

## SEDIMENTAÇÃO ACELERADA DE PONTAIS E BARRAS ARENOSAS NA ENSEADA DE CARAGUATATUBA, SP: CAUSAS NATURAIS E ARTIFICIAIS

Olga CRUZ<sup>1</sup>; Kenitiro SUGUIO<sup>2</sup> & Beatriz Beck EICHLER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo

<sup>2</sup> Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

<sup>3</sup> Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo/FINEP

### Synopsis

*Morphological changes in a sector of the State of São Paulo coastline, known as "Enseada de Caraguatatuba", were recognized through interpretation of air photographs in 1:25.000, 1:20.000 and 1:8.000 scales and field surveys done during the period November of 1978 to August of 1981. Grain size, shape, roundness and cluster analyses of 53 samples from the associated sedimentary deposits allowed us to characterize their textural properties, as well as to understand the coastal processes involved in the evolution of the area during the last years.*

**Descriptors:** Coastal geomorphology, Aerial photographs, Field surveys, Coastal zone, Quaternary, Sand bars, Spits, Sedimentation, Sediment texture, Sediment deposition, Man-induced effects, Enseada de Caraguatatuba: SP, Rio Santo Antonio: SP, Rio Ipiranga: SP, Caraguatatuba: SP, Southeast coast: Brazil.

**Descritores:** Geomorfologia costeira, fotografias aéreas, Levantamentos de campo, Zona costeira, Quaternário, Barras arenosas, Pontais arenosos, Sedimentação, Textura do sedimento, Deposição do sedimento, Efeitos da ação do homem, Enseada de Caraguatatuba: SP, Rio Santo Antonio: SP, Rio Ipiranga: SP, Caraguatatuba: SP, Costa Sudeste do Brasil

### Introdução

A área costeira norte-nordeste do Estado de São Paulo caracteriza-se pela presença de blocos tectônicos e escarpados da Serra do Mar, em terrenos metamórficos pré-cambrianos penetrados por granitos e diques de diabásio. Suas escarpas, variando de 800 a 1.200 m de altitude, festonadas em anfiteatros e alvéolos, separam o Planalto Atlântico das pequenas planícies costeiras, alojadas nos alvéolos maiores e separadas entre si por espigões que mergulham no oceano. Ao atingir o mar, estes apresentam formas de abrasão marinha vinculadas a fortes influências estruturais.

A planície de Caraguatatuba, uma das mais desenvolvidas, é limitada a S e SE pelas escarpas da serra e planalto de São Sebastião ou Juqueriquerê, com altitudes entre 700 a 800 m e pela ilha de São Sebastião com topos que alcançam 1.300 a 1.400 m, separada do continente por um canal de até 50 m de profundidade. A W, N e NE é delimitada pelas escarpas da serra de Caraguatatuba e por

morros baixos isolados. Em frente a um deles, o morro do Camaroeiro, desenvolve-se a área de sedimentação marinha atual, estudada nesta pesquisa no período de novembro/78 a agosto/81 (Fig. 1).

As relações entre as oscilações do nível do mar e os depósitos quaternários marinhos da área têm sido estudadas mais recentemente por Suguio & Martin (1978). As marés do porto mais próximo, o de São Sebastião, com nível médio de 0,66 m, acusaram no período, maiores e menores alturas de 1,50 m e 0,30 m, respectivamente (DHN, 1978-80). Os totais anuais de chuva apresentaram uma média de 1.893,4 mm em 40 anos (1927-1967), conforme dados da São Paulo Light S/A, com maior concentração nos verões quentes e úmidos. No dia 19 de março de 1967, no fim de um verão particularmente úmido, a pluviosidade atingiu mais de 420 mm, de acordo com os dados da Companhia Anglo S/A, fornecidos no mesmo ano. Fenômenos intensos e generalizados de movimentos de massa então ocorreram (Petri & Suguio, 1971; Cruz, 1974; Fulfaro *et al.*, 1976), cujos produtos foram depositar-se nas baixadas de Caraguatatuba e de Maça-

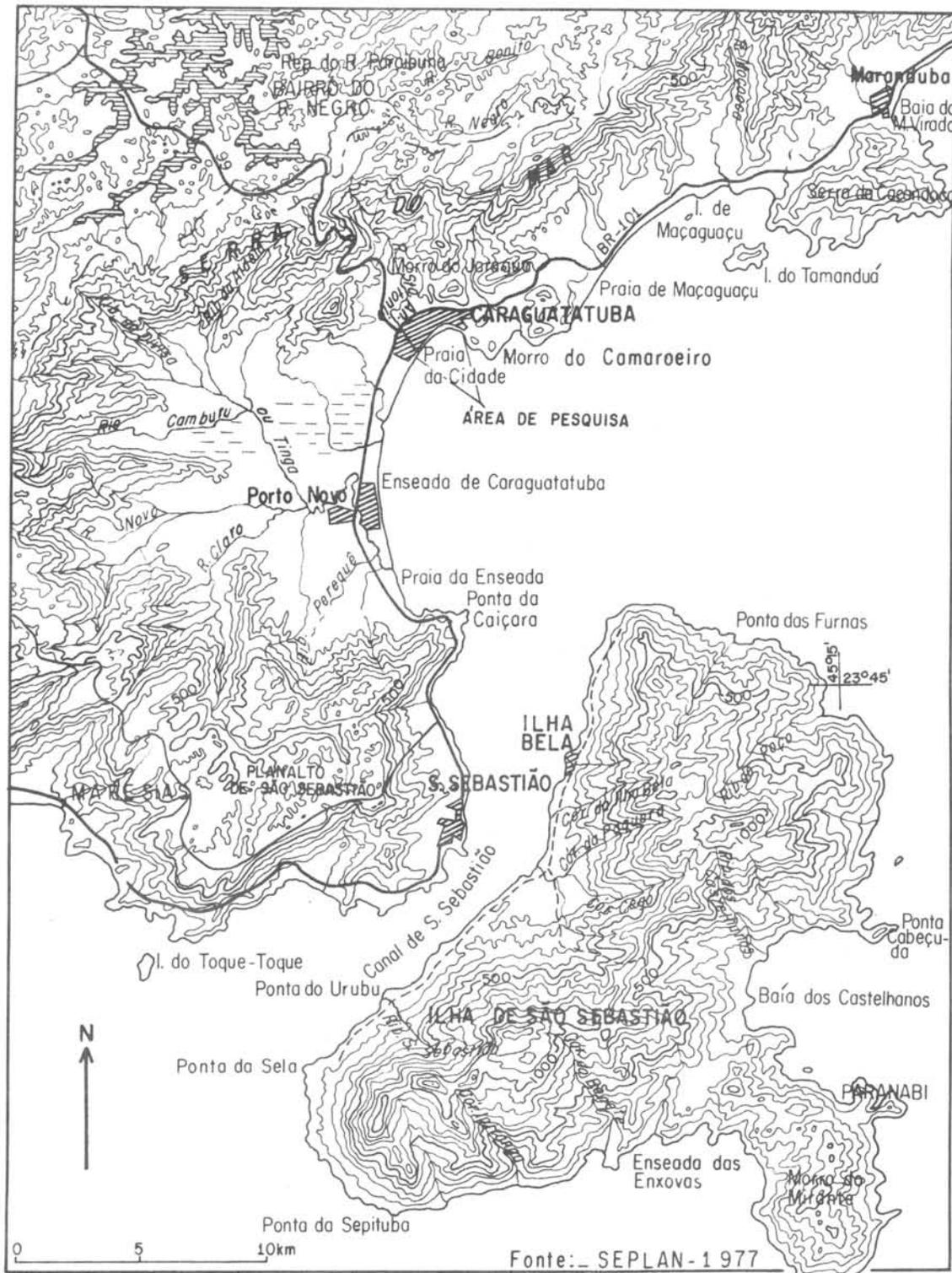


Fig. 1. Localização da área pesquisada no período de novembro de 1978 a agosto de 1981 na costa norte-nordeste do Estado de São Paulo.

guaçu, em boa parte transportados até o mar pelos canais fluviais. Tais fenômenos provocaram a aceleração dos processos marinhos de crescimento de pontais arenosos e bancos submersos ao norte da enseada, ligados às desembocaduras dos rios Ipiranga e Santo Antônio.

