foram do picoplâncton, sugerindo a influência da Corrente de Agulhas que é constituída por temperaturas mais elevadas que a Corrente de Bengala.

As águas da plataforma continental Africana e da plataforma do Brasil ambas apresentaram o domínio de células menores que 2µm sobre essas regiões, porém as propriedades bio-ópticas se diferem.

A região que é influenciada pela Corrente de Bengala e consequentemente pela ressurgência apresentou elevados valores dos coeficientes de absorção do fitoplâncton enquanto na plataforma do Brasil, que recebe influência da Corrente do Brasil, Tropical e ACAS, e é considerada de baixa produtividade primária, os valores dos componentes bio-ópticos foram menores e ainda há mais matéria orgânica dissolvida nesta regiões que detritos ou fitoplâncton. A partir dessas observações, foi rejeitada a hipótese nula (H0) onde os compartimentos bio-óptico das águas da Corrente do Brasil não diferenciam das águas da Corrente Bengala pois as diferenças nas diversas variáveis analisadas mostraram-se altamente significativa.

2 Conclusões e considerações finais

Os resultados mostraram que na região do Banco de Abrolhos quando há a intrusão da ACAS durante inverno, ocorre influência na composição da comunidade fitoplanctônica e nas concentrações de clorofila_*a*.

A influência de rios e estuários sobre a plataforma é evidenciada em termos de aportes de nutrientes e do aumento da biomassa fitoplanctônica nas regiões costeiras.

A região do Banco do Abrolhos e adjacências apresentou-se oligotrófica e em toda área amostrada a biomassa fitoplanctônica foi baixa.

A composição das classes de tamanho é influenciada pela disponibilidade de nutrientes. Pode se concluir que o fosfato foi determinante para domínio das células do picoplâncton nessa região. A biomassa fitoplanctônica é sustentada pelas células menores que 2µm.

Em relação aos dados bio-ópticos, a água da região de Abrolhos é constituída principalmente pela matéria orgânica dissolvida e distribuída de forma homogênea sobre os demais constituintes. A distribuição dos detritos é limitada pela plataforma continental enquanto a absorção do fitoplâncton tem uma boa relação com as concentrações de clorofila_*a*.

As imagens de satélite processadas da absorção do fitoplâncton em relação à distribuição das classes de tamanho mostraram que são confiáveis devido à boa relação com os valores *in situ*.

Os resultados de temperatura e salinidade ao longo dos perfis realizados no Atlântico Sul, mostram que a estabilidade da coluna d'água é determinante para as baixas concentrações de clorofila_*a*. Enquanto alteração da coluna devido

à intrusão de águas com diferentes densidades, são determinantes para a composição das classes de tamanho do fitoplâncton.

Sobre a plataforma africana, próxima Namíbia, a presença da Corrente de Bengala influenciou diretamente nas altas concentrações da clorofila_a e nos tamanhos das células do fitoplâncton. A biomassa dessa região de ressurgência é sustentada por células principalmente do nanoplâncton. Na latitude de 20° S próximo a África do Sul, a biomassa daquela região é sustentada por células de micro e picoplâncton, provavelmente influenciadas pela corrente de Agulhas.

As propriedades bio-ópticas da plataforma continental da África são diferentes tanto em valores como nas contribuições relativas das observadas na costa do Brasil. Sobre a plataforma africana a absorção do fitoplâncton foi o constituinte que prevaleceu sobre os demais (detritos e cdom).

As imagens de satélites geradas para a determinação das distribuições relativa do tamanho do fitoplâncton são confiáveis, porém há necessidade de se obter um número maior de dados *in situ* para maior confiabilidade e precisão das imagens.

