

Comunidades microplânctônicas no Oceano Atlântico Sul Ocidental: biomassa e distribuição em novembro de 1992

(Microplankton communities in the Southwestern Atlantic Ocean: biomass and distribution in November/1992)

Luciano F. Fernandes¹ & Frederico P. Brandini²

¹Universidade Federal do Paraná, Departamento de Botânica
Setor de Ciências Biológicas, Centro Politécnico
(Caixa Postal 19031, 81531-970, Jardim das Américas, Curitiba, PR, Brasil)
E-mail: lucfel@garoupa.bio.ufpr.br

²Universidade Federal do Paraná, Centro de Estudos do Mar
(Av. Beira-mar, s.n., 83255-000, Pontal do Paraná, PR, Brasil)

-
- **Abstract:** The biomass distribution and the composition of the microplankton (10-200µm) were investigated along a transect between Southern Brazil (25°30'S) and Antarctic Peninsula (62°05'S) in November/1992. Biomass peaks were observed at Polar Front (PF) and Brazil-Malvinas Confluence Zone (BMCZ) (0.84-1.23 µg Chl.a/l). Adjacent waters showed low biomass indicating low productivity, with similar average values for Antarctic Water (0.18 µg/l) and Subtropical Water (0.27 µg/l), where a bloom of *Trichodesmium erythraeum* was detected. Subantarctic waters over the oceanic province around the Patagonian shelf represented a notable exception, with peaks in phytoplankton biomass (up to 2.46 µg Chl.a/l). Those areas of enhanced biomass were diatom-dominated; the Prymnesiophyceae *Phaeocystis* was abundant in some stations. Both fronts presented similar values of chlorophyll-*a*, indicating that environments with distinctive characteristics could support blooms of the same magnitude. Weakly silicified diatoms (*Hemiaulus*, *Leptocylindrus*, *Thalassiosira*) dominated to the north of the BMCZ, while heavily silicified species (*Asteromphalus*, *Chaetoceros* aff. *neglectus*, *Fragillariopsis kerguelensis*, *Proboscia*, *Pseudonitzschia* sp., *Rhizosolenia*) formed the bulk of phytoplankton at the PF, reflecting the different chemical characteristics of the water masses. The diatoms occurring in the PF appear to be recurrent and widely distributed along different longitudes over the Antarctic Circumpolar Current. Ciliates and heterotrophic dinoflagellates were dominant at Subtropical Water and to the north of BMCZ, and seemed to respond quickly to the increasing phytoplankton biomass.
 - **Resumo:** A distribuição quantitativa e a biomassa do microplâncton (10-200µm) foram investigadas ao longo de um transecto entre São Paulo (25°30'S) e a Península Antártica (62°05'S) em novembro de 1992. Aumentos de biomassa fitoplânctônica ocorreram na Frente Polar (FP) e Zona de Confluência Brasil-Malvinas (ZCBM) (0,84-1,23µg Chl.a/l). A biomassa foi menor nas massas de água adjacentes, com valores médios semelhantes de clorofila-*a* para a Água Subtropical (0,27µg/l), onde ocorreu florescimento de *Trichodesmium erythraeum*, e Água de Superfície Antártica (0,18µg/l). A área central oceânica na Água Subantártica ao largo da plataforma patagônica (46°S-54°S) constituiu notável exceção, com florescimentos significativos do fitoplâncton (até 2,46µg Chl.a/l). As diatomáceas dominaram as áreas de crescimento intenso nas duas frentes, onde os valores de abundância e biomassa do fitoplâncton foram semelhantes, indicando que ambientes com características hidrográficas e biológicas distintas suportam florescimentos de mesma magnitude. Ao norte da ZCBM dominaram espécies com menor quantidade de sílica, refletindo concentrações menores deste nutriente naquelas águas. Em contrapartida, espécies com paredes celulares espessadas dominaram a comunidade durante o florescimento na FP. Estes representantes parecem ser recorrentes e com distribuição circumpolar na FP em diferentes longitudes. Ciliados e dinoflagelados dominaram na Água Subtropical e norte da Confluência, parecendo responder rapidamente às elevações de densidade do fitoplâncton. A Prymnesiophyceae *Phaeocystis* aff. *globosa* foi abundante em algumas estações.
 - **Descriptors:** Microplankton, Diatoms, Biogeography, Biomass, Oceanic fronts, Southwestern Atlantic Ocean, Antarctica.
 - **Descritores:** Microplâncton, Diatomáceas, Atlântico Sul Ocidental, Distribuição, Biomassa, Frentes oceânicas.
-

Introdução

Os estudos sobre a composição e distribuição do plâncton em diferentes regiões dos oceanos demonstram a formação de associações de espécies em função das características hidrográficas das massas de água. Como consequência destas observações históricas, esquemas de zonação biogeográfica do plâncton têm sido propostos, embasados em uma quantidade de dados disponíveis que lhes conferiram razoável confiabilidade (Hart, 1942; Hasle, 1969; Boltovskoy, 1981, 1989; Deacon, 1982). Estas zonas biogeográficas são, em geral, limitadas por frentes oceânicas, que geram condições ambientais heterogêneas e relativamente instáveis para a comunidade planctônica. Este fato levou alguns autores a identificá-las como "zonas de transição" do pelagial, ou seja, ecótonos onde a variabilidade dos parâmetros ambientais dificulta a adaptação de muitas espécies, enquanto que o desenvolvimento de outras pode ser favorecido (Boltovskoy, 1989 e suas referências). Nas frentes oceânicas ocorrem fortes gradientes de temperatura, densidade e nutrientes representando, portanto, barreiras físicas à distribuição do plâncton, e separando massas de água com comunidades biológicas e características hidrográficas distintas. No Oceano Atlântico Sul Ocidental (OASO) cinco domínios hidrográficos podem ser diferenciados: Água Tropical/Subtropical (0°S-32°S), Zona de Confluência Brasil-Malvinas (ZCBM, 33°S-42°S), na qual são gerados vórtices e meandros, Água Subantártica (ASA, 42°S-56°S), Frente Polar (FP), separando águas subantárticas de águas antárticas, numa estreita faixa latitudinal circumpolar (57°S-59°S, na altura da Passagem de Drake), e Água de Superfície Antártica (AA, abaixo de 59°S). Desde 1980, aumentos consistentes da produtividade biológica nas áreas sob influência das frentes oceânicas têm sido observados, especialmente do fitoplâncton, tornando-se cada vez mais evidente que este fenômeno ocorre em todos os oceanos (Allanson *et al.*, 1981; Hara & Tanoue, 1985; Kosaki *et al.*, 1985; Lutjeharms *et al.*, 1985).

Ao contrário de outras regiões dos oceanos no hemisfério sul, o Oceano Atlântico Sul Ocidental permanece carente de estudos qualitativos e biogeográficos, particularmente em áreas de plataforma externa e oceânicas. Os estudos sobre ecologia do plâncton de águas profundas referentes à distribuição da biomassa, taxa de herbivoria, etc., ainda são geograficamente limitados (Hubold, 1980; Balech, 1986; Brandini, 1988, 1990; Soares, 1983; Gayoso & Podestá, 1996; Smetacek *et al.*, 1997). Embora alguns grupos do zooplâncton tenham sido razoavelmente investigados (Boltovskoy, 1981;

Balech, 1989), mais trabalhos são necessários para permitir a elaboração de uma síntese biogeográfica dos principais grupos microplanctônicos (como diatomáceas, ciliados, coccolitoforídeos e dinoflagelados) no Oceano Atlântico Sul Ocidental.

Neste trabalho analisamos a distribuição e biomassa do microplâncton em águas superficiais ao longo de um transecto no Oceano Atlântico Sul Ocidental em novembro de 1992, discutindo as oscilações observadas nas comunidades em relação às massas de água e frentes oceânicas.

Caracterização Oceanográfica da Área de Estudo

Com base nos trabalhos de Sverdrup *et al.* (1942), Emílsson (1961), Boltovskoy (1981), Matsuura (1986), Peterson & Stramma (1991) e Stramma & England (1999), cinco domínios hidrográficos de superfície podem ser reconhecidos no transecto latitudinal amostrado ao longo do OASO.

A Água Tropical transportada pela Corrente do Brasil é composta de águas com temperaturas acima de 20°C, salinidades acima de 36,0 e baixas concentrações de nutrientes. No paralelo de 20°S esta massa de água sofre resfriamento e é denominada Água Subtropical (Fig. 1), com temperaturas entre 18°C e 24°C e salinidades entre 34,5 e 36,0. A Corrente do Brasil transporta os maiores volumes de água entre as latitudes 32°S e 38°S, já nas proximidades da ZCBM, o que traz consequências importantes em relação à complexidade da hidrografia na região, devido ao seu encontro com as águas da Corrente das Malvinas, como descrito a seguir.

A Zona de Confluência Brasil-Malvinas (ZCBM) é resultante do encontro entre a Corrente do Brasil, fluindo para sudoeste sobre o talude continental e a plataforma, e a Corrente das Malvinas, a qual movimentada-se para o norte/nordeste pela borda da plataforma argentina transportando águas subantárticas. A mistura destas massas de água com características hidrográficas distintas ocorre na área compreendida entre 33°S e 42°S, eventualmente alcançando as latitudes de 46°S-48°S. Condições oceanográficas complexas são geradas, pois são formados vórtices, meandros e filamentos. Decréscimos nítidos e abruptos de temperatura e densidade da água também têm sido registrados, variando entre 26,0°C e 14,0°C, podendo atingir 6,5°C (Gayoso & Podestá, 1996). A ZCBM pode ser influenciada pelas águas do estuário do Rio da Prata, que chegam a alcançar centenas de quilômetros em direção à borda das plataformas argentina e uruguaia, na dependência da direção e intensidade dos ventos e do regime pluviométrico (Boltovskoy, 1981).