Fotografias aéreas obtidas em diferentes épocas têm sido usadas nos estudos de evolução das áreas de sedimentação costeira atual por vários autores (Tricart *et al.*, 1970; Schmitt-Taverna, 1975; Ozasa, 1977; Hehanussa, 1979; Dubois, 1980, dentre outros). No Brasil, o uso de tais técnicas tende a tornar-se cada vez mais importante à medida que novos levantamentos aerofotogramétricos em escala mais detalhada e em espaços de tempo mais curtos são efetuados. Esta pesquisa foi apoiada em técnicas de fotointerpretação, nas escalas 1:25.000, 1:20.000 e 1:8.000, em observações e medidas de campo e em análises granulométricas e morfoscópicas das areias.

### Mobilidade e evolução dos pontais (spits) e barras arenosas

O decalque (overlay) de fotografias aéreas de 1962 (Fig. 2) mostra ter sido a parte norte da enseada de Caraguatatuba um lugar sempre calmo com tendência à sedimentação, caracterizada pela ocorrência de pequenos bancos arenosos submersos. As condições de sedimentação mudaram com os catastróficos eventos de 1967, pois em fins deste ano já estavam formados dois pontais: um, a partir da extremidade do morro do Camaroeiro e, o outro, na sua parte norte em direção a um antigo e pequeno enrocamento que prolongava a desembocadura do rio Ipiranga. O decalque de fotografias aéreas de 1973 (Fig. 3) mostrou o alargamento das praias, a maior evidência e extensão dos bancos submersos e a duplicação dos pontais arenosos contornando pequena laguna ou depressões úmidas.

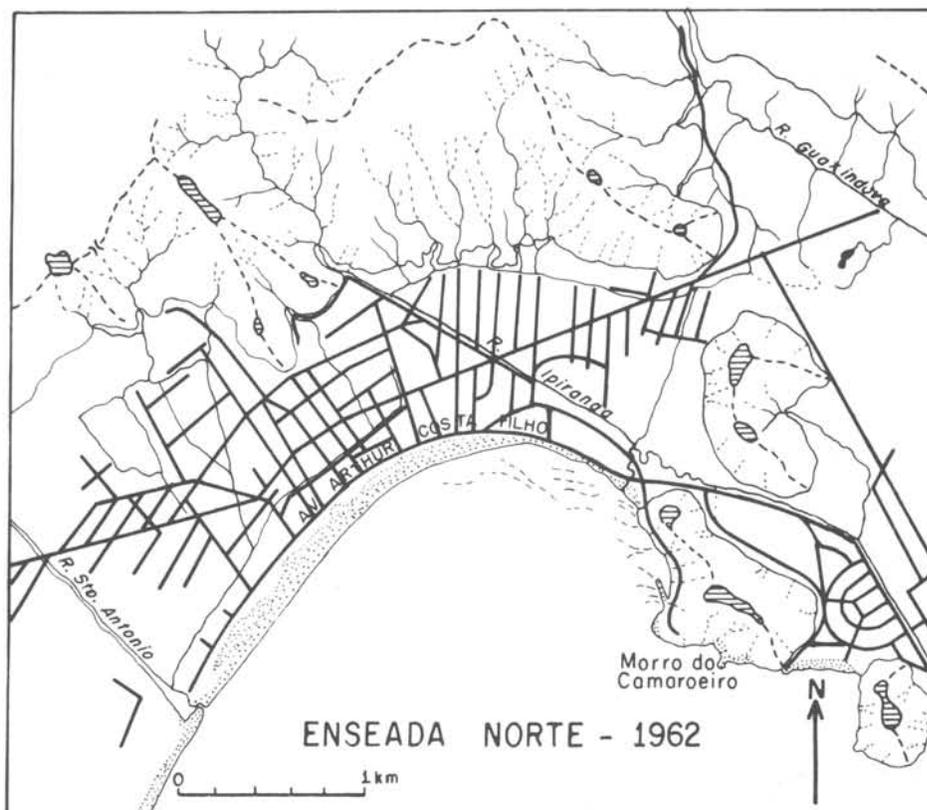


Fig. 2. A área de sedimentação praial no setor norte da enseada de Caraguatatuba, observado nos decalques de fotografias aéreas de 1962.

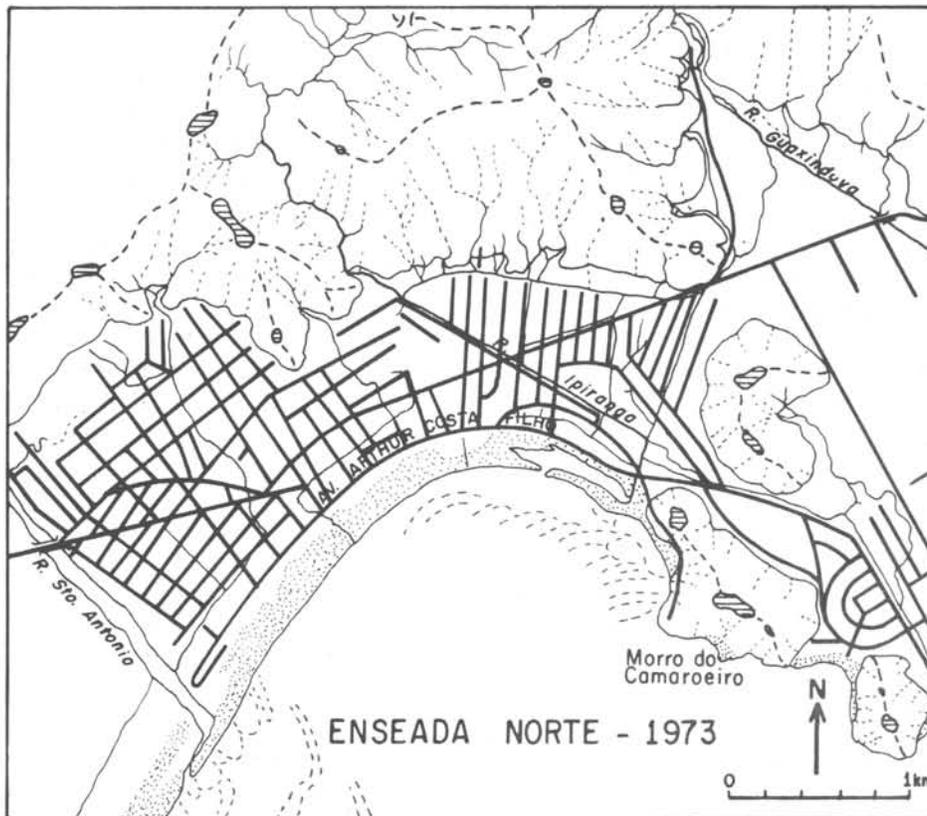


Fig. 3. Aumento da área de sedimentação no setor norte da enseada de Caraguatatuba, observado nos decalques de fotografias aéreas de 1973.

