UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005397

SEDIMENTAÇÃO ATUAL APLICADA A
PORTOS NO BRASIL

WALDIR LOPES PONÇANO

ORIENTADOR: PROF. DR. VICENTE JOSÉ FÚLFARO

Tese de Doutorado

COMISSÃO EXAMINADORA

	nome	ass.
Presidente:	<u>Vicente J. Fúlfaro</u>	<u>Vicente J. Fúlfaro</u>
Examinadores:	<u>Armando M. Coimbra</u>	<u>Armando M. Coimbra</u>
	<u>Milton Kanji</u>	<u>Milton Kanji</u>
	<u>Waldenir V. Furtado</u>	<u>Waldenir V. Furtado</u>
	<u>José E. Farjallat</u>	<u>José E. Farjallat</u>

1985
São Paulo

ABSTRACT

This work presents sedimentological investigations necessary to port assessment and planning, as referred to a framework of quaternary geological events. Among these the most important are believed to be the valley-cutting which took place during the Würm epoch and subsequent sea-level changes.

Investigations were carried out on the vicinities of Guarás Island (PA), on Tainheiros (BA), Aratu (BA) and Sepetiba (RJ) Bays and on Potengi (RN), Santos (SP) and Itajaí-Açu (SC) estuaries.

Studies undertaken in the Guarás Island region were essentially cartographic, based on analyses of bathymetric charts and aerial photographs. Results have shown migration of channels, although their depths have been maintained throughout the investigated span of time. The inferred displacements of the channels agree with features of accretion observed in emergent surfaces.

In Tainheiros, Aratu and Sepetiba Bays, cartographic and remote-sensing observations were a first step, to be complemented by systematic sampling and analysis of bottom sediments. In these cases the regional pattern of sediment and water circulation, mostly governed by paleo-valleys distribution, proved to be an important factor in determining erosion/accretion sites.

In the studied estuaries stress has been put in the characterization of both and suspended sediments, as well as in water salinity, as guidelines to establish the types of estuarine circulation. This approach was developed in more detail for Santos and Itajaí-Açu estuaries. Fluvial influence grows increasingly from Potengi to Santos to Itajaí-Açu estuaries; there are no definite data to classify the first one of them, although its situation suggests a vertically mixed type. For the Porto Channel of the Santos estuary a two-layer flow with vertical mixing type was determined, whilst the São Vicente channel is vertically homogeneous, both under summer conditions of maximum fluvial discharge. Under conditions of minimum fluvial discharge the Itajaí-Açu estuary displays a salt-wedge pattern during high water, and a two-layer flow with vertical mixing pattern during

the low water, both for spring tide.

Time-dependent changes in granulometric characteristics of bottom sediment were investigated for Santos Bay and Itajaí-Açu estuary, this latter case including a catastrophic flooding.

Some methodological review has been made, including remarks on the possibilities of dynamic interpretation of grain-size statistical parameters. Data from 588 samples are highly suggestive that square-deviation, skewness and kurtosis depend on the considered mean size of the sediment.

RESUMO

As características da sedimentação atual em áreas de interesse à implantação/manutenção de portos são aqui apresentadas sob a perspectiva da história geológica mais recente, especialmente quaternária. Desta, destacam-se como eventos mais importantes os entalhes würmianos e subseqüentes oscilações do nível marinho, que, a par de fatores tectônicos, explicam os principais traços da distribuição e conformação dos corpos d'água costeiros.

As investigações abrangeram as proximidades da Ilha dos Guarás (PA), a Baía de Sepetiba (RJ), Enseada dos Tainheiros e Baía de Aratu, na Baía de Todos os Santos (BA), e os estuários do Potengi (RN), de Santos (SP) e do Itajaí-Açu (SC).

Na região de Guarás procedeu-se a estudo essencialmente cartográfico, através de fotos aéreas e cartas batimétricas defasadas, tendo-se constatado que, embora as profundidades dos canais de circulação se mantivessem no tempo, seus eixos de maiores profundidades apresentavam migração, compatível com o crescimento observado em partes emersas.

Nos casos da Enseada dos Tainheiros, Baía de Aratu e Baía de Sepetiba, além das avaliações efetuadas a partir de cartas batimétricas e imagens de sensores, procedeu-se a levantamento sistemático das características dos sedimentos de superfície de fundo. Pôde-se nestes casos destacar a importância dos padrões regionais de circulação d'água e sedimentos, relacionados por sua vez a paleovals, na determinação das áreas mais e menos suscetíveis a erosão/deposição.

Para os estuários, maior ênfase foi dada ao estudo dos sedimentos de superfície de fundo, bem como a distribuição de salinidades e material em suspensão, como indicadores da tipologia estuarina. Esta abordagem foi particularmente desenvolvida para os estuários de Santos e do Itajaí-Açu. A influência fluvial na circulação estuarina aumenta do Potengi a Santos ao Itajaí-Açu; no primeiro caso não há dados conclusivos sobre o tipo de circulação, embora os dados colhidos sejam sugestivos de mistura vertical. Já o Canal do Porto do estuário santista apresenta circulação em dois estratos, com mistura vertical, enquanto que o Canal de São Vicen

te apresenta circulação verticalmente homogênea, ambos sob condições de verão, de máxima descarga fluvial. Para o estuário do Itajaí-Açu, sob condições de vazões mínimas, pôde-se caracterizar circulação do tipo cunha salina para preamar, e em dois estratos com mistura vertical na baixa-mar.

Variações temporais das fácies dos sedimentos de superfície de fundo foram investigadas na Baía de Santos e, sob diversas condições de vazão, incluindo um episódio catastrófico, no estuário do Itajaí-Açu.

No decorrer da exposição dos diferentes casos, são feitas diversas sugestões e revisões metodológicas. Destaque especial é dado ao problema da interpretação dinâmica dos parâmetros estatísticos granulométricos. Dados referentes a 588 amostras são altamente sugestivos de que desvio-padrão (grau de seleção), assimetria e curtose são dependentes, de modo definido e por intervalo granulométrico, do diâmetro médio.

AGRADECIMENTOS

No decorrer de seu desenvolvimento, este trabalho contou com a colaboração de numerosas pessoas, às quais tenho a satisfação de agradecer.

Inicialmente a meu orientador, Prof. Dr. Vicente José Fúl^lfaro, pelo indispensável apoio e estímulo oferecidos durante todas as etapas de minha formação acadêmica; à sua originalidade de espírito deve certamente o que de interessante possa conter esta tese.

A meu colega Antonio Fernando Gimenez, pela constante, efetiva, amistosa participação no decorrer dos últimos dez anos, nos projetos que originaram este trabalho.

Aos colegas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas que, em diversos momentos prestaram-me sua colaboração: Antonio G. Pires Neto e Maria do Carmo S.R. dos Santos, na análise cartográfica de Guarãs, Dirceu P. Stein, no primeiro estudo de Santos, Carlos Alberto Bistrichi, em Sepetiba, Antonio Manoel S. Oliveira, Carlos Geraldo Luz de Freitas e Fernando X. de Tavares Salomão, no caso da Bahia. A Ely B. Frazão e Jorge K. Yamamoto pelas análises granulométricas, e a Eleno de Paula Rodrigues e Maria Cristina de Moraes pela descrição de lâminas de pesados. A José A. Quintanilha, Lúcia Dozzi, Mário Otávio da Costa e Saul B. Suslick pelo apoio em informática. A Cherry Y. S. Abe e Vera M. L. Ponçano Alves Silva pelas análises de salinidade e material em suspensão. Airton M. Santa, Floriano P. de Aquino, Otávio Martins, Waldomiro de Oliveira e, de modo especial, Júlio Sinkus, prestaram valioso apoio técnico na coleta e em parte do tratamento das amostras, a que agradeço, bem como o auxílio prestado por Manoel Roque Galvão, Márcia R.M. Saad e Maria Solange de Oliveira Pereira na pesquisa bibliográfica e recuperação de documentos.

À Dra. Elena Franzinelli meus agradecimentos pela simpática acolhida em Belém; a Moysés G. Tessler e Dr. Valdenir V. Furta^ldo, do Instituto Oceanográfico da USP, pela obtenção de alguns documentos. Ao Prof. Dr. Gilberto Amaral, do Instituto de Geoci

ências da USP, e Claudio Riccomini, do IPT, pelo acesso às imagens de satélite neste trabalho referidas.

A Lourdes M. Mioto pelo auxílio na confecção dos volumes: a Maria Celes Moura pela datilografia e apoio administrativo.

A todos os colegas do Agrupamento de Geologia Geral do IPT, através de Rosely M. Gimenez, pela profícua convivência.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, nas pessoas de Antonio R. Rodrigues e Ricardo F. da Silva, e ao Instituto de Pesquisas Hidroviárias da PORTOBRÁS, em nome de José Antonio dos Santos, pelo apoio institucional, com agradecimentos extensivos ao pessoal da Administração do Porto de Itajaí.

SUMÁRIO

	Pág.
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	01
I - OBJETIVOS	06
CAPÍTULO II - METODOLOGIA	07
I - PRINCÍPIOS GERAIS	07
II - MATERIAIS E MÉTODOS	11
A. Plantas e Imagens de Sensores Remotos	11
B. Amostragem	11
C. Análises Granulométricas	12
D. Determinação de Salinidades	18
E. Determinação de Teores de Matéria Orgânica	18
F. Composição Mineralógica	19
G. Tratamento Estatístico de Dados	19
CAPÍTULO III - TERMINAIS MARÍTIMOS EM OFFSHORE: O SÍTIO DE IMPLANTAÇÃO DO TERMINAL DE ILHA DOS GUARÁS, ESTADO DO PARÁ	20
I - APRESENTAÇÃO	20
II - GEOMORFOLOGIA	23
III - ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DA LINHA DE COSTA	27
A. Comparação de Cartas Náuticas	27
B. Fotografias Aéreas	33
1. Características Regionais	33
2. Ilha dos Guarás e Proximidades	34
IV - ANÁLISE DAS VARIAÇÕES BATIMÉTRICAS	39
A. Obtenção de Dados a Partir das Cartas da DHN n ^{os} 302 e 313 e das Folhas de Bordo	40
B. Cálculo do Volume do Material Movimentado no Período 1959, 1960 a 1972.	42

C.	Discussão dos Resultados	46
V	- TENDÊNCIAS EVOLUTIVAS DA SEDIMENTAÇÃO NAS ADJACÊNCIAS DA ILHA DOS GUARÁS	48
 CAPÍTULO IV - PORTOS E TERMINAIS EM BAÍAS: OS CASOS DE SEPE TIBA, ESTADO DO RIO DE JANEIRO, ARATU E ENSEADA DOS TAINHEIROS, ESTADO DA BAHIA.		
		52
I	- APRESENTAÇÃO	52
II	- BAÍA DE SEPETIBA	52
A.	Resultados Obtidos	53
III	- BAÍA DE ARATU E ENSEADA DOS TAINHEIROS	62
A.	Aspectos da Ocupação das Áreas de Interesse	65
B.	Características da Sedimentação Atual na Baía de To dos os Santos	67
C.	Características da Sedimentação Atual na Enseada dos Tainheiros	73
D.	Características da Sedimentação Atual na Baía de Ara- tu	69
 CAPÍTULO V - PORTOS EM ESTUÁRIOS: OS CASOS DO POTENGI, ESTA DO DO RIO GRANDE DO NORTE; DE SANTOS, ESTADO DE SÃO PAULO; E DE ITAJAÍ-AÇU, ESTADO DE SANTA CATARINA		
		85
I	- APRESENTAÇÃO	85
II	- ESTUÁRIO DO POTENGI	85
A.	Geologia	86
1.	Grupo Barreiras	86
2.	Sedimentos Quaternários	88
3.	Recifes	89
4.	Mangues atuais	90
5.	Praias e dunas	91
B.	Geomorfologia	92

	Pág.
1. Compartimentação geomorfológica da área	92
2. Feições morfológicas	93
3. Evolução geomorfológica	94
C. Variações Batimétricas	95
1. Morfologia atual	95
2. Comparação de cartas batimétricas	98
D. Características da Coluna Sedimentar Rasa da Foz do Po tengi	99
E. Características dos Sedimentos de Superfície de Fundo .	107
1. Composição granulométrica	107
2. Composição mineralógica	115
F. Síntese da Dinâmica Sedimentar Atual.....	118
III - ESTUÁRIO SANTISTA	120
A. Geologia	120
B. Geomorfologia	123
C. Transporte Litorâneo	126
D. Características dos Sedimentos de Superfície de Fundo..	126
1. Composição granulométrica	126
2. Composição mineralógica	134
3. Variações temporais das fácies sedimentares de super fície de fundo	136
E. Agregação de Partículas	139
F. Salinidade e Material em Suspensão	151
1. Salinidade	153
2. Material em suspensão	159
G. Circulação Estuarina	162
IV - ESTUÁRIO DO ITAJAÍ-AÇU	169
A. Características Gerais da Circulação Regional de Sedi mentos	170

	Pág.
B. Vazão Fluvial e Amostragem	176
C. Variações Recentes da Morfologia do Fundo do Estuário	181
D. Características dos Sedimentos de Superfície de Fundo	185
1. Resultados obtidos na campanha de 1982	185
a) Observações realizadas durante a amostragem .	185
b) Classificação textural	188
c) Diâmetro médio	191
d) Assimetria	193
e) Curtose	196
f) Distribuição das porcentagens de areia	198
g) Análise de minerais pesados	201
2. Resultados obtidos na campanha de 1983	219
a) Observações realizadas durante a amostragem .	219
b) Classificação textural	219
c) Diâmetro médio	222
d) Distribuição das porcentagens de areia	222
3. Variações temporais das fácies de superfície de fundo	224
E. Salinidade e Material em suspensão.....	229
1. Salinidade	229
2. Material em suspensão	232
3. Correlação entre salinidades e teores de material em suspensão	241
F. Circulação Estuarina	244
CAPÍTULO VI - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	246
I - METODOLOGIA	246
A. Plantas e Imagens de Sensores	247
B. Granulometria	248
II - GUARÁS	260

Pág.