Referências Bibliográficas

- Alvain N S.; C. Moulin; Y. Dandonneau & F.M. Breon. 2005. Remote sensing of phytoplankton groups in case I waters from global SeaWiFS imagery. *Deep Sea Res.* 52:1989–2004.
- Bellwood D.R, Hughes T.P, Folke C., Nystrom C.M., 2004 Confronting the coral reef crisis. *Nature* 429:827–833
- Behrenfeld M.J.; T.K. Westberry; E.S. Boss, R.T. O'Malley; D.A. Siegel; J.D. Wiggert; B.A. Franz; C.R. McClain; G.C. Feldman; S.C. Doney; J.K. Moore; G. Dall'Olmo; A.J. Milligan; I. Lima & N. Mahowald., 2009. Satellite-detected fluorescence reveals global physiology of ocean phytoplankton. *Biogeosciences*. 6:779-794.
- Bienfang, P. K. & Takahashi, M., 1983. Ultraplankton Growth Rates In A Subtropical Ecosystem. *Marine Biology*, 76: 213-218.
- Blanchot, J., and M. 1996. Rodier, Picophytoplankton abundance and biomass in the western tropical Pacific Ocean during the 1992 El Nifio year: Results from flow cytometry, *Deep Sea Res.*, Part I, 43, 877-895.
- Blanchot, J., Rodier M., Bouteiller, A. Le. 1992. Effect of El Niño Southern Oscillation events on the distribution and abundance of phytoplankton in the Western Pacific. *J.Plankt. Res.*, 14: 137-56.
- Blumberg, A. F.; Mellor, G. L. 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: HEAPS, N. S. (Ed.). *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*. Washington, D. C.: American Geophysical Union, (Coastal and Estuarine Series, v. 4), p. 1-16.
- Blumberg, A. & Kantha, L. 1985. Open Boundary Conditions for Circulation Models. *J. Hydraulic Eng.*, 11:237-255.
- Blumberg, A., Mellor, G. 1980 A coastal ocean numerical model. *Proceedings of International Symposium of Hamburg*.
- Bonnecker, S. L. C., Nogueira, C. R., Bonecker, A. C. T., Santos, L. H. S., Reynier, M. V., Tenenbaum, D. R., 1992. Estudo hidrográfico e planctonológico da região entre Cabo Frio (RJ) e o Arquipélago de Abrolhos (BA). *Nerítica*, v. 7, n. 1/2, p. 71-86.
- Brandini F.P., Lopes R.M., Gutseit K.S., Spach H.L., Sassi R., 1997. Placntologia na plataforma continental do Brasil – Diagnose e revisão bibliográfica.

- Avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na Zona Econômica Exclusiva – REVIZEE. MMA. CIRM. FEMAR. 196p
- Bryan, K.; 1969. A Numerical Method for the Study of the Circulation of the World Ocean. *J. Comput. Phys.*, 4, 347-376.
- Campbell, L. & Vaulot, D. 1993. Photosynthetic picoplankton community structure in the subtropical N Pacific O. near Hawaii (Stat. ALOHA). *Deep-Sea Res.* 40: 2043-60.
- Chapman, D.C.; 1985. Numerical Treatment of Cross-Shelf Open Boundaries in a Barotropic Coastal Ocean Model. *Journal of Physical Oceanography*, 15, p. 1060-1075.
- Chisholm, S. W., 1992. Phytoplankton Size: 213-237. *In*, P. G. Falkowski & A. D. Woodhead (Eds.) *Primary Productivity And Biogeochemical Cycles In The Sea*. Plenum Press, New York. 550p.
- Ciotti A.M. & A. Bricaud. 2006. Retrievals of a size parameter for phytoplankton and light absorption by colored detrital matter from water-leaving radiances at SeaWiFS channels in a continental shelf region of Brazil. *Limnol. Oceanogr. Methods* 4:237–253.
- Ciotti A.M., Lewis M.R., Cullen, J.J. 2002. Assessment of the relationships between dominant cell size in natural phytoplankton communities and the spectral shape of the absorption coefficient. *Limnol. Oceanogr.*, 47: 404-417.
- Cox, M. 1984 A primitive equation, 3-dimensional model of the ocean. Tech. Report vol. 71, N. 41, 1131-1134. GFDL Ocean Group - Geophys. Fluid Dyn. Lab., Princeton Univ., Princeton, NJ.
- Curl Jr., H. & Small, L. F., 1965. Variations in photosynthetic assimilation ratios in natural marine phytoplankton communities. *Limnol. Oceanogr.*, 10: 67-73.
- Dagg, M.J. & Turner, J. T., 1982. The Impact Of Copepod Grazing On The Phytoplankton Of Georges Bank And The New York Bight. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39: 979-990
- Dugdale, R. C. & Holm-Hansen, O., 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primari production. *Limnology Oceanography*, 4: 454-466.
- Emilsson, I., 1961. The shelf and coastal waters of southern Brazil. *Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo*. Tomo XI, Fasc. 2, p. 101-112.