A interferência antrópica, através da reconstrução do molhe de retificação no trecho final do rio Ipiranga em fins de 1973 e do aterro da pequena laguna em 1975, acelerou os processos dinâmicos, modificando freqüentemente a posição dos pontais. O decalque de fotografias aéreas de 1977 (Fig. 4) acusou a formação desses pontais alojados ao longo do morro do Camaroeiro e bancos submersos já condicionados pelos molhes. A mesma figura mostra que a área norte da enseada foi preservada da ação mais ativa das vagas e de suas correntes e das de maré mais fortes. Mas as instabilidades atmosféricas na área, ligadas às passagens de frentes frias tempestuosas já referidas por Kvinge (1967) e Furtado (1978), devem certamente interferir na mudança de posição dos pontais, barras e bancos

submersos. Em fins de 1977, foi construído o enrocamento da barra do rio Santo Antônio (Fig. 5), prolongado o do rio Ipiranga e construídos outros três diques menores vizinhos (Fig. 6) à sua foz.

Os levantamentos efetuados durante os trabalhos de campo em novembro/78, julho/79, abril/80 e agosto/81, levando em conta as oscilações dos níveis de marés na área, mostraram diferenças fundamentais na posição dos depósitos e algumas variações ligadas às influências das construções artificiais. A área foi dividida em dois setores: o da Enseada Norte (Figs 6, 7, 8a e 9) e o da Barra do Rio Santo Antônio (Figs 5 e 8b). Estas, mostram a formação de um pontal desviando o rio Santo Antônio para SSW, certamente no mesmo rumo das correntes de deriva litorânea no interior da enseada.

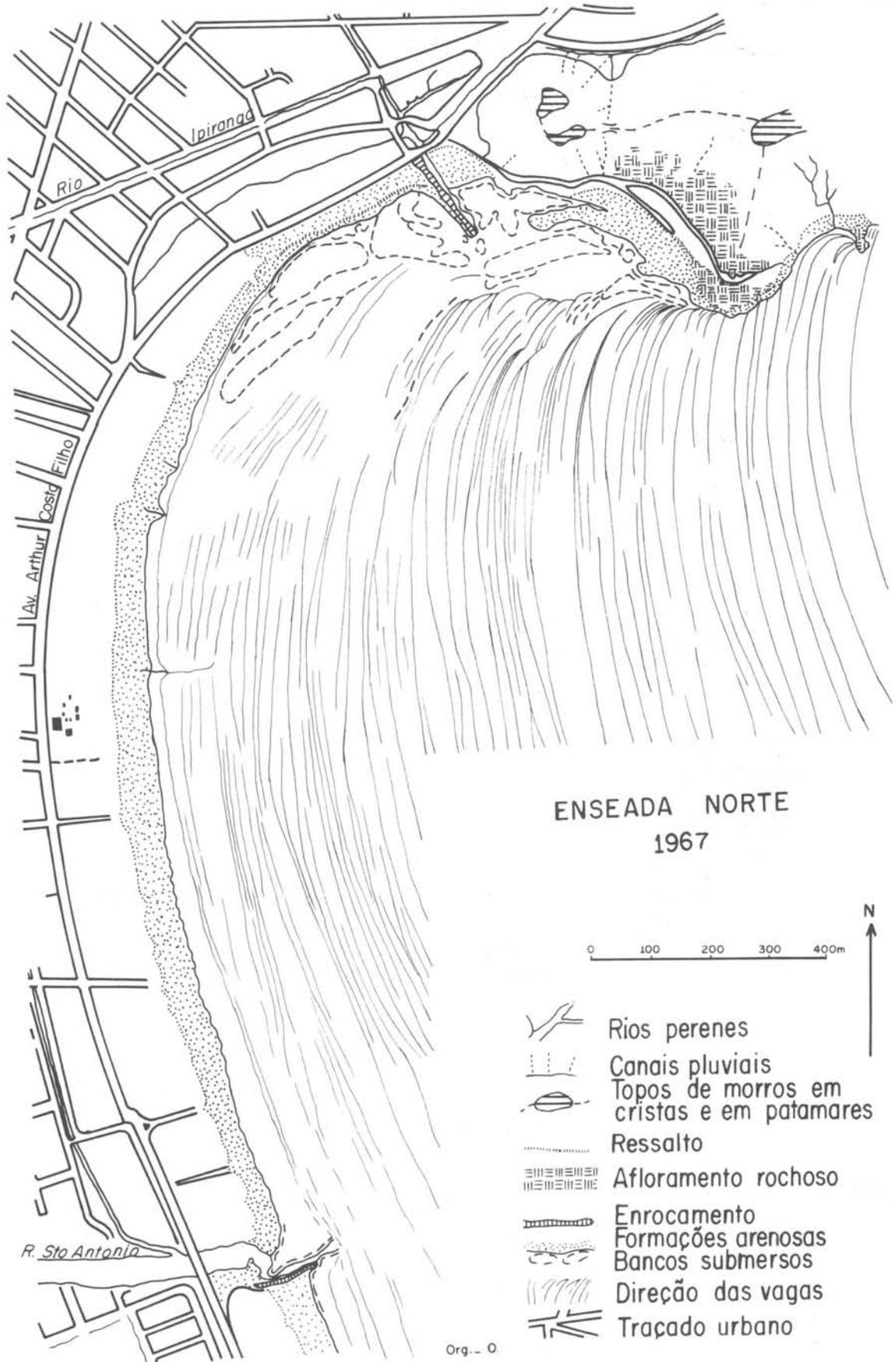


Fig. 4. Formação de pontais e bancos submersos ao longo do morro do Camaroeiro - setor norte da enseada de Caraguatatuba, observada no decalque de fotografias aéreas de 1967.