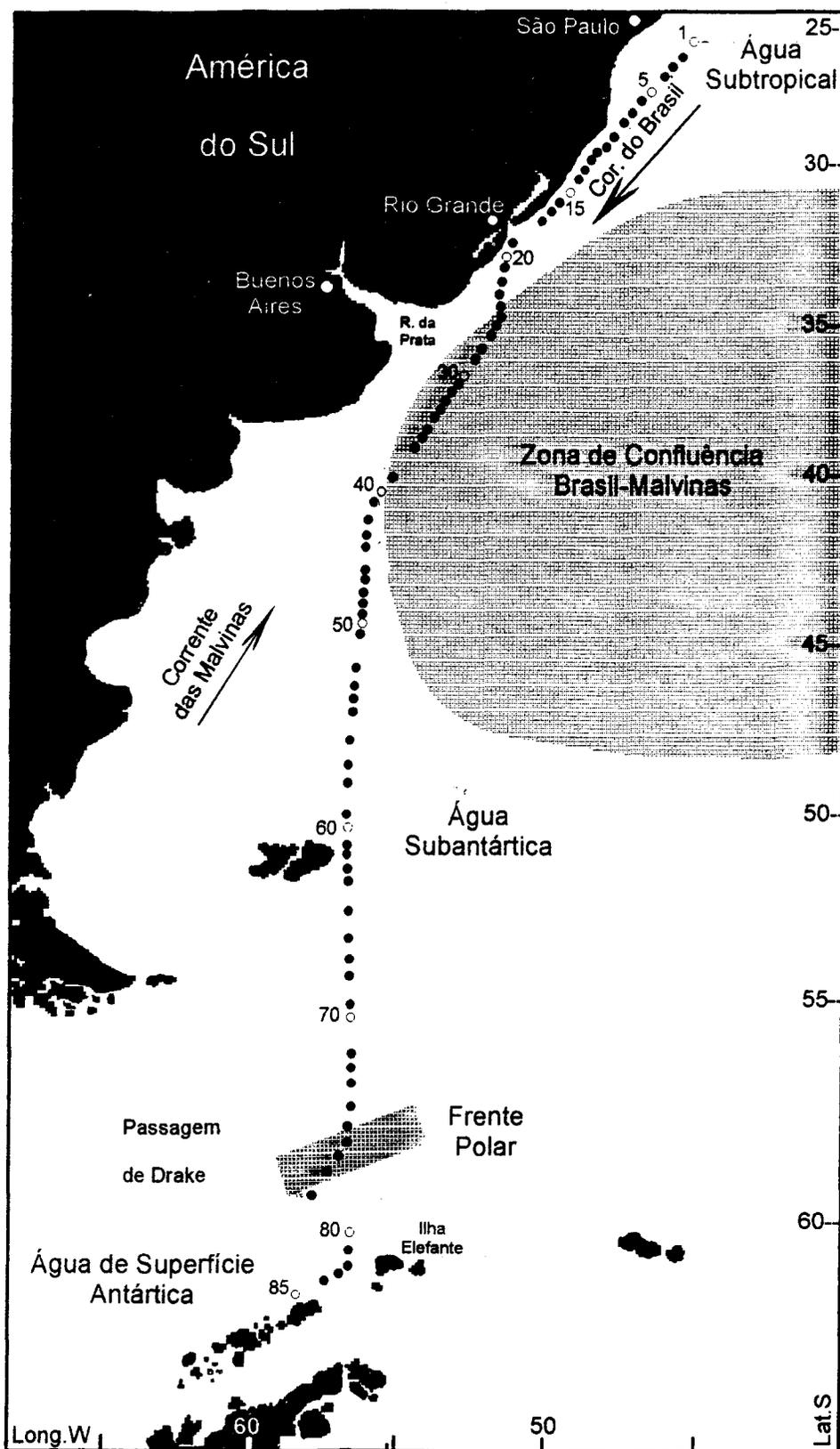


Fig. 1. Mapa da região estudada no Oceano Atlântico Sul Ocidental, mostrando a rota do navio "Barão de Teffé" e as estações de amostragem nas diferentes massas de água, durante a expedição PROANTAR XI (novembro de 1992). (Modificado de Boltovskoy, 1981).

A Água Subantártica (ASA), entre aproximadamente 35°S e 55°S e limite austral delimitado pela Frente Polar Antártica, é menos salina (<35,0), com valores menores de temperatura (3,5°C-9,0°C) e mais rica em nutrientes. A Corrente das Malvinas, originada a partir da ramificação da Corrente Circumpolar Antártica na altura da Passagem de Drake, transporta águas subantárticas mais frias (5,0°C-9,0°C nos paralelos 50°S-40°S) e menos salinas (33,5-34,7) em direção ao norte. Estas águas atingem seu extremo norte aproximadamente a 34,5°S-35,5°S, mas intrusões de águas subantárticas também foram detectadas até 23°S, podendo ser responsáveis por fenômenos de ressurgências nas áreas costeiras e conseqüentes florescimentos do fitoplâncton (Hubold, 1980; Brandini, 1990; Fernandes, 1992; Campos *et al.*, 1996).

A Frente Polar Antártica (FP) ou Convergência Antártica é uma estreita faixa circumpolar situada entre 57°S e 59°S no OASO na altura da passagem de Drake, e caracterizada por fortes gradientes de densidade e térmicos (até 6,0°C), com decréscimos de temperatura de 7,0°C para 1,0°C. A FP é formada a partir da subsidência da Água Superficial Antártica (mais fria e com densidade maior), que passa a fluir por sob a ASA (menos fria e com densidade menor) em direção ao norte, sendo denominada então Água Intermediária Antártica. Alguns autores têm observado que a FP ocupa, na realidade, uma área que se estende por 2°-4° de latitude em direção ao norte e onde ocorre intensa mistura de águas causada por vórtices gerados na parte sul da FP (Ikeda *et al.*, 1989; Peterson & Stramma, 1991). Por este motivo, utilizaram o termo Zona de Frente Polar para caracterizá-las. Esta zona apresenta-se limitada ao norte por águas subantárticas, aí formando uma fronteira hidrográfica conhecida como Frente Subantártica (FSA).

As águas superficiais ao sul da FP são mais frias (-1,5°C à 3,5°C) e menos salinas (33,0-34,5), estendendo-se da superfície até aproximadamente 100-250 m de profundidade, sendo denominadas Água de Superfície Antártica (AA). Nas áreas ao redor da FP até o talude continental antártico a AA é mais profunda, tornando-se mais rasa sobre a plataforma continental. A temperatura e a salinidade variam sazonalmente, devido às oscilações da radiação solar e a formação e derretimento do gelo.

Material e métodos

As amostras foram coletadas a bordo do Navio de Apoio Oceanográfico "Barão de Teffé",

durante a Operação Antártica XI do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR XI), ao longo de um transecto entre São Paulo (25°30'S) e a Península Antártica (62°05'S) e entre aproximadamente 45°W e 58°W (Fig. 1), de 10 a 28 de novembro de 1992.

Amostras de água de superfície foram coletadas em oitenta e cinco estações com balde plástico, ao longo da trajetória do navio. Para cada estação, 9-20 litros de água do mar foram cuidadosamente filtrados em rede de 10 µm de abertura da malha através da técnica de filtração reversa (Dodson & Thomas, 1978), até o volume de 200 ml. O material retido foi preservado com formaldeído até a concentração final de 1%. Em seguida, o material foi decantado e a água sifonada, mantendo-se um volume final de 50 ml para análise em microscópio invertido após sedimentação em câmara de Utermöhl. As estimativas de biomassa para cada taxon determinado foram calculadas a partir do volume celular adaptado a figuras geométricas e a fatores de conversão para carbono apropriados para diatomáceas, coccolitoforídeos, cianobactérias e silicoflagelados (0,11 pg.µm⁻³), dinoflagelados (0,13 pg.µm⁻³) e ciliados (0,14 pg.µm⁻³) (Strathmann, 1967; Edler, 1979; Putt & Stoecker, 1989). Amostras de plâncton total (50 ml) foram preservadas com formaldeído neutralizado (concentração final de 0,4%) para observação e enumeração de espécies mais frágeis de dinoflagelados atecados e grupos numericamente abundantes do nanoplâncton em microscópio invertido (Hasle, 1978). A despeito da variabilidade de seu tamanho (8-200 µm), as diatomáceas foram incluídas neste trabalho sob a denominação micropoplâncton. Algumas lâminas permanentes foram preparadas de acordo com Hasle & Fryxell (1970) para determinação das espécies de diatomáceas abundantes, utilizando Naphrax como meio de montagem. Uma alíquota de 100 ml de água foi filtrada em filtros Whatmann-GFF para leitura da concentração de clorofila-*a* em fluorômetro Turner 10-AU após extração com acetona 90%, de acordo com Strickland & Parsons (1972). A temperatura foi medida em intervalos de 1 hora com termômetro padrão calibrado na Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. Alguns lançamentos de XBT foram realizados para auxiliar na localização das frentes oceanográficas. As massas de água foram determinadas a partir dos dados de temperatura (Tab. 1), indicadores biológicos e trabalhos anteriores desenvolvidos na região.

Tabela 1. Dados das estações com valores médios (e intervalos) registrados nas diferentes massas de água ao longo do transecto no Oceano Atlântico Sul-Occidental (PROANTAR XI/novembro de 1992).