- Frost, B.W., 1987. Grazing Control Of Phytoplankton Stock In The Open Sub-Arctic Pacific Ocean: A Model Assessing The Role Of Mesozooplankton, Particularly.
- Gaeta S. A.; Lorenzzetti, J. A.; Miranda, L. B., Susini-Ribeiro, S. M. M.; Pompeu, M.; Araujo, C. E. S., 1999. The Vitoria Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral fall of 1995. *Arch. Fish. Mar. Res.*, v. 47, n. 2-3, p. 253-270.
- Glover, H. E., Prezelin, B. B., Campbell, L., Wyman, M. & Garside, C., 1988. A nitrate-dependent *Synechococcus* bloom in surface Sargasso Sea Water. *Nature*, 331 (6152): 161-163.
- Grasshoff K., 1983. *Methods of sea water analyses*, 2nd. Edn. Weinheim: Verlag Chemie 317pp.
- Gwilliam, C.S. 1995. The OCCAM Global Ocean Model. In: *Coming of Age (The Proceedings of the Sixth ECMWF Workshop on the use of Parallel Processors in Meteorology)*, World Scientific, pp: 446-454.
- Johnson, P.W. & Sieburth, J. Mc. N. 1979. Crococcoid cyanobacteria in the sea : a ubiquitous and diverse phototrophic biomass. *Limnology and Oceanography*, 24: 928-35.
- Hallegraeff G. M. 1981. Seasonal study of phytoplankton pigments and species at a coastal station off Sydney: importance of diatoms and the nanoplankton. *Mar Biol*, 61: 107-118.
- Herbland, A.; Bouteiller, A. L. ; Raimbault, P., 1985. Size structure of phytoplankton biomass in the equatorial Atlantic ocean. *Deep-Sea Research*, v. 32, n. 7, p. 819-836,
- Holm-Hansen, O., Lorenzen, C.J., Holems, R.W., Strikland, J.D.H., 1965. Fluorimetric determination of chlorophyll. *International council for the exploration of the sea*, V.30, p. 3-15.
- Jonhson, P. W. & Sieburth, J. McM. 1982. *In situ* morphology and occurrence of eucaryotic phototrophs of bacterial size in the picoplankton of estuarine and oceanic waters. *J. Phycol.*, 18: 318-327.
- Korolef, F., 1970. Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. *ICES Interlab. Rep.*, 3: 19-22.
- Kourafalou, V. 1993. Continental shelf response to freshwater input from rivers: A 3-D model study and applications. Tese de doutorado. Universidade de Miami, Miami, Florida, USA.

- Leão, Z. M. A. N.; Kikuchi, R. K. P.; Testa, V. 2003 Corals and coral reefs of Brazil. *In: J. Cortés. (ed.). Latin American coral reefs. Amsterdam, Elsevier Science, p. 9-52.*
- LeProvost, C.; Genco, M.; Lyard, F.; Vincent, P.; & Canceil, P. 1994. Spectroscopy of the world ocean tides from a finite element hydrodynamic model. *Journal of Geophysical Research*, 99(C12), p. 24777-24797.
- Malone, T.C., 1977. Light -Saturated Photosynthesis By Phytoplankton Size Fractions In The New York Bight, Usa. *Marine Biology*, 42: 281-292.
- Mamayev, O I.; 1970. Temperature - Salinity Analisis of World Ocean Water. 1nd ed.Elsevier Oceanography Series,11.
- Mann, K.H. 1982. Phytoplankton - based systems. *In: MANN, K.H. (Eds) Ecology of coastal waters: a system approach. Oxford, Blackwell. p. 83-124.*
- Marañón, E., Holligan, P.M., Barciela, R., González, N., Mouriño, B., Pazó, M.J., Varela,M., 2001. Patterns of phytoplankton size structure and productivity in contrasting open-ocean environments. *Marine Ecology Progress Series*, 216: 43–56.
- Maritorena, S., Siegel, D. A., & Peterson, A. R., 2002. Optimization of a semianalytical ocean color model for global-scale applications. *Appl. Opt.* 41:2705-2714.
- Martinsen, E. & Engerdahl, H. 1987. Implementation and Testing of a Lateral Boundary Scheme as an Open Boundary Condition in a Barotropic Ocean Model. *Coastl Engeneering*, 11:603-627.
- Mellor, G. 1998.Users guide for the Princeton Ocean Model. p. 45.
- Mellor, G. & Yamada, T. 1982. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20(4), p. 851—875.
- Metzler, P.M.; Gilbert, P.M.; Gaeta, S.A. & Ludlam, J.M., 1997. New and regenerated production in the South Atlantic off Brazil. *Deep-Sea Research*, 44(3): 363-384.
- Mitchell, B.G. 1990. Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT). P. 137-148. *In Ocean Optics 10, Proc. SPIE 1302.*

