

Processo sedimentar atual e a distribuição de carbono e nitrogênio orgânicos no Canal de São Sebastião (SP) e plataforma continental interna adjacente¹

(Modern sedimentary processes and the distribution of organic carbon and nitrogen in São Sebastião Channel (SP) and adjacent inner shelf)

Roberto Lima Barcellos² & Valdenir Veronese Furtado^{3,4}

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
(Caixa Postal 66149, 05315-970 São Paulo, SP, Brasil)

-
- **Abstract:** The sedimentary distribution in São Sebastião Channel and adjacent inner shelf, evaluated through the granulometry and the sedimentary organic matter contents, indicates the presence of low values of organic carbon and nitrogen, associated to a small input of organic matter and the hydrodynamic behavior of the area. Higher contents in the São Sebastião Channel occurs due to anthropogenic inputs, associated to the domestic sewage and harbor activities in its central area. The hydrodynamic and the channel bottom topography, creates low energy areas, allowing the deposition of muds and a higher retention of organic matter. The west-southwestern section of inner shelf presents low contents of organic matter, which are associated with the bottom wave action, that reworks the sediments avoiding the preservation of organic contents. A lower organic input, due to incipient coastal drainage and the presence of oligotrophic water masses occurs in this region too. In the east-southeastern part of inner shelf area is observed the presence of pelitic sediments and higher organic matter contents, due to the São Sebastião Island that acts as a physical barrier to the wave action and as a source of material. The Central Atlantic South Water (CASW) ingressión may cause localized increase of organic nitrogen in the area.
 - **Resumo:** As distribuições sedimentares no Canal de São Sebastião e na plataforma interna adjacente, avaliadas através da granulometria e das concentrações de matéria orgânica sedimentar, indicaram a presença de baixos teores de carbono e nitrogênio orgânicos, associados ao pequeno aporte de material e à hidrodinâmica da área. Os maiores teores no Canal de São Sebastião decorrem de aportes pontuais de origem antrópica, associados à efluentes de emissários submarinos e atividades de portos na sua região central e da dinâmica e topografia de fundo do canal, que criam áreas de baixa energia, permitindo a deposição de pelitos e a retenção de matéria orgânica. Na plataforma continental a sudoeste da Ilha de São Sebastião, os baixos teores de matéria orgânica estão associados à ação de ondas sobre o fundo, que retrabalham os sedimentos impedindo a preservação da mesma e ao baixo aporte orgânico, decorrente de drenagens costeiras incipientes e da presença de massas d'água oligotróficas. A leste e sudeste da ilha, que atua como barreira à ação de ondas e como fonte de material, observa-se a presença de finos e de maiores teores de matéria orgânica. A ingressão da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) pode ocasionar o aumento localizado de nitrogênio orgânico na área.
 - **Descriptors:** Sedimentary distribution, Sedimentary organic carbon, Sedimentary organic nitrogen, São Sebastião inner shelf.
 - **Descritores:** Distribuição sedimentar, Carbono orgânico, Nitrogênio orgânico, Plataforma continental interna de São Sebastião.

(1) FAPESP Proc. nº 92/3449-0

(2) Bolsa FAPESP 95/2296-4

(3) CNPq Proc. 303819/86-3 RN

(4) Integrante do Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM).

Contr. nº 832 do Inst. oceanogr. da Usp.

Introdução

O sedimento depositado nos oceanos é um dos maiores reservatórios de matéria orgânica, terrígena ou marinha, existentes na superfície terrestre e, embora a matéria orgânica raramente seja o maior constituinte dos sedimentos de fundo próximos à costa, ou em zonas estuarinas, é um bom indicador dos ambientes em que os sedimentos foram depositados. A avaliação da natureza da matéria orgânica, permite a inferência de áreas de circulação mais efetiva e tendências do meio quanto ao potencial redox fornecendo, ainda, parâmetros fundamentais para o estudo de ecossistemas bentônicos.

A matéria orgânica é passível de uma lenta, porém gradual decomposição, sendo os seus constituintes nitrogenados mais resistentes que os não nitrogenados (Magliocca & Kutner, 1964). Através do processo de oxidação química, a maior parte do material orgânico presente nos oceanos, cerca de 90 a 95%, degrada-se até os compostos fundamentais inorgânicos como CO_2 e H_2O , que escapam para a atmosfera e hidrosfera. O material orgânico resistente à deterioração microbiana, denominado de substâncias húmicas, deposita-se lentamente nos fundos marinhos, juntamente com os sedimentos terrígenos que permaneceram, por algum tempo, em suspensão na coluna d'água marinha.

O carbono e o nitrogênio orgânicos são os dois constituintes principais da matéria orgânica. O conteúdo de carbono orgânico nos sedimentos superficiais depende de uma série de fatores, tais como as características sedimentares, produtividade da coluna d'água, taxa de degradação microbiana, além das condições oceanográficas locais. De acordo com Huc (1980 *apud* Rashid, 1985), um baixo conteúdo de carbono orgânico (< 0,5%) é característico de grande maioria das bacias oceânicas, particularmente às de mares abertos. Os sedimentos próximos à linha de costa, de mares interiores e das plataformas continentais são geralmente enriquecidos de carbono orgânico, sendo que conteúdos de 2 a 4% não são incomuns nessas áreas. De acordo com Faganelli *et al.* (1988) as plantas superiores, que correspondem à grande maioria dos detritos orgânicos continentais carregados aos oceanos, são constituídas basicamente de carbono. A matéria orgânica terrígena, desta forma, pode ser identificada nos sedimentos marinhos pelo alto teor deste elemento.

Romankevich (1984), efetuou um levantamento dos teores de nitrogênio orgânico, em sedimentos marinhos, analisados em 49 diferentes áreas do globo. Os conteúdos variaram de menos de 0,01% a 1,22%. O autor observa que os conteúdos de

nitrogênio orgânico aumentam em direção às áreas costeiras, particularmente em regiões onde ocorre ressurgência de águas profundas. De acordo com Emerson & Hedges (1988), o fitoplâncton responde pela grande parte da matéria orgânica de origem marinha presente nos oceanos, até a isóbata de 100 m. O fitoplâncton e o zooplâncton são constituídos por uma variedade de substâncias bioquímicas, mas são particularmente ricos em proteínas (1/3 a 2/3 da massa corporal), os principais compostos nitrogenados dos seres vivos. A matéria orgânica marinha, deste modo, pode ser identificada nos sedimentos de fundo pela presença de maiores quantidades de nitrogênio.

Trask (1939 *apud* Tyson, 1995) observou que o conteúdo orgânico de sedimentos das margens continentais geralmente aumenta quando os grãos que o constituem tornam-se mais finos. O autor constatou que argilas possuem, comumente, cerca de duas vezes mais matéria orgânica que siltes e cerca de quatro vezes mais matéria orgânica que as areias muito finas. A principal razão para este padrão está na semelhança entre a velocidade de deposição dos constituintes orgânicos particulados e das partículas minerais finas. O conteúdo orgânico, desta forma, pode ser diretamente correlacionado com a mediana, diâmetro médio e, principalmente, com a porcentagem de pelitos do sedimento.

Objetivos

O objetivo deste trabalho é analisar o processo sedimentar atual no Canal de São Sebastião e plataforma continental interna adjacente, através dos teores de carbono e nitrogênio orgânicos e das características sedimentológicas obtidas.

Visa, também, a comparação do comportamento da matéria orgânica sedimentar entre duas áreas adjacentes sujeitas, no entanto, a processos distintos do ponto de vista geológico, geomorfológico e oceanográfico.

Área de estudo

A área de estudo consiste no Canal de São Sebastião e na plataforma continental interna adjacente (Fig. 1).

Canal de São Sebastião

O Canal de São Sebastião é uma feição com cerca de 25 km de extensão e com largura variando de 6 a 7 km nas entradas norte e sul, respectivamente, estreitando-se até 2 km, na sua porção central.