## BARRA DO RIO SANTO ANTONIO

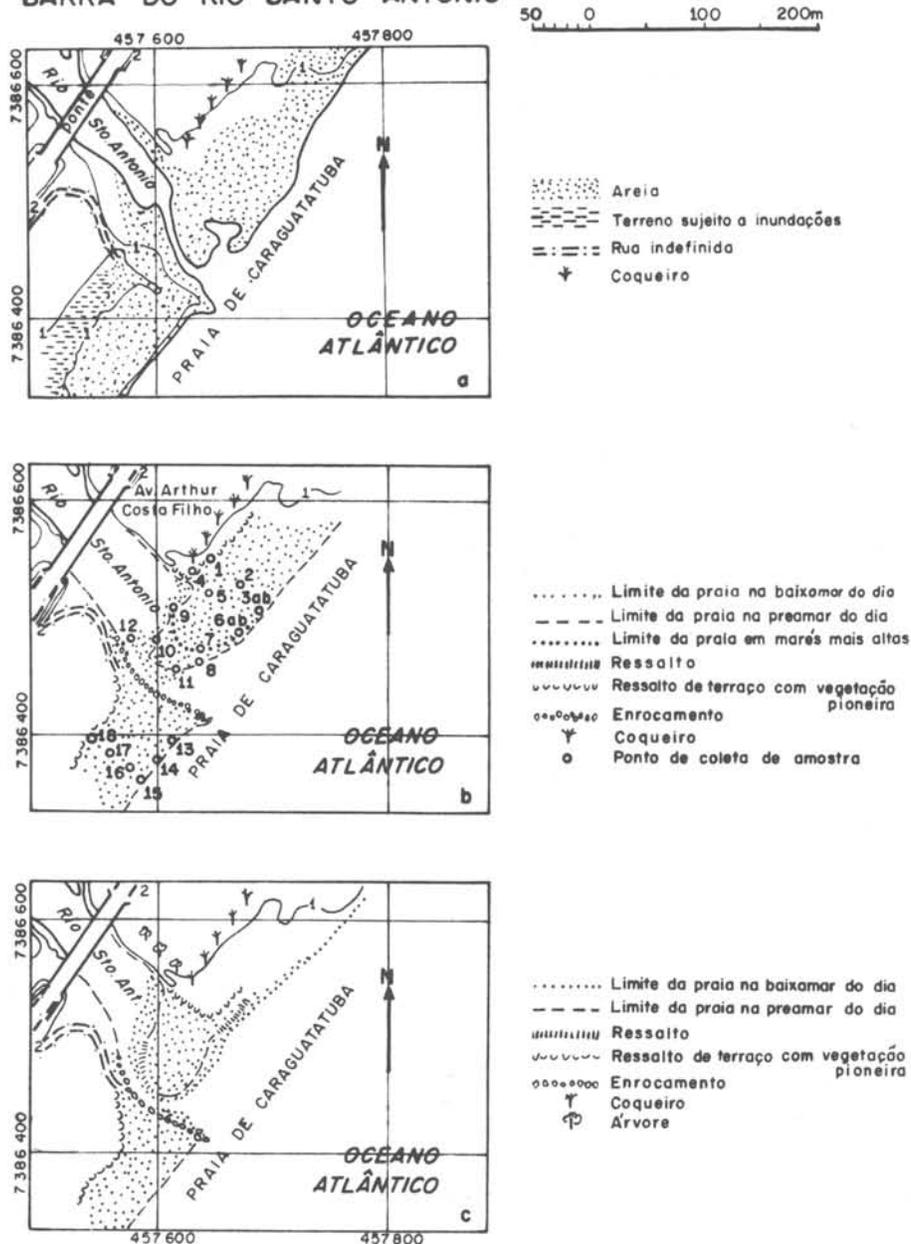


Fig. 5. Variações da área de sedimentação no setor da barra do Rio Santo Antônio: 5a - 1977-79, levantamento baseado em mapa da SEPLAN/SP; 5b, c - 1979, levantamentos de campo, realizados em março e julho.

A Figura 6 mostra, na Enseada Norte, a progressão dos pontais já unidos ao morro, num novo cordão alongado, formado após a construção do prolongamento do molhe maior e a construção dos outros três menores. Na Figura 7, a situação apresenta-se bem diferente; as areias acumularam-se especialmente a NW do molhe grande, isolando da água os três menores. Na Figura 8a, a dinâmica das areias propicia a formação de

três pontais. Dois, representam uma primeira etapa de deposição, represando águas em torno do molhe grande. O outro, desenvolve-se a partir da ponta do Camaroeiro, representando uma segunda fase de sedimentação. Na Figura 9, já no terceiro ano de observações e medições, nota-se o parcial soterramento dos três molhes pequenos e a formação de lagoas entre os depósitos da primeira e da segunda fases de sedimentação (Fig. 10).

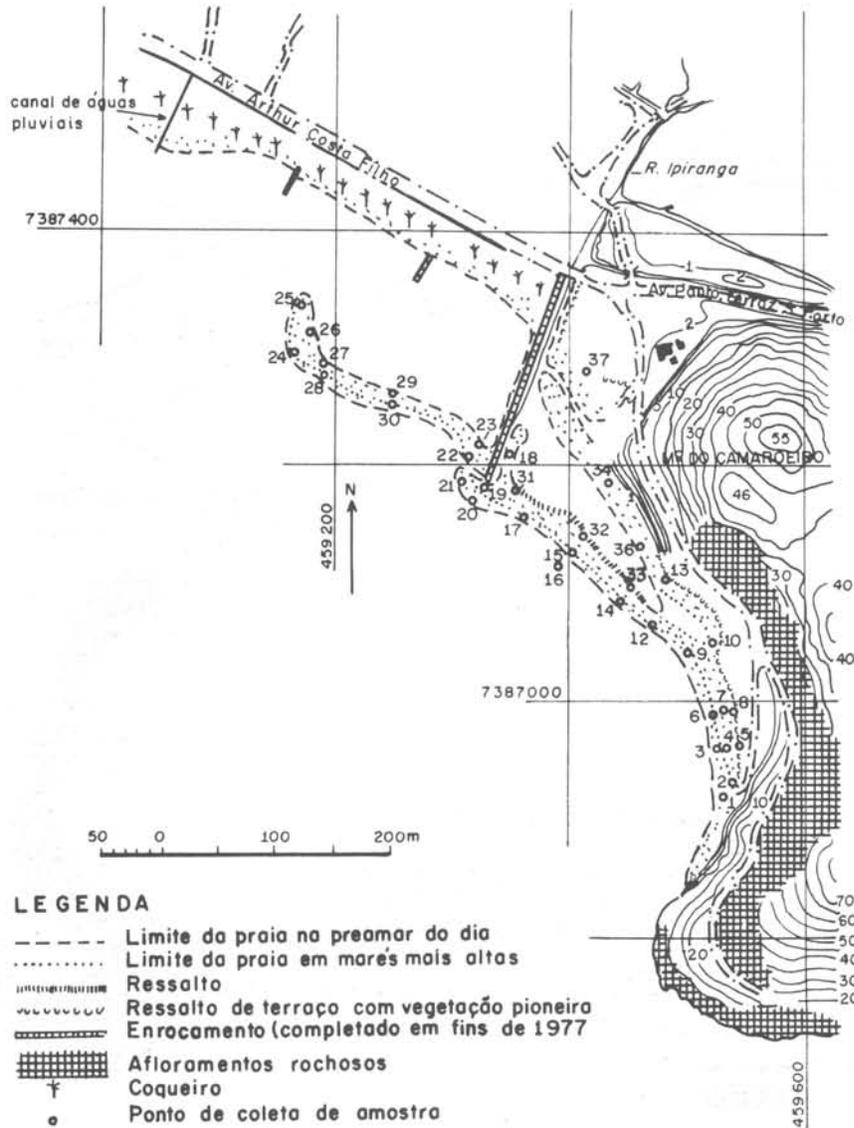


Fig. 6. Situação da área de sedimentação no setor norte da enseada de Caraguatatuba, levantada por trabalho de campo em novembro de 1978 e localização dos pontos das coletas de amostras para os exames granulométricos-morfoscópicos.