	Água Subtropical	Zona de Confluência Brasil-Malvinas	Água Subantártica	Frente Polar	Água de Superfície Antártica
Estações (No.)	1 - 21 (21)	22 - 40 (19)	41 - 74 (34)	75 - 79 (5)	80 - 85 (6)
Latitude S	25°33' - 33°35'	34°17' - 40°30'	41°08' - 57°38'	58°04' - 59°46'	60°26' - 62°05'
Longitude W	45°16' - 51°51'	51°50' - 56°29'	56°57' - 57°14'	57°19' - 57°49'	57°09' - 58°22'
Profundidade (m)	187,4 (20 - 847)	484,3 (118 - 1354)	2089,1 (131 - 4578)	3625,0 (3394 - 3730)	664,4 (40 - 1926)
Temperatura (°C)	25,0 - 18,0	17,5 - 8,2	8,3 - 5,5	5,0 - 0,7	0,7 - 0,4
Clorofila-a (µg/l)	0,27 (0,10 - 0,84)	0,25 (0,08 - 0,64)	0,90 (0,18 - 2,46)	0,16 (0,06 - 0,23)	0,18 (0,08 - 0,31)
Densid. Total (cels/l)	1236 (95 - 6350)	33792 (2 - 452040)	824330 (452-3,4x10 ⁶)	76603 (202 - 316612)	9468 (3309 - 19445)
Biom. Total (µgC/l)	5,65 (0,36 - 47,49)	66,13 (0,02 - 327,8)	81,37 (1,09 - 317,39)	22,67 (0,71 - 69,32)	7,16 (2,55 - 23,08)
Diatomáceas					
densidade (cels/l)	252,2±406,5 (4,2 - 1477)	33497,0±120106 (0,5 - 451983)	798618,7±1033827 (86,7 - 3682488)	75926,2±135613 (183 - 315725)	9432,6±6968 (520 - 19418)
biomassa (µgC/l)	0,76±0,99 (0,02 - 3,37)	16,15±47,42 (0,00 - 173,58)	75,61±96,71 (0,00 - 346,39)	21,13±26,69 (0,48 - 54,84)	6,48±8,30 (0,94 - 22,44)
Cianobactérias					
densidade (filam./l)	248,1±481,6 (0,0 - 1973)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
biomassa (µgC/l)	0,27±0,65 (0,00 - 2,72)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Coccolitoforídeos					
densidade (cels/l)	1,15±4,07 (0,0 - 18,6)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
biomassa (µgC/l)	0,08±0,35 (0,00 - 1,60)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Silicoflagelados					
densidade (cels/l)	1,2±1,4 (0,2 - 6,1)	10,5±13,1 (0,0 - 39,2)	186,4±207,7 (2,7 - 666,5)	512,4±612,8 (2,0 - 1475,0)	4,8±1,7 (3,2 - 8,5)
biomassa (µgC/l)	0,003±0,0006 (0,000 - 0,025)	0,004±0,005 (0,000 - 0,016)	0,082±0,091 (0,001 - 0,280)	0,180±0,240 (0,001 - 0,610)	0,002±0,001 (0,002 - 0,003)
Dinoflagelados					
densidade (cels/l)	688,3±1367,8 (13,0 - 5865,3)	266,3±402,1 (0,7 - 1615,0)	1046,2±1236,9 (57,7 - 4827,0)	54,9±51,2 (2,0 - 125,2)	2,2±0,4 (2,1 - 3,3)
biomassa (µgC/l)	4,04±10,28 (0,07 - 46,04)	49,79±100,71 (0,00 - 324,98)	3,20±3,81 (0,18 - 13,03)	0,21±0,22 (0,00 - 0,55)	0,0043±0,0008 (0,004 - 0,006)
Ciliados					
densidade (cels/l)	44,8±52,4 (6,1 - 199,8)	18,5±29,3 (0,0 - 87,7)	269,2±249,2 (17,1 - 1248,5)	108,1±133,2 (15,2 - 340,2)	29,1±5,7 (22,4 - 35,9)
biomassa (µgC/l)	0,51±0,35 (0,10 - 1,27)	0,19±0,29 (0,00 - 0,96)	2,14±1,95 (0,15 - 7,26)	0,99±1,23 (0,23 - 3,47)	0,68±0,23 (0,38 - 0,98)

Resultados

Clorofila-a

Os maiores valores de clorofila-a (Tab. 1) ocorreram em três áreas distintas (Fig. 2). Ao norte da Zona de Confluência as concentrações atingiram 0,84 µg/l e, ao sul, 0,64 µg/l. Na Água Subantártica valores elevados (0,65-2,46 µg/l) foram detectados numa extensa área central (46°S-54°S), tendendo a acompanhar as oscilações observadas para diatomáceas. A Frente Polar compreendeu a terceira área de maior concentração do fitoplâncton, onde os

níveis de clorofila-a atingiram máximos em estações ao norte (até 1,23 µg/l).

Nas demais áreas os valores de clorofila-a foram baixos (<0,5 µg/l), compreendendo águas tipicamente subtropicais com pouca ou nenhuma influência da Confluência (25°S-33°S), extremos norte e sul (Passagem de Drake) da Água Subantártica, e Água de Superfície Antártica. Nesta última ocorreu pequeno aumento (>0,24 µg/l) em águas mais rasas (<1000 metros), em relação as mais profundas (0,08-0,15 µg/l).

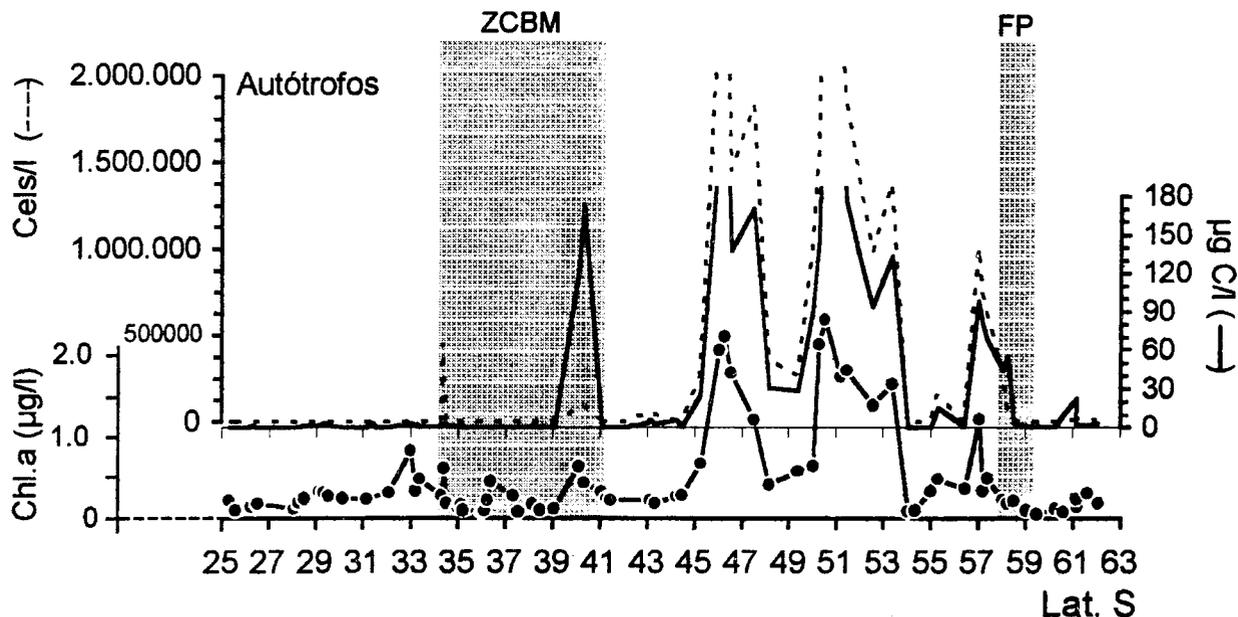


Fig. 2. Distribuição latitudinal da biomassa ($\mu\text{gC/l}$) e densidade (cels/l) de autótrofos do microplâncton, e clorofila-*a* ($\mu\text{g/l}$) no Oceano Atlântico Sul Ocidental (45°W - 58°W) em novembro de 1992. As áreas hachuradas indicam as posições aproximadas da Zona de Confluência Brasil-Malvinas (ZCBM) e Frente Polar (FP). Note as diferentes escalas dos parâmetros registrados.

Distribuição geográfica da densidade e biomassa do microplâncton

Água Subtropical. A densidade e a biomassa do microplâncton total foram baixas em relação aos demais setores do transecto (Fig. 2). As maiores concentrações ocorreram ao sul próximo à ZCBM, influenciadas pelas diatomáceas (Fig. 3), destacando-se *Hemiaulus hauckii* e *H. membranaceus* que dominaram na maioria das estações, seguidas de *Dactyliosolen mediterraneus*, *Detonula pumila*, *Leptocylindrus danicus*, *Proboscia alata* e *Thalassiosira subtilis*. A distribuição latitudinal de algumas destas espécies está mostrada na Figura 4. As cianobactérias dominaram ao norte da Água Subtropical (>40% em algumas estações; Fig. 5), quase que exclusivamente compostas por *Trichodesmium erythraeum*. Os coccolitoforídeos foram representados por *Umbilicosphaera sibogae*, e em baixas densidades. Os dinoflagelados ocorreram em maiores densidade e biomassa ao norte e ao sul da Água Subtropical, sendo responsáveis pelas maiores concentrações de microplâncton (Fig. 3). Dominaram neste grupo *Ceratium declinatum* (mais de 50% das densidades em algumas estações), *Ceratium* spp., *Prorocentrum* spp., *Dinophysis* spp. e *Protoberidinium* spp. Ao sul dominaram *Prorocentrum compressum*, *Protoberidinium*

depressum, *P. oviforme*, e *P. pentagonum*, além de dinoflagelados atecados. A distribuição latitudinal das espécies abundantes está mostrada na Figura 4. Entre os ciliados, foram importantes os tintininos, mais abundantes nas estações ao sul da Água Subtropical.

Zona de Confluência Brasil-Malvinas (ZCBM). Ocorreu maior número de células do microplâncton em relação à AST, mas tendendo a concentrar-se principalmente ao norte e ao sul da ZCBM, onde os valores máximos de densidade e biomassa foram registrados (Fig. 2). Na área mais central desta zona foi observado um decréscimo nas densidades; em algumas estações (29-37, Lats. $35^{\circ}23'S$ a $38^{\circ}39'S$) o microplâncton esteve praticamente ausente. As diatomáceas dominaram a comunidade (Fig. 3), atingindo $4,5 \times 10^5$ cels/l ao norte e até $1,0 \times 10^5$ cels/l ao sul da ZCBM, representando mais de 70 % da densidade do microplâncton (Fig. 5). Na parte central as densidades foram bastante reduzidas. As espécies mais abundantes foram: *Coscinodiscus* spp. (ao norte), *Fragillariopsis kerguelensis* (ao sul), *Rhizosolenia* aff. *calcaravis* (ao norte), *Thalassionema nitzschioides* (ao norte), *Thalassiosira delicatula* e *Thalassiosira* spp.. Os silicoflagelados ocorreram em densidades muito inferiores, concentrando-se também em áreas ao sul