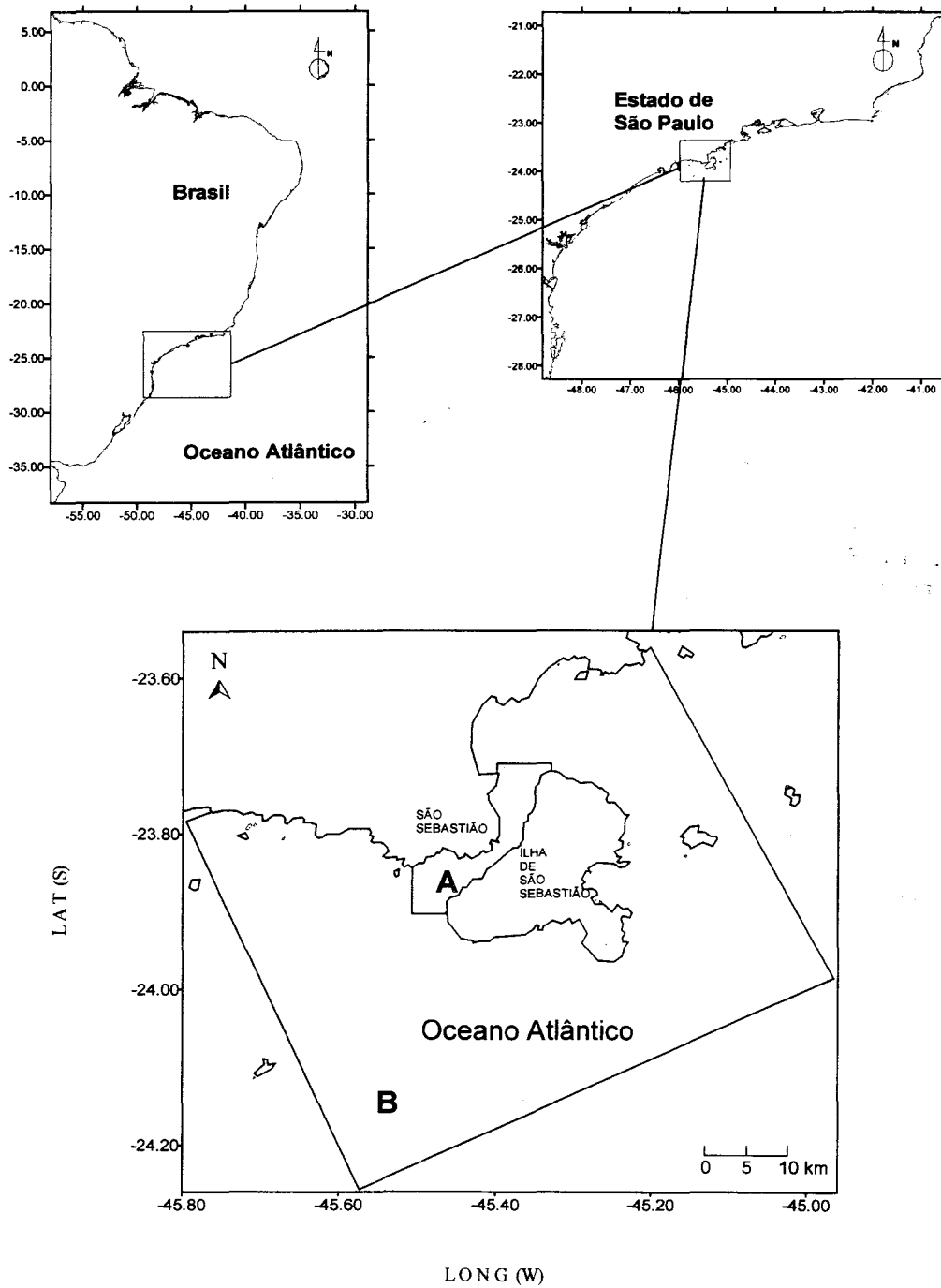


Fig.1. Localização da área de estudo.
 A- Canal de São Sebastião
 B- Plataforma continental interna.

De acordo com Furtado (1995) a distribuição de sedimentos no Canal de São Sebastião é heterogênea, havendo a ocorrência de diferentes classes granulométricas. Segundo o autor a sedimentação atual da área encontra-se intimamente ligada à circulação geral, à topografia irregular do fundo do canal e a sua geometria. A porção continental do canal é tipicamente de deposição, enquanto o lado insular apresenta tendências à erosão. No eixo do canal ocorrem misturas de areias e lamas ocorrendo, na porção norte, a deposição de sedimentos mais grossos. No sul, junto ao continente, os sedimentos são compostos por areias finas, com bom grau de seleção, devido a retrabalhamento de sedimentos relíquia pela ação de ondas. O domínio de pelitos ocorre devido a fluxos de baixa energia no lado continental, ao norte e em embaimentos, onde a circulação é mais calma.

A topografia do fundo do canal foi analisada em Furtado (*op. cit.*), sendo observadas maiores profundidades ao longo do eixo do canal (45 m). As entradas sul e norte apresentam isóbatas de 25 m e 20 m, respectivamente. Foram identificadas, também, algumas feições topográficas de origem sedimentar, no lado continental do canal, em suas extremidades norte e sul que, segundo o autor, seriam feições pretéritas associadas às flutuações quaternárias do nível do mar e retrabalhadas por processos oceanográficos atuais.

De acordo com Furtado (*op. cit.*) a fonte de sedimentos para o canal está no retrabalhamento de depósitos preexistentes, na contribuição costeira adjacente, embora esta seja pequena e localizada devido à drenagem incipiente na área, e ao material em suspensão proveniente de áreas externas ao canal. O retrabalhamento do fundo marinho adjacente ao canal pode constituir-se, também, em fonte de material para o mesmo.

Plataforma Continental Interna

A plataforma continental interna da região de São Sebastião corresponde a área compreendida entre as coordenadas de latitude 23°30'S e 24°15'S e longitudes 45°00'W e 46°00'W e tem seu limite exterior em torno da isóbata de 70 m. A região é caracterizada pela variabilidade granulométrica de seus sedimentos na sua porção norte, onde a proteção da Ilha de São Sebastião e de ilhas menores, atenua a incidência direta de ondas provenientes de sul e sudoeste, associadas às passagens de frentes frias. Esta proteção possibilita a deposição de sedimentos pelíticos na área. Na porção sul a incidência de ondas é mais direta, estando esta área suscetível a movimentações mais efetivas junto ao fundo,

ocorrendo a presença preponderante de areias. Estas, em função da história quaternária das flutuações do nível do mar, tem suas origens associadas a épocas de nível do mar mais baixo, caracterizando-se, atualmente, como sedimentos palimpsestos (Furtado & Mahiques, 1990). Sedimentos pelíticos podem depositar-se na plataforma continental, em torno de 50 metros de profundidade, sendo o possível mecanismo de aporte associado à saída da Água Costeira (AC) induzida pela penetração da Água Central do Atlântico Sul (ACAS). O processo de ingressão da ACAS, indicado por Castro Filho *et al.* (1987), ocorre concomitantemente com o período de maior precipitação pluviométrica (primavera/verão) e maior aporte de material terrígeno para o mar através do sistema de drenagem e da ação pluvial em encostas, podendo induzir o transporte de material em suspensão costa a fora (Furtado & Mahiques, *op. cit.*).

Metodologia

Foram coletadas, no verão de 1994, através de um amostrador de mandíbulas tipo Petersen modificado, 15 amostras de sedimentos de superfície de fundo no Canal de São Sebastião e 43 amostras na plataforma continental interna adjacente. As Figuras 2 e 3 ilustram a posição das estações de coleta para o canal e plataforma continental interna, respectivamente.

A granulometria dos sedimentos foi determinada através das técnicas de peneiramento e pipetagem descritas em Suguio (1973) e modificadas como descrito em Mahiques (1987) obtendo-se, a partir dos dados analisados, as frequências de classes granulométricas e os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957).

A análise do conteúdo de carbono orgânico foi efetuada a partir da oxidação com dicromato de potássio, ataque com ácido sulfúrico e titulação do dicromato excedente da oxidação com sulfato ferroso amoniacal, conforme descrito em Gaudette *et al.* (1974). Os conteúdos de nitrogênio orgânico foram obtidos através do método de ataque ácido, transformação do nitrogênio orgânico em sulfato de amônia, destilação em Micro-Kjeldhal e titulação com ácido clorídrico, descrito em Kabat & Mayer (1948). O conteúdo de carbonato biodetrítico dos sedimentos foi obtido de acordo com os procedimentos descritos em Gross (1971).

Os dados obtidos foram tabelados utilizando-se o programa Excel for Windows (versão 7.0). Para o tratamento do conjunto dos dados das 58 amostras localizadas no Canal de São Sebastião e

plataforma continental interna adjacente foi utilizada, preliminarmente, a análise de componentes principais. Esta, no entanto, não se mostrou efetiva na individualização de grupos, pois há uma dependência direta entre os componentes orgânicos e o tipo de sedimento. Optou-se, então, por uma análise de agrupamento, conforme proposto em Legendre & Legendre (1983), efetuada através do programa: Statistica for Windows (versão 5), na qual procurou-se verificar a formação de grupos em função dos teores orgânicos e da característica granulométrica dos sedimentos. Os parâmetros utilizados foram os teores de carbonato biodetrítico, carbono e nitrogênio orgânicos e % de argila, esta como indicativa da granulometria. Como índice de

distância foi utilizada a distância Euclidiana Simples e como técnica de agrupamento foi utilizada a Média Não Ponderada (UPGMA). Devido à disparidade entre as amplitudes dos diferentes parâmetros, os valores foram previamente estandarizados (média = 0, desvio padrão = 1).