III - AS BAÍAS	260
IV - OS ESTUÁRIOS	261
V - ASSOREAMENTO	263
CAPÍTULO VII - CONCLUSÕES	264
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	269

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Segundo QUINN (1972) pode-se distinguir duas épocas de grande desenvolvimento portuário. A primeira delas, seria relacionada ao Império Romano, caracterizada por estruturas monumentais, de tecnologia bastante evoluida, que só não teriam subsistido por falta de conservação ou acidentes naturais; algumas técnicas então empregadas perderam-se durante séculos, tendo sido recuperadas e usadas em portos modernos.

Foi no século XIX que ressurgiu o interesse pela instalação de portos, acompanhando a expansão do Império Britânico e de suas colônias; destas surgiram os Estados Unidos, que na atualidade é a nação de maior desenvolvimento portuário, abrangendo portos na costa do Pacífico, do Atlântico, do Golfo do México, além dos Grandes Lagos, atingidos pela Hidrovia Saint Lawrence.

Os portos brasileiros mais importantes desenvolveram-se acompanhando esse movimento histórico do século XIX, possivelmente a partir da fuga da corte portuguesa, subsequente elevação do país a Reino Unido e abertura dos portos em 1808.

No século XX, o aumento crescente do comércio internacional (FIGURA 1) exigiu melhoria e diversificação das funções portuárias, que passaram a abrigar número e tipos de navios de dimensões crescentemente incompatíveis com as características naturais de abrigo e canais naturais (FIGURA 2). Para GEORGE (1967, p.318) "todos os portos modernos são, em escala variável portos artificiais, desenvolvidos a partir de um sítio natural insuficiente para atender às necessidades da navegação atual".

Observações de cunho geológico sempre constaram, embora frequentemente de modo esparso e não sistemático, dos levantamentos referentes a sítios portuários. Dizem respeito à constituição dos fundos submersos (que podem favorecer ou não a ancoragem), à distribuição de pontões rochosos, baixios, canais e outras feições de interesse à navegação, integrando os chamados levantamentos hidrográficos. Estes, segundo QUINN (1972, p.115) são realizados "para determinar as elevações do fundo do corpo d'água e deveriam se estender a uma área algo maior que os propostos canal e porto.

Adicionalmente, deveriam localizar as linhas de costa de preamar e baixamar e todas as estruturas ou obstruções na água e ao longo da linha de costa, tais como barcos afundados, recifes ou pedras grandes". Outras investigações, recomendadas por QUINN (1972), e de algum modo ligadas à geologia, são as de sondagens e análises de solos.

FIGURA 1 - Crescimento da frota mercante mundial entre a Segunda Guerra Mundial e 1969 (QUINN, 1972, p.5). Curva superior - Frotas mercantes mundiais em milhões de toneladas brutas e curva inferior em milhares de navios.

tanques
graneleiros
carga geral

FIGURA 2 - Características dos maiores navios de carga e frete, projetadas até o ano de 2040, com base nas tendências entre 1937 e 1967 (BRUNN, 1976, p. 21). Do alto para baixo: calado, boca e comprimento em pés versus peso total em milhares de toneladas.

Outros autores que tratam de engenharia de portos, dedicam aos aspectos geológicos um tratamento diferenciado, como é o caso de BRUUN (1976), que dedica dois capítulos de seu trabalho aos problemas de sedimentação e geomorfologia costeiras. Para esse autor (p.68), "o desenvolvimento de estruturas de engenharia portuária está intimamente relacionado ao desenvolvimento de aspectos tecnológicos de navegação e transporte como um todo. Maiores calados requerem canais de aproximação mais profundos, que não precisam necessariamente ser protegidos, mas sua localização e geometria deve ser relacionada a condições reais de regime de ventos, ondas, correntes e sedimentação".

BRUUN (1976) distingue, para os fatores sedimentológicos e geomorfológicos, duas abordagens: uma evolutiva e outra dinâmica. "A primeira é típica de pesquisa descritiva (*sic*) como geologia e geografia. A segunda pertence ao enfoque físico ou de engenharia no qual todo processo é considerado com relação às forças atuantes" (BRUUN, 1976, p.319). Propõe-se então esse autor a desenvolver os fatores em pauta sob o segundo ponto-de-vista enunciado, e para tanto busca quantificar ou equacionar os processos de interesse, embora reconheça que fórmulas para quantificar os processos costeiros raramente sejam universais. Considera fundamental a noção de que os sedimentos movem-se entre dois pólos, *source* e *drain*, que constituem a noção básica geológica de área-fonte e área de deposição. Suas conclusões gerais vão no sentido de que se deve evitar a implantação de portos a jusante de áreas-fontes importantes, e de que as estruturas implantadas não devem favorecer a deposição de sedimentos em transporte. Essas questões, no que se refere à sua quantificação, foram amplamente tratadas por SILVESTER (1974).

Neste trabalho buscar-se-á apresentar os trabalhos brasileiros de geologia aplicada a portos justamente sob a primeira perspectiva apontada por BRUUN (1976).

Tais estudos visam essencialmente a aspectos sedimentológicos e geomorfológicos, e foram iniciados na década de 60, no estuário santista, no âmbito do Laboratório de Hidráulica da EPUSP/DAEE (EPUSP/DAEE, 1966), seguido de estudo feito para a BRASCONSULT no Canal de São Sebastião (KUTNER, 1969). A essa mesma época diversos outros estudos de sedimentação costeira foram realizados

no Estado de São Paulo, embora não aplicados a portos, voltados ao estudo de sedimentos de superfície de fundo (KUTNER, 1962, 1963; MAGLIOCCA & KUTNER, 1964, 1965). Todos os trabalhos mencionados da década de 60 foram revistos por KUTNER (1976).

A partir de 1973, estudos de sedimentação costeira aplicados a portos foram promovidos pelo IPT, por solicitação do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, atual Instituto de Pesquisas Hidroviárias da PORTOBRÁS, em diversos pontos da costa brasileira (Pará, Rio Grande do Norte, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo), e da Companhia Baiana de Navegação (Bahia). Os resultados desses trabalhos acham-se expostos em numerosos relatórios do IPT, e foram parcialmente publicados por FÚLFARO & PONÇANO (1976), PONÇANO & FÚLFARO (1976a), PONÇANO et al. (1976), FÚLFARO et al. (1976 e 1978), PONÇANO (1976) e PONÇANO & FÚLFARO (1978).

Todas essas investigações inserem-se no campo da Geologia Aplicada, mais especificamente no que internacionalmente se conhece por Geologia de Engenharia, sobre cujo desenvolvimento, abordado por JOHN (1974), CAMARGO (1976) e OLIVEIRA (1981) cabem algumas considerações.

A geologia aplicada a problemas de engenharia teve seu início, no Brasil, na década de 50, com trabalhos de PICHLER (1954 e 1957) voltados à implantação de barragens e a estabilidade de encostas. Dessa época, até 1974, configurou-se um grande esforço por parte dos geólogos em aproximar-se da linguagem e métodos próprios da engenharia, o que resultou, em alguns casos, num certo abandono da metodologia estritamente geológica. A realização do II Congresso da Associação Internacional de Geologia de Engenharia em São Paulo, em 1974, permitiu amplo intercâmbio entre técnicos nacionais e estrangeiros, que resultou, para alguns grupos de profissionais, em revalorização do conhecimento geológico.

Essa situação se refletiu, em 1976, na organização do tema e teor das contribuições e debates do I Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, realizado no Rio de Janeiro, que contou com uma sessão dedicada a Geologia Aplicada a Portos e Canais. Nessa ocasião KUTNER (1976) apresentou uma revisão de seus trabalhos anteriores, e o presente autor teve ocasião de apresentar alguns resultados de investigações das quais participou a partir de

1973. Tivemos, desde então o ensejo de desenvolver diversos outros trabalhos na costa brasileira (FIGURA 3), que nos permitiram avançar um pouco mais no conhecimento das questões de geologia aplicada a portos.

FIGURA 3 - Localização das áreas portuárias abordadas neste estudo.

Embora a metodologia usada seja exposta e discutida em capítulos subsequentes, julgamos oportuno, nesta apresentação, tecer algumas considerações de ordem genérica.

Não nos parece possível, ao menos em geologia, fazer uma distinção rígida entre a pesquisa básica e a aplicada; esta última consiste basicamente na mobilização do conhecimento geológico em função de um dado problema. Assim sendo, torna-se necessário lançar mão de várias técnicas, e, especialmente, de obter informações fundamentais - que poderiam ser consideradas como pertencentes ao âmbito da ciência básica - para se chegar a uma aplicação satisfatória.

Disso decorre que os trabalhos de geologia aplicada representam, necessariamente, um recorte entre ciência básica e solicitações ligadas ao mercado, à produção, ao planejamento. Temos

então consciência de que as pesquisas ditas aplicadas, como é o caso desta tese, levam-nos por vezes a ficar na incômoda situação em que várias linhas de pesquisa podem ser vislumbradas, sem que entretanto se possa desenvolvê-las em maior profundidade.

Consideramos que no caso dos portos os aspectos de aplicação poderiam ter passado por maior avanço, mormente no que se refere à inserção de aspectos de engenharia, caso se dispusesse de maior acervo de conhecimentos básicos referentes à tipologia dos estuários brasileiros. Ficamos porém num estágio tal que a caracterização dinâmica dos corpos d'água costeiros teve que ser feita *pari passu* às solicitações de projeto.

Visando a tornar mais clara a exposição do tema aqui proposto, parece-nos conveniente proceder a uma exposição em separado dos casos estudados (*case histories*), embora desigualmente desenvolvidos, de sorte que se possa melhor avaliar os avanços e lacunas nos resultados obtidos.

I OBJETIVOS

Levando em conta as preocupações expressas nos parágrafos anteriores, podemos definir como objetivo principal desta tese a delimitação, dentro dos princípios e métodos de nossa ciência, do conhecimento geológico necessário à implementação de portos no Brasil. Respeitados os limites impostos pelo número de sítios estudados, buscamos chegar à definição de uma metodologia de trabalho, e, adicionalmente, fornecer informações básicas a respeito do comportamento de alguns setores da costa brasileira, até o momento pouco conhecidos.

CAPÍTULO II

METODOLOGIA

I PRINCÍPIOS GERAIS

As feições costeiras em que se situam os sítios portuários podem ser considerados marginais e internas às plataformas continentais, a cuja gênese portanto se ligam.

Há uma concordância geral da literatura em considerar a plataforma continental como produto das variações de nível marinho quaternárias (cf. EMERY, 1967; FLINT, 1971). As causas dessas variações podem ser de diversas ordens, locais ou regionais (movimentos crustais tectônicos e isostáticos, compactação de sedimentos) e eustáticos (movimentos tectônicos e isostáticos de crosta oceânica, sedimentação marinha, vulcanismo submarino, adição de água juvenil nos oceanos, mudanças térmicas das águas oceânicas, variações dos volumes d'água relativos marinhos e continentais, transferência de águas de mares rasos para oceanos) (FLINT, 1971, p.316). Dessas causas, admite-se que o glácio-eustatismo seja a mais importante, permanecendo porém em aberto a questão de seu peso face a fatores tectônicos. Ainda segundo FLINT (1971, p.317), a teoria do controle glacial do nível marinho foi proposta em 1841 por MACLAREN, e raramente foi colocada em dúvida.

Há numerosos trabalhos que buscam reconstituir as oscilações quaternárias de nível marinho, que geralmente resultam na construção de curvas de oscilação, locais, regionais, ou mundiais, das quais um exemplo representativo pode ser referido a FAIRBRIDGE (1966).

As amplitudes dessas oscilações têm sido deduzidas por critérios múltiplos, entre eles: estimativas de volume de coberturas de geleiras continentais, distribuição altimétrica de feições marinhas emersas, distribuição altimétrica de feições continentais submersas. Feições reliquias, tais como depósitos sedimentares, suas estruturas e conteúdo fóssil, têm sido analisados, e suas evidências, datadas de modo relativo ou absoluto, neste caso através dos métodos C_{14} e Th/U (EMERY, 1967; FLINT, 1971).

Ao restringir o significado da evolução da plataforma conti

mental a estuários e lagunas, observa EMERY (1967, p.9) que " a distribuição regional de estuários e lagunas corresponde às características regionais das plataformas continentais e seus prolongamentos - as planícies costeiras. Em outras palavras, as lagunas são típicas de regiões de plataformas continentais e planícies costeiras amplas e muito pouco inclinadas. Pequenos estuários ocorrem onde plataformas e planícies costeiras são estreitas e possuem relevos acentuados".

Ainda EMERY (1967) admite ter havido um período de elevação pós-glacial do nível marinho cuja grandeza seria compatível com a média mundial de profundidade das plataformas continentais (130 m). Durante essa elevação pós-glacial ter-se-iam formado inicialmente à borda do talude continental lagunas; com o progresso da elevação, lagunas e estuários teriam caracterizado a seção intermediária da plataforma, situação que foi se modificando em favor de uma dominância de estuários na fase máxima do pós-glacial. Esse quadro genérico seria afetado principalmente pela velocidade relativa (ou seja, característica de cada região) de subida do nível marinho, fator que regularia a maior ou menor eficiência das fontes detríticas continentais em colmatar os estuários e lagunas. Esta noção, aliás, é clássica em geologia (tectônica x sedimentação), conforme entre outros, KRUMBEIN & SLOSS (1963).

Embora genérico, o referido trabalho de EMERY tem a felicidade de destacar o caráter transitório dos estuários, em termos geológicos, pois que representariam apenas 1 % da história da plataforma continental. RUSSEL (1967) discorre no mesmo sentido, e, embora acredite que o pós-glacial tenha se dado nos últimos 50 000 anos, e não nos últimos 18 000 anos, como se considera hoje quase unanimemente, aceita que o estudo dos estuários é, hoje em dia, muito oportuno, pois estudos de casos atuais poderão ter valor histórico em poucas décadas.

Essa transitoriedade confere ao estudo dos corpos d'água costeiros, que oferecem melhores condições de abrigos a portos, sua peculiaridade mais marcante, já que suas condições naturais podem sofrer alterações apreciáveis em tempos históricos.