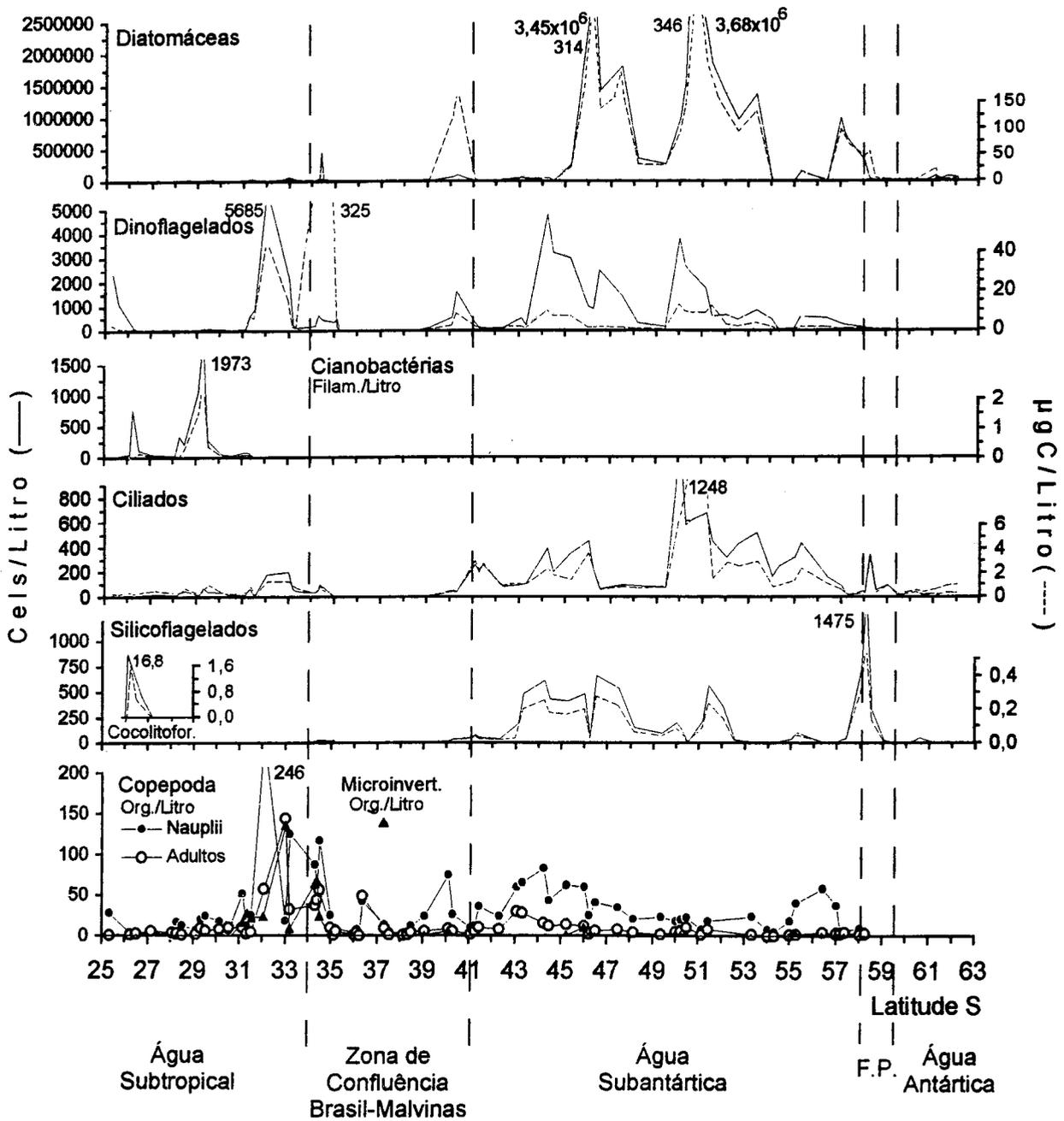


Fig. 3. Distribuição latitudinal da biomassa (µgC/l) e densidade (cels/l) dos principais grupos do microplâncton em águas superficiais do Oceano Atlântico Sul Ocidental (45°W-58°W) em novembro de 1992. Note as diferentes escalas dos parâmetros registrados. As linhas verticais tracejadas indicam as posições aproximadas das massas de água. Os cocolitoforídeos estão inseridos no gráfico para silicoflagelados. FP= Frente Polar.

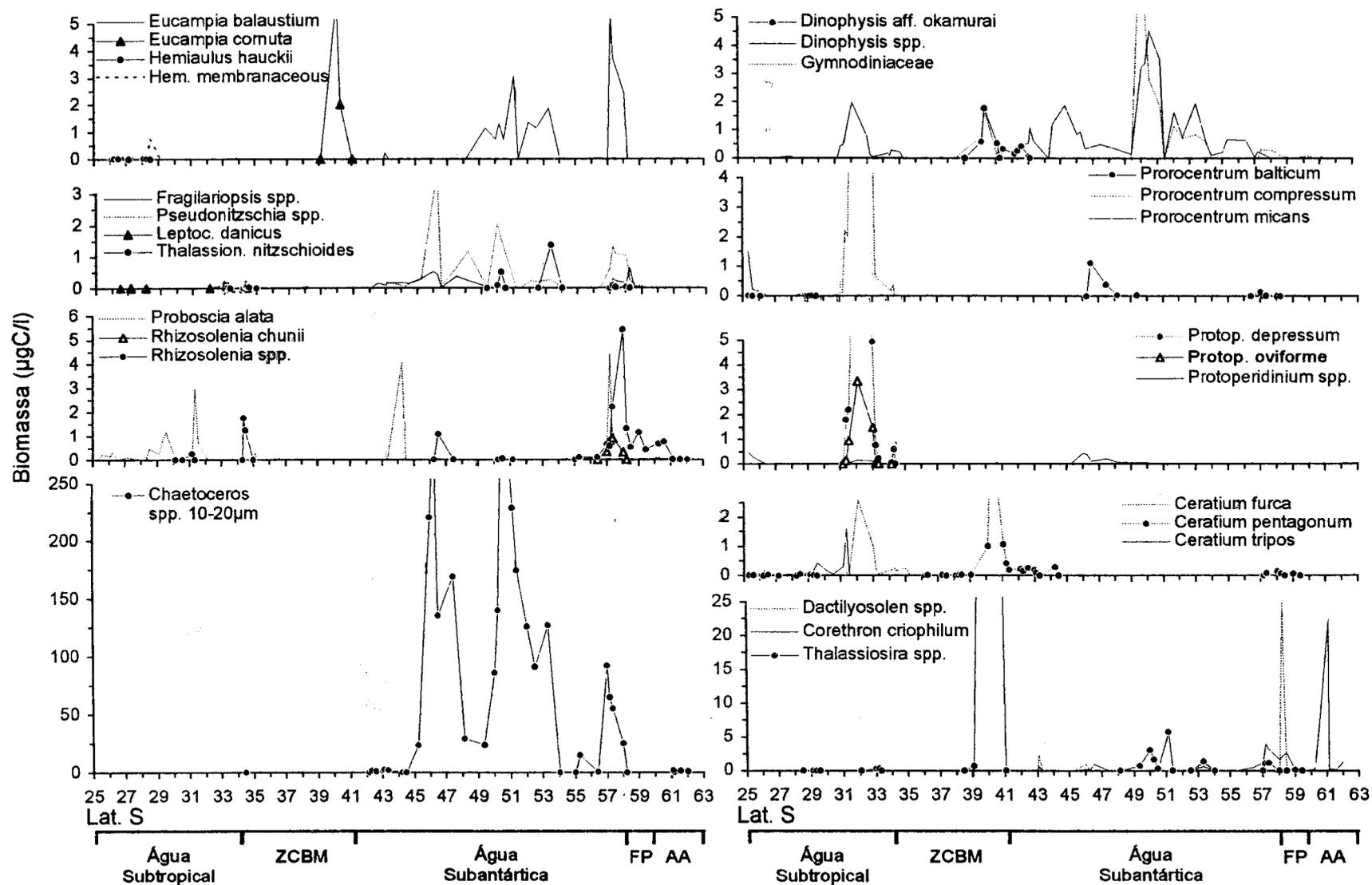


Fig. 4. Distribuição latitudinal de biomassa ($\mu\text{gC/l}$) das espécies abundantes do microplâncton ao longo do transecto no Oceano Atlântico Sul Ocidental (45°W-58°W) em novembro de 1992. ZCBM= Zona de Confluência Brasil-Malvinas; FP= Frente Polar; AA= Água de Superfície Antártica.

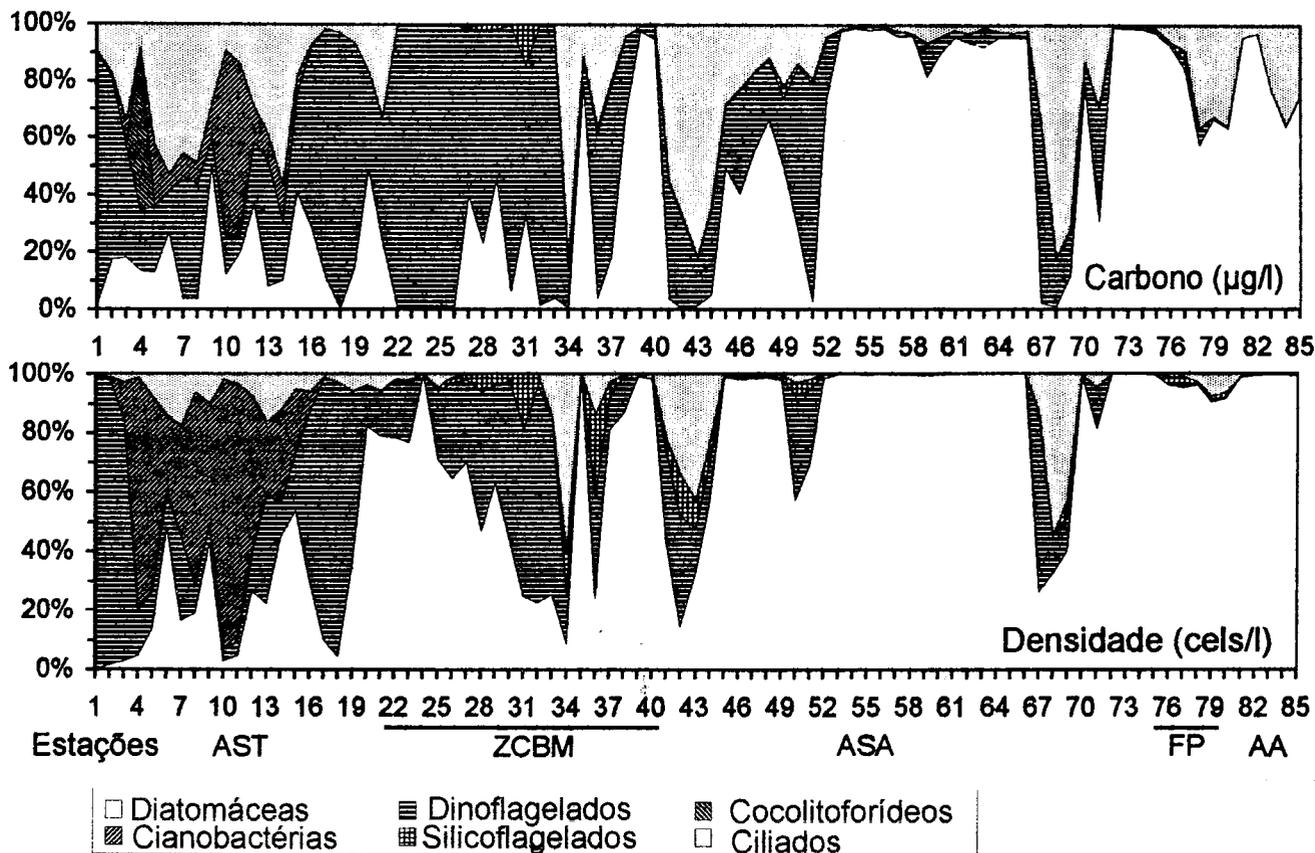


Fig. 5. Contribuição relativa (%) de biomassa ($\mu\text{g/l}$) e densidade dos principais grupos do microplâncton no Oceano Atlântico Sul Ocidental (45°W - 58°W) em novembro de 1992. AST= Água Subtropical; ZCBM= Zona de Confluência Brasil-Malvinas; ASA= Água Subantártica; FP= Frente Polar; AA= Água de Superfície Antártica.