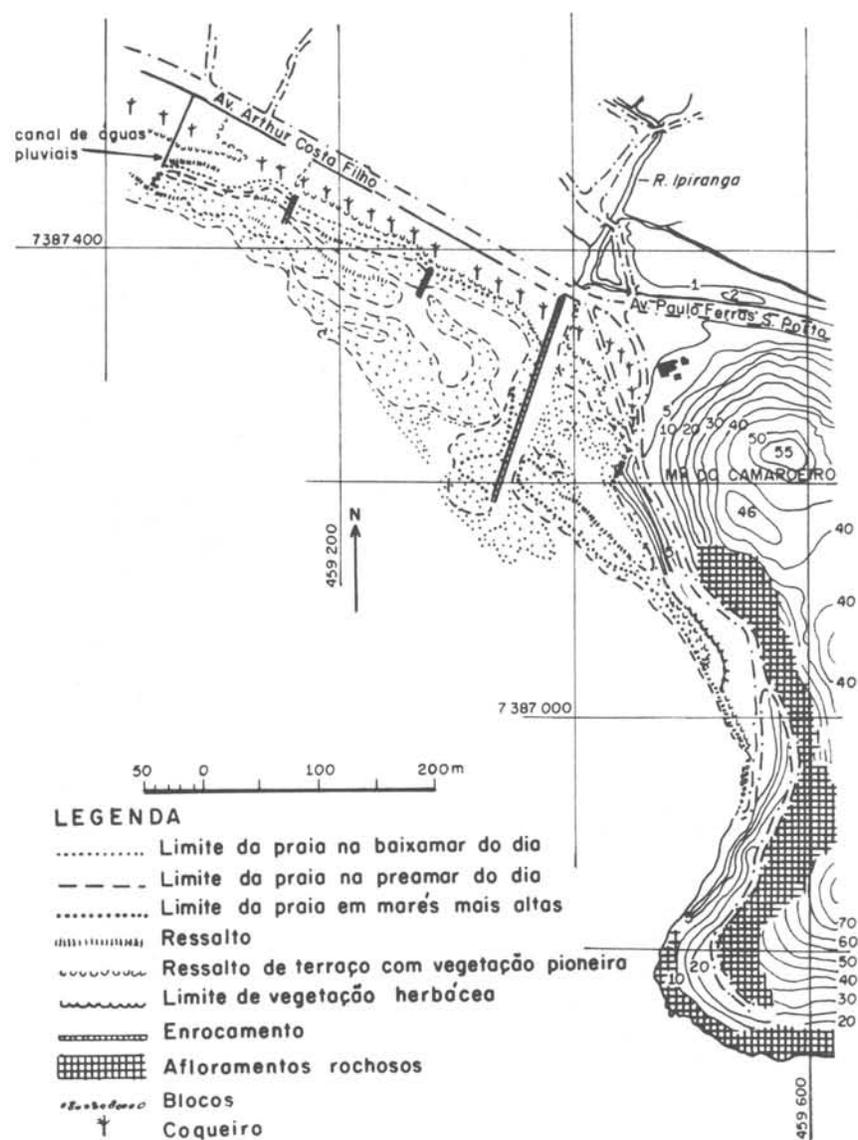


Fig. 7. Situação da área de sedimentação no setor norte da enseada de Caraguatatuba, levantada por trabalho de campo em julho de 1979.

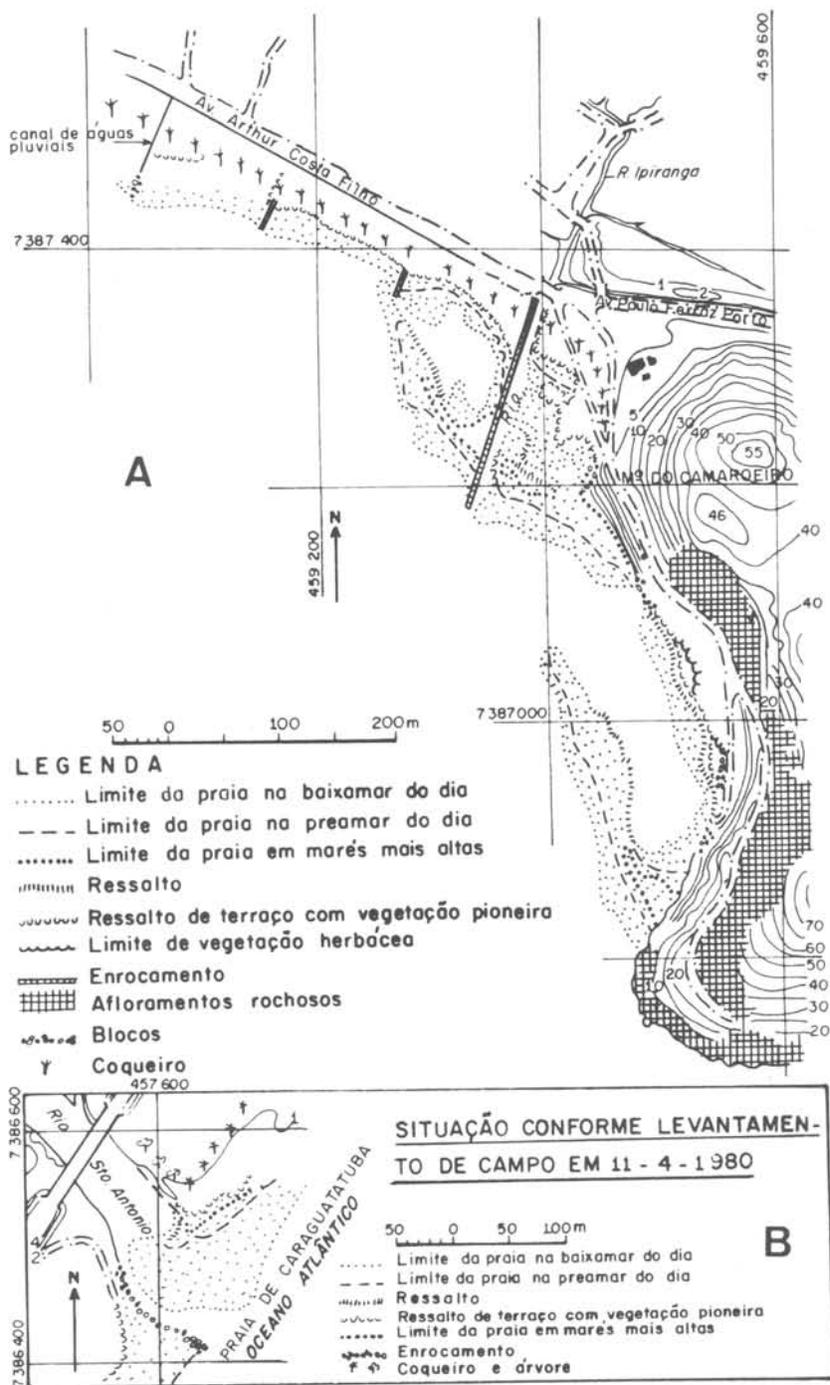


Fig. 8. Situação das áreas de sedimentação 8a - no setor norte da enseada de Caraguatatuba 8b - setor da barra do Rio Santo Antônio, levantadas por trabalho de campo em abril de 1980.