Foram elaborados mapas de distribuição das características sedimentares para a plataforma continental através do programa Surfer for Windows (versão 6.01). Para o canal, devido às características topográficas do mesmo, que condiciona uma distribuição em manchas dos sedimentos e, não havendo um número adequado de amostras que permitisse a confecção de mapas precisos, os mesmos não foram elaborados.

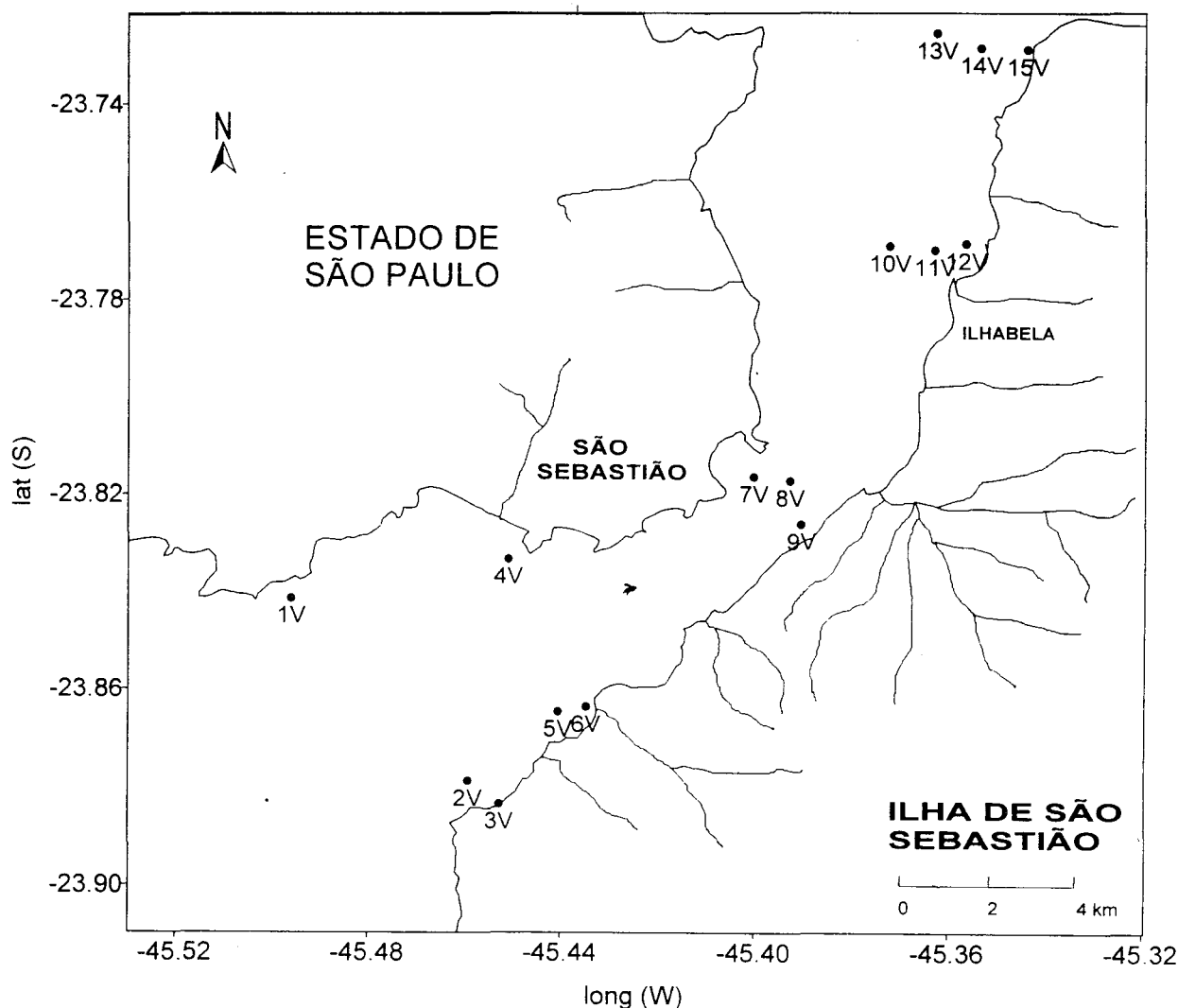


Fig. 2. Localização das amostras no Canal de São Sebastião.

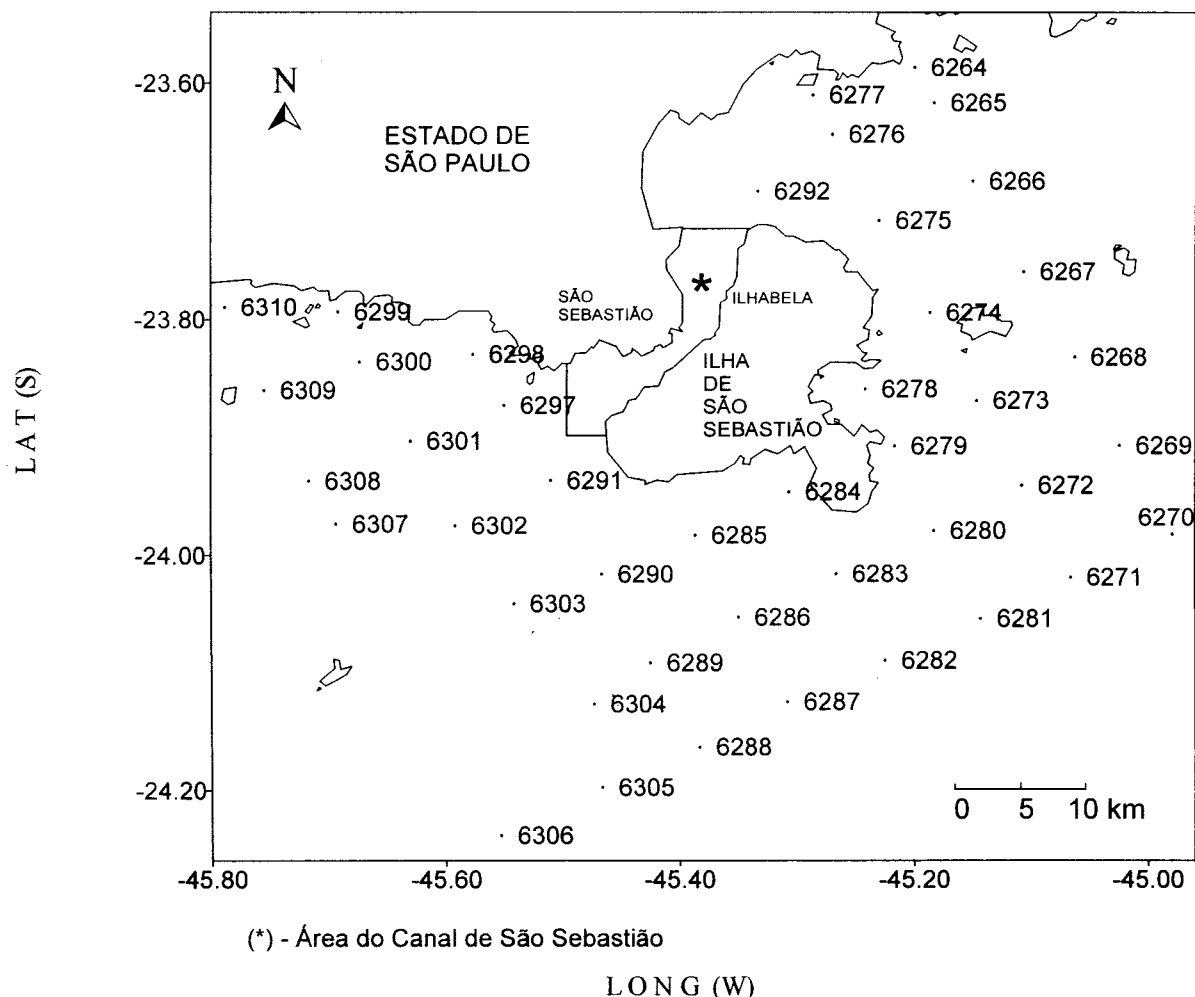


Fig. 3. Localização das amostras na plataforma continental interna.

Resultados

Os resultados de análise para as amostras do Canal de São Sebastião quanto ao diâmetro médio, ocorrência de argila e teores de carbono e nitrogênio orgânicos e de carbonatos biodetríticos estão expressos na Tabela 1. Esta apresenta também o posicionamento e a profundidade das estações de coleta.

A Figura 4 expressa os resultados obtidos na análise de agrupamento para as amostras do Canal de São Sebastião.