da ZCBM. As espécies nanoplancônicas importantes foram *Phaeocystis* aff. *globosa* nas estações 32, 33, 39 e 40 (oscilando de $1,6 \times 10^5$ a $5,3 \times 10^5$ cels/l) e o cocolitoforídeo *Emiliana huxleyi*, nas estações 35 e 41, com $4,0 \times 10^4$ - $8,2 \times 10^4$ cels/l). O número de dinoflagelados foi maior nas estações ao norte e ao sul da ZCBM, e menor na área central. As espécies representativas foram *Ceratium furca hircus*, *C. gibberum*, *C. lineatum*, *C. pentagonum grande* (ao sul), *Dinophysis* spp. (ao sul) e *Protoberidinium* spp., e gymnodiniáceos. Nas estações 23 a 26 as espécies atecadas *Noctiluca scintillans* e *Pyrocystis noctiluca* foram abundantes ($63,2$ - $399,7$ cels/l e $51,2$ - $323,0$ $\mu\text{gC/l}$), influenciando a biomassa ao norte, inclusive superando a de diatomáceas. Os ciliados, representados por alguns tintininos, apareceram em baixas densidades, e foram ausentes em algumas estações (29-32) na parte central da ZCBM. É importante ainda registrar a presença de alguns organismos de água mais salobra ou doce, como a clorófita *Cosmarium* sp. (Zygnemaphyceae) e rotíferos entre as estações 19 e 28 (profundidade: 51,5- 138,7 metros).

Água Subantártica. O microplâncton apresentou grandes oscilações de densidade e biomassa (Figs. 2 e 3), bastante influenciadas pelas diatomáceas que representaram mais do que 90% da densidade total (Fig. 5). De modo geral, as maiores concentrações (Fig. 3) foram observadas na área mais central (46°S - 54°S) e, secundariamente, nas estações ao sul, sob influência da Frente Polar, dominando as diatomáceas, devido ao florescimento de *Chaetoceros* spp. e, em menor escala, *Fragillariopsis kerguelensis*. Também foram abundantes *Dactyliosolen antarcticus*, *Eucampia antarctica*, *Pseudonitzschia* sp. e *Thalassiosira* spp. Nas três estações (72, 73, e 74) mais próximas da Frente Polar, a composição e abundância (Fig. 5) das diatomáceas modificaram-se razoavelmente. Nelas também ocorreram as espécies *Corethron criophilum*, *Proboscia alata*, *Rhizosolenia chunii*, *R. antennata antennata*, *R. fragilissima*, *R. hebetata semispina* e *R. styliformis*. Os silicoflagelados foram abundantes nas áreas central e sul, atingindo concentrações superiores a 60 cels/l e 0,28 $\mu\text{gC/l}$ (Fig. 3). Na estação 66 ($53^{\circ}35'\text{S}$) novamente a

primnesiófita *Phaeocystis* aff. *globosa* (estágios colonial e livre flagelado) apresentou concentrações altas ($7,32 \times 10^5$ cels/l). Os dinoflagelados apresentaram máximos na área central das águas subantárticas onde *Ceratium lineatum*, *C. pentagonum grande*, *Dinophysis okamurai*, *Gymnodinium* spp., *Gyrodinium* sp. e *Prorocentrum* sp. (20-23µm) foram abundantes. Os menores valores ocorreram nas estações mais ao norte e no extremo sul do setor. Os ciliados foram mais importantes no centro-sul e ao norte do setor, dominando o tintinino *Cymatocylis antarctica*.

Frente Polar. Os valores para o microplâncton foram elevados ao norte, dominando as diatomáceas (Fig. 2). A composição de espécies mostrou-se semelhante à das estações ao sul da Água Subantártica, dominando *Asteromphalus hookerii*, *A. heptactis*, *Chaetoceros* aff. *neglectus*, *Chaetoceros* spp., *Dactyliosolen antarctica*, *D. tenuijunctus*, *Fragillariopsis kerguelensis*, *F. pseudonana*, *Pseudonitzschia* sp. e *Thalassiosira* spp. Ao norte também foram importantes *Corethron criophilum*, *Rhizosolenia* spp. e *Thalassionema nitzschioides*. Ao sul dominaram *Fragillariopsis* spp. e *Pseudonitzschia* sp. Várias outras espécies criófilas (além de *Fragillariopsis*) também ocorreram em densidades razoáveis, entre 345-4500 cels/l. Os silicoflagelados apresentaram um pico numérico de 1475 cels/l na estação 76 na parte norte da Frente Polar. Os dinoflagelados ocorreram em baixas concentrações, e os mais comuns foram *Dinophysis antarctica*, *Ceratium pentagonum*, *Prorocentrum* spp e representantes não identificados de Gymnodiniaceae.

Água de Superfície Antártica. O microplâncton foi dominado por diatomáceas (Fig. 3) e com concentrações em geral baixas, mostrando duas tendências: valores menores em águas mais profundas (720-1900 metros) ao norte, e maiores nas águas rasas (40-200 metros) ao sul. As espécies representativas de diatomáceas foram: *Corethron criophilum*, *Dactyliosolen antarcticus*, *D. mediterraneus*, *Fragillariopsis* spp. (espécies não determinadas), *Rhizosolenia antennata semispina*, *R. inermes* e *Thalassiosira* spp. (em águas mais profundas). Algumas diatomáceas epônticas também ocorreram, como *Banquisia belgicae*, *Membraneis impostei* e *Plagiotropsis gausssii*. Nas estações (82-85) de águas mais rasas as diatomáceas mais importantes foram *Chaetoceros* sp., *Corethron criophilum*, *Fragillariopsis curta*, *F. cylindrus*, *Rhizosolenia* spp. e cêntricas não identificadas. A contribuição de dinoflagelados foi pequena, aparecendo apenas *Ceratium pentagonum* e alguns

gimnodiniáceos (*Amphidinium*, *Gymnodinium* e *Torodinium*). Os ciliados ocorreram em baixas densidades, dominando tintininos (ao sul).

O número de copépodos foi acompanhado para verificar seus padrões de distribuição em relação aos grupos do microplâncton (Fig. 3, gráfico inferior). Os máximos de abundância ocorreram ao norte da Confluência (246 náuplios/l e 143 adultos/l) e, em menor escala, na água subantártica. Nestas foram registradas várias pelotas fecais de copépodos com diatomáceas cêntricas e penadas, indicando intensa atividade de herbivoria. Na Água Subtropical e no interior da Confluência suas concentrações geralmente foram reduzidas. Na Frente Polar e na Água de Superfície Antártica os copépodos não foram detectados, sugerindo a possibilidade do volume de água filtrada (9-20 litros) não ter sido suficiente para amostrá-los. Os outros invertebrados (larvas de poliquetos, apendiculários e quetognatos) também apresentaram seus máximos de densidade nas estações influenciadas pela Confluência, atingindo 114,9 org./l na latitude 33°S. Em 3 estações os acantários foram importantes. Na parte sul (estações 38 e 39) as concentrações de copépodos e apendiculários também foram altas, coincidindo com os picos de clorofila-*a*, determinados pelo florescimento de *Phaeocystis* aff. *globosa*.

Discussão

As diatomáceas dominaram amplamente a comunidade do microplâncton na Água Subantártica, Frente Polar e Água de Superfície Antártica. Os elevados valores médios de abundância nas duas primeiras zonas foram fortemente influenciados por florescimentos de pequenas diatomáceas (*Chaetoceros* e *Fragillariopsis*). A Figura 6 e a Tabela 1 permitem comparar as contribuições médias de densidade e biomassa dos grupos do microplâncton no Oceano Atlântico Sul Ocidental ao longo do transecto realizado. A contribuição de cianobactérias e cocolitoforídeos restringiu-se à Água Subtropical, e sua importância em relação à biomassa foi pequena. Os dinoflagelados foram mais representativos do que as diatomáceas em águas subtropicais e na Zona de Confluência; nas outras áreas suas concentrações médias foram mais baixas.