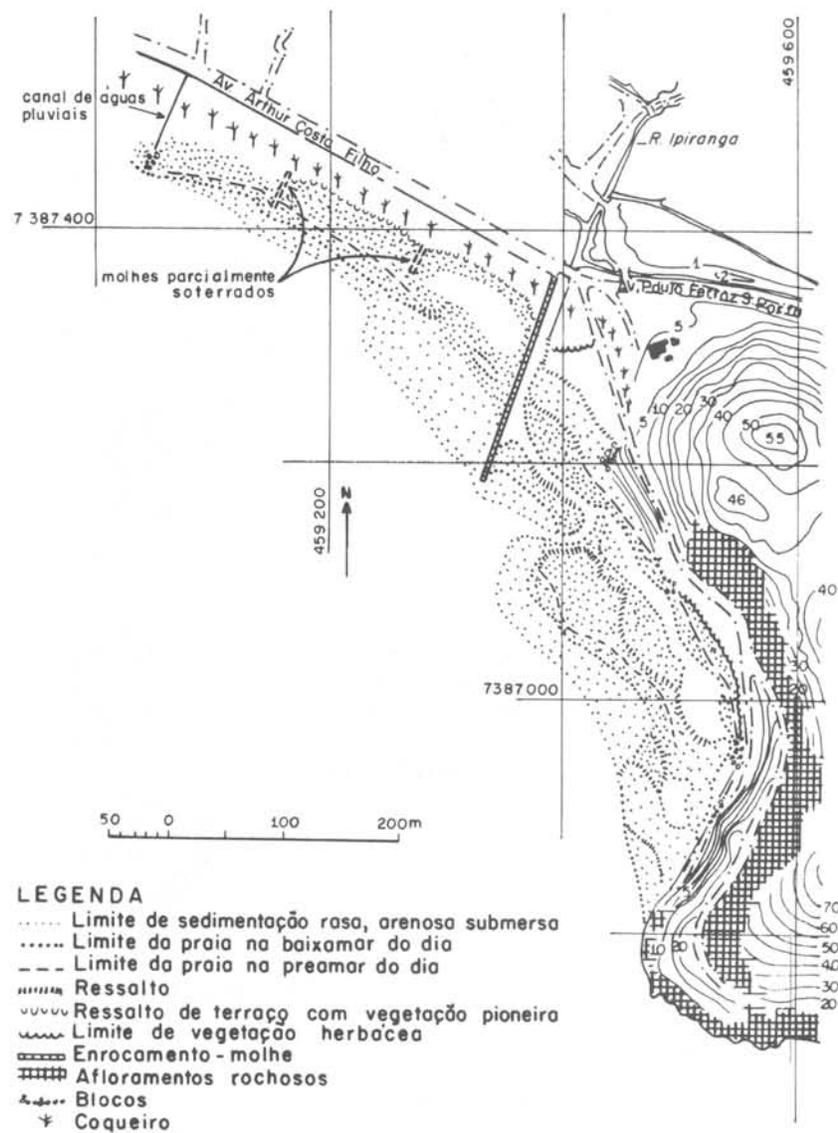


Fig. 9. Situação da área de sedimentação no setor norte de enseada de Caraguatatuba, levantada por trabalho de campo em agosto de 1981.



Fig. 10. Montagem de fotografias do setor norte da enseada de Caraguatatuba, efetuadas em agosto de 1981:

- I - fase de formação do primeiro cordão litorâneo, já soldado ao continente;
- II - formação do segundo cordão, ainda em fase de desenvolvimento e dinâmica.

### Estudos granulométricos e morfoscópicos

Foram coletadas 53 amostras das areias em superfície, em perfis transversais e ao longo dos pontais (Figs 5b e 6). Os resultados das análises granulométricas (Wentworth, 1922) foram expressos em curvas acumulativas para obtenção dos parâmetros estatísticos. Na Enseada Norte, as modas de distribuição granulométrica situaram-se entre 0,250-0,125 mm (médias e finas) e 1,0-0,500 mm (muito grossas a grossas), acusando maior heterogeneidade. As amostras 2, 5 e 8, ligadas ao berma, apresentaram, além de areias, partículas mais finas e grânulos. As amostras 15, 17, 18, 20 a 24, 27, 32 a 34 e 37 também apresentaram grânulos. Na Barra do Rio Santo Antônio, as modas de distribuição granulométrica de areias mais finas e mais homogêneas situaram-se entre 0,354 e 0,177 mm. Ocorreram grânulos nas amostras A3, A6, A7, A16 a A18.

De acordo com Suguio (1973), o uso dos parâmetros estatísticos nas medidas de distribuição total, torna possível

descrever os sedimentos em termos de suas várias propriedades. Para isto, foram analisados os valores de diâmetros médios que indicaram diferenças significativas entre os setores da Enseada Norte e da Barra do Rio Santo Antônio (Fig. 11). No setor Enseada Norte as areias são muito mais grossas; 13 amostras acusaram areias finas, 13 outras areias médias e 9 apresentaram areias grosseiras. Os valores de assimetria, curtose e desvio padrão mostraram que a maioria dessas amostras apresentou-se moderadamente selecionada, aproximadamente simétrica, mesocúrtica e leptocúrtica. Em geral, as areias finas mostraram em boa parte assimetria negativa e as mais grosseiras, positiva. As amostras 8, 5 e 2, ligadas ao berma, constituíram exceções, apresentando seleção pobre ou muito pobre, com assimetria positiva a muito positiva. Na foz do Rio Santo Antônio, o diâmetro médio acusou areias finas em 10 amostras, areias médias em 7 e areias grossas em apenas uma amostra. A maioria dessas amostras apresentou-se moderadamente selecionada e aproximadamente