O reconhecimento dos diversos aspectos da plataforma continental brasileira tem seu marco mais importante na realização do Programa de Reconhecimento Global da Margem Continental Brasilei

ra - Projeto REMAC, iniciado em 1972, abrangendo toda amargem continental brasileira, bem como áreas oceânicas e continentais adjacentes do Atlântico Equatorial e Atlântico Sudoeste (CHAVES, 1983). Dentre os numerosos estudos realizados, têm maior interesse para nosso trabalho aqueles referentes à morfologia e sedimentologia, por conterem dados de interesse às oscilações do nível marinho no Quaternário, os quais, em última instância, são os responsáveis pela constituição dos corpos d'água costeiros, estuários, lagoas e baías (em que pese, neste último caso, componentes tectônicas da maior relevância). A caracterização geomorfológica da margem continental brasileira (ZEMBRUSKI *et alii*, 1972) levou à distinção de três regiões principais: Norte, Leste-Nordeste e Sul. A primeira abrange plataforma de até 300 km de extensão (foz do Amazonas) e ruptura para o talude entre 80 e 130-140 m de profundidade. A Leste-Nordeste tem plataforma estreita, em torno de 20 km, e profundidades de 40-50 m. Na Sul, a plataforma tem em média 150 km e sua borda é mais profunda que nos casos anteriores, variando de 160 a 190 m. Estes dados, comparados com os da literatura internacional previamente mencionados, indicam influências tectônicas de caráter regional, afetando a profundidade da borda da plataforma. Um panorama da distribuição dos sedimentos de superfície de fundo, através de 800 amostras, é fornecido por MILLIMAN *et alii* (1972).

Uma revisão referente às oscilações do nível marinho foi apresentada por KOWSMANN & COSTA (1979), que detectaram, através de evidências ambientais, morfológicas e datações C-14 seis níveis persistentes ao longo da costa brasileira, correspondentes a proximadamente às isóbatas de 130, 110, 90, 75, 60 e 40 m. O nível de -130 m é atribuído ao último evento glacial, em torno de 15 000 B.P.; datações C-14 situariam o nível - 110 m entre 13 e 14 000 B.P.. Idades de 12 000 B.P. e 11 000 B.P. são inferidas para os níveis -90 m e -75 m. O nível de -60 m teria idade de 11 000 B.P., por C-14, enquanto que se infere para o nível -40 m 9 000 B.P.. As inferências foram feitas com base em curva de variação eustática construída para os últimos 35 000 anos.

As variações holocênicas do nível marinho têm sido determinadas para a costa paulista por SUGUIO e MARTIN, em diversos trabalhos, sintetizados por MARTIN, *et alii* (1979a), e para a costa baiana (BITTENCOURT *et alii*, 1979b; MARTIN, *et alii*, 1979b), através

de amplos programas de datação C-14. As curvas de oscilação do nível marinho apresentam certa diversidade, mas indicam um máximo transgressivo de uns 5 m em torno de 5 000 B.P., e um nível em torno dos 3 m há cerca de 2 500 - 3 500 B.P..

Em linhas gerais, pode-se concluir que os eventos mais importantes na formação dos corpos d'água costeiros, quais sejam, o último entalhe e a subsequente transgressão, podem ser referidos a eventos globais, o primeiro referido ao máximo da glaciação Würm ou Late Wisconsin, e o segundo ao Flandriano, conforme tivemos a ocasião de sugerir para o caso da baía de Sepetiba (PONÇANO, 1976a; PONÇANO *et alii*, 1979) através de análise geomorfológica.

Aqui se estabelece a ligação entre os fenômenos de ordem geral, que afetaram a plataforma continental, e as feições menores de sua margem interna, que são as feições costeiras, pois a distribuição dos principais canais de acesso e circulação, bem como "a dinâmica dos processos sedimentares atuais necessita ser colocada no contexto da evolução quaternária da área de estudo, para que se possa esclarecer a importância efetiva do balanço erosão/de posição, possibilitando então que sejam feitos prognósticos sobre seu comportamento. Isto pode ser feito por meio de uma análise geo morfológica centrada na evolução de determinadas formas que constituirão o arcabouço da sedimentação atual" (PONÇANO, 1976a, p.13).

Levamos então em conta que "a distribuição e características da película sedimentar que reveste os ambientes subaquáticos das adjacências de um porto representam uma resultante de todos os fatores determinantes da sedimentação, constituindo-se então seu estudo qualitativo e quantitativo uma primeira aproximação ao estabelecimento de critérios geológicos destinados à escolha de localis e de técnicas construtivas mais viáveis à instalação de um conjunto portuário" (PONÇANO, 1976a, p.2). KUTNER (1976) veio a expressar opinião semelhante.

Dessa forma, a orientação seguida nas investigações aqui postas leva ao desenvolvimento de estudos em três etapas pincipais:

- estabelecimento de um modelo da evolução geomorfológica da área considerada;
- caracterização da textura dos sedimentos de superfície de fundo, por meio de seus parâmetros representativos e de sua composição

mineralógica, visando a compreensão e estabelecimento de sua di
nâmica, caracterização de sedimentos em suspensão;

- integração de elementos geomorfológicos, batimétricos, sedimen-
tológicos, e síntese geral a respeito da área sob o ponto-de-vis-
ta da viabilidade de implantação de um porto, ou da intervenção
em obras já realizadas.

II MATERIAIS E MÉTODOS

A. Plantas e imagens de sensores remotos

O planejamento e realização dos trabalhos nas áreas aqui
apresentadas sempre se iniciaram pela coleta e análise das cartas
topográficas e náuticas, e fotos aéreas disponíveis. Eventualmen-
te foram utilizadas imagens LANDSAT para determinação de direções
de dispersão de sólidos em suspensão. Discriminação e discussão a
respeito dos materiais e técnicas empregadas serão feitas, sempre
que necessário, no decorrer da exposição dos próximos capítulos.

B. Amostragem

A coleta de amostras em águas estuarinas foi feita com uti
lização de barco especialmente adaptado para esta finalidade, de
fundo chato, em alumínio, equipado com guincho e roldanas, de
7,5 m de comprimento, equipado com motor de 50 HP. No caso de
baías e de mar aberto, foram usados barcos maiores, do tipo cama
roneiro, com as adaptações necessárias.

As estações de amostragem, previamente estabelecidas, eram
atingidas por aproximação visual, com auxílio de telêmetro e sex
tante, no caso de estuários em que havia grande número de feições
topográficas (inclusive urbanas) de referência. Em mar aberto e
baías as estações de amostragem foram atingidas por aproximação
sucessiva por meio de sextante, através da referência de pontos
notáveis assinalados nas cartas náuticas.

Os sedimentos de superfície de fundo foram coletados com
amostradores de mandíbula, do tipo *Van Veen*, recorrendo-se, em al
guns casos, a amostragem por cravação com testemunhador do tipo
piston corer.

Amostras de água para análise de material em suspensão e sa

linidade foram coletadas com garrafas de Van Door com 3 l de capacidade.

C. Análises Granulométricas

As análises granulométricas dos sedimentos de superfície de fundo foram processadas de acordo com o procedimento rotineiro dos laboratórios de sedimentologia do Instituto de Geociências da USP e do IPT. A fração areia foi separada em classes de $1/2 \phi$ enquanto que a separação de siltes e argilas se deu em intervalos de 1ϕ . Os parâmetros estatísticos granulométricos foram calculados segundo as fórmulas de FOLK & WARD (1957), as escalas qualitativas dos graus de seleção, assimetria e curtose são também as desses autores, segundo a tradução proposta por SUGUIO (1973). Uma classificação textural segundo o diagrama triangular de SHEPARD (1954, *apud* SUGUIO, 1973) também é oferecida. As classes granulométricas são referidas à escala de Wentworth.

A descrição das características granulométricas com base nas fórmulas de FOLK & WARD (1957) e segundo os intervalos de classes texturais merece algumas considerações. Assim, sabe-se que as características texturais de um sedimento podem ser referidas a um conjunto de parâmetros estatísticos descritivos de sua distribuição granulométrica, indicativos de tendências centrais (mediana, média e desvio-padrão) ou caudais (assimetria e curtose).

Os parâmetros propostos por FOLK & WARD (1957) foram criados a partir dos de INMAN (1952). Esses autores realizaram um estudo sedimentológico num depósito fluvial fortemente bimodal (areia e cascalho), característica que os levou a considerar inadequadas as medidas de INMAN (1952) por se basearem em apenas 2 ou 3 pontos da curva acumulativa, sendo pois insuficientes para descrever curvas não normais.

Para FOLK & WARD (1957) a mediana deveria ser abandonada, por induzir a erros na apreciação dos sedimentos. Assim, seriam iguais os valores das medianas de um sedimento com 40 % de cascalho e 60 % de areia fina, e outro com 60 % de areia fina e 40 % de argila. As alterações dos demais parâmetros podem ser vistas na FIGURA 4.

	DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO-PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE
INMAN	$\frac{\phi_{16} + \phi_{84}}{2}$	$\frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2}$	$\frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{\phi_{84} - \phi_{16}}$ e $\frac{\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50}}{\phi_{84} - \phi_{16}}$	$\frac{1/2(\phi_{14} - \phi_5) - 1/2(\phi_{95} - \phi_{84})}{\phi_{84} - \phi_{16}}$
FOLK & WARD (1957)	$\frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$	$\frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$	$\frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$	$\frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$

FIGURA 4 - Parâmetros estatísticos segundo INMAN (1952) e FOLK & WARD (1957).

Em decorrência das alterações propostas, o desvio-padrão, indicativo do grau de seleção do sedimento, deixou de ser uma medida de tendência central, conforme se constata na exposição que sobre o assunto faz SUGUIO (1973). No caso da assimetria, a combinação de valores de centro e das caudas leva a uma medida geometricamente independente da seleção.

Para FOLK & WARD (1957) assimetria e curtose seriam fundamentais para se detectar bimodalidade onde essa característica não aparece claramente. Mostraram, ademais, haver relações bem definidas entre os quatro parâmetros, equacionados na FIGURA 5.

FIGURA 5 - Gráfico a quatro variáveis, mostrando a relação entre diâmetro-médio (M_2), desvio-padrão (σ_1), assimetria (Sk_1) e curtose. Reproduzido de FOLK & WARD (1957, p.23).

Para SWAN *et alii* (1978) há duas diferenças entre a estatística convencional e a aplicada em sedimentologia. A primeira vem de que ao se agrupar os dados por classe de peso, as partículas discretas deixam de ser consideradas, e os resultados referentes à população de pesos não são iguais aos da população de partículas. Outra diferença é que as medições são feitas através de uma variável transformada (ϕ) e não do diâmetro real.

A fim de superar o primeiro desses dois pontos, geraram amostras hipotéticas com dados para cada partícula, segundo distribuições normais padronizadas (média = 0; desvio-padrão = 1). Com essas amostras realizaram uma reavaliação do método de FOLK & WARD (1957). Para tanto, procederam a correlações entre medidas segundo FOLK & WARD (1957) e 1) parâmetros para frequência numérica não agrupada (FIGURA 6); 2) parâmetros para frequência não agrupada em peso (FIGURA 7).

Pela FIGURA 6 pode-se concluir que os dois conjuntos de dados descrevem diferentes características das amostras. As relações da FIGURA 7, por outro lado, seriam semelhantes às já determinadas por outros autores entre método dos momentos e método gráfico, o que sugere que as medidas de momento para frequência agrupada em peso se constituem em boas estimativas dos parâmetros não agrupados correspondentes.

Concluem que as medidas gráficas são boas para o diâmetro médio (exceto em amostras muito assimétricas ou com caudas pronunciadas aquém de ϕ_{16} e além de ϕ_{84}) e desvio-padrão (com ressalvas para amostras medianamente selecionadas com caudas significativas nos 5 % mais finos ou mais grossos). No caso da curtose e da assimetria, consideram que não se chegou a relações definidas entre os diferentes cálculos porque as medidas não agrupadas são sensíveis às caudas, diversamente das medidas gráficas.

Apontam ainda que as medidas gráficas não são muito sensíveis a populações significativamente não-normais. Se se pretende usá-las, o peneiramento pode ser feito com intervalos de 1 ϕ , pois a diminuição do intervalo não aumenta o alcance do método.

SWAN *et alii* (1979) fazem uma avaliação do método dos momentos para valores agrupados, concluindo que descreve melhor as populações que o método de FOLK & WARD (1957); a diferença entre os

dois métodos seria maior no caso da assimetria e da curtose de curvas significativamente não normais.

FIGURA 6 - Relações entre as medidas gráficas de FOLK & WARD (1957) e parâmetros de frequência numérica não agrupada para 100 amostras hipotéticas. Reproduzido de SWAN *et alii* (1978, p.873).

No caso do método dos momentos mostram que a precisão dos parâmetros aumentam com a diminuição do intervalo de peneiramento de 10 para 0,25. Além disso, o truncamento da curva em 120 não alteraria significativamente os resultados, contrariamente ao truncamento em 90.

FIGURA 7 - Relações entre as medidas gráficas de FOLK & WARD (1957) e os parâmetros de frequência por peso não agrupado para 100 amostras hipotéticas. Reproduzido de SWAN *et alii* (1978, p.874).

Levando-se em conta os métodos de laboratório empregados nas análises granulométricas percebe-se que, embora o método dos momentos forneça melhores descritores das distribuições granulométricas, torna-se mais conveniente a utilização das fórmulas de FOLK & WARD (1957), por serem estas mais compatíveis com as classes granulométricas obtidas nos processos de peneiramento e pipetagem.

No caso dos sedimentos em suspensão, o procedimento foi outro. A literatura indica que, dos métodos disponíveis para a determinação de classes granulométricas de pequenas quantidades de sedimentos finos, o mais eficiente é oferecido pelos aparelhos do tipo *Coulter Counter* (SWIFT *et alii*, 1972; WALKER *et alii*, 1974).