A análise de agrupamento para o Canal de São Sebastião, utilizando-se o valor de corte 2, individualizou dois grupos em função dos teores de carbono e nitrogênio orgânicos e de argilas. O grupo CSS1 (Fig. 4) é representado por amostras que possuem baixos teores de matéria orgânica, cujos intervalos variaram de 0,155% a 0,448%, para o carbono orgânico, de 0,021% a 0,031%, para o nitrogênio e de 0 a 1,25%, para as argilas. O grupo CSS2 (Fig. 4) é composto por amostras mais ricas em teores orgânicos, com valores que variaram para o

carbono de 1,260% a 1,660%, para o nitrogênio de 0,112% a 0,250% e de 4,64% a 20,59% para as argilas. Para o canal ocorrem, ainda, isoladas dos demais grupos, as amostras 6V e 12V. A amostra 6V, possui um teor de 52,60% de CaCO_3 , e a amostra 12V apresenta teores orgânicos próximos aos das amostras do grupo 1 possuindo, no entanto, o segundo maior conteúdo de argila da área (18,73%). Os teores de carbonatos são, no geral, baixos com valores inferiores a 30%. Eles individualizam subgrupos, dentro dos grupos principais, mas não apresentam uma relação direta, ou inversa, com os teores de matéria orgânica e as concentrações de argila. Sua distribuição é aleatória e estão associados tanto a valores altos quanto baixos de matéria orgânica.

A Tabela 2 apresenta o posicionamento e a profundidade das estações de coleta e indica os resultados de análise obtidos para as amostras da plataforma continental interna, quanto ao diâmetro médio, a ocorrência de argilas e teores de carbono e nitrogênio orgânicos e carbonatos biodetríticos.

Tabela 1. Dados de posicionamento, profundidade e de análises (diâmetro médio e teores de argila, carbono e nitrogênio orgânicos e carbonatos) obtidos para as amostras do Canal de São Sebastião.

Estação	Lat (S)	Long (W)	Prof. (m)	Phi médio	% Argila	% C org	% N org	%Cbnat.
1V	23°50,48'	45°29,76'	15	3,47	0,00	0,155	0,023	7,10
2V	23°52,73	45°27,56'	25	5,55	20,59	1,660	0,112	16,90
3V	23°53,01'	45°27,17'	10	1,56	0,00	0,207	0,027	36,00
4V	23°50,00'	45°27,07'	10	3,45	1,06	0,265	0,030	5,20
5V	23°51,88'	45°26,40'	24	3,25	1,07	0,448	0,030	5,00
6V	23°51,82'	45°26,09'	10	3,49	4,64	0,842	0,046	52,60
7V	23°48,98'	45°24,02'	8	5,51	16,98	1,260	0,130	16,40
8V	23°49,03'	45°23,57'	40	5,00	18,62	1,381	0,250	22,20
9V	23°49,56'	45°23,43'	10	1,55	0,00	0,124	0,024	23,20
10V	23°46,14'	45°22,34'	10	5,42	14,94	1,512	0,185	21,10
11V	23°46,19'	45°21,78'	28	1,35	1,06	0,154	0,029	5,90
12V	23°46,11'	45°21,39'	8	3,18	18,73	0,528	0,044	6,70
13V	23°43,53'	45°21,76'	9	1,97	1,25	0,186	0,021	20,20
14V	23°43,71'	45°21,21'	24	0,91	1,08	0,239	0,031	7,90
15V	23°43,73'	45°20,64'	11	5,31	14,72	1,503	0,119	19,40

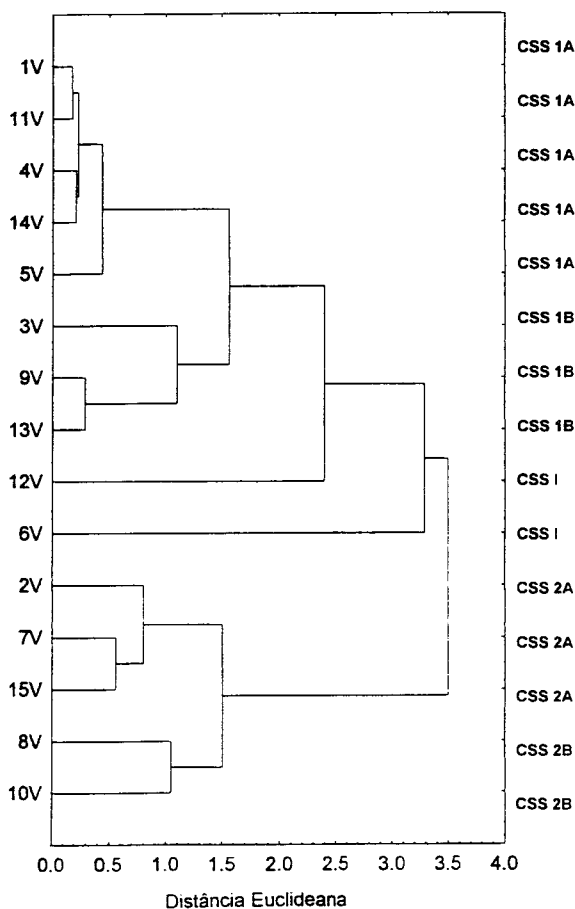


Fig. 4. Dendrograma gerado a partir de análise classificatória por Distância Euclidiana nas amostras do Canal de São Sebastião.

A análise de agrupamento, para as amostras da plataforma continental (Fig. 5), individualizou 4 grupos e 1 amostra isolada, utilizando-se o valor de corte 2. Os grupos diferenciaram-se pelos teores de carbono, nitrogênio e carbonatos e a amostra isolada pelo conteúdo de argila. O grupo PCI1 é representado pelas amostras com baixos teores orgânicos, com valores que variaram de 0,174% a 0,669% para o carbono, de 0,017% a 0,059% para o nitrogênio e de 0 a 7,89% para as argilas. O grupo PCI2 apresenta valores intermediários para a área, com o carbono variando de 0,705% a 1,257%, o nitrogênio de 0,058% a 0,082% e as argilas de 5,96% e 16,93%. O grupo PCI3 diferencia-se por ser composto por amostras que possuem os maiores teores de carbonato da área (27,47% a 41,33%), em sedimentos com baixos teores orgânicos e de argilas. O grupo PCI4 é composto por amostras ricas em matéria orgânica, com teores de 1,638% e 1,775% para o carbono orgânico, de 0,092% e 0,134% para o nitrogênio e de 13,84% e 18,42% de argilas. A amostra 6279, que apresenta-se isolada, possui teores de 2,172% e 0,110% de carbono e nitrogênio, respectivamente, além da maior concentração de argilas para a área. O carbonato biodetrítico individualiza, considerando-se o valor de corte adotado, um grupo para a área. Seu comportamento é, no entanto similar, ao observado para o Canal de São Sebastião, ou seja, tem uma distribuição aleatória.

As Figuras 6, 7, 8 e 9 ilustram a distribuição do diâmetro médio, das concentrações de argilas e dos teores de carbono e nitrogênio orgânicos, respectivamente.

Tabela 2. Dados de posicionamento, profundidade e de análises (diâmetro médio e teores de argila, carbono e nitrogênio orgânicos e carbonatos) obtidos para as amostras da plataforma continental interna de São Sebastião.