A biomassa autótrofa e as concentrações do microfítolâncton na Água Subtropical foram baixas. A maior parte da clorofila-*a* nesta água pode ser atribuída ao nanofítolâncton, classe de tamanho dominante na província oceânica do sul do Brasil (Brandini, 1988, 1990; Brandini & Fernandes, 1996). O microplâncton foi dominado por dinoflagelados, como é comum em águas oligotróficas de plataforma externa e oceânicas do sul

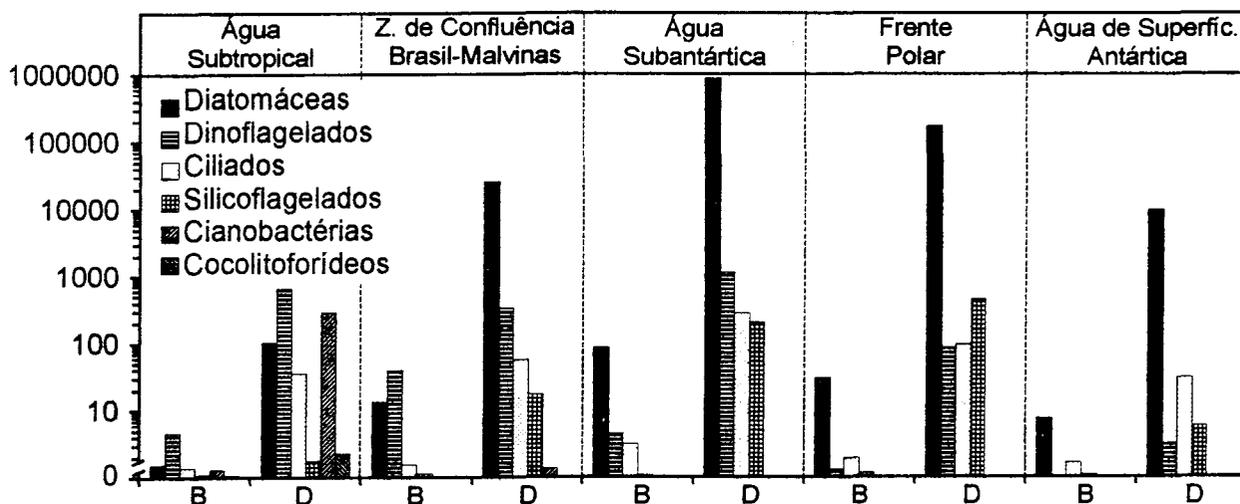


Fig. 6. Valores médios em escala logaritimizada de biomassa (B= $\mu\text{gC/l}$) e densidade (D=cels/l) do microplâncton para as diferentes massas de água no Oceano Atlântico Sul Ocidental (45°W - 58°W) em novembro de 1992. Nota-se grande diferença entre as diatomáceas e demais grupos. Neste gráfico os valores das estações sob influência das frentes oceânicas (FP e ZCBM) foram incluídos nos cálculos para as médias das frentes.

do Brasil (Soares, 1983; Brandini, 1988). A cianobactéria *Trichodesmium erythraeum*, característica nestas regiões, atingiu proporções de florescimento em algumas estações. Brandini (*op. cit.*) e Giasenella-Galvão *et al.* (1995) também registraram altas concentrações da espécie em áreas próximas.

A Zona de Confluência Brasil-Malvinas representa o limite de distribuição de várias espécies do plâncton de águas subantártica e subtropical. Do ponto de vista biogeográfico, a ZCBM tem sido considerada uma zona transicional (Boltovskoy, 1981, 1986) onde organismos de águas frias e quentes coexistem ao longo de nítidos gradientes físicos e químicos. Neste trabalho, detectamos a presença conjunta de espécies subtropicais e subantárticas/antárticas, mostrando a existência de mistura entre as duas massas de água. Por outro lado, alguns dinoflagelados subtropicais dos gêneros *Ceratium* e *Protoperdium* ocorreram em águas subantárticas, evidenciando que a Confluência não é totalmente refratária à invasão de espécies alóctones. Em nosso caso, a biomassa microplânctônica tendeu a diminuir no interior da Confluência, concomitante à diminuição na riqueza de espécies. Este empobrecimento foi atribuído por Boltovskoy (1981) às condições ambientais instáveis desta zona (turbulência intensa, gradientes abruptos de temperatura e salinidade), associadas às características estenóicas das espécies. A influência

de águas menos salinas do Rio da Prata estendendo-se até a borda da plataforma (Boltovskoy, 1981; Ciotti *et al.*, 1995) também deve ser tomada em consideração, pois algumas amostras continham espécies de água doce ou neríticas, embora tenham sido coletadas em águas mais rasas.

Aumentos de biomassa foram observados em ambas as extremidades da Confluência, dominando as diatomáceas. Ao norte, espécies de águas mais quentes beneficiaram-se da presença de águas subantárticas enriquecidas, dominando *Coscinodiscus* spp., *Hemiaulus* spp., *Proboscia alata* e *Thalassiosira* spp. Observações semelhantes foram realizadas por alguns autores em diferentes oceanos, embora dominando outras espécies, como *Chaetoceros* spp., *Fragillariopsis doliolus*, *Nitzschia* spp., *Rhizosolenia bergonii* e *Thalassiosira* spp. (Boden *et al.*, 1988; Froneman & Perissinotto, 1995; Froneman *et al.*, 1995, 1997). Gayoso & Podestá (1996) detectaram um florescimento de *Thalassiosira delicatula* (também presente em nossas amostras) na ZCBM, e mostraram que este era nitidamente associado aos gradientes térmicos formados pelo encontro de águas subtropicais quentes da Corrente do Brasil com as águas subantárticas frias da Corrente das Malvinas, e à retenção do fitoplâncton nos vórtices ciclônicos gerados na região.

Os dinoflagelados também foram importantes nesta área, e não descartamos a contribuição de algumas espécies autótrofas de

Ceratium para o aumento nos valores de clorofila-*a*. Dinoflagelados heterótrofos, copépodos e outros microinvertebrados também foram registrados em densidades elevadas, indicando intensa atividade herbívora do zooplâncton. Outro pico de concentração de clorofila-*a* foi detectado ao sul da ZCBM (40°S-42°S). Neste caso, o aumento esteve mais relacionado à dominância de espécies nanoplanctônicas de águas frias, particularmente *Fragillariopsis* e *Phaeocystis*. Vários dinoflagelados apresentaram diatomáceas em seu vacúolo alimentar, ou estavam aderidos à mucilagem das colônias de *Phaeocystis*. A abundância de heterótrofos pode explicar porque os valores de clorofila-*a* e densidade em nosso material foram inferiores aos encontrados (>1,5 µg Chl.a/l) na Convergência Subtropical ao sul da África por Allanson *et al.* (1981) e na própria ZCBM por Hubold (1980) e Gayoso & Podestá (1996). Estas observações indicam que nossas amostras foram coletadas durante uma fase de declínio do florescimento do fitoplâncton, ou seja, quando a herbivoria era intensa e, paralelamente, já iniciava-se a depleção de nutrientes a níveis limitantes ao crescimento algal. Por outro lado, nosso plano amostral contemplou uma área geográfica limitada, e pode ter excluído regiões adjacentes com maior biomassa do fitoplâncton na ZCBM, como registrada por Hubold (*op. cit.*) e Gayoso & Podestá (*op. cit.*). Regiões de frentes oceânicas como a ZCBM são conhecidas por seu papel como fronteiras à distribuição do plâncton e, mais recentemente, pelos aumentos de produtividade biológica observados em suas margens (Lutjeharms *et al.*, 1985; Boltovskoy, 1986; Smetacek *et al.*, 1997). Estes fenômenos parecem relacionar-se principalmente ao acúmulo de biomassa e/ou aumento de produtividade em consequência da convergência e advecção de águas enriquecidas por nutrientes, e à formação de gradientes térmicos e de densidade entre duas massas de água. Estes gradientes tendem a manter as células do fitoplâncton concentradas na zona fótica, favorecendo o desenvolvimento de "blooms" (Lutjeharms *et al.*, 1985; Franks, 1992; Franks & Walstad, 1997; Gayoso & Podestá, 1996; Bathmann *et al.*, 1997).

As águas subantárticas constituem a "Zona Subantártica", caracterizada por baixas concentrações de clorofila-*a* em áreas oceânicas (<0,5 µg/l, média=0,29 µg/l), formando um cinturão de águas pobres em fitoplâncton ao redor da Antártica (Sullivan *et al.*, 1993). Nossos dados apresentaram-se discrepantes em relação ao padrão descrito acima, devido a presença de uma extensa área central (44°S-53°S) com valores elevados de biomassa (1,22-2,46 µg Chl.a/l) e densidade (até

3,4x10⁶ cels/l) de fitoplâncton em estações oceânicas (>2000 metros) e nas proximidades das Ilhas Malvinas. El-Sayed (1970) e Balech (1971) registraram valores altos de clorofila-*a* apenas ao redor das Ilhas Malvinas e da plataforma argentina, diminuindo abruptamente em áreas profundas (<0,50 µg/l). O aumento de produtividade observado em uma região profunda pode ser explicado (i) pela advecção de águas da plataforma patagônica ricas em micronutrientes (especialmente ferro) e fitoplâncton, resultando em acúmulo de biomassa nas águas oceânicas, ou (ii) por ressurgências promovidas pela conformação topográfica especial do talude (Comiso *et al.*, 1993; Sullivan *et al.*, 1993). As diatomáceas dominantes (*Chaetoceros* spp., *Fragillariopsis* spp.) parecem ser as mesmas da plataforma adjacente (Boltovskoy, 1981), indicando como mais provável a primeira hipótese. De qualquer modo, independentemente da existência de crescimento intensivo *in situ* ou acúmulo de biomassa por advecção, certamente a entrada de matéria orgânica e nutrientes trouxe consequências para o ecossistema pelágico regional. Neste sentido, as imagens de satélite do trabalho detalhado de Comiso *et al.* (1993, Pranchas 9 e 12) são sugestivas, pois mostram pulsos sazonais recorrentes de biomassa, na mesma região cortada por nosso transecto (e mais para leste), com valores mais elevados de clorofila-*a* na primavera e verão. Estes autores também estimaram médias multianuais (1978-1986) de clorofila-*a* em novembro na ordem de 1,2-1,8 µg/l.

As águas imediatamente ao norte da Frente Polar apresentaram abundância elevada de fitoplâncton e picos moderados de clorofila-*a* (até 1,23 µg/l), dominando diatomáceas menores (*Chaetoceros* aff. *neglectus*, *Fragillariopsis kerguelensis*, *Pseudonitzschia* sp.). Entretanto, espécies maiores dos gêneros *Asteromphalus*, *Proboscia* e *Rhizosolenia* foram importantes, contribuindo para aumentar os valores de clorofila-*a* na região, em virtude de seus elevados biovolumes. A presença destes representantes antárticos ao norte da FP confirmam a natureza dinâmica da oceanografia na área, com a formação de vórtices e meandros (Ikeda *et al.*, 1989; Peterson & Stramma, 1991; Veth *et al.*, 1997) que devem ter transportado aquelas espécies para águas subantárticas. Paralelamente, as densidades de microzooplâncton também aumentaram, particularmente dinoflagelados heterótrofos, sugerindo a influência da FP na cadeia trófica local.