Segundo SWIFT *et alii* (1972) o *Coulter Counter* teria sido desenvolvido no final da década de 50, para contagem de células sanguíneas, sendo a seguir experimentado com sucesso em sedimentologia. Seu princípio básico é de que, num eletrólito de campo elétrico definido, a passagem de uma partícula provoca alterações detectáveis, desde que suas propriedades elétricas sejam diferentes das do eletrólito. Na prática, a zona eletricamente sensível é bloqueada por um orifício de material condutor, calibrado. À medida que passam as partículas, mudanças nas propriedades eletrolíticas são medidas como pulsações de voltagem. O limite mínimo de concentração do material em suspensão pode ser de 0,2 p.p.m. (SWIFT *et alii*, 1972) ou 1 p.p.m. (WALKER *et alii*, 1974). Ensaio de reprodutibilidade realizado com soluções diluídas de solos indicaram que os resultados obtidos com o *Coulter Counter* são compatíveis com os de pipetagem, com desvio-padrão de $\pm 6\%$ da média.

Neste trabalho, para a determinação do teor total de sedimentos em suspensão, adotou-se o seguinte procedimento: cada amostra foi inicialmente agitada, para homogeneização, durante três minutos cronometrados. Imediatamente após a homogeneização transferia-se 1 l para proveta previamente aferida. Em seguida, a amostra (1 l) era passada gradativamente através do conjunto filtrante (descrito mais adiante), com auxílio de baqueta. Ao final da filtração as paredes da proveta eram lavadas com 20 ml de água deionizada.

A quantidade de 1 l é aceita como satisfatória à obtenção do material necessário para estudo de sólidos em suspensão em

águas de estuários (HILLIER, 1984).

O papel de filtro com o resíduo desejado era deixado por 12 horas em estufa especialmente regulada a 60°C. Após esse tempo retirava-se esse material da estufa, resfriando-se-o em dessecador por 40 minutos, pesando-se-o a seguir.

O conjunto filtrante, acima mencionado, era composto por 2 filtros Sartorius com 47 mm e diâmetro nominal dos poros de 0,45 μ superpostos, previamente numerados, lavados, secos e pesados.

A diferença entre o peso do filtro com resíduo e seu peso prévio, fornece a concentração do material em suspensão, considerado o volume filtrado.

Após essa determinação, os filtros com resíduos passaram por dispersão ultrassônica, obtendo-se, para cada amostra, uma solução que foi analisada em analisador de partículas finas *Coulter Counter* TA-II do laboratório de Metalurgia do Pó do IPT. Esta análise forneceu a distribuição granulométrica de cada amostra de sedimento em suspensão, de acordo com as seguintes classes:

	32,00 a 25,40	
	25,40 a 20,20	A
	20,20 a 16,00	
	16,00 a 12,70	
	12,70 a 10,08	B
	10,08 a 8,00	
	8,00 a 6,35	
medidas em μ	6,35 a 5,04	C
	5,04 a 4,00	
	4,00 a 3,17	
	3,17 a 2,52	
	2,52 a 2,00	
	2,00 a 1,59	D
	1,59 a 1,26	
	1,26 a 1,00	
	1,00 a 0,794	

Os grupos A, B, C e D correspondem às classes Silte Médio, Silte Fino, Silte Muito Fino e Argila na classificação de Wentworth.

As implicações desta técnica na interpretação dos resultados serão oportunamente abordadas.

D. Determinação de salinidades

A salinidade das amostras foi estimada pelo equivalente em NaCl à medição de suas resistividades a 25°C em condutivímetro modelo CM 2A da Toa Eletronics Ltd.

As conversões foram feitas de acordo com o gráfico da FIGURA 8, usando-se a curva de 75°F.

FIGURA 8 - Gráfico para transformação de resistividade em teor em NaCl (Fonte: Go Wireline Services Gearhart-Owen, Formation Evaluation Handbook, 1978).

E. Determinação de teores de matéria orgânica

Estes ensaios foram realizados pelo Agrupamento de Análises Químicas e Instrumentais do IPT. Usou-se o método gravimétrico

trico, de remoção por calor, em duas fases simultâneas. Na primeira é pesada uma alíquota de amostra homogeneizada, levada em estufa a 105°C até atingir peso constante; a segunda consiste em pesar outra alíquota, levada em mufla a 550°C até atingir peso constante. O teor em matéria orgânica será correspondente ao material perdido entre 105°C e 550°C .

F. Composição mineralógica

O Agrupamento de Petrologia do IPT realizou análises de minerais pesados em várias dezenas de amostras, na fração 0,062 - 0,125 mm, correspondente a areia muito fina na escala de Wentworth. Os resultados obtidos serão expostos nos capítulos correspondentes.

G. Tratamento estatístico de dados

Os resultados de análises granulométricas, mineralógicas e de salinidade foram tratados por meio de algumas técnicas de análise de agrupamento, de tendência e regressão, de programas desenvolvidos pelo Grupo de Geoestatística do Agrupamento de Recursos Minerais do IPT, e serão apresentados nos capítulos correspondentes.

CAPÍTULO III

TERMINAIS MARÍTIMOS EM *OFFSHORE*: O SÍTIO DE IMPLANTAÇÃO DO TERMINAL DE ILHA DOS GUARÁS, ESTADO DO PARÁ.

I APRESENTAÇÃO

Solicitações para estudos geológicos visando a análise de viabilidade técnica em regiões *offshore* têm sido escassas. Participamos apenas de dois casos, um interessando a foz do Rio Doce, nas proximidades da cidade de Regência, Espírito Santo, e outro na Ilha dos Guarás, na costa paraense.

No primeiro caso, fizemos uma avaliação sucinta das condições de dinâmica sedimentar, com base em cartas náuticas e informações da literatura, em especial do Projeto Rio Doce (PETROBRÁS/IGUSP, 1975). Os dados obtidos indicaram grande variabilidade no baixo curso do Rio Doce, mostrada por antigos cursos abandonados, e altas taxas de progradação da costa na região do delta (até 7,3 m/ano). Notamos, ademais, que a sul de Regência, entre as cidades de Barra do Riacho e Vitória, a costa é mais recortada, caracterizada por enseadas e falésias, de tal sorte que a isóbata de 20 m (tomada como referência) se aproxima da costa a menores distâncias que no sítio originalmente proposto. Acresce que, nesse mesmo trecho da costa, e a distâncias maiores que 50 km da foz do Rio Doce, o estudo da PETROBRÁS/IGUSP (1975) demonstra a ausência de diatomáceas de água doce, indício sugestivo de que se tratava de região fora da influência da sedimentação deltáica. Concluimos então que, comparativamente, a costa a sul de Barra do Riacho apresentava melhores condições geológicas para aproveitamento da plataforma, além de maior facilidade de acesso, tanto em virtude de ausência de áreas pantanosas, como pela menor distância entre a linha de costa e a ferrovia Vitória-Belo Horizonte. Entretanto, o projeto não teve seqüência, de modo que as investigações geológicas tiveram seu fim nessa avaliação prévia.

No caso de Ilha dos Guarás, tivemos a oportunidade de desenvolver um estudo mais completo, embora ainda de caráter essencialmente morfológico, objeto deste capítulo.

A exploração do imenso potencial mineral da Serra dos Carajás, reconhecido quanto aos jazimentos ferro-manganesíferos quan-

do realizamos este trabalho, impôs de imediato o planejamento de infraestrutura adequada ao escoamento da produção mineral.

Posto que a solução ferrovia-Porto de Itaqui já se mostrasse mais viável, quiz o INPH da PORTOBRÁS completar a avaliação da alternativa hidrovia - Terminal de Guarás. Para tanto solicitou o parecer de especialistas em oceanografia, já que esse terminal parecia de difícil viabilização, dadas suas condições de desabrigo e atuação de fortes correntes. Parte dos trabalhos então desenvolvidos, ora apresentados, consistiu em avaliação das condições locais de sedimentação.

Propusemos que esse assunto fosse abordado em duas etapas: inicialmente uma avaliação da documentação existente, complementada por visita ao campo, seguida, se necessário, de campanha de campo e ensaios de laboratório mais desenvolvidos.

A área de estudo tem seus limites norte e sul nos paralelos $0^{\circ}15'S$ e $0^{\circ}45'S$, e leste e oeste nos meridianos $47^{\circ}40'W$ e $48^{\circ}10'W$, respectivamente (FIGURA 9).

FIGURA 9 - Localização da área estudada.

Do ponto de vista geológico, é constituída, em sua parte e mersa, por sedimentos marinhos e continentais atuais e subatuais, predominantemente areias, de idade quaternária, sobrepostos a argilitos com níveis de cascalho e areia ferruginizada, pertencentes à Formação Barreiras, de idade miocênica-pliocênica (FRANCIS CO *et alii*, 1971), ou mesmo pleistocênica (ARANTES *et alii*, 1972) , (FIGURA 10).

FIGURA 10 - Mapa geológico regional. Fonte: ARANTES *et alii* (1972) modificado.

A plataforma continental, na área de interesse, é constituída esencial mente por sedimentos de fácies arenosa (ZEMBRUSCKI *et alii*, 1971).

II GEOMORFOLOGIA

No que se refere à parte emersa, a costa de toda a região é em geral baixa, com cotas máximas em torno de 50 m. Da foz do Rio Pará a noroeste, temos uma costa em progradação caracterizada por depósitos de lama terrígena afeiçoados pelas marés em vasta planície costeira. Da foz do Rio Pará até a baía de São Marcos a costa apresenta-se extremamente recortada, como costa semelhante as de rias com pontas e reentrâncias às desembocaduras dos rios. Estas apresentam-se relativamente largas, por comparação às extensões dos cursos d'água correspondentes, evidenciando uma história de entalhes prévios e certo caráter atual de afogamento.

Dois níveis de falésias podem ser regionalmente reconhecidos: o mais antigo acha-se interiorizado, e sua distribuição é compatível com uma posição do nível marinho de 5 a 10 m acima da atual. Feições a elas correlacionáveis seriam terraços de gênese complexa, mantidos por crostas lateríticas, alçados entre 5 a 12 m de altitude, que definem o nível Belém-Marajó (AB'SABER, 1966). Falésias atuais ocorrem em Maracanã, Salinópolis e Ponta da Fortaleza.

Quanto à parte submersa, pode-se reconhecer, através da análise das cartas batimétricas, uma fase de entalhe que pode ser atribuída ao último evento global de rebaixamento do nível marinho.

Embora não seja possível avaliar adequadamente a importância dos movimentos tectônicos na história geológica regional quaternária, as principais formas de relevo da área em foco permitem reconhecer um episódio de entalhe, associado a nível marinho mais baixo (de provável idade Würn), um episódio transgressivo, flandriano (falésias fósseis), seguido do estabelecimento do atual nível de base.

Como resultado tem-se uma costa recortada, de que o aspecto afogado pretérito está algo modificado por feições típicas de progradação tais como bancos arenosos, cordões litorâneos e campos de dunas. Esta situação é compatível com a proposição de PIMENTA (1959), que considera toda a área de embocadura do Amazonas e Pará como um delta intermitente, onde as fases estuarinas seriam efêmeras e de curta duração. BACCOLLI (1971) considera a feição do Golfão Marajoara como parte do complexo deltáico Amazonas-Tocantins.

Realmente o Amazonas, em virtude de sua elevada carga sedimentar é um rio de construção deltáica, porém a fase atual, especialmente a foz do Rio Pará, em virtude de seu recente afogamento, pode comportar características de circulação estuarina.

É nesse contexto de costa recortada, porém com características atuais de progradação, que se encontram a Ilha dos Guarás e o Canal de Tapari, locais examinados com vistas à implantação de um terminal marítimo.

Em superfície a Ilha dos Guarás é constituída na sua totalidade por sedimentos holocênicos inconsolidados, representados por areias, siltes e argilas.

Sondagens aí realizadas revelaram a existência de margas calcárias, em média a 35 metros de profundidade, provavelmente da Formação Pirabas (T), imediatamente sotopostas aos sedimentos holocênicos.

Informações fornecidas pela bibliografia existente, não revelaram ocorrência da Formação Barreiras na ilha. Porém, visto que em alguns dos locais perfurados foram descritos arenitos e argilas bastante compactos, acreditamos que possam ser encontrados restos erodidos da Formação Barreiras, capeados por pequenas espessuras de sedimentos holocênicos.

A Ilha dos Guarás apresenta em sua maior extensão, na direção ENE-WSW, 6 km, e na menor, NW-SE 4,9 km. Tal como todo o relevo adjacente, a ilha caracteriza-se por uma linha da costa baixa e relevo bastante suave. Em vista da amplitude das preamaras médias de sizígia na área, 446 cm, medidas na ponta da Romana, e pela existência de vários rios e braços de mar, que facilitam a ingressão das águas marinhas, suas terras são freqüentemente alagadas.

Dentre as feições morfológicas que merecem destaque, ressalta na parte setentrional da ilha uma formação de dunas de areia do tipo longitudinal, que se elevam até 10 metros de altura; e no seu interior planícies de maré normalmente invadidas pelas águas do mar.

Quanto às feições morfológicas submersas que se desenvolvem nas proximidades da Ilha dos Guarás, são de interesse os bancos e cordões de areia, como também os canais que os separam. As principais feições submersas são as seguintes:

- Baixo do Espadarte: também conhecido como Banco do Bragança , constitui-se em um extenso alto fundo de areia com aproximadamente 14 km de extensão por 4,5 km de largura, que se estende na direção NE-SW e está situado a norte da ponta da Tijoca, dela se separando pelo canal dos Poções com cerca de 10 km de largura;
- Coroa Nova localizada a noroeste da ponta da Tijoca, dela se separando pelo canal de Tapari que se estende na direção NE-SW e apresenta uma largura em torno de 3 km, com fundos variando de 12 a 25 metros de profundidade;
- Coroa das Gaivotas, constitui um banco de areia com 9 km de extensão por 2 km de largura, estando localizada a oeste da ilha dos Guarás;
- *Mega-ripples* (ondas de areia) e *rill marks* gigantescos, são também observados nas barras arenosas em frente à ilha Mutucal , provavelmente evidenciando zonas de interferência de correntes. Em sobrevôo de reconhecimento que realizamos de Belém à região de interesse, tivemos a oportunidade de constatar, dada a limpidez das águas, que as ondas de areia são características da plataforma próxima à foz do Rio Pará. As ondas de areia parecem caracterizar grandes estuários, com várias dezenas de quilômetros de largura, em que as velocidades das correntes de maré são elevadas. BOKUNIEWICZ *et alii* (1977) verificaram que no Estreito de Long Island ondas de areia não se formam além de um limite de cerca de 10 % de siltes, ou onde a fração > 1 mm é superior a 12 %, tornando mais precisos limites estabelecidos pela literatura prévia.