Estação	Lat (S)	Long (W)	Prof.(m)	Phi médio	% Argila	% C org	% N org	%Cbnat.
6264	23°35,0'	45°12,1'	12	4,37	0,00	0,272	0,025	17,07
6265	23°36,8'	45°11,0'	20	3,73	4,07	0,316	0,025	14,93
6266	23°41,1'	45°08,9'	30	3,87	9,17	0,705	0,058	24,93
6267	23°45,5'	45°06,3'	37	3,65	5,67	0,388	0,033	9,60
6268	23°50,1'	45°04,0'	45	4,52	7,89	0,545	0,045	12,67
6269	22°54,4'	45°01,5'	64	4,56	12,56	1,234	0,079	16,77
6270	23°58,8'	44°58,9'	74	3,01	4,04	0,295	0,038	17,47
6271	24°01,1'	45°03,8'	72	3,20	4,60	0,563	0,047	27,47
6272	23°56,5'	45°06,5'	48	4,94	12,04	0,744	0,072	13,50
6273	23°52,2'	45°08,8'	38	4,59	10,85	0,730	0,060	18,73
6274	23°47,7'	45°11,3'	38	5,27	18,42	1,638	0,092	25,80
6275	23°42,9'	45°13,8'	20	5,58	16,93	1,049	0,075	18,87
6276	23°38,5'	45°16,1'	13	3,90	0,00	0,267	0,032	9,57
6277	23°36,5'	45°17,0'	12	3,94	1,86	0,196	0,025	9,37
6278	23°51,5'	45°14,5'	23	5,13	12,86	0,941	0,075	19,17
6279	23°54,5'	45°13,0'	39	6,63	27,26	2,172	0,110	25,60
6280	23°58,8'	45°11,1'	50	5,13	13,84	1,775	0,134	23,90
6281	24°03,2'	45°08,8'	72	3,01	2,84	0,425	0,045	41,33
6282	24°05,3'	45°13,8'	68	2,95	0,05	0,348	0,037	29,70
6283	24°00,9'	45°16,0'	65	3,91	4,12	0,623	0,050	17,70
6284	23°56,8'	45°18,4'	33	4,78	12,63	1,257	0,082	18,47
6285	23°58,9'	45°23,1'	52	4,29	8,12	0,929	0,070	16,20
6286	24°03,1'	45°20,9'	60	3,36	3,69	0,242	0,032	9,73
6287	24°07,6'	45°18,3'	66	2,97	0,04	0,335	0,035	14,70
6288	24°09,6'	45°23,5'	60	3,13	0,04	0,259	0,033	7,17
6289	24°05,4'	45°25,4'	54	3,48	0,04	0,320	0,037	6,60
6290	24°01,0'	45°28,0'	51	3,41	0,04	0,494	0,059	7,30
6291	23°56,5'	45°30,6'	43	3,15	0,04	0,406	0,037	14,9
6292	23°41,5'	45°20,0'	13	1,29	0,04	0,174	0,028	9,87
6297	23°52,2'	45°33,0'	25	4,12	0,00	0,217	0,026	3,90
6298	23°49,5'	45°34,4'	20	3,73	0,04	0,347	0,028	8,90
6299	23°47,6'	45°41,2'	12	4,48	5,96	0,857	0,061	14,80
6300	23°49,6'	45°40,0'	20	3,57	0,00	0,213	0,024	6,77
6301	23°54,2'	45°38,0'	32	3,37	1,84	0,357	0,035	9,47
6302	23°58,7'	45°35,4'	36	3,16	0,04	0,191	0,035	6,53
6303	24°02,3'	45°32,3'	42	4,26	0,00	0,181	0,022	6,00
6304	24°07,6'	45°28,4'	55	3,42	1,79	0,446	0,039	7,10
6305	24°11,8'	45°28,0'	63	3,30	3,69	0,414	0,031	9,57
6306	24°14,0'	45°33,2'	62	3,35	3,84	0,505	0,044	13,10
6307	23°58,4'	45°41,8'	32	3,31	1,90	0,278	0,027	12,10
6308	23°56,0'	45°42,5'	30	3,18	0,04	0,294	0,025	9,00
6309	23°51,5'	45°45,0'	22	3,33	1,84	0,669	0,045	9,23
6310	23°47,2'	45°47,4'	15	3,42	0,04	0,244	0,017	4,50

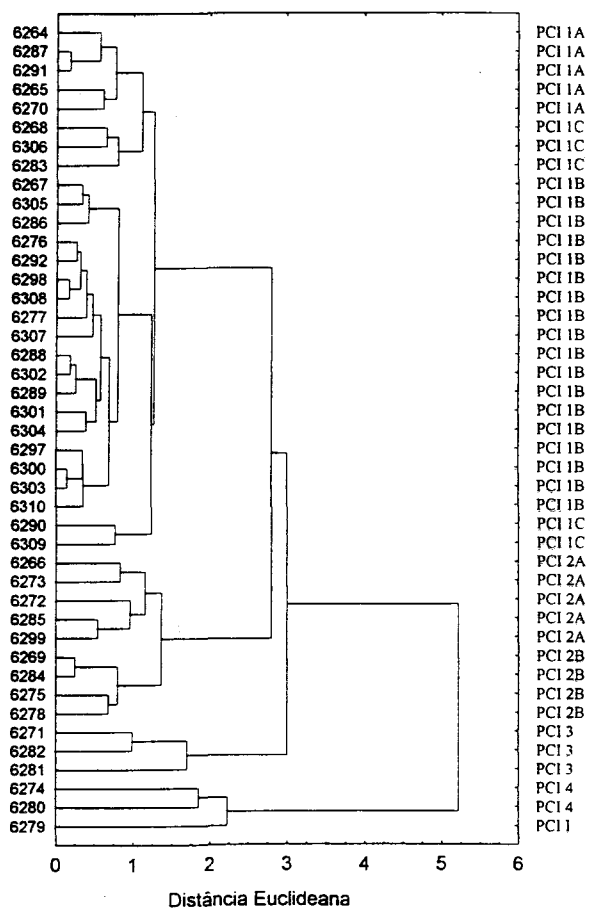


Fig. 5. Dendrograma gerado a partir de análise classificatória por Distância Euclideana das amostras da plataforma continental interna de São Sebastião.

Os mapas de distribuição desses parâmetros, expressos em linhas de isovalores, indicam a ocorrência de areias muito finas, no setor que se estende de noroeste a sul da Ilha de São Sebastião. Associam-se, a esses sedimentos, baixas concentrações de argila e baixos teores de matéria orgânica, com valores variando de 0,181% a 0,446% para o carbono e 0,022% a 0,039% para o nitrogênio. Observa-se, também, outra ocorrência de sedimentos arenosos, com baixas concentrações de argilas e matéria orgânica no extremo norte-nordeste da área.

Sedimentos pelíticos, com concentrações significativas de argilas e matéria orgânica, ocorrem no setor que se estende de sul a nordeste da Ilha de São Sebastião, com valores de 0,823% a 2,172% para o carbono e 0,050% a 0,134% para o nitrogênio.

Comparando-se os valores de carbono orgânico obtidos por diversos autores, e compilados por Romankevich (1984) para 97 áreas do globo,

com os resultados obtidos para as amostras do Canal de São Sebastião e da plataforma continental interna adjacente, que variaram de 0,124% a 1,660% e 0,174% a 2,172%, respectivamente, verifica-se que os teores obtidos para a área de estudo estariam, estatisticamente, entre os valores 40% mais baixos. Os valores de nitrogênio orgânico obtidos para a área de estudo, que variaram de 0,021% a 0,250% e 0,017% a 0,134%, respectivamente, quando comparados com os dados de 49 áreas compilados por Romankevich (1984), situar-se-iam entre os valores 20% mais baixos.

Discussão

Os teores de carbonatos obtidos para o Canal de São Sebastião e para a plataforma continental adjacente indicam a dominância de sedimentos litoclásticos que, segundo a classificação de Larssoneur *et al.* (1982), possuem valores menores que 30%. Amostras no canal, com teores mais altos, são influenciadas pela proximidade de costões, como é o caso da amostra 6V com mais de 50% de teor (biolitoclástica), ou pela presença de crostas carbonáticas antigas, associadas a linhas de costa pretéritas. Essas crostas contribuem com material para os sedimentos aumentando a concentração de carbonatos das amostras, como é o caso da amostra 10V. Os teores mais altos na plataforma continental associam-se, também, a essa última condição.

As maiores concentrações decorrem, portanto, de influências locais específicas, associadas ora a condições atuais, ora a condições pretéritas. O processo sedimentar é diferenciado, não havendo relação direta, ou inversa, com a distribuição das concentrações de argilas e com os teores de carbono e nitrogênio orgânicos. Os grupos e subgrupos individualizados em função dos teores de carbonatos foram então, para efeito de discussão, incorporados aos que apresentaram concentrações similares de argilas, carbono e nitrogênio.

Canal de São Sebastião

Os dois grupos principais, obtidos para o Canal de São Sebastião, diferenciam-se pelas variações nas concentrações de carbono e nitrogênio orgânicos e de argilas.

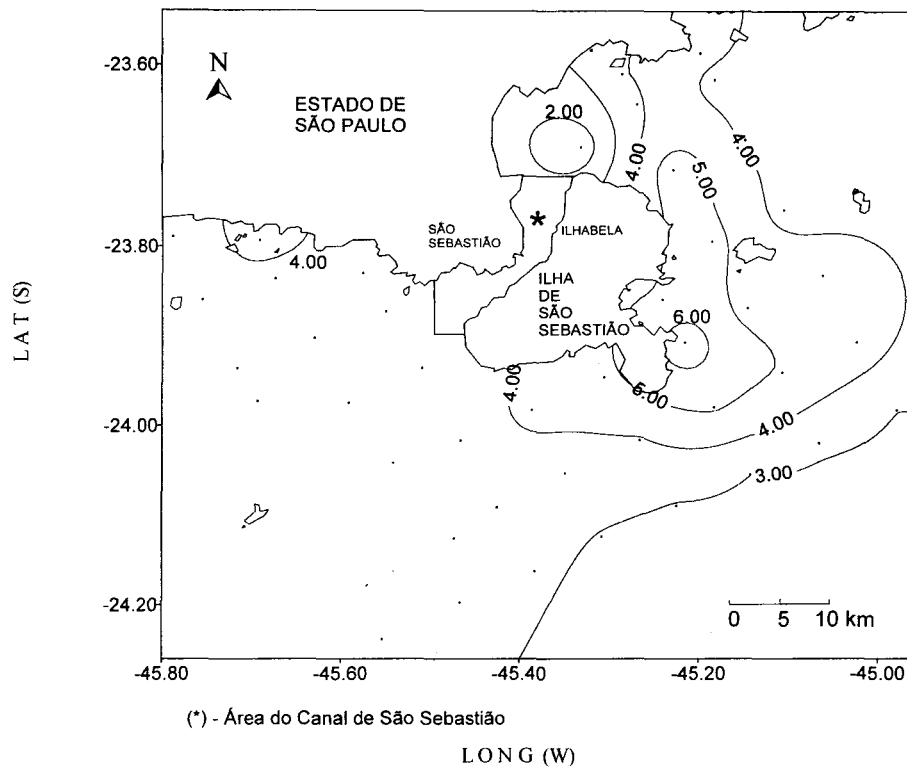


Fig. 6. Mapa de distribuição do diâmetro médio (Folk & Ward, 1957) nas amostras na plataforma continental interna de São Sebastião.