Recentemente, alguns trabalhos encontraram que a distribuição de várias espécies estaria mais limitada pela Frente Subantártica (FSA) e não pela FP, como estabelecido anteriormente (Hart, 1942; Hasle, 1969). Ao sul da FSA as águas

ainda estão enriquecidas, possibilitando o desenvolvimento da comunidade algal, particularmente diatomáceas, que necessitam de elevadas concentrações de nutrientes para atingirem seu máximo de crescimento. As variações abruptas de temperatura, com águas mais quentes ao norte da FSA, também promoveriam maiores taxas de fotossíntese (Hara & Tanoue, 1985; Jacques, 1989; Froneman *et al.*, 1997). Portanto, estas observações coincidem com nossos resultados pois, como descrito acima, espécies antárticas foram encontradas ao norte da FP. No presente trabalho não detectamos a FSA mas, com base na distribuição das espécies, poderíamos tentativamente situá-la entre 56°S e 58°S. Além disso, Peterson (1993) a localizou 2°-3° de latitude ao norte da FP na mesma área em outubro/1992, ou seja, apenas um mês antes de nossa amostragem. Nesta expedição os valores de clorofila-*a* (máx.=1,4 µg/l) também foram semelhantes aos nossos (Bathmann, 1994).

Na mesma época de nosso projeto, dois programas de maior envergadura estavam sendo executados simultaneamente, ambos envolvendo a FP: no Mar de Bellingshausen (84°W-86°W) pela expedição americana STERNA; e no setor leste do Oceano Atlântico Sul (06°W) pela expedição alemã ANTARKTIS X/6 (Southern Ocean/JGOFS). Nestes programas foram registrados aumentos significativos de produtividade e densidade fitoplânctônica ao norte da FP, dominando as diatomáceas *Fragillariopsis kerguelensis*, *Corethron criophilum* e "*C. inerme*" (Turner & Owens, 1995; Smetacek *et al.*, 1997), também abundantes em nosso material. Estas observações simultâneas e concordantes em longitudes diferentes indicam que os florescimentos ao longo da FP constituem não somente eventos comuns na primavera, mas também formam um cinturão de produtividade ao redor da Antártica. Bathmann *et al.* (1997) explicaram o crescimento intensivo de fitoplâncton na frente como decorrente do aporte de ferro de áreas neríticas a partir da hidrografia complexa na FP e da maior estabilidade da coluna de água, devido às condições atmosféricas mais amenas. As diatomáceas parecem necessitar de maiores concentrações de ferro, situação na qual seu crescimento é favorecido (Baar *et al.*, 1995). Picos de clorofila-*a* também vem sendo detectados regularmente por investigadores japoneses e sul-africanos ao norte e ao sul da FP no sul da Austrália e África do Sul, durante o verão e outono austrais, sempre dominando as diatomáceas (Fukuchi, 1980; Fronemann *et al.*, 1995).

Os resultados decorrentes dos vários cruzeiros internacionais no hemisfério sul deixam cada vez mais evidente que a contribuição relativa das diatomáceas é bem superior aos demais grupos

do fitoplâncton durante os florescimentos ao longo da FP, geralmente na ordem de 1,0-4,0 µg/l de clorofila-*a* (Fukuchi, 1980; Fronemann *et al.*, 1995; Turner & Owens, 1995; Smetacek *et al.*, 1997). Além disso, independentemente da longitude, as comunidades são dominadas pelas mesmas diatomáceas (*Chaetoceros* spp., *Corethron* spp., *Fragillariopsis kerguelensis* e *Pseudonitzschia* spp.; algumas vezes *Rhizosolenia* spp.) (Hart, 1942; Hasle, 1969; Semina, 1979; Zernova, 1988; Fronemann *et al.*, 1995; Turner & Owens, *op. cit.*; Smetacek *et al.*, *op. cit.*). Em determinadas ocasiões a primnesiófita *Phaeocystis* spp. pode ultrapassar as diatomáceas em relação à contribuição de carbono, mas geralmente suas fases de maior crescimento têm sido relacionadas à presença sazonal da Zona de Gelo Marginal (Fryxell & Kendrick, 1988).

Em águas profundas ao sul da Frente Polar, a biomassa do microplâncton foi bastante reduzida. Esta área representa uma seção da Zona de Água Oceânica Profunda estreitada pela Península Antártica, tipicamente com baixa produtividade (Treguer & Jacques, 1992). Nas águas neríticas (<1000 metros) da Antártica ocorreu uma pequena elevação dos valores de clorofila-*a*, mas com baixas densidades de microplâncton (dominado por *Corethron criophilum*, *Rhizosolenia* spp. e *Fragillariopsis* spp.), indicando a dominância do nanoplâncton. Resultados semelhantes têm sido encontrados em outras áreas da Antártica na mesma época, configurando uma situação de pré-florescimento do fitoplâncton (Hart, 1942; Heywood & Whitaker, 1984), dominando nanoflagelados. Estes resultados podem ser atribuídos à (i) intensidade luminosa ainda reduzida, (ii) inexistência da estabilidade vertical conferida pelos gradientes de densidade após o derretimento do gelo que impedem o crescimento de espécies maiores do microplâncton, e (iii) herbivoria pelo microzooplâncton (Jacques, 1989; Mitchel *et al.*, 1991; Nelson & Smith, 1991; Burkill *et al.*, 1995; Klaas, 1997).

Em conclusão, os dinoflagelados dominaram nas águas oligotróficas subtropicais e em algumas estações ao sul da ZCBM. Nas áreas de frentes (FP e ZCBM) ocorreram aumentos significativos de biomassa planctônica, mostrando sua importância na cadeia trófica, ainda que em mesoescala. Em águas antárticas a biomassa foi menor, com valores de clorofila-*a* semelhantes aos da AST, sugerindo baixa produtividade biológica. A área central oceânica na Água Subantártica ao largo da plataforma patagônica constituiu notável exceção, onde ocorreram florescimentos significativos do fitoplâncton, causados por diatomáceas pequenas.

As diatomáceas representaram o grupo dominante nas áreas de crescimento intensivo do fitoplâncton ao redor das frentes (Tab. 1). Nas duas áreas frontais os valores de abundância e biomassa registrados no presente estudo e em trabalhos prévios são da mesma ordem de grandeza, indicando que ambientes com características hidrográficas e biológicas distintas suportam períodos de florescimento de mesma magnitude. Na ZCBM dominaram espécies com menor quantidade de sílica na parede celular. Em contrapartida, espécies com paredes celulares espessadas dominaram a comunidade na FP, onde a sílica raramente é limitante do crescimento (Jacques, 1989; Treguér & Jacques, 1992; Zernova, 1988). Além disso, vários registros dão suporte à idéia de que estes representantes são recorrentes e amplamente distribuídos em diferentes longitudes ao longo da FP, sendo responsáveis pelos eventos de florescimento nestas águas. Portanto, estudos sobre a autoecologia das diatomáceas, como *Fragillariopsis kerguelensis*, *Chaetoceros* spp e *Corethron* spp., certamente fornecerão uma contribuição significativa para o maior entendimento dos processos que regulam os fluxos de carbono no ecossistema do Oceano Atlântico Sul-Occidental.

Agradecimentos

À tripulação do N/Ap. Oc. "Barão de Teffé"/Marinha do Brasil pela disposição em ajudar nas coletas das amostras, e pelo empenho em integrar pesquisadores e militares. Trabalho financiado pelo CNPq/PROANTAR (proc. n. 670001/93-7), curso de Pós-graduação em Zoologia/UFPR (Bolsa Doutorado para L. F. F.) e Centro de Estudos do Mar/UFPR. Dra. Daura R. E. Stoffella (Centro de Microscopia Eletrônica-UFPR) e Paulo Bryxell (LACTEC-PR) cederam os microscópios eletrônicos de varredura para determinação de espécies.

Referências bibliográficas

- Allanson, B. R.; Hart, R. C. & Lutjeharms, J. R. E. 1981. Observations on the nutrients, chlorophyll and primary production of the Southern Ocean south of Africa. S. Afr. J. Antarct. Res., 10/11:3-14.
- Baar, H. J. W. de; De Jong, J. T. M.; Bakker, D. C. E.; Löscher, B. M.; Veth, C.; Bathmann, U. V. & Smetacek, V. 1995. Importance of iron for plankton blooms and carbon dioxide drawdown in the Southern Ocean. Nature, 373(6513):412-415.
- Balech, E. 1971. Microplankton de la campaña Productividad III. Revta Mus. argent. Cienc. nat. Bernardino Rivadavia, Inst. nac. Invest. Cienc. nat., 3:1-204.
- Balech, E. 1986. De nuevo sobre la oceanografía frente a la Argentina. Boln Serv. Hidrog. Nav., Argent. Hidrog., 1:1-23.
- Balech, E. 1989. Los dinoflagelados del Atlantico Sudoccidental. Publ. espec. Inst. Esp. Oceanogr., (1):1-310.
- Bathmann, U. V. 1994. Phytoplankton biomass distribution. In: Bathmann, U. V.; Smetacek, V.; Baar, H. de; Fahrbach, E. & Krause, G. eds. The expeditions Antartiks X/6-8 of the research vessel "Polarstern" in 1992/93. Ber. Polarforsch., 135:55-57.
- Bathmann, U. V.; Scharek, R.; Klaas, C.; Dubschar, C. D. & Smetacek, V. 1997. Spring development of phytoplankton biomass and composition in major water masses of the Atlantic sector of the Southern Ocean. Deep-Sea Res., PTII 44(1-2):51-67.
- Boden, B. P.; DucombeRae, C. M. & Lutjeharms, J. R. E. 1988. The distribution of the diatoms of the southwest Indian Ocean surface waters between Cape Town and the Prince Edward Island archipelago. S. Afr. J. Sci., 84:811-818.
- Boltovskoy, D. 1981. Atlas del zooplancton del Atlantico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Mar del Plata, INIDEP. 936p.
- Boltovskoy, D. 1986. Biogeography of the Southwestern Atlantic; overview, current problems and prospects. In: Pierrot-Bulls, A.C. ed. Pelagic biogeography. UNESCO tech. Pap. mar. Sci., 49:14-24.
- Boltovskoy, D. 1989. Las zonas de transición en la pelagial: biogeografía y paleobiogeografía. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLÂNCTON, 3. Caiobá, PR, 1989. Memórias. Curitiba, UFPR. p.9-24.
- Brandini, F. P. 1988. Composição e distribuição do fitoplâncton na região sueste do Brasil e suas relações com as massas de água (Operação Sueste - julho/agosto 1982). Cienc. Cult., 40(4):334-341.