É importante ressaltar que os bancos de areias apresentam constantes variações em seus contornos, o que é alertado no Roteiro da Costa Brasileira, publicação DHN nº DG-1-8, (1968) não sendo porém comum o aparecimento de novos bancos e o desaparecimento de outros. Isto pode ser constatado a partir da carta da Marinha Francesa de 1846 até as cartas atuais da Marinha, que serão analisadas mais detalhadamente a seguir.

Quanto à descrição do material de fundo nos canais de Tapari e dos Poções deve-se salientar que apresentam caracterização controvertida, visto que no relatório da Companhia Brasileira de

Geofísica datado de 23 de dezembro de 1972, o local e caracterizado como areno-siltoso e argiloso, enquanto que na publicação DNH nº DG-1-8 o material de fundo é descrito como areia, o que é compatível com a bibliografia previamente mencionada (BOKUNIEWICZ *et alii*, 1977; ZEMBRUSKI *et alii*, 1971).

A fim de se caracterizar o comportamento das correntes de maré, dada sua influência na movimentação do material de fundo nas proximidades da Ilha dos Guarás, foram consultados: a Carta da Marinha Brasileira, DNH nº 313, correta até 30/08/75, relatôrio do DNPVN de junho de 1973 e relatório da Hidrolev sobre a Ilha dos Guarás, com medições feitas no canal de Tapari. Para uma caracterização global da região foram utilizadas as Cartas de Correntes de Maré, Rio Pará, de Salinópolis a Belém, publicação DNH nº DG-10-I-1 (1972).

Tomando-se por base os dados fornecidos por esses relatôrios, não foi possível ter-se uma caracterização do comportamento das correntes de maré no canal de Tapari, no que tange a sua influência na movimentação de sedimentos de fundo, visto que:

- os dados fornecidos pelas cartas de correntes de maré, DG-10-I-1, são de âmbito regional e se referem à média das correntes de maré, em uma camada d'água de aproximadamente 5 metros de espesura a partir da superfície e não refletem pois, necessariamente, o sentido da movimentação do material de fundo;
- os dados fornecidos pela carta da DNH nº 313, também mostram valores muito gerais, não evidenciando características peculiares à área de interesse;
- considerando o regime de águas altas e baixas dos rios da região, que ocorrem geralmente nos meses de jan/fev/mar e set/out/nov, respectivamente, verifica-se que os levantamentos realizados pelo DNPVN nos meses de set/72 a jan/73 e pela Hidrolev 29/ago a 9/set/72, foram efetuados principalmente em regime de vazante dos rios, e início das cheias. Isto leva a crer que as correntes de maré mais efetivas na região não foram observadas, pois nessa época do ano a contribuição dos rios é minimizada. Como exemplo disso, pode-se constatar na publicação DNH nº DG-10-I-1, que o período de 1º/mar a 31/abr, como o de maior intensidade das correntes de maré vazantes e de 1º/jun a 31/jul, como das maiores

correntes de maré enchentes

Nesse sentido, as ondas de areia fornecem algumas indicações adicionais. No sobrevôo realizado, não foi possível estimar as amplitudes das ondas; entretanto, pareciam apresentar caráter assimétrico, com face mais inclinada voltada para a plataforma. Embora LANGHORNE (1973) não concorde que a assimetria seja um critério conclusivo para se determinar direção de transporte por ondas de areia, BOKUNIEWICZ (1977) parece ter demonstrado que o tempo necessário para reverter a direção da assimetria dessas feições é tal que a assimetria pode ser usada como indicador de transporte a longo prazo. Assim, as correntes de fundo nas vazantes seriam mais fortes que as das enchentes.

A fim de se caracterizar as mudanças sofridas nas feições morfológicas emersas e submersas na ilha dos Guarás e adjacências, que são os pontos de maior interesse deste trabalho, torna-se necessário lançar mão de outros elementos, que serão analisados nos tópicos seguintes.

III ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DA LINHA DE COSTA

Em função da relativa mobilidade das feições morfológicas da linha de costa da área de estudo, comparamos cartas náuticas e fotografias aéreas de diferentes épocas, com o objetivo de caracterizar os padrões evolutivos para as adjacências da ilha dos Guarás.

A. Comparação de Cartas Náuticas

Para se verificar, em tempos históricos, as variações da linha de costa nas adjacências da ilha dos Guarás foram comparados os seguintes documentos: carta da Marinha Francesa nº 1108, de 1846 com correções até 1908, cartas da Marinha Brasileira nº 310, 302 e 313 respectivamente de 1958/60/73, 60/73 e 60/73.

Dada a maior semelhança de escalas, 1:225 000 da carta francesa e 1:200 000 da carta nº 310, e ao histórico desta última, cuja primeira edição de 1958 resultou de uma compilação dos dados do levantamento da Marinha Francesa, maior ênfase foi dada na comparação entre ambas.

O problema inicial, surgido do confronto das cartas nºs

1108 e DHN nº 310 é relativo às coordenadas geográficas. Os acidentes topográficos assinalados na carta francesa estão referidos quanto à longitude do meridiano de Paris, enquanto que as cartas modernas seguem a convenção internacional de longitudes a partir do meridiano de Greenwich.

Para a comparação das coordenadas geográficas foram escolhidos três pontos notáveis comuns às duas cartas (1108 e 310): Catedral de Belém, Vigia e Ponta de Atalaia.

A correção de longitude do meridiano de Paris em relação ao meridiano de Greenwich foi feita a partir da indicação de CAUNIN (1972), acrescida de 2' em função da nota de rodapé da carta francesa.

1. *Catedral de Belém* - ponto representado nas suas cartas com relativo destaque:

Coordenadas:

Carta Francesa

Carta Brasileira

Longitude

50°48'00"W

* 50°50'00"W

** 48°29'46"W

48°30'16"W

Diferença entre as cartas: 30"

Latitude

1°27'27"S

1°27'18"S

Diferença entre as cartas: 09"

* com acréscimo de 2' como indica a nota da carta 1108

** redução para o meridiano de Greenwich = 2°20'14"

2. *Vigia* - ponto notável nas duas cartas e com destaque na carta Francesa, que apresenta um cartão de detalhe em escala maior.

Carta Francesa

Carta Brasileira

Longitude

* $50^{\circ}28'00''\text{W}$

** $48^{\circ}08'46''\text{W}$

$48^{\circ}08'39''\text{W}$

Diferença entre as cartas: 07"

Latitude

$0^{\circ}50'00''\text{S}$

$0^{\circ}51'24''\text{S}$

Diferença entre as cartas: 1'24"

* valor dado na carta

** redução para o meridiano de Greenwich

OBS: não foram acrescentados os 2' na longitude, pois a carta fornece um valor real no cartão de detalhe

3. *Ponta da Atalaia* - ponto notável pois conserva até hoje o mastro da antiga fortaleza existente no local.

Carta Francesa

Carta Brasileira

Longitude

$49^{\circ}38'45''\text{W}$

* $49^{\circ}40'45''\text{W}$

** $47^{\circ}20'31''\text{W}$

$47^{\circ}19'15''\text{W}$

Diferença entre as cartas 1'16"

Latitude

$0^{\circ}35'08''\text{S}$

$0^{\circ}35'30''\text{S}$

Diferença entre as cartas: 22"

* com acréscimo de 2'

** redução para o meridiano de Greenwich

Pelos quadros acima observa-se, portanto, que existem diferenças não só em relação às longitudes como também em relação às latitudes.

Em vista das diferenças não apresentarem um caráter sistemático, ou seja os erros são ora para sul, ora para norte, enquanto que os de longitude são ora para oeste, ora para leste, pode-se inferir que as discrepâncias devem estar ligadas à limitação da precisão das técnicas empregadas durante a construção da carta francesa.

De fato, segundo MARTONNE (1935), sabe-se que antes da introdução do telégrafo sem fio as longitudes eram determinadas pelo telégrafo aéreo ou por cabo submarino. Segundo informação verbal do Capitão Tenente Érico José Cavalcanti de Oliveira da Diretoria de Hidrografia e Navegação, as longitudes determinadas na época da confecção da carta francesa foram obtidas através de um cabo telegráfico submarino. Dessa forma, em virtude das limitações de precisão decorrentes da própria determinação, não se deve esperar coincidência de coordenadas determinadas por processo diferentes.

Para a comparação das feições da linha de costa, o passo inicial consistiu na redução, por método fotográfico, da escala de aproximadamente 1:225.000 da carta francesa para 1:200.000, correspondente à escala da carta brasileira.

O confronto da carta brasileira com um *overlay* fotográfico já na escala corrigida, contendo em transparência todos os detalhes da carta francesa, ressalta diferenças grosseiras quanto ao contorno da costa, não sendo possível a sobreposição da linha de costa marcada em cada uma das cartas.

Para contornar este problema, foram escolhidos três pontos notáveis comuns às duas cartas, e novamente através de método fotográfico foi tentado o ajuste dos detalhes contidos entre esses pontos. Esta técnica que envolve uma maior precisão, é semelhante à utilizada para a correção e transposição de detalhes de fotografias aéreas para mapas topográficos.

Uma vez mais os resultados foram insatisfatórios, persistindo o problema das discrepâncias grosseiras no contorno da costa.

Os resultados das tentativas de ajuste das duas cartas, mos

traram que qualquer comparação quantitativa entre os detalhes mostrados nas cartas francesa e brasileira são de valor questionável.

Em vista destes problemas, as comparações entre as cartas francesa e brasileira, bem como entre as cartas antigas de baixa precisão, deve ser feito com ressalvas, levando-se em consideração apenas as tendências gerais e apreciações qualitativas. Dentro deste critério podemos observar que:

- a carta francesa apresenta o contorno da costa quase que retilíneo, ao contrário da carta brasileira que exibe uma riqueza bem maior de detalhes;
- algumas ilhas que são representadas unidas ao continente (ilha do Mosqueiro, ilha do Mutucal e ilha Pacamurema), apresentam-se afastadas na carta brasileira;
- as maiores diferenças na linha de costa são verificadas a partir do rio Curuçá em direção a leste;
- na região próxima a Belém, os detalhes da linha de costa estão melhor marcados.

Quanto à Ilha dos Guarás, em particular:

- a linha de costa apresenta uma conformação grosseiramente semelhante à atual;
- a parte sul da ilha, na carta francesa, está quase unida à Ilha Ipemonga, o mesmo não acontecendo na carta brasileira, onde a distância entre as referidas ilhas é maior;
- a ponta da Tijoca está representada na carta francesa, embora não haja um sinal que a localize corretamente.

Quanto à batimetria, embora com as ressalvas anteriores, é possível constatar o seguinte:

Pontos comuns às duas cartas:

- Baixo do Espadarte - denominado *Banc Bragança* pelos franceses.
- Canal dos Poções - aparente diminuição de profundidade atualmente, em relação aos dados mais antigos.
- Coroa Nova e das Gaivotas - ambas são representadas nas duas cartas.

- Canal do Espadarte - embora não haja denominação na carta francesa, o referido canal é representado nos dois documentos. Se comparadas as cotas batimétricas, apesar da baixa confiabilidade dos dados franceses, observa-se que a oeste da Coroa Nova as profundidades do canal permanecem as mesmas, enquanto que as profundidades diminuíram a sudoeste da Coroa das Gaivotas.

Pontos não comuns às duas cartas:

- Na carta francesa não são representados alguns bancos, como: Maracanã, Marapanin, Cajutuba, Piraquembaua de Terra.
- Na carta brasileira nota-se a ausência do Canal de Cassard entre as Coroas Nova e das Gaivotas, não havendo inclusive registro batimétrico.

Quanto à região da Ilha dos Guarás, em particular, observa-se o seguinte:

- O canal existente atualmente (sem denominação), entre a referida ilha e a Coroa Nova, já estava representado pelos franceses, sendo que permanece o seu sentido SW-NE. Mostra profundidades de 10 a 25 metros na carta francesa e de 10 a 26 metros na carta brasileira.
- Faz-se notar na carta francesa a ausência do banco da Agulha a norte da ilha dos Guarás, o qual é representado com um alongamento SW-NE na carta da DHN.

Com relação às edições das cartas modernas, podemos observar que a linha de costa não foi alterada de 1960 para 1973. A permanência do mesmo contorno de costa deve-se à repetição por parte da DHN, dos mesmos dados do levantamento aerofotográfico de 1959, o que não corresponde necessariamente à realidade.

As correções introduzidas na edição de 1973, são referentes à batimetria. Assim, as principais mudanças observadas, no tocante aos traços gerais, são:

- Baixo do Espadarte - a mudança ocorrida manifestou-se em quase todo seu contorno, principalmente no sul e sudeste; norte e no roeste não houve mudança apreciável.
- Coroa Nova - seu contorno transformou-se totalmente, sendo que

foi modificada sua forma e sua área aumentada consideravelmente.

A avaliação das mudanças batimétricas ocorridas no período de 1960/1973 serão retomadas mais adiante com maior detalhe.

B. Fotografias Aéreas

Foram examinadas fotografias aéreas tomadas em três períodos de tempo diferentes, correspondendo aos anos de 1959, 1968 e 1972, respectivamente. Os levantamentos de 1959 e 1972, respectivamente nas escalas de 1:30 000 e 1:100 000, são da Seção de Aerofotogrametria da Diretoria de Hidrografia e Navegação. O levantamento de 1968, na escala de 1:100 000, é da USAF.

Para maior facilidade de comparação, as fotos dos diferentes levantamentos foram reduzidas à mesma escala de 1:60 000.

1. Características Regionais

A observação das fotografias aéreas da área de interesse mostra como principais feições morfológicas planícies dominadas por marés, cordões litorâneos, campos de dunas, e numerosos bancos arenosos periodicamente submersos pelas marés.