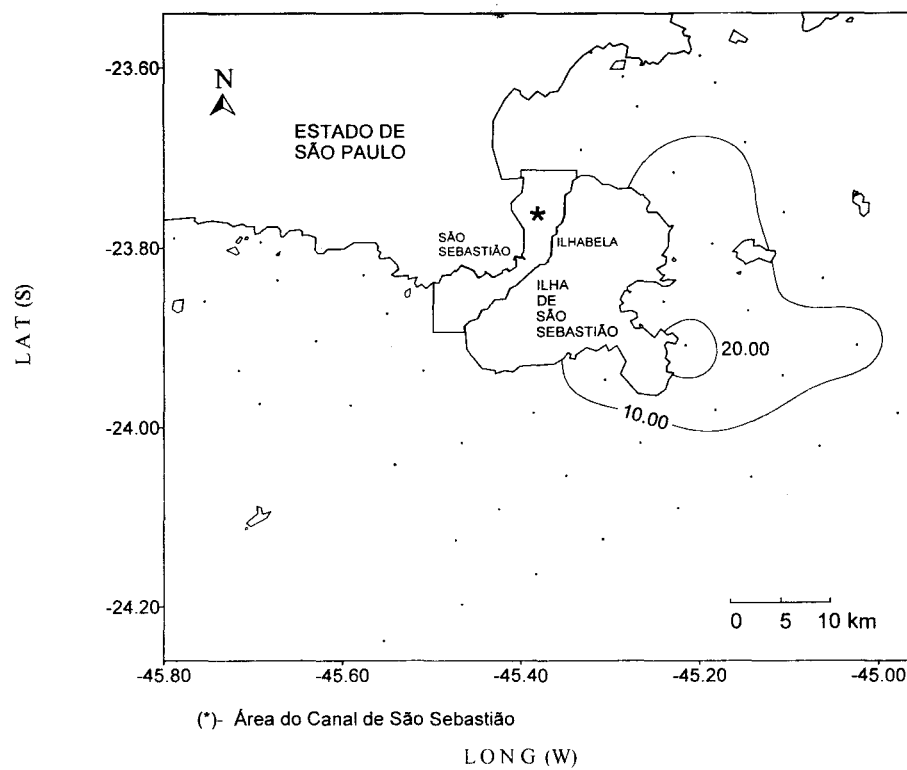


Fig. 7. Mapa de distribuição dos teores de argila das amostras na plataforma continental interna de São Sebastião (cm %).

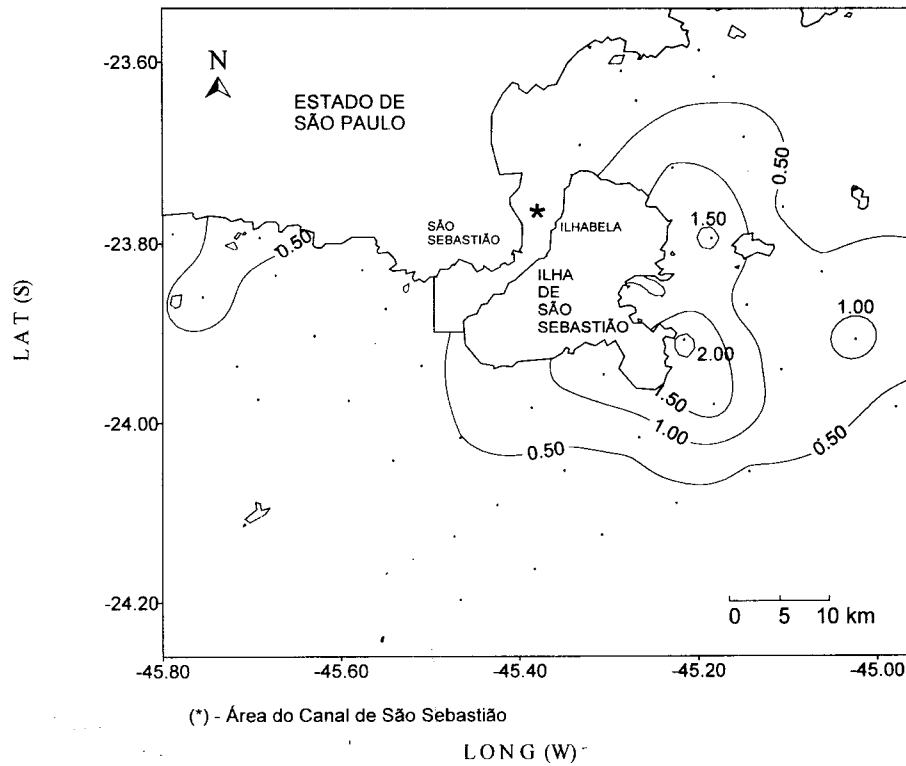


Fig. 8. Mapa de distribuição dos teores de carbono orgânico das amostras na plataforma continental interna (em %).

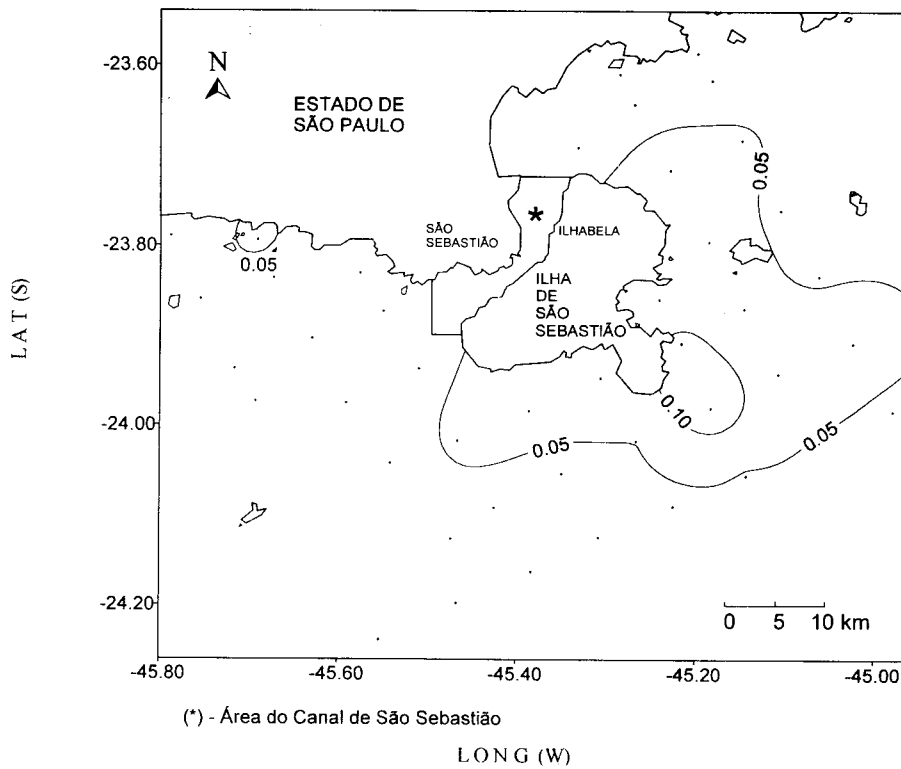


Fig. 9. Mapa de distribuição dos teores de nitrogênio orgânico das amostras na plataforma continental interna de São Sebastião (em %).