- Miranda, L. B., 1982. Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) e Ilha de São Sebastião (SP). Tese de Livre Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 123p.
- MMA, 2002. Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília: 404 p.
- Morel A., Prieur E.L. 1977. Analysis of variations in ocean color. *Limnol. Oceanogr.*, 22: 709–722.
- Moloney, C. L., Field J. G., Lucas M. I., 1991. The size-based dynamics of plankton food webs. II. Simulations fo three contrasting southern Benguela food webs. *Journal of Plankton Research*. 13: 1039 – 1092.
- Oey, L. 1996. Simulation of Mesoscale Variability in the Gulf of Mexico: Sensitivity Studies, Comparison with Observations, and Trapped Wave Propagation. *J. Phys. Oceanogr.*, 26(2): 145-175.
- Olson, R. J. et al. 1985. Marine phytoplankton distributions measured using shipboard flow cytometry. *Deep-Sea Research*, 32: 1273-80.
- Palma, E. & Matano, R. 2000. On the implementation of Open Boundary Conditions for a General Circulation Model: The three-dimensional case. *J. Geophys. Res.*, 105(C4): 8605-8627.
- Panouse, M. & Susini, S.M.M.; 1987. Production primaire du phytoplancton. In: Guille, A. & Ramos, J.M. eds. *Terres Australes et Antarctiques Francaises. Mission de recherche. Les rapports des campagnes a la mer a bord du "Marion Dufresne"*, p. 91-107,.
- Parson, T.R. & Takahashi, M. 1973. *Biological oceanographic processes*. Oxford, Pergamon Press, 186p.
- Partensky, F., Blanchot J., Lantoiné, F., Neveux, J., Marie D. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical NE Atlantic O. *Deep-Sea Research*, 43: 1191-213.
- Ramírez D.G., Giraldo A., Jorge T., 2006. Producción primaria, biomasa y composición taxonómica del fitoplancton costero y oceánico en el Pacífico colombiano (septiembre-octubre 2004)* *Investigaciones Marinas, Valparaíso*, 34(2): 211-216.

- Rodríguez J, Blanco JM, Jiménez-Gómez F, Echevarría F, Gil J, Rodríguez V, Ruiz J, Bautista B, Guerrero F., 1998. Patterns in the size structure of the phytoplankton community in the deep fluorescence maximum of the Alboran Sea (southwestern Mediterranean). *Deep-Sea Res* 45: 1577–1593.
- Ryther, J.H. & Dunstan, W.M. 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, 171: 1008-1012.
- Saunders, P.; Coward, A. & de Cuevas, B. 1999. Circulation of the Pacific Ocean seen in a global ocean model (OCCAM). *J. Geophys. Res.*, 104, C8, 18281-18299.
- Semtner, J. 1974. An oceanic general circulation model with bottom topography. Numerical Simulation of the Weather and Climate. Tech. Report. University of California – Los Angeles. Los Angeles, CA.
- Siegel D.A.; S. Maritorena; NB Nelson; D.A. Hansell; M. Lorenzi-Kayser, 2002. Global distribution and dynamics of colored dissolved and detrital organic materials. *J. Geo. Res.* 107:3228.
- Silvera, A.G.G. ; Angel, E. S. ; Garcia, V. M. T. ; Karger, F. M. ; Garcia, C.A.E. ; Nunes, R. M. 2004. Biogeographical regions of the tropical and subtropical Atlantic Ocean off South America: classification based on pigment (CZCS) and chlorophyll-a (SeaWiFS) variability. *Continental Shelf Research*, Reino Unido, v. 24, n. 9, p. 983-1000.
- Smetacek, V.S., 1988. Plankton characteristics. Pp. 93-130. In: H. Postma & J.J. Zijlstra (eds.). *Ecosystems of the world: Continental Shelves*. Amsterdam, Elsevier.
- Shiomoto, A., Kawaguchi, S., Imai, K. & Tsuruga, Y., 1998. Chl_a-Specific Productivity Of Picoplankton Not Higher Than That Of Larger Phytoplankton Off The South Shetland Islands In Summer. *Polar Biology*, 19: 361-364.
- Shoaf, W.T.; 1976. Lium, B.W. Improved extraction of chlorophyll a and b from algae using dimethyl sulfoxide. *Limol. Oceanogr.*, v.21, p.926-928,.
- Smith, P.E. & Eppley, R.W., 1982. Primary Production And The Anchovy Population In The Southern California Bight: Comparison Of Time Series. *Limnol. Oceanogr.*, 27: 1-17.
- Smagorinsky, J. 1963. General circulation experiments with the primitive equations, I, The basic experiment. *Monthly Weather Review*, 91, p. 99—164.