Nota-se que, as planícies de maré, os cordões litorâneos, e os bancos costeiros, são feições que se desenvolvem com maior frequência onde há a ação direta do mar, embora os manguesais possam estender-se também para o interior da embocadura dos rios, atestando a influência das marés até estes locais.

A presença de sucessivos cordões litorâneos paralelos e de bancos costeiros dispostos nas principais ilhas da região, indica a afetiva ação construtiva do mar no modelado da linha de costa. O material sedimentar trazido tanto pelos rios como por correntes costeiras, é retrabalhado por processos marinhos, dando origem a cordões litorâneos, barras e bancos costeiros.

Numerosos bancos costeiros e cordões litorâneos, estão atualmente em desenvolvimento, nas ilhas e pontas da região costeira.

Nas ilhas Guarás, Curuçã e Cajutuba o crescimento dos bancos arenosos atuais se dá preferencialmente nas faces voltadas para leste. A forma destes bancos assemelha-se a um leque, com aba voltada também para leste.

Essa morfologia sugere a existência de uma corrente litorânea sentido W-E que estende-se da Ilha dos Guarás até as proximidades

dades da ilha do Algodão. Essa corrente teria ação restrita a apenas poucas centenas de metros da costa, e sentido oposto ao da corrente oceânica.

A presença da corrente litorânea W-E seria ainda endossada pelo padrão de dispersão das águas dos rios que desaguam nessa região. As águas dos rios, em virtude de sua carga em suspensão aparecem nas fotos aéreas em tons cinza claro, e acham-se defletidas para NE-E, indicando o sentido da corrente litorânea.

Quanto à interpretação das unidades litológicas, nas fotos dos levantamentos de 1968 (USAF), e de 1972 (DHN), observam-se pequenas elevações com texturas diferenciadas nas ilhas Ipemonga e Mutucal (a S da Ilha dos Guarás), Pacamurema e Cajutuba (a E da Ilha dos Guarás), que podem corresponder a sedimentos da Formação Barreiras. Essas elevações apresentam-se sob a forma de "ilhas" dentro dos sedimentos quaternários, e algumas vezes estão cobertas por areias eólicas.

Da Ilha dos Guarás para E a partir da Ilha Pacamurema, são cada vez mais frequentes as exposições dos sedimentos terciários da Formação Barreiras. A FIGURA 11 mostra as principais feições observadas através das fotografias aéreas.

2. Ilha dos Guarás e Proximidades

Pelo exame das fotografias aéreas, especialmente as do levantamento de 1959, que estão em maior escala, pode-se observar cordões litorâneos antigos truncados, dispostos em linhas onde freqüentemente se instalam pequenas drenagens.

Seguindo-se esses antigos cordões litorâneos, observa-se que em épocas pré-atuais a Ilha dos Guarás possuía uma forma mais elíptica com aproximadamente 5 e 3,5 km respectivamente para os eixos maior e menor que, *grosso modo*, orientam-se a N-S e E-W (FIGURA 11).

Dessa época para cá, sucessivos cordões litorâneos foram sendo construídos progressivamente nas faces norte, nordeste e este, acarretando um aumento da área emersa da ilha, de aproximadamente 6 km². Esse crescimento mudou a forma elíptica para uma forma mais circular.

O crescimento mais pronunciado deu-se na face N da ilha, onde pode-se observar cerca de 1300 metros de crescimento. As faces

FIGURA 11 - Esboço geomorfológico da Ilha dos Guarás.

S e SW (furo Croatã), que estão protegidas da ação direta do mar, não acompanharam o mesmo ritmo de crescimento.

As areias depositadas nos cordões litorâneos são frequentemente remobilizadas pela ação do vento formando pequenos campos de dunas longitudinais. Onde a vegetação ainda não cobriu totalmente as areias eólicas são observadas, nas fotos, texturas muito claras como na face N e E da Ilha dos Guarás.

Os cordões litorâneos são separados por sulcos retilíneos, que algumas vezes apresentam pequenas lagunas.

O crescimento na face N e NW deu-se preferencialmente pela acreção de cordões litorâneos sobrepostos a bancos arenosos construídos pelas marés, enquanto que na face NE e E o crescimento deu-se mais pela acreção de sucessivos cordões litorâneos, com re-trabalhamento pelo vento, formando campos de dunas (FIGURA 11).

Pelo exame das fotografias aéreas do levantamento de 1968 (USAF), além das características acima mencionadas, pode ser observado um crescimento atual mais pronunciado na face NW da Ilha dos Guarás (FIGURA 12).

Algum cuidado deve ser tomado na comparação da linha de costa em dois levantamentos aerofotogramétricos de épocas diferentes, em virtude das variações de maré serem de grande amplitude na área (446 cm na Ponta da Romana, DHN). Dessa forma, um dado levantamento pode ter tomado as fotografias durante a preamar, e outro durante a baixa mar, o que levaria a uma idéia falsa de um crescimento exagerado da linha de costa.

As fotos manipuladas não fornecem informações precisas da hora, dia e mês do levantamento aerofotogramétrico, tornando difícil a constituição das condições de maré. Dessa forma, o critério aqui estabelecido para a comparação tomou como base as áreas de acréscimo onde a vegetação já tenha se fixado, e portanto indicativas de um efetivo crescimento da linha de costa.

Dentro desse critério, observou-se que a NW da Ilha dos Guarás (W da ponta do Tijoca), houve um crescimento de 60 metros da linha de costa no período de 1959 a 1968 (9 anos), devendo se tomar esse valor como mínimo para o local em questão, já que extensas faixas arenosas são visivelmente mais largas no levantamento de 1968.

Este local (W da ponta da Tijoca) mostrou maior crescimento no período considerado, porém todas as faces da ilha dos Guarás voltadas para o mar mostram, em maior ou menor grau, indícios de crescimento no mesmo período.

Até o furo Croatá (S da Ilha dos Guarás), que pela fotointerpretação anterior não havia crescido significativamente em épocas pré-atuais, mostrou uma certa retificação nesse período, com o aparecimento de 2 novas ilhas e certo estreitamento de seu canal principal.

Na embocadura da drenagem a S da ponta Romana, na face SW da Ilha dos Guarás, também apareceram novos bancos arenosos que não eram visíveis no levantamento de 1959.

Quanto à orientação das drenagens das faces NW e SW da Ilha dos Guarás, vale acrescentar que têm sua saída voltada para SW e são orientadas de NE para SW, acompanhando a orientação do canal de Tapari. Isto sugere uma forte ação das marés enchentes que, remobilizando o material arenoso de fundo, impedem a saída dessas drenagens em outra direção.

A boa qualidade das fotos do levantamento de 1968 permite ainda diferenciar na área coberta pelas águas, diferentes tons de cinza que sugerem a forte ação das marés no canal de Tapari. Os tons de cinza claro a esbranquiçado devem indicar águas com elevada carga sedimentar, em contraposição aos tons cinza escuros, que devem representar águas oceânicas com pequena carga em suspensão. As saídas de outros rios como o Curuçá, por exemplo, também apresentam a influência das águas oceânicas movimentadas por maré, porém em menor grau, sendo que as águas com carga em suspensão avançam mais para o mar. A orientação das entradas de águas oceânicas são SW-NE, passando para SWW-NEE, à medida que se caminha para a ilha Cajutuba (rumo a leste).

O exame das fotografias do levantamento de 1972, embora prejudicado pela má qualidade das fotos, cobertura de nuvens, escala um tanto reduzida, e mesmo pela pequena defasagem de tempo, indicou as mesmas tendências de crescimento anteriormente expostas. A face NW da Ilha dos Guarás mostrou-se uma vez mais, como o local de maior crescimento (FIGURA 12).

Todas as faces da Ilha dos Guarás voltadas para o mar, embo

FIGURA 12 - Variações da linha de costa, de 1959 a 1972

ra em menor grau, também apresentaram uma vez mais indícios de crescimento, evidenciados através de maior cobertura vegetal ras teira, em áreas onde havia exposição arenosa na época do levantamento da USAF.

O crescimento foi em menor grau, porém deve-se levar em con sideração que o intervalo de tempo foi de apenas 4 anos.

O exame do conjunto de informações fornecidas pelas fotogra fias aéreas mostra que a Ilha dos Guarás está em constante evolu ção, tendendo a ampliar a sua área emersa através do tempo.

O crescimento mais acentuado deu-se na face NW onde, no pe ríodo de 1959 a 1968, houve um crescimento de pelo menos 60 me tros na área vegetada, sendo que se pode estimar um crescimento total de valor ainda maior.

A taxa mínima de crescimento anual constatada para essa área é de cerca de 7 m/ano. Em outras áreas as taxas são seguramente inferiores, porém, um efetivo crescimento pode ser observado atra vés dos bancos costeiros e praias, que vêm aumentando sua área e mersa ao longo do tempo.

IV ANÁLISE DAS VARIAÇÕES BATIMÉTRICAS

A comparação de cartas batimétricas de diferentes períodos tem a finalidade de esclarecer as modificações morfológicas da li nha de costa e da superfície do fundo, bem como avaliar o volume de material movimentado, de modo a identificar o padrão da dinâmi ca atual de sedimentação no que diz respeito à razão de erosão/di posição de sedimentos.

Esses trabalhos foram realizados comparando-se cartas da Marinha Brasileira, correspondentes aos levantamentos de 1959-1960 e 1972, efetivando um período de 12 anos para o estudo dessas va riações.

Num estudo mais amplo da área foram utilizadas duas cartas nº 302, na escala 1:100 000 - 1a. edição publicada em 1960, com grandes correções até 1962, e 2a. edição publicada em 1973 e cor rigida até 1975 - e duas cartas nº 313, na escala de 1:50 000 - 1a. edição 1960 com grandes correções até 1962 e 2a. edição corri gida até 1975.

Para uma análise detalhada do canal de Tapari foram utili-

zadas as folhas de bordo referentes ao levantamento de 1959-1960 e 1972 nas escalas de 1:50 000 e 1:10 000 respectivamente.

No estudo das modificações morfológicas da linha de Costa além das cartas acima mencionadas foram analisadas outras cartas da Marinha Francesa, Marinha Inglesa e Marinha Americana correspondentes a levantamentos executados no século XIX.

A. Obtenção de Dados a Partir das Cartas da DHN nºs 302 e 313 e das Folhas de Bordo.

Para a obtenção dos dados a partir das cartas batimétricas da Marinha Brasileira, nº 302 e nº 313, a área em estudo foi subdividida em 3 setores, conforme mostra a FIGURA 13.

SETOR A, no canal de Tapari em frente a Ilha dos Guarás com eixo orientado NE-SW, caracterizando a área de interesse; SETOR B, compreendendo o canal dos Poções localizado ao sul do Baixo do Espadarte e com eixo orientado na direção E-W; e SETOR C, compreendendo a continuação do canal de Tapari que foi considerado como área complementar as duas primeiras.

Na obtenção dos dados dessa fase foram realizadas as seguintes etapas de trabalho para as 4 cartas estudadas:

- interpolação de curvas batimétricas em intervalos de 2 metros a partir da cota - 5 m;
- locação de duas linhas de origem para os perfis, a fim de se evitar erro de deslocamento de pontos nos perfis durante a comparação, sendo locada uma para o canal de Tapari, passando pelas coordenadas $47^{\circ}50'W - 0^{\circ}30'30"S$ e $47^{\circ}49'30"W - 0^{\circ}30'S$ e outra para o canal dos Poções, passando pelos pontos $47^{\circ}57'W - 0^{\circ}31'S - 47^{\circ}50'W - 0^{\circ}31'S$;
- locação de perfis perpendiculares à linha de origem, espaçados em 1000 metros sendo: 14 no setor A (perfis de 1 a 14), 7 no setor B (perfis de 22 a 28) e 7 no setor C (perfis de 14 a 21).

Para cada par de cartas estudadas, a análise dos elementos obtidos foi feita plotando-se os perfis levantados em gráficos com escala horizontal de 1:20 000 e escala vertical 1:1 000, sendo os perfis correspondentes sobrepostos a fim de se determinar as modificações topográficas do fundo, caracterizando locais de erosão

FIGURA 13 - Distribuição dos setores para análise de variações batimétricas

e deposição.

Para o estudo de detalhe no setor A no canal de Tapari em frente à Ilha dos Guarás, foram utilizados os dados disponíveis nas folhas de bordo correspondentes aos levantamentos 1959, 1960 e 1972 nas escalas de 1:50 000 e 1:10 000 respectivamente. Desta feita não foram interpoladas curvas batimétricas devido à grande quantidade de pontos disponíveis nas folhas, que deram maior precisão aos perfis.

Os trabalhos desta fase percorreram as seguintes etapas:

- locação de linha de origem para os perfis passando pelas coordenadas $47^{\circ}55'W - 0^{\circ}35'S$ e $47^{\circ}50'W - 0^{\circ}30'S$;
- locação de 14 perfis perpendiculares à linha de origem espaçados de 1000 metros, a partir do ponto $47^{\circ}55'W - 0^{\circ}35'S$;
- execução e comparação de perfis correspondentes, para determinação das áreas sujeitas à deposição e erosão;
- execução de planta de localização das áreas de movimentação, a fim de determinar o arranjo espacial do padrão de sedimentação.

Os resultados obtidos nas cartas náuticas e folhas de bordo são mostrados na FIGURA 14.

B. Cálculo do Volume do Material Movimentado no Período 1959, 1960 a 1972.

Para o cálculo de material movimentado no período considerado de 12 anos, foram utilizados os perfis batimétricos e as plantas de localização.

A partir dos perfis executados, foram anotadas as áreas onde houveram variações de profundidades, sendo essas variações avaliadas por contagem de milímetro quadrado inscrito.

Nas plantas executadas na escala de 1:50 000 foram plotados os intervalos de movimentação, a fim de se determinar os locais de erosão e deposição e os valores de áreas calculadas anteriormente através dos perfis.

Este procedimento foi adotado tendo-se em vista definir formas geométricas mais regulares, e ao mesmo tempo, introduzir um modelo de arranjo espacial para os locais de movimentação de fundo, permitindo desta forma o cálculo dos volumes do material movi

FIGURA 14 - Áreas de erosão e deposição, determinada através da comparação de car
tas náuticas e folhas de bordo.

mentado.