O grupo CSS1, composto por amostras com baixos teores orgânicos, associa-se à presença de sedimentos arenosos. Estes são heterogêneos quanto a sua granulometria, variando de areia muito fina a areia grossa. Essa variação deve-se a processos locais, como descrito em Furtado (1995). As amostras 1V e 4V, compostas por areias finas e muito finas, bem selecionadas, são o resultado do retrabalhamento de sedimentos relíquia e da movimentação atual constante, junto ao fundo, decorrente da incidência direta de ondas na área. As amostras 11V, 13V e 14V, compostas por areias médias e grossas, mal selecionadas, resultam da aceleração de correntes, com sentido nordeste, na porção central do canal. A movimentação junto ao fundo impede a deposição, ou remobiliza as argilas depositadas, sendo responsável pelas baixas concentrações observadas. As amostras 3V e 9V localizam-se próximas a costões cristalinos, que atuam como fontes para as areias, sendo o aporte de argilas para o local incipiente. Na amostra 5V a presença das areias pode relacionar-se à uma dragagem efetuada em 1973 no local, ou à contribuição de areias do flanco insular do canal, embora a dinâmica local possa permitir a deposição de argilas. Embora haja as diferenças granulométricas apontadas, em todos os casos o aporte de matéria orgânica é incipiente, ou não há retenção devido a movimentação de fundo.

O grupo CSS2 é composto pelas amostras que possuem os teores orgânicos mais altos do canal, estando estas associadas às áreas de baixa hidrodinâmica. O conteúdo de carbono orgânico da amostra 2V, localizada na boca sul do canal, é o mais alto da área e associa-se ao maior teor de argila observado. Os teores de carbono orgânico podem estar associados à contribuição costeira ou a uma eventual contaminação por hidrocarbonetos. Arasaki (1997), analisando a macrofauna bêntica do canal verificou que, nessa estação, a biomassa é baixa e associa o fato, com base em Zanardi (1996 *apud* Arasaki, 1997), à eventuais contaminações decorrentes de fundeios de navios próximo à área. A amostra 8V possui o maior teor de nitrogênio do canal, que pode estar associado à uma possível retenção de nutrientes na depressão em que está situada a estação. Esse enriquecimento em nutrientes pode ocorrer pelo aprisionamento de um bolsão da ACAS, que ingressou na área na primavera de 1993, ou pela contribuição costeira ali existente, como indicado pelos teores mais altos de carbono orgânico.

A amostra 7V, localizada próximo à boca do emissário submarino de São Sebastião e sofrendo influência do DTCS (Dutos e Terminais do Centro Sul) e do porto de São Sebastião, possui altos teores

orgânicos que podem estar associados à impactação antrópica, aliada à baixa dinâmica de correntes na área. A amostra 10V está localizada em uma mancha de sedimentos pelíticos, podendo seus altos teores orgânicos estarem associados à dispersão de contaminantes e poluentes, a partir do centro urbano de São Sebastião, ou devido à influência indireta da presença de águas mais oceânicas no eixo do canal. Ambos aportes seriam trazidos por desvios na corrente principal do canal, de resultante nordeste, em direção ao continente e, posteriormente, depositados e adsorvidos nos sedimentos da área, refletindo-se no aumento dos teores de carbono e de nitrogênio obtidos. A amostra 15V localiza-se em um embaimento protegido das correntes mais fortes existentes no eixo do canal, em sua porção norte, e apresenta altos teores de carbono e nitrogênio orgânicos oriundos, possivelmente, da ação pluvial nas encostas insulares adjacentes e da penetração da ACAS no canal.

A amostra 6V diferencia-se das demais por possuir, além de uma alta concentração de carbonatos, um teor médio de carbono orgânico para a área. Este sugere que o local pode estar sofrendo uma influência direta da contribuição costeira adjacente, através do sistema de drenagem do Ribeirão São Sebastião, o segundo maior de todo canal. A amostra 12V possui teores baixos de matéria orgânica e localiza-se em um embaimento com tendência à deposição, onde ocorre o segundo maior teor de argila da área. O baixo conteúdo de matéria orgânica deve estar associado, então, à falta de aportes significativos para a área.

Plataforma continental interna

Os 4 grupos e uma amostra isolada, individualizados pela análise de agrupamento (Fig. 5), foram reduzidos a 2 grupos. Eles são formados pelos grupos PC11 e PC13, que reúne amostras com baixos teores de argilas, carbono e nitrogênio e PC12, PC14 e a amostra 6279, que possuem teores médios a altos.

Observa-se a associação direta entre os sedimentos com as maiores concentrações de argilas, e os maiores teores de carbono e nitrogênio orgânicos, a exemplo do que ocorre no Canal de São Sebastião. Os resultados permitem diferenciar a área em duas porções, limitadas pela Ilha de São Sebastião.

A porção sul da área, que se estende de noroeste para sudoeste da ilha, onde há o domínio de areias muito finas (Fig. 6), caracteriza-se pela ocorrência de baixas concentrações de argila (Fig. 7), carbono (Fig. 8) e nitrogênio (Fig. 9). Correspondem às amostras do primeiro grupo, com baixos teores de

matéria orgânica. Esta área está sob influência direta de sistemas de ondas de sul e sudoeste. De acordo com OPISS (1998) as carapaças dos foraminíferos bentônicos, analisados para a área, encontravam-se bastante fragmentadas indicando a movimentação junto ao fundo. Não ocorre, então, a deposição de pelitos, não havendo condições adequadas para a retenção e preservação do carbono e nitrogênio orgânicos. Soma-se, à essas condições, o aporte pouco significativo de matéria orgânica decorrente da drenagem costeira incipiente e distante na região. A Ilha de São Sebastião, que poderia atuar como fonte de componentes orgânicos para a área, situa-se a jusante do fluxo de correntes que se desloca de sudoeste para nordeste (Luedemann, 1979; Mesquita *et al.*, 1979 e Soares, 1994), ou seja, a influência da ilha ocorrerá no sentido do deslocamento do fluxo não atingindo a área em questão. Os teores de nitrogênio são baixos em função do pequeno aporte de nutrientes, ocorrendo baixa produção primária. Observa-se, entretanto, um aumento nos teores de nitrogênio em amostras localizadas a sul e sudoeste da ilha, sugerindo um aumento da influência marinha no local, que é também indicada pela presença de espécies de foraminíferos típicas da plataforma externa (OPISS, *op. cit.*). As concentrações observadas podem estar associados à ingressão da ACAS, que se propaga através de um canal ali existente (Furtado *et al.* 1996), onde estão situadas essas amostras. A nordeste da área, próximo à boca norte do Canal de São Sebastião, localizam-se amostras com baixos teores. Nessa região o aporte de pelitos do continente para o oceano, ocorre por transporte em suspensão e associa-se ao mecanismo de saída da Água Costeira, em superfície, induzido pela penetração da ACAS pelo fundo. Os pelitos, em decorrência desse processo, depositar-se-ão em profundidades mais altas ou ficam, na sua maior parte, retidos nas enseadas costeiras (Furtado & Mahiques, 1990). Não há, portanto, um aporte significativo de pelitos e, conseqüentemente, de matéria orgânica na área de ocorrência dessas amostras.

Os mapas de distribuição de sedimentos indicam, também, uma influência direta da Ilha de São Sebastião em amostras situadas próximas a ela, em um setor que se estende de sudeste a este-nordeste, em torno da ilha. Essas amostras correspondem ao segundo grupo, onde ocorrem teores médios a altos de matéria orgânica. A ilha cria uma área abrigada, com baixa movimentação junto ao fundo e deflete a corrente costeira de sudoeste, diminuindo a circulação local (Soares, 1994), propiciando condições para o acúmulo de nutrientes na coluna d'água da área, trazidos pela própria corrente. Atua, ainda, como fonte importante de

argilas e matéria orgânica, que são introduzidas através de pequenas drenagens e ação pluvial nas suas encostas nessa área abrigada. O carbono tem sua origem, então, pela contribuição direta de matéria orgânica vegetal da ilha. Estudos de hidrocarbonetos (OPISS, 1997) para estes sedimentos corroboram o proposto, indicando que estes sofrem forte contribuição biogênica oriunda das plantas superiores terrestres. O aporte de nitrogênio orgânico, por sua vez, está associado à uma produção primária mais alta (Gianesella-Galvão & Saldanha-Correa*, 1996 e Saldanha-Correa** *et al.*, 1996), conseqüência de maior disponibilidade de nutrientes, no caso o nitrogênio total, contidos na coluna d'água, conforme observado em OPISS (*op. cit.*). Os núcleos que possuem alta concentração de nitrato na área são, aparentemente, originários de transformações químicas à meia-água, decorrentes de processos de decomposição de matéria orgânica carreada pelo água de escoamento superficial, originário das áreas emersas adjacentes principalmente, da Ilha de São Sebastião. Observa-se que estes núcleos não foram detectados com a mesma freqüência na região de Ubatuba, indicando que a influência da ilha permanece mais restrita ao seu entorno, principalmente em direção a leste e nordeste (OPISS, *op. cit.*). Os dados de foraminíferos bentônicos (OPISS, 1998), também permitem inferir que estas estações estão posicionadas em um ambiente mais abrigado, onde a influência de águas da plataforma externa é relativamente menor, indicada pela presença de 9 espécies de ambiente marinho mais costeiro e da infauna, e de 2 espécies relacionadas à ACAS. As amostras ao sul do setor têm os teores mais altos de matéria orgânica associados, também, à contribuição direta da ilha. Não há movimentação intensa junto ao fundo, como indicado pela presença de argilas. Essa baixa movimentação ocorre em função da profundidade, que minimiza a ação hidrodinâmica no fundo e da presença de embaimentos, onde há a dissipação da energia das ondas criando locais adequados à deposição.