- Soares, I. D. 2003. The Southern Brazilian Shelf Buoyancy-Driven Currents. Tese de Doutorado. Universidade de Miami, Miami, Florida, USA.
- Stramma L & Schott F. 1999. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res., Part II*, 46: 279–303.
- Stramma, L., 1991: Geostrophic Transport of the South Equatorial Current in the Atlantic. *Journal of Marine Research*, 49, 281-294.
- Stramski, D. & Morel, A., 1990. Optical properties of photosynthetic phytoplankton in different physiological states as affected by growth irradiance. *Deep-Sea Res.*, v.37, p. 245-266.
- Strickland, J.L.H.; Parsons, T.R., 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Board. Can*, 169p.
- Susini-Ribeiro, S.M.M., 1999. Biomass distribution of pico, nano- and microplankton on the continental shelf of Abrolhos, East Brazil. *Arch. Fish. Mar. Res.* v. 47, p. 271-284,.
- Sverdrup, H.U.; Johnson, M.W. & Fleming, R.H., 1942. The oceans: their physics, chemistry and general biology. Englewood Cliffs, Prentice-Hall Inc. 1087p.
- Teixeira, C., Gaeta, S. A., 1991. Contribution of picoplankton to primary production in estuarine, coastal and equatorial waters of Brazil. *Hydrobiologia*, v. 209, p. 117-122,.
- Takahashi, T., S.C. Sutherland, R. Wanninkhof, C. Sweeney, R.A. Feely, D.W. Chipman, B.Hales, G. Friederich, F. Chavez, C. Sabine, A. Watson, D.C.E. Bakker, U. Schuster, N. Metzl, H. Yoshikawa-Inoue, M. Ishii, T. Midorikawa, Y. Nojiri, A. Körtzinger, T. Steinhoff, M. Hopemma, J. Olafsson, T.S. Arnarson, B. Tilbrook, T. Johannessen, A. Olsen, R. Bellerby, C.S. Wong, B. Delille, N.R. Bates, and H.J.W. de Baar (2009). Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO₂, and net sea-air CO₂ flux over the global oceans. *Deep-Sea Res. Part II*, 56(8–10), 554–577.
- Thomsen, H., 1962. Massas de água características del oceano Atlântico – parte Sudoeste. Reporte H 632 – Servicio de Hidrografia naval – Secretaria de Marina, Buenos Aires, Argentina, 28p.
- UNESCO. 1988. Progress on oceanographic tables and standards: work and recommendations of the UNESCO/SCOR/ICES/IASPO Joint Panel. Unesco technical papers in marine science 50.

- Vieira, A.A.H., Teixeira, C., 1981. Excreção de matéria orgânica dissolvida por populações fitoplanctônicas da costa leste e sudeste do Brasil. Bolm Inst. oceanogr., S. Paulo v. 30, n.1, p. 9-25.
- Waterbury JB et al. 1979. Widespread occurrence of a unicellular marine, planktonic cyanobacterium. Nature, 277: 293-4.
- Webb, D.; de Cuevas, B. & Coward, A. 1998. The first main run of the OCCAM Global Ocean Model . Southampton Oceanography Centre, Internal document no. 34.
- Weber, L. H. & El-Sayed, S. Z., 1987. Contributions Of The Net, Nano- And Picoplankton To The Phytoplankton Standing Crop And Primary Productivity In The Southern Ocean. *Journal Of Plankton Research*, Vol. 9, 5: 973-994.
- Welschmeyer N. A. 1994. Fluorometric analysis of chlorophyll a in presence of chlorophyll b and pheopigments. Limnol. Oceanogr. (Baltimore) 39(8), 1985–1992.

ANEXOS

- TABELA COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE ABROLHOS
- TABELA NITRITO ABROLHOS
- TABELA NITRATO ABROLHOS
- TABELA FOSFATO ABROLHOS
- TABELA SILICATO ABROLHOS
- TABELA AMÔNIA ABROLHOS
- TABLEA CLOROFILA a TOTAL ABROLHOS
- TABELA CLOROFILA a FRACIONADA ABROLHOS

- TABELA COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DO ATLÂNTICO SUL
- TABELA NITRITO ATLÂNTICO SUL
- TABELA NITRATO ATLÂNTICO SUL
- TABELA FOSFATO ATLÂNTICO SUL
- TABELA SILICATO ATLÂNTICO SUL
- TABELA AMÔNIA ATLÂNTICO SUL
- TABLEA CLOROFILA a TOTAL ATLÂNTICO SUL
- TABELA CLOROFILA a FRACIONADA ATLÂNTICO SUL