Os contatos entre os locais de movimentação foram construídos geometricamente, isolando-se corpos de formas prismática e piramidal. Os corpos de forma piramidal foram estabelecidos levando-se contra o critério de área de influência à meia distância, quando processos antagônicos (erosão/diposição) ou término da ação de um dado processo, ocorriam em perfis contíguos. Os resultados obtidos são apresentados por setor nas tabelas que seguem:

SETOR A - CANAL DE TAPARI

	Volume de Material depositado por ano (m ³)	Área de Deposição em planta (km ²)	Taxa de Deposição (m ³ /km ² . ano)
Carta nº 302	3926666,6	25,9625	151243,77
Carta nº 313	3919583,3	19,7775	198183,96
Folha de Bordo	3255000,0	19,6125	164965,58
Valores Médios	3700416,0	21,8000	171979,00

	Volume de Material erodido por ano (m ³)	Área de Erosão em planta (km ²)	Taxa de Erosão (m ³ /km ² . ano)
Carta nº 302	4757083,3	24,3870	195066,35
Carta nº 313	4069375,0	14,7850	275236,72
Folha de Bordo	3803333,3	22,5130	168939,42
Valores Médios	4209930,0	20,6000	213,08

SETOR B - CANAL DOS POÇÕES

	Volume de Material depositado por ano (m ³)	Área de Deposição em planta (km ²)	Taxa de Deposição (m ³ /km ² . ano)
Carta nº 302	4099166,6	20,3250	201681,01
Carta nº 313	3107083,3	15,9375	194954,24
Valores Médios	3603124,0	18,1000	198317,00

	Volume de Material erodido por ano (m ³)	Área de Erosão em planta (km ²)	Taxa de Erosão (m ³ /km ² . ano)
Carta nº 302	1698750,0	6,9370	244882,51
Carta nº 313	707083,3	6,4875	108991,65
Valores Médios	1202916,6	6,7000	176937,00

SETOR C - CONTINUAÇÃO DO CANAL DE TAPARI

	Volume de Material depositado por ano (m ³)	Área de Deposição em planta (km ²)	Taxa de Deposição (m ³ /km ² . ano)
Carta nº 302	3637083,3	29,0000	125416,66
Carta nº 313	2706666,6	22,7375	119039,76
Valores Médios	3171874,0	25,9000	122228,00

	Volume de Material erodido por ano (m ³)	Área de Erosão em planta (km ²)	Taxa de Erosão (m ³ /km ² . ano)
Carta nº 302	501250,0	6,0432	8294,78
Carta nº 313	1074166,6	6,4375	16686,83
Valores Médios	787708,0	6,2000	12490,00

C. Discussão dos Resultados

O método comparativo de análise cartográfica utilizado fornece dados numéricos que devem ser considerados como ordens de grandeza.

Utilizando-se plantas de localização das áreas de deposição e erosão podemos observar um padrão de sedimentação altamente coincidente caracterizando os estudos efetuados, como também levantar evidências sobre a dinâmica de sedimentação na área.

No SETOR A, que compreende o canal de Tapari em frente a Ilha dos Guarás, pode-se observar tendência deposição junto à linha de costa, enquanto que do outro lado do canal predomina caráter erosivo. Este padrão de movimentação de sedimentos implica em mudança da faixa de maiores profundidades do canal no sentido SE-NW, sem que haja assoreamento do mesmo, visto que as profundidades se mantêm aproximadamente as mesmas durante o período de 12 anos. Nos perfis 7 e 8, em particular tomando-se como referência a cota - 10 m, nota-se que as seções transversais ao canal, correspondentes a 1972, apresentam contornos semelhantes ao de 1959/60, porém a faixa de maiores profundidades, abaixo da cota - 10 m, está deslocada de cerca de 200 m no sentido NW. Isto nos dá, para o período de tempo considerado, uma taxa de migração da faixa de maiores profundidades de cerca de 16 m/ano.

Os cálculos efetuados indicam predomínio de erosão neste setor, com taxa média de erosão de $420.000 \text{ m}^3/\text{km}^2$. ano distribuídos numa área de $20,6 \text{ km}^2$.

Esses dados evidenciam que o fluxo constante de correntes de maré no canal de Tapari, permite a manutenção do canal com profundidades aproximadamente constantes, variando porém, a faixa de maiores profundidades.

O SETOR B, representado pelo canal dos Poções, mostra predomínio de deposição no seu lado sul como também na confluência com o canal de Tapari, evidenciando tendência fortemente deposicional, com direção de progradação no sentido S-N. Esse caráter é confirmado pelas taxas de material depositado que atinge neste setor uma média de $3\ 600\ 000 \text{ m}^3/\text{km}^2$. ano para uma área de aproximadamente 18 km^2 .

Essa tendência deposicional também prevalece na área abrangida

da pelos perfis A, B, C e D, locados mais a oeste, não apresentando porém, taxas tão elevadas.

Cabe ressaltar ainda o caráter erosivo que se manifesta no SETOR B, junto ao Baixo do Espadarte, mostrando mais uma vez a tendência de movimentação dos canais da área de estudo no sentido SSE-NNW.

SETOR C, compreende a continuação do canal de Tapari, tendo eixo com mesma orientação do SETOR A, SW-NE. Mostra acentuada tendência de deposição junto à linha de costa, como também no centro do canal. A margem norte do canal, junto ao Baixo do Espadarte apresenta desenvolvimento de erosão, tal como o SETOR A, fato esse mostrado claramente nos perfis 15, 16 e 17.

Cabem ainda algumas considerações quanto ao gradiente das margens do canal de Tapari, visto que elas são também indicativas do caráter deposicional nas proximidades da linha de costa, evidenciado nas aerofotos, onde inclinam-se suavemente em direção ao centro do canal, indicando um avanço constante de material no sentido SE-NW. O mesmo já não ocorre junto ao Baixo do Espadarte onde as margens têm caráter abrupto, denotando acentuada erosão, o que é evidenciado tanto pela densidade das curvas batimétricas das cartas nº 313 e 302 como pelos perfis.

Os valores numéricos calculados para o SETOR C mostram predominância de deposição, com uma taxa anual de $3\,170\,000\text{ m}^3/\text{km}^2$. ano distribuídos numa área de aproximadamente $25,9\text{ km}^2$.

Levando-se em conta a análise dos 3 setores estudados fica clara a predominância de deposição na maior parte da região, ressaltando-se que o Canal de Tapari tende a manter sua profundidade. Contudo, a presença constante de faixas de deposição junto à linha de costa, o gradiente das margens do Canal de Tapari, a ação erosiva junto ao Baixo do Espadarte e os deslocamentos observados na faixa de maiores profundidades do canal, evidenciam que o padrão de sedimentação se mantém em equilíbrio, porém constantemente deslocado no sentido SE-NW numa razão em torno de 16 m/ano , para o intervalo de tempo em que há dados disponíveis.

V TENDÊNCIAS EVOLUTIVAS DA SEDIMENTAÇÃO NAS ADJACÊNCIAS DA ILHA DOS GUARÁS.

A Ilha dos Guarás é constituída por sedimentos quaternários holocênicos, predominantemente arenosos, dispostos em cordões litorâneos, planícies dominadas por marés e bancos costeiros. Não se observam afloramentos de sedimentos da Formação Barreiras, porém as indicações dadas por algumas sondagens e por observações de fotos aéreas fazem supor que pequenas espessuras de sedimentos quaternários possam estar capeando restos erodidos dessa formação.

Num contexto mais amplo, a Ilha dos Guarás situa-se na margem leste da foz do rio Pará, enquadrando-se portanto no limite leste do complexo deltáico-estuarino do Amazonas. As embocaduras de rios de construção deltáica são caracterizadas por intensa sedimentação que favorece uma rápida progradação da linha de costa. A foz do rio Pará, especialmente na atual fase, não evidencia um modelo deltáico estrito, aproximando-se mais de um estuário que estaria evoluindo para uma fase mais francamente deltáica.

A transição entre um modelo estuarino, em que as taxas de sedimentação e erosão tendem a equilibrar-se, e um modelo deltáico, caracterizado por intensa sedimentação e progradação da linha de costa, é indicada na área da Ilha dos Guarás por uma linha de costa recortada, já em franco processo progradacional, evidenciado pela construção de numerosos bancos costeiros e de cordões litorâneos.

O equilíbrio entre as condições deltáicas e estuarinas depende grandemente do aporte sedimentar dos rios alimentadores, da energia do mar como agente dispersivo de sedimentos, e das condições de estabilidade tectônica (subsidência) da área de deposição.

Para a área em questão a literatura prévia indica acentuada subsidência quaternária, e ao mesmo tempo uma elevada energia do meio receptor, o que acarreta relativo equilíbrio no crescimento do pacote sedimentar. Porém, uma vez aumentada a carga sedimentar, ou havendo decréscimo de subsidência, pode-se ter novamente um predomínio do crescimento deltáico no sentido de progradação da

linha de costa, que em um ritmo muito acelerado pode afetar a própria vida útil de certas obras de engenharia.

No que se refere às proximidades da Ilha dos Guarás, o estudo comparativo de cartas náuticas antigas e modernas, mostrou que o Canal de Tapari é uma feição que se manteve em tempos históricos com profundidades muito semelhantes às atuais.

O exame de fotografias aéreas de três levantamentos distanciados no tempo entre si, respectivamente de 9 a 4 anos, num total de 13 anos, mostrou um efetivo crescimento da Ilha dos Guarás, no período considerado.

Esse crescimento, que através de fotointerpretação pôde ser observado desde épocas pré-atuais, se faz predominantemente por acreção de sucessivos cordões litorâneos e de bancos arenosos costeiros.

O crescimento mais pronunciado no período considerado é da ordem de até 100 m na área emersa, dando-se na face NW da ilha, com o sentido de SE para NW (em direção ao Canal de Tapari), correspondendo a uma taxa de crescimento de aproximadamente 7 m/ano. Na parte submersa esses valores podem ser menores, porém um efetivo crescimento é sugerido pelo aumento das áreas de exposição dos bancos costeiros.

A análise da movimentação de material de fundo, através de comparação de cartas náuticas, mostrou claramente que o Canal de Tapari tende a manter sua orientação e profundidades, porém não à mesma posição. A tendência de crescimento da Ilha dos Guarás, mostrada nas fotos aéreas, é também marcada na parte submersa, por sedimentação na face SE do canal, enquanto que sua face NW sofre erosão.

Os volumes de material erodido e depositado, calculados para o Canal de Tapari, em valores absolutos são razoavelmente próximos, mostrando que o canal é uma zona de passagem de sedimentos carregados por correntes de maré. Apenas o canal dos Poções apresenta uma tendência mais forte de deposição, porém esta sedimentação obedece a um padrão direcional com sentido de S para N, sendo a zona N do canal dos Poções francamente erosiva. Esta última zona erosiva é claramente mostrada pela variação de forma do Baixo Espadarte nas cartas de 1960 e 1973.

Em síntese podemos dizer que a sedimentação na área de estudo mantém um padrão de evolução que migra de SE para NW. Assim sendo, o Canal de Tapari é uma zona de passagem de sedimentos, com tendência a manter suas profundidades através do tempo, havendo porém, um deslocamento contínuo da sua faixa de maiores profundidades no sentido SE-NW. O canal dos Poções já apresenta certas características predominantes de sedimentação, porém, ainda uma certa tendência à migração é observada no sentido S-N.

A migração da faixa de maiores profundidades do Canal de Tapari teria sido de cerca de 200 m em 12 anos, com taxa de migração em torno de 16 m/ano.

Uma ressalva deve ser feita, quanto às tendências aqui expostas, no sentido de que o padrão mencionado refere-se ao período de tempo observado e que influências antrópicas, como desmatamento, construção de barragens e exploração intensiva ao longo dos rios que fazem parte do Complexo Tocantins - Amazonas, especialmente o Tocantins, podem trazer modificações no meio natural de modo a modificar as taxas de sedimentação na área de sua foz.

A partir dos estudos efetuados na Ilha dos Guarás e adjacências, pode-se concluir que as características geológicas e sedimentológicas da área evidenciam um ambiente instável, com altas taxas de deposição e erosão, além de predominante tendência de crescimento da linha de costa, particularmente no sentido SE-NW.

Dessa forma, haverá um decréscimo de profundidades, próximo à linha da costa, enquanto que na borda oposta (NW) do Canal de Tapari haverá erosão, de modo a acarretar um deslocamento da faixa de maiores profundidades efetivas do canal, embora estas possam se manter aproximadamente as mesmas, tal como vem acontecendo nas últimas décadas.

— No que se refere à instalação e operação de um terminal portuário, a manutenção natural das profundidades máximas do Canal de Tapari (em torno de 20-25 m) representa uma característica favorável; entretanto, os deslocamentos consideravelmente elevados da linha de costa (7 m/ano) e da faixa de maiores profundidades do canal (16 m/ano) constituem condições desfavoráveis, sob o ponto de vista sedimentológico. Levando em conta o grande volume de material transportado, este problema não pode ser contornado de mo

do econômico e permanente, o que aconselha a buscar-se um sítio de melhores condições naturais.

CAPÍTULO IV

PORTOS E TERMINAIS EM BAÍAS: OS CASOS DE SEPETIBA, ESTADO DO RIO DE JANEIRO, ARATU E ENSEADA DOS TAINHEIROS, ESTADO DA BAHIA.

I APRESENTAÇÃO

Nota PENTEADO (1970, p.22) que faltam à costa brasileira "re cortes pronunciados (baías e golfos) que tão bem caracterizam os litorais da Europa e da América do Norte... Faltam os ancoradouros naturais, onde o homem encontra abrigo seguro: os casos dos por tos do Rio de Janeiro e Salvador são verdadeiramente excepcionais no Brasil". É possível que a esses dois sítios portuários, de gê nese fortemente condicionada por fatores tectônicos, se venha a acrescentar umas poucas baías com menores profundidades e condi ções de abrigo, de origem mais diretamente ligada a processos se dimentares costeiros, como é o caso de Sepetiba. Esta baía, eduas feições subordinadas à Baía de Todos os Santos, serão objeto des te capítulo.