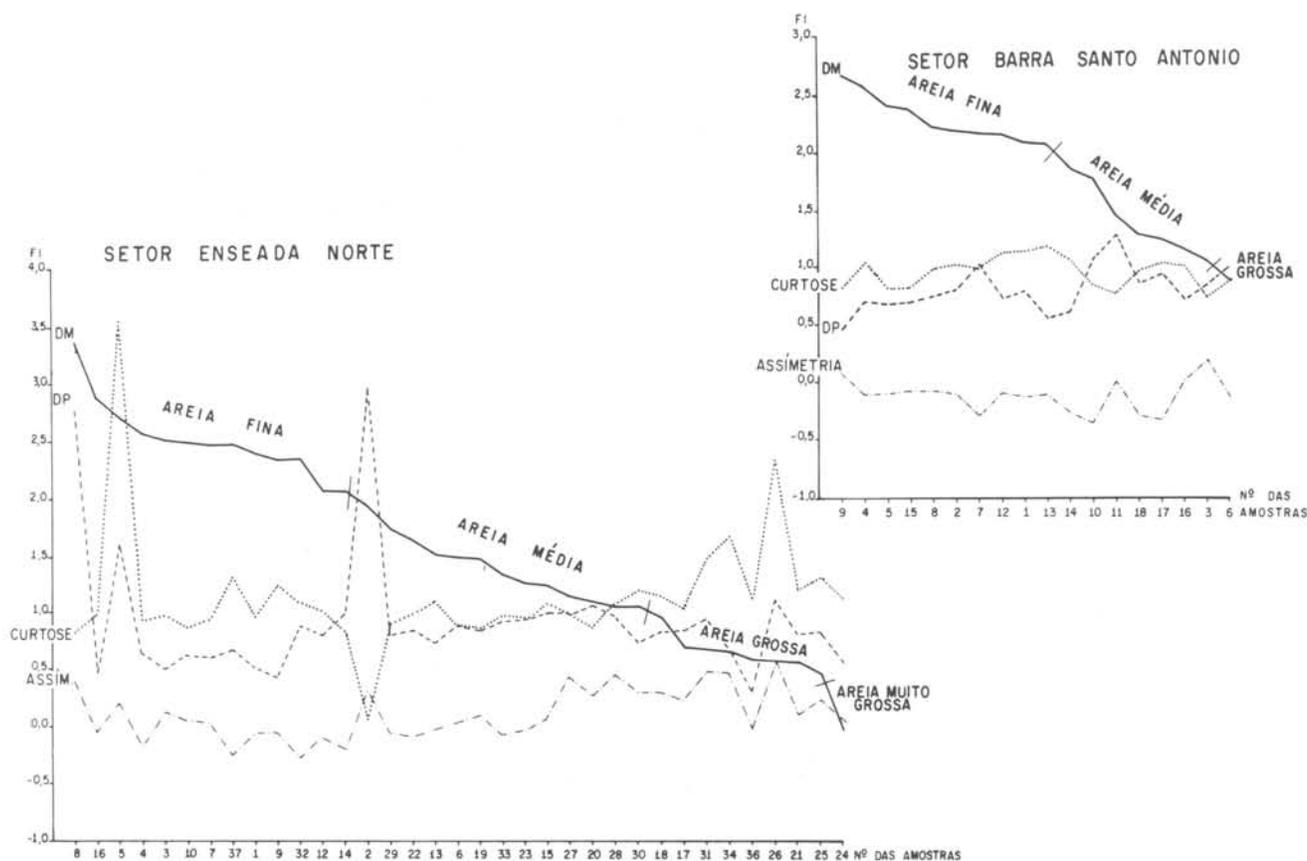


Fig. 11. Variação dos parâmetros de distribuição granulométrica, segundo Folk & Ward (1957).

simétrica ou com assimetria negativa e mesocúrtica ou platicúrtica. Somente as amostras 10 e 11, próximas ao canal fluvial, foram classificadas como pobremente selecionadas e com assimetria negativa.

Foi realizado um estudo de similaridade de distribuição granulométrica das amostras, baseado em análise de agrupamentos. Na Enseada Norte, esta análise acusou a presença de quatro agrupamentos: o primeiro de areias finas, o segundo de areias médias, o terceiro de areias médias a grossas e o quarto de areias grossas a muito grossas. Plotando tais resultados na Figura 12a, foi possível estabelecer um limite entre as duas áreas, a de SE, agrupando as areias finas e médias, certamente de influência marinha, e a de NW, de maior influência fluvial, agrupando as areias médias e mais grosseiras. Na foz do Rio Santo Antônio (Fig. 12b), a análise de agrupamentos mostrou uma maior heterogeneidade entre as amostras, sendo difícil detectar grupos texturais mais definidos. Prova-

velmente, este fato se deve à insuficiência de pontos de amostragem ao longo da praia e bancos fluviais vizinhos.

O estudo morfoscópico foi feito para obter algumas informações sobre o grau de retrabalhamento, meio de transporte e origem do material em geral. Cem grãos foram examinados para cada intervalo granulométrico de Wentworth (1922) nos dois setores, para caracterizar o arredondamento e esfericidade (Krumbein & Sloss, 1963) e a textura superficial dos grãos (Bigarella *et al.*, 1955). Tais análises levaram aos seguintes resultados:

- os grãos maiores (1,000-0,500 mm) eram mais arredondados e mais esféricos. Nas amostras analisadas, 83% desses grãos revelaram ser arredondados (0,5-0,7); 100% acusaram boa esfericidade e 91% deles demonstraram uma textura mamelonada polida. Estes resultados corroboram a afirmação de Ramgrab (1966) de que os grãos maiores desenvolvem mais rapidamente a textura mamelona-

da a partir da sacaróide, por oferecerem maior superfície à abrasão. O polimento predominante indica a água como meio de transporte;

- b) os grãos intermediários (0,500-0,125 mm) apresentaram índices de arredondamento predominante entre 0,3 e 0,5, isto é, sub-arredondados e pouco esféricos, com textura predominantemente sacaróide polida;
- c) os grãos menores (0,125-0,062 mm) apresentaram 63,2% de índices de arredondamento entre 0,3 a 0,5; 76% desses grãos eram pouco esféricos e 67,6%

possuíam textura superficial sacaróide polida.

Estas análises confirmaram maiores índices de arredondamento e esfericidade nos grãos maiores. A predominância dos grãos de textura mamelonada e sacaróide sobre a lisa e o caráter dominante polido dos grãos denota não ter sido longa a duração do transporte. A textura dos grãos (mamelonada e sacaróide) sugere a presença da rocha fonte, próxima às formações estudadas. O pequeno desgaste dos grãos é atribuído, portanto, a ações de retrabalhamento local pela atual dinâmica marinha.