Esse grupo inclui a amostra 6299, situada no setor noroeste da área, com teores médios de matéria orgânica e um valor relativamente baixo (5,96%) de argilas. Os valores de carbono e nitrogênio orgânicos podem, no caso, estar associados à contribuições locais.

(*) Gianesella-Galvão, S. M. F. & Saldanha-Corrêa, F. M. P. 1996. Produtividade picofitoplancônica na região costeira de São Sebastião. In: SIMPÓSIO SOBRE OCEANOGRAFIA-IOUSP, 3. São Paulo, 1996. Resumos. São Paulo, IOUSP. p. 15.

(**) Saldanha-Corrêa, F. M. P.; Gianesella-Galvão, S. M. F. & Aidar, E. 1996. Uso da razão 480/665 nm como indicador do estado fisiológico do fitoplâncton na região costeira de São Sebastião. In: SIMPÓSIO SOBRE OCEANOGRAFIA-IOUSP, 3. São Paulo, 1996. Resumos. São Paulo, IOUSP. p. 25.

Conclusões

- A distribuição de carbono e nitrogênio orgânicos no canal e plataforma está relacionada, de forma direta, às maiores concentrações de argila que possuem maior capacidade de retenção de matéria orgânica.

- Os teores de matéria orgânica no Canal de São Sebastião associam-se, diretamente, à circulação da área, que não permite a deposição intensa de pelitos, e a um aporte pontual de matéria orgânica. Esse aporte associa-se a pequenas drenagens e à ação antrópica, caracterizada pela introdução de efluentes domésticos (emissário submarino de São Sebastião) e atividades portuárias (porto de São Sebastião e o DTCS, da Petrobrás).

- A plataforma continental interna como um todo, exceto na porção a leste da Ilha de São Sebastião, apresenta teores muito baixos de matéria orgânica. Tal fato associa-se à presença de sedimentos eminentemente arenosos, somado à ausência de drenagens fluviais significativas na área, sendo o aporte de carbono orgânico restrito à drenagem pluvial e a pequenos rios. Essas drenagens tem contribuição local e a distribuição da matéria orgânica pode estar associada à saída da Água Costeira (AC), transportando material em suspensão, introduzida pela ingressão da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na área na primavera e verão. O baixo aporte de nitrogênio decorre do fato das águas de plataforma continental serem oligotróficas, com baixa produção primária, ocorrendo os teores mais altos em áreas influenciadas por águas mais ricas em nutrientes.

- A Ilha de São Sebastião, comporta-se como uma barreira à ação hidrodinâmica vinda de sul e sudoeste. Este fator condiciona uma maior deposição de pelitos a leste da ilha. Os teores de matéria orgânica, de maneira geral, corroboram este fato e indicam, ainda, que a ilha atua como fonte de carbono orgânico para áreas próximas a ela. Nas áreas ao sul, sudeste e leste da ilha nota-se um aumento dos teores de nitrogênio em relação a área em geral, o que pode ser atribuído à maior produção primária na região, derivada do água de escoamento superficial e da ingressão de águas oceânicas na área.

- Embora as características geomorfológicas e oceanográficas sejam distintas entre as áreas do Canal de São Sebastião e plataforma continental interna adjacente, observa-se que os teores orgânicos das estações abrigadas da ação de correntes mais fortes no canal e das ondas de S/SW na plataforma adjacente são mais altos e semelhantes entre si, assim como, os conteúdos das estações sujeitas a um maior

hidrodinamismo na área do canal e na plataforma são baixos e similares.

Agradecimentos

Os autores externam seus agradecimentos à FAPESP (procs. 92/3449-0 e 95/2296-4), ao CNPq (Proc. 303819/86-3 RN) pelo apoio à pesquisa e à Michel Michaelovitch de Mahiques pelo tratamento estatístico dos dados.

Referências bibliográficas

- Arasaki, E. 1997. Distribuição e estrutura da macrofauna benthica no Canal de São Sebastião, São Paulo, Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 143p.
- Castro Filho, B. M. de; Miranda, L. B. de & Miyao, S. Y. 1987. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 35(2):135-151.
- Emerson, A. & Hedges, J. I. 1988. Processes controlling the carbon content of open ocean sediments. *Paleoceanography*, 3:621-634.
- Faganeli, J.; Malej, A.; Pezdic, J. & Malacic, V. 1988. C: N: P ratios and stable C isotopic ratios as indicator of sources of organic matter in the Gulf of Trieste (northern Adriatic). *Oceanologia Acta*, 11(4):377-382.
- Folk, R. L. & Ward, W. C. 1957. Brazos river bar: study of the significance of grain size parameters. *J. sedim. Petrol.*, 27(1):3-27.
- Furtado, V. V. & Mahiques, M. M. de 1990. Distribuição de sedimentos em regiões costeiras e plataforma continental de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: ESTRUTURA, FUNÇÃO E MANEJO, 2. Águas de Lindóia, 1990. Anais. São Paulo, ACIESP, 71(1):20-29.
- Furtado, V. V. 1995. Sedimentação Quaternária no Canal de São Sebastião. *Publção esp. Inst. oceanogr.*, S Paulo, (11):25-35.
- Furtado, V. V.; Bonetti-Filho, J. & Conti, L. A. 1996. Paleo river valley morphology and sea level changes at southeastern brazilian continental shelf. *An. Acad. bras. Ci.*, 68(supl. 1):163-169.

- Furtado, V. V.; Bonetti-Filho, J.; Rodrigues, M. & Barcellos, R. L. 1998. Aspectos da sedimentação no Canal de São Sebastião. *Relat. téc. inst. oceanogr.*, (43):15-31.
- Gaudette, H. E.; Flight, W. R.; Toner, L. & Folger, D. W. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *J. sedim. Petrology*, 44(1):249-253.
- Gross, M. G. 1971. Carbon determination. In: Carver, R. E. ed. *Procedures in sedimentary petrology*. New York, Wiley-Interscience. p.38-46.
- Kabat, E. A. & Mayer, M. M. 1948. *Experimental immunochemistry*. Springfield, C. C. Thomas. 567p.
- Larssoneur, C.; Bouysse, P. & Aufret, J. P. 1982. The superficial sediments of the English Channel and its western approaches. *Sedimentology*, 29(6):851-864.
- Legendre, L. & Legendre P. 1983. *Numerical ecology*. Amsterdam, Elsevier. 419p.
- Luedemann, E. F. 1979. Contribuição ao estudo das correntes de superfície sobre a plataforma continental do Estado de São Paulo, Brasil (Lat. 24°00'S - 25°10'S até Long. 45°06'W). *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 28(2):47-53.
- Magliocca, A. & Kutner, A. S. 1964. Conteúdo orgânico do sedimento de fundo da região de Cananéia. *Contrções Inst. oceanogr.*, Univ. S Paulo, Sér. Oceanogr. Física, (7):1-15.
- Mahiques, M. M. de. 1987. Considerações sobre os sedimentos de superfície de fundo da Baía da Ilha Grande, Estado do Rio de Janeiro. *Dissertação de mestrado*. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 2v.
- Mesquita, A. R. de; Leite, J. B. A. & Rizzo, R. 1979. Contribuição ao estudo das correntes marinhas na plataforma entre Cabo Frio e Cananéia. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 28(2):95-100.
- OPISS. 1997. Projeto "Oceanografia da Plataforma Interna de São Sebastião". *Relatório n° 4*. São Paulo, FAPESP.
- OPISS. 1998. Projeto "Oceanografia da Plataforma Interna de São Sebastião". *Relatório n° 6*. São Paulo, FAPESP.
- Rashid, M. A. 1985. *Geochemistry of marine humic compounds*. New York, Springer-Verlag. 300p.
- Romankevich, E. A. 1984. *Geochemistry of organic matter in the ocean*. Berlin, Springer-Verlag. 334p.
- Soares, I. D. 1994. Um modelo numérico de dispersão oceânica: aplicações ao Canal de São Sebastião e adjacências. *Dissertação de mestrado*. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 126p.
- Suguió, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Ed. Edgard Blücher/EDUSP. 317p.
- Tyson, R. V. 1995. *Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies*. London, Chapman & Hall. 615p.

(Manuscrito recebido 28 abril 1999; revisado 28 junho 1999; aceito 29 fevereiro 2000)