Tivemos a ocasião de estudar a Baía de Sepetiba em 1974/75, apresentando os resultados obtidos em dissertação de mestrado PON ÇANO, 1976a), parcialmente publicados (PONÇANO *et alii* 1976 e 1979). Aqui serão eles novamente abordados, a fim de compor o corpo do presente trabalho segundo os objetivos expostos no primeiro capí tulo.

Os casos de Aratu e Enseada dos Tainheiros são mais limita dos, comparativamente a Sepetiba. Entretanto, é possível que ve nhamos a reconhecer alguns pontos comuns a todos.

II BAÍA DE SEPETIBA

O aproveitamento da Baía de Sepetiba colocou-se como alter nativa natural à expansão do Porto do Rio de Janeiro, abarcando am bos a mesma zona de influência, qual seja, os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais (PORTOBRÁS, 1979). Previam-se duas fases de obras: na primeira seria implantado um terminal para importação de carvão a granel, alumina e outros granéis, num total de $5,8 \times 10^6$ toneladas anuais, com possibilidade de ampliação para $8,6 \times 10^6$ to neladas anuais. Na segunda seria instalado um terminal para expor tação de minério de ferro da ordem de 6×10^6 toneladas anuais. A

planície costeira de Itaguaí seria usada para instalação do retroporto. Quando realizamos este trabalho, já estava em operação um terminal da MBR-Minerações Brasileiras Reunidas S.A., instalado na ilha Guaíba.

Procuramos, ao final das investigações, apontar as principais características e tendências da sedimentação da baía, buscando indicar regiões mais sujeitas a erosão e assoreamento. Nessa época pudemos estabelecer de modo mais claro algumas linhas de investigação, comentadas no CAPÍTULO 2, que julgamos ainda produtivas.

A. Resultados Obtidos

A Baía de Sepetiba tem cerca de 305 km^2 de superfície, apresentando por limites norte e leste o continente, a Restinga da Marambaia a sul, e a oeste um cordão de ilhas. Essa feição teria sido implantada em um paleovale escavado durante o último rebaixamento glácio-eustático de nível marinho, de tal sorte que a restinga seria uma feição pelicular, desenvolvida sobre um antigo interflúvio, cujo fechamento teria sido completado após a Transgressão Flandriana.

Ao mencionado paleovale corresponde o canal com 10-15 m de profundidade que passa dentre as ilhas de Itacuruçã e Jaguanum atingindo o interior da baía; esse canal apresenta poções que ultrapassam em pouco a curva batimétrica de 20 m, indicando que as antigas linhas de drenagem vêm sendo colmatadas por sedimentos atuais.

Foram coletadas 273 amostras de superfície de fundo (FIGURA 15) caracterizadas quanto a sua textura e mineralogia.

Em várias dessas amostras forma observadas, quando de sua coleta, pelotas de argila centimétricas, constituídas de material muito coesivo, por vezes incrustado de areia e grânulos. Ocorrem associadas ao canal acima mencionado, e acredita-se que tenham se originado por erosão de sedimentos pré-atuais (de possível idade Riss-Würm) aí expostos.

O diâmetro médio dos sedimentos coletados foi usado tanto na caracterização faciológica quanto como parâmetro indicativo das energias envolvidas nos processos deposicionais (FIGURA 16). Sua distribuição indica dois setores principais na área amostrada, grosso modo separados pelo cordão de ilha situado no limite oeste

FIGURA 15 - Rede de amostragem na Baía de Sepetiba (PONÇANO, 1976a, modificado).

te da baía: um de circulação francamente marinha, indicado por areias grossas, e outro correspondente à baía propriamente dita, caracterizado por siltes, areias médias a muito finas e argilas. O limite entre os dois setores é abrupto, e o padrão faciológico, visto com mais detalhe, sugere passagem de sedimentos de fundo em canais estreitos, entre o cordão de ilhas, de um para outro setor.

A distribuição do desvio-padrão indica predominância de sedimentos pobremente a muito pobremente selecionados, com uma expressiva mancha de sedimentos moderadamente selecionados (FIGURA 17). Estas características são atribuídas a retrabalhamento de material prévio pobremente selecionado da plataforma. Pode-se acrescentar que a seleção é pior no interior da baía, onde há, ademais, contribuição direta de origem fluvial.

A assimetria foi interpretada no sentido de associar faixas de assimetria negativa a zonas de passagem de correntes de fundo; estas correntes removeriam o material mais fino, o que resultaria em distribuições granulométricas com caudas na fração grossa (FIGURA 18).

Similarmente, para a curtose, considerou-se que as curvas leptocúrticas e muito leptocúrticas indicariam faixas de atuação de correntes de fundo (FIGURA 19).

Os padrões de circulação de sedimentos estabelecidos por esses parâmetros foram complementados pela análise da distribuição do diâmetro médio da fração areia, porcentagem de argila, razão grânulo + areia/silte + argila e porcentagem de grânulos.

Adicionalmente, foi analisada a distribuição de teores em matéria orgânica, visando a delimitar áreas mais e menos oxigenadas, correspondentes a zonas de maior e menor movimentação de sedimentos. Os resultados obtidos foram bastante próximos dos indicados pelas características texturais.

Identificação de minerais pesados foi efetuada em 74 amostras, em áreas descontínuas no interior e fora da baía. Uma análise em planta das distribuições de andaluzita, epídoto e anfibólio indicou alguns aspectos dinâmicos, tais como zonas de maior movimentação de sedimentos e *eddies*, estes últimos sugeridos também por dados texturais.

As assembléias mineralógicas de 55 dessas 75 amostras foram

FIGURA 18 - Distribuição da assimetria - Sepetiba (PONÇANO, 1976a).

ainda tratadas por análise de agrupamento, cujos resultados indicaram grande similaridade entre as amostras internas e externas à baía. Não obstante, a distribuição em planta dos diferentes grupos de amostras, sugere localmente movimentação de sedimentos concordante com a obtida por análise textural.

Concluimos então, através dos dados batimétricos, granulométricos e petrográficos, existirem três fontes oceânicas principais para os sedimentos que adentram a Baía de Sepetiba (PONÇANO, 1976, p.38-39): a primeira, "e menos expressiva, formada pelos canais da barra de Guaratiba que possibilitam maior aeração e movimentação na face interna da Restinga da Marambaia. A segunda, em ordem de importância, constituída pela região situada entre a Ilha Grande e o Morro da Marambaia. A terceira, e mais importante, proveniente da baía de Ilha Grande".

"Os sedimentos provenientes da segunda e terceira áreas-fontes juntam-se ao entrar na Baía de Sepetiba, e sua circulação se faz pelas seguintes passagens: entre as ilhas de Itacuruçã e Jaguanum, entre o Morro de Marambaia e a Ilha de Jaguanum, e entre as ilhas do Batuque e Itacuruçã, seguindo pelo Canal de Itacuruçã, desembocando no Saco da Coroa Grande".

"O fluxo proveniente da barra de Guaratiba junta-se à área de movimentação entre o Morro da Marambaia e Ilha de Jaguanum".

"A partir dessas entradas, em especial as do setor oeste da Baía de Sepetiba, formam-se frentes progradaçãoais que tendem a colmatar a baía. Mecanismos de circulação local, *eddies* em especial, podem originar depósitos locais significativos".

"A contribuição de detritos de origem continental fluvial é bastante limitada na Baía de Sepetiba, ficando sua influência restrita a uma faixa colocada a nordeste da Baía, nas proximidades das desembocaduras de canais e rios".

"Tanto os processos de circulação de correntes, quanto os de sedimentação, mostram então que a baía de Sepetiba é uma área de características predominantemente marinhas, provavelmente pela energia das correntes envolvidas e pelo próprio tamanho da baía.

"A energia dos processos de circulação é bem mostrada pela distribuição dos diâmetros médios da fração areia, dos grânulos, bem como do diâmetro médio da amostra total".

"A distribuição dos diâmetros médios da amostra total mostra que o sedimento mais representativo do fundo da Baía de Sepetiba é o silte, seguido de areia e argila. A fração argilosa é especialmente importante na faixa de influência de processos fluviais".

"Mercê da intensa movimentação de que é sede, a Baía de Sepetiba apresenta boa aeração, não se esboçando ambiente euxínico senão em parte de sua metade leste".

Do ponto de vista da implantação de terminais portuários, entendemos à época (PONÇANO, 1976a, p.39-40) que, em termos geológicos a Baía de Sepetiba se caracterizava como "bacia semi-confinada, em fase de assoreamento. Esse prognóstico não é porém significativo em termos da implantação de instalações portuárias, que deve ser analisada com auxílio de elementos cambiáveis em períodos de tempo relativamente curtos em relação à evolução geológica".

"Nesse sentido, a comparação de cartas batimétricas defasadas de cerca de um século mostrou que há nítida tendência de aprofundamento no setor oeste da Baía de Sepetiba, especialmente nas proximidades das ilhas de Itacuruçá e Jaguanum. Essa tendência pode manter-se, e a situação pode ainda evoluir no sentido de haver um maior equilíbrio erosão/deposição. A hipótese contrária, qual seja, tendência ao predomínio da deposição sobre a erosão nessas áreas, não deve ser esperada como provável, dadas as altas energias de transporte de fundo que aí ocorrem, anteriormente mencionadas".

"Há então uma convergência dos elementos analíticos sedimentológicos e topográficos que caracterizam o setor oeste da Baía de Sepetiba como local de circulação ativa, na qual não são esperados problemas de colmatagem generalizada em tempos históricos, mantidas as atuais extensões e modos de ocupação humana da área estudada".

"Os processos de sedimentação e a compartimentação batimétrica da Baía de Sepetiba permitem fazer as recomendações que se seguem, quanto à sua utilização para instalações portuárias".

"O setor da Baía de Sepetiba que reúne as melhores condições de calado, de movimentação de sedimentos, e de aeração situa-se num polígono limitado grosso modo por uma linha norte-sul que passa pela desembocadura do Rio Itaguaí, por uma linha leste-oeste que

passa pela extremidade norte do Morro da Marambaia, e pelo cordão de ilhas que forma o limite oeste da baía".

"Na área acima definida, a situação que se configura mais favorável ao estabelecimento de canais de acesso está entre as ilhas de Itacuruça e Jaguanum".

"Da Ilha de Itacuruçã em direção às ilhas do Martins e da Marambaia, há um decréscimo gradual de energia".

"Nas proximidades da Ilha da Madeira há uma zona de transição entre uma zona de processos essencialmente marinhos e outra de influência fluvial, sendo esta última uma zona de franca deposição".

"Dependendo então do projeto das instalações portuárias, pode-se fazer a opção entre uma área que venha apresentar eventuais problemas de erosão e outra de deposição, existindo transição entre ambas".

"Seguindo a orientação acima exposta, pode-se obter mais pormenores referentes a problemas locais e específicos de erosão/deposição, tais como *eddies* bem como a caracterização dos sedimentos de fundo, a partir dos vários elementos analíticos contidos neste trabalho, ficando claro porém, que muitas das respostas quantitativas necessárias a nível de projeto deverão ser investigadas por outros estudos, em especial por medição direta".

III BAÍA DE ARATU E ENSEADA DOS TAINHEIROS

O estudo de ampliação e revitalização do sistema de transporte hidroviário urbano da região metropolitana de Salvador é parte do objetivo do Ministério dos Transportes de incrementar no Brasil a utilização dos meios de transporte de massa.

Nessa região desenvolveu-se amplo programa de pesquisa aplicada, abrangendo desde as condições do meio físico, até a projeção de frotas e sistemas tarifários, sob os auspícios da Empresa Brasileira de Transportes Urbanos-EBTU. Integrando esse programa procedemos, em 1980 ao estudo da movimentação de sedimentos, através da investigação de duas áreas. A primeira abrange a Enseada dos Tainheiros, onde se encontra o estaleiro de reparos da Companhia de Navegação Baiana; a segunda interessa um setor da Baía de Aratu, onde seria instalado um terminal de passageiros (FIGURA 20).

Procuramos realizar uma integração de dados de caracter regional e local, visando a detectar elementos de grande e pequena ordens que pudessem ser aplicados ao caso em questão.

A. Aspectos da Ocupação das Áreas de Interesse

Uma consulta às coleções de cartas náuticas disponíveis mostrou variações de fundo de magnitudes inaceitáveis, possivelmente por mudança do nível de referência. Consultas feitas a entidades competentes não permitiram esclarecer o assunto, pelo que decidimos não utilizar esse tipo de análise. Entretanto, visando obter dados históricos sobre as variações no regime sedimentar, procedemos a pesquisa sobre aspectos da ocupação humana ligados à Baía do Aratu e à Enseada dos Tainheiros.

Tanto a área de Aratu quanto a de Itapagipe têm uma história de ocupação intimamente condicionada pela própria história de Salvador. Itapagipe, especialmente, por abrigar bairros importantes da capital (Penha e Mares).

Salvador foi durante três séculos a aglomeração urbana mais importante e populosa do Brasil. Sua função portuária existiu desde o início da vida urbana, gerada desde sua fundação pelas recomendações da escolha do local, para se erigir uma "fortaleza forte: mais para dentro da baía, sítio sadio e de bons ares, com abundância d'água e condições favoráveis de porto" (AZEVEDO, 1960).

Não foram evidentemente encontradas condições favoráveis à implantação de grande porto na enseada dos Tainheiros, pois, embora não distante da entrada da Baía de Todos os Santos e abrigada dos ventos do sul, o banco de Itapagipe, na entrada da enseada, sempre limitou o calado das embarcações. A Baía de Aratu, por outro lado, encontrava-se demasiadamente distante. Em Itapagipe, com efeito, sucessivos requerimentos de concessão para exploração de docas foram negados em 1841 (Biober e Cia., com vistas à navegação) e em 1865 (Companhia Baiana, com vistas à implantação de projetos "de um dique a mortona no desarmado e abandonado propugnáculo, destinado não só ao conserto das duas embarcações, como também para auxílio e utilidade do comércio e navegação em geral)" pelo governo imperial, apoiado no fato de haver pouca profundidade d