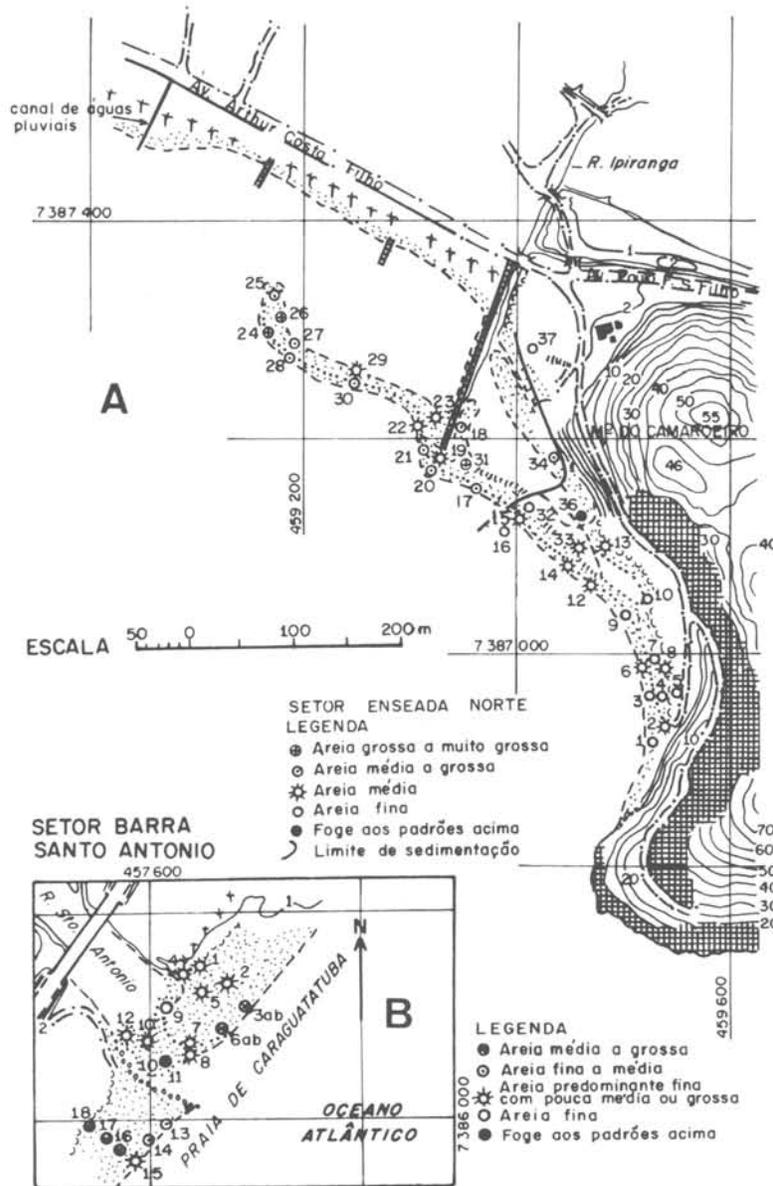


Fig. 12. Análise de agrupamentos do diâmetros médios das amostras: a - setor enseada norte; b) setor barra do Rio Santo Antônio.

### Considerações finais

A utilização de fotografias aéreas de diferentes épocas, associada a observações e levantamentos de campo, é muito importante para o entendimento da dinâmica espacial e temporal da sedimentação em áreas costeiras. Por outro lado, as análises granulométricas e morfoscópias de materiais associados podem caracterizar os seus depósitos e auxiliar na interpretação dos mecanismos sedimentares e erosivos.

Esta linha metodológica permitiu comprovar, não somente o papel de materiais continentais dos escorregamentos de 1967, como também a influência antrópica, na aceleração dos processos de sedimentação marinha da Enseada de Caraguatatuba.

As interferências humanas, acelerando os processos naturais, dificultam o reconhecimento do papel desempenhado pelos mesmos, os quais são bem mais lentos.

Duas fases distintas de sedimentação, a partir de 1967, puderam ser reconhecidas na Enseada Norte. A primeira, encerrada com um pontal definitivamente ligado ao continente em fins de 1980 e a segunda, ainda em processo de sedimentação em dezembro de 1981. Os sedimentos da primeira fase mostraram granulometria mais fina e maior contribuição marinha a SE do grande molhe e mais grossa em torno à foz do rio Ipiranga e do mesmo molhe, indicando maior contribuição fluvial e antrópica.

Os exames morfoscópicos foram importantes para mostrar que parte predominante dos grãos provém de áreas costeiras vizinhas, o que vem reforçar a idéia das influências locais continentais atuais e a importância das interações entre processos marinhos, continentais, atmosféricos e litorâneos na dinâmica e evolução dos ambientes costeiros.

### Resumo

Interpretação de fotografias aéreas nas escalas 1:25.000, 1:20.000 e 1:8.000 e medidas de campo efetuadas no período entre novembro/78 a agosto/81 permitiram detectar modificações morfológicas em um trecho da costa paulista, conhecido por Enseada de Caraguatatuba.

Análises granulométricas, morfoscópias e de agrupamentos de 53 amostras de sedimentos associados permitiram caracterizar suas propriedades texturais, aju-

dando a entender os processos costeiros envolvidos na evolução da área durante os últimos anos.

### Agradecimentos

Agradecemos ao Sr Joaquim Cruz pela inestimável ajuda nos levantamentos de campo e na organização dos desenhos, ao desenhista Hêlio Rodrigues e ao Prof. Dr I. Bussad do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, pelo tratamento estatístico dos resultados.

### Referências bibliográficas

- BIGARELLA, J. J.; HARTKOPF, C. C.; SOBANSKI, A. & TREVISAN, N. 1955. Textura superficial dos grãos em areias e arenitos (Contribuição à metodologia). Arqs Biol. Tecnol., Curitiba, 10(11):253-275.
- CRUZ, O. 1974. A Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba-SP. Contribuição à geomorfologia litorânea tropical. Sér. Teses Monogr., Inst. Geogr. Univ. S Paulo, (11):1-181.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 1978-1980. Tábuas das marés para os anos de 1978, 1979 e 1980. Costa do Brasil e portos estrangeiros. Rio de Janeiro, D.H.N.
- DUBOIS, J. M. M. 1980. Teledetection et études d'impact sur le littoral des barrages hydroelectriques. Bull. Inst. Ass. Engrs Geol., Québec, 22: 87-90.
- FOLK, R. L. & WARD, W. C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. J. sedim. Petrol., 27:3-27.
- FÚLFARO, V. J.; PONÇANO, V. L.; BISTRICHI, C. A. & STEIN, D. P. 1976. Escorregamentos de Caraguatatuba: expressão atual e registro na coluna sedimentar da planície costeira adjacente. In: Congr. bras. Geol. Engenh.: 19: Rio de Janeiro. Anais, 2:341-350.
- FURTADO, V. V. 1978. Contribuição ao estudo da sedimentação atual no canal de São Sebastião - Estado de São Paulo. Tese de doutorado. Universi-

- dade de São Paulo, Instituto de Geociências, 2 vol.
- HEHANUSSA, P. E. 1979. Excursion guide to the Cimanuk delta complex, West Java. *In*: Bird, E. C. F., ed. - Proc. Jakarta Wkshop cstal Resour. Managem. Japan, UNU, 130:92-104.
- KRUMBEIN, W. C. 1941. Measurements and geological significance of the shape and roundness of sedimentary particles. *J. sedim. Petrol.*, 11(2):64-72.
- & SLOSS, L. L. 1963. Stratigraphy and sedimentation. 2nd ed. San Francisco, W. H. Freeman, 660p.
- KVINGE, T. 1967. On the special current and water level variations in the channel of São Sebastião. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 16(1):23-38.
- OZASA, H. 1977. Recent shoreline changes in Japan, an investigation using aerial photographs. *Cstal Engng Japan*, 20:69-81.
- PETRI, S. & SUGUIO, K. 1971. Características granulométricas dos materiais de escorregamentos de Caragatatuba, São Paulo, como subsídio para o estudo da sedimentação neoceno-zóica do Sudeste brasileiro. *In*: Cong. bras. Geol.: 259: São Paulo. *Bolm esp.*, (1):199-200.
- RAMGRAB, G. F. 1966. Caracterização textural e mineralógica dos sedimentos do arroio Camaquã América, Lavras do Sul. Trabalho de formação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Geologia.
- SCHMITT-TAVERNA, M. R. 1975. The westplaat (SW Netherlands): a study of coastal dynamics from sequential aerial photography. *I.T.C. J.*, Enschede, 2:173-185.
- SUGUIO, K. 1973. Introdução à sedimentologia. São Paulo, E. Blücher/EDUSP, 317p.
- & MARTIN, L. 1978. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. *In*: Int. Symp. cstal Evol. Quatern.: São Paulo. *Spec. Publ.*, (1):1-55.
- TRICART, J.; RIMBERT, S. & LUTZ, G. 1970. Introduction à l'utilisation des photographies aériennes. Paris, SEDES, 247p.
- WENTWORTH, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.*, 30:377-392.

(Recebido 26-03-84;  
aceito 14-12-84)