- Brandini, F. P. 1990. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/March 1984). *Hydrobiologia*, 196(2):111-148.
- Brandini, F. P. & Fernandes, L. F. 1996. Microalgae of the continental shelf off Parana State, Southeastern Brazil: a review of studies. *Rev. bras. oceanogr.*, 44(1):69-80.
- Burkill, P. H.; Edwards, E. S. & Sleight, M. A. 1995. Microzooplankton and their role in controlling phytoplankton growth in the marginal ice zone of the Bellingshausen Sea. *Deep-Sea Res. PTII*, 42(5-5):1277-1290.
- Campos, E. J. D.; Lorenzetti, J. A.; Stevenson, M. R.; Stech, J. L. & Souza, R. B. 1996. Penetration of waters from the Brazil-Malvinas Confluence region along the south American continental shelf up to 23°S. *An. Acad. bras. Ci.*, 68 (supl. 1):49-58.
- Ciotti, A. M.; Odebrecht, C.; Fillmann, G. & Möller, O. 1995. Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. *Contin. Shelf Res.*, 15(14):1737-1756.
- Comiso, J. C.; McClain, C. R.; Sullivan, C. W.; Ryan, J. P. & Leonard, C. R. 1993. Coastal zone color scanner pigment concentrations in the Southern Ocean and relationships to geophysical features. *J. geophys. Res.*, 98(2):2419-2451.
- Dodson, A. N. & Thomas, W. H. 1978. Reverse filtration. In: Sournia, A. ed. *Phytoplankton manual*. Monogr. oceanogr. methodol., 6:104-107.
- Deacon, G. E. R. 1982. Physical and biological zonation in the Southern Ocean. *Deep-Sea Res.*, 29(1A):1-15.
- Edler, L. 1979. Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea. *Phytoplankton and chlorophyll*. *Baltic mar. biol.*, 5:1-37.
- El-Sayed, S. Z. 1970. On the productivity of the Southern Ocean (Atlantic and Pacific sectors). In: Holdgate, M. W. ed. *Antarctic ecology*. London, Academic Press. 1:119-135.
- Emilsson, I. 1961. The shelf and coastal waters off the Southern Brazil. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 11(2):101-112.
- Fernandes, L. F. 1992. *Varição sazonal do fitoplâncton e parâmetros hidrográficos em uma estação costeira de Paranaguá, Paraná, Brasil*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. 93p.
- Franks, P. J. S. 1992. Sink or swim: accumulation of biomass at fronts. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 82(1):1-12.
- Franks, P. J. S. & Walstad, L. J. 1997. Phytoplankton patches at fronts: a model of formation and response to wind events. *J. Mar. Res.*, 55(1):1-29.
- Froneman, P. W. & Perissinotto, R. 1995. Biogeographic structure of microphytoplankton assemblages of the south Atlantic and Southern Ocean during austral summer. *J. Plankt. Res.*, 17(9):1791-1802.
- Froneman, P. W.; Perissinotto, R. & McQuaid, C. D. 1995. Summer distribution of netphytoplankton in the Atlantic sector of the Southern ocean. *Polar Biol.*, 15(2):77-84.
- Froneman, P. W.; Perissinotto, R. & Pakhomov, E. A. 1997. Biogeographical structure of the microphytoplankton assemblages in the region of the Subtropical Convergence and across a warm-core eddy during austral winter. *J. Plankt. Res.*, 19(4):519-531.
- Fryxell, G. A. & Kendrick, G. A. 1988. Austral spring microalgae across the Weddel Sea ice edge: spatial relationships found along a northward transect during AMERIEZ 83. *Deep-Sea Res.*, 35(1):1-20.
- Fukuchi, M. 1980. Phytoplankton chlorophyll stocks in the Antarctic ocean. *J. oceanogr. Soc. Japan*, 36:73-84.
- Gayoso, A. M. & Podestá, G. P. 1996. Surface hydrography and phytoplankton of the Brazil-Malvinas currents confluence. *J. Plankt. Res.*, 18(6):941-951.
- Gianesella-Galvão, S. M. F.; Costa, M. P. de F. & Kutner, M. B. B. 1995. Bloom of *Oscillatoria (Trichodesmium) erythraea* (Ehr.) Kütz. in coastal waters of the southwest Atlantic. *Publção esp. Inst. oceanogr.*, S Paulo, (11):133-140.

- Hara, S. & Tanoue, E. 1985. Protist along 150°E in the Southern Ocean: its composition, stock and distribution. *Trans. Tokyo Univ. Fish.*, (6):99-115.
- Hart, T. J. 1942. Phytoplankton periodicity in the Antarctic surface waters. *Discovery Rep.*, 21:261-356.
- Hasle, G. R. 1969. An analysis of the phytoplankton of the Pacific Southern Ocean: abundance, composition and distribution during the Bratigg expedition, 1947-1948. *Scientific results of marine biological research*. 168p.
- Hasle, G. R. 1978. Using the inverted microscopy. In: Sournia, A. ed. *Phytoplankton manual*. *Monogr. oceanogr. Methodol.*, U.N., 6:191-196.
- Hasle, G. R. & Fryxell, G. A. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Trans. Am. microsc. Soc.*, 89(4):469-474.
- Heywood, R. B. & Whitaker, T. M. 1984. The Antarctic marine flora. In: Laws, R. M. ed. *Antarctic ecology*. London, Academic Press. 2:373-419.
- Hubold, G. 1980. Hydrography and plankton off southern Brazil and rio de la Plata, August-November 1977. *Atlântica*, 4:1-22.
- Ikeda, Y.; Siedler, G. & Zwierz, M. 1989. On the variability of Southern Ocean front locations between southern Brazil and the Antarctic Peninsula. *J. geophys. Res.*, 94(C4):4757-4762.
- Jacques, G. 1989. Primary production in the open Antarctic Ocean during the austral summer. A review. *Vie Milieu*, 39(1):1-17.
- Kosaki, S.; Takahashi, M.; Yamagushi, Y. & Aruga, Y. 1985. Size characteristics of chlorophyll particles in the Southern Ocean. *Trans. Tokyo Univ. Fish.*, (6):85-97.
- Klaas, C. 1997. Microzooplankton distribution and their potential grazing impact in the Antarctic Circumpolar Current. *Deep-Sea Res. PTII*, 44(1-2):375-393.
- Lutjeharms, J. R. E.; Walters, N. M. & Allanson, B. R. 1985. Oceanic frontal systems and biological enhancement. In: Siegfried, W. R.; Condy, P. R. & Laws, R. M. eds *Antarctic nutrient cycles and food webs*. Berlin, Springer Verlag. p. 11-21.
- Matsuura, Y. 1986. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). *Cienc. Cult.*, 38(8):1439-1450.
- Mitchel, G. B.; Brody, E. A.; Holm-Hansen, O.; McClain, C. & Bishop, J. 1991. Light limitation of phytoplankton biomass and macronutrient utilization in the Southern Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 36(8):1662-1677.
- Nelson, D. M. & Smith, W. O. 1991. Sverdrup revisited: critical depths, maximum chlorophyll levels, and the control of Southern Ocean productivity by the irradiance-mixing regime. *Limnol. Oceanogr.*, 36(8):1650-1661.
- Peterson, R. G. 1993. Hydrography. In: Gersonde, R. ed. *The expedition Antartiks X/5 of RV "Polastern" in 1992*. *Bericht Polarforsch.*, 131:34-48.
- Peterson, R. G. & Stramma, L. 1991. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Prog. Oceanogr.*, 26(1):1-73.
- Putt, M. & Stoecker, D. K. 1989. An experimentally determined carbon:volume ratio for marine "oligotrichous" ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnol. Oceanogr.*, 34(6):1097-1103.
- Semina, H. J. 1979. The geography of plankton diatoms of the Southern Ocean. *Nova Hedwigia*, 64:341-358.
- Smetacek, V.; Baar, H. J. W. de; Bathmann, U. V.; Löchte, K. & Rutgers, M. M. L. 1997. Ecology and biogeochemistry of the Antarctic Circumpolar Current during austral spring: a summary of Southern Ocean JGOFS Cruise ANT/6 of R.V. Polastern. *Deep-Sea Res. PTII*, 44(1-2):1-27.
- Soares, F. S. 1983. Estudo do fitoplâncton de águas costeiras e oceânicas da região de Cabo Frio - RJ (23°31'S; 41°52'W) até o cabo de Santa Marta Grande - SC (28°43'S; 47°57'W). *Dissertação de mestrado*. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 118p.

- Stramma, L. & England, M. 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *J. geophys. Res.*, 104(C9):20863-20883.
- Strathmann, R. R. 1967. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volumes or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.*, 12(3):411-418.
- Strickland, J. D. H. & Parsons, T. R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2nd. *Bull. Fish. Res. Bd Can.*, 122:1-172.
- Sullivan, C. W.; Arrigo, K. R.; McClain, C. R.; Comiso, J. C. & Firestone, J. 1993. Distribution of phytoplankton blooms in the Southern Ocean. *Science*, 262(5141):1832-1837.
- Sverdrup, H. U.; Johnson, M. W. & Fleming, R. H. 1942. *The oceans, their physics, chemistry and general biology*. New York, Prentice Hall. 1087p.
- Tréguer, P. & Jacques, G. 1992. Dynamics of nutrients and phytoplankton, and fluxes of carbon, nitrogen and silicon in the Antarctic Ocean. *Polar Biol.*, 12(2):149-162.
- Turner, D. R. & Owens, N. J. P. 1995. A biogeochemical study in the Bellingshausen Sea: overview of the STERNA 1992 expedition. *Deep-Sea Res. PTII*, 42(4-5):907-932.
- Veth, C.; Peeken, I. & Scharek, R. 1997. Physical anatomy of fronts and surface waters in the ACC near the 6°W meridian during austral spring 1992. *Deep-Sea Res. PTII*, 44(1-2):23-49.
- Zernova, V. V. 1988. Seasonal variations of the antarctic pelagic diatoms. In: *INTERNATIONAL DIATOM SYPOSIUM*, 10. Joensuu, Finland, 1988. Proceedings. Germany, Koeltz Scientific Books, 1990. p.267-274.

(Manuscrito recebido 03 março 1999; revisado 30 agosto 1999; aceito 25 novembro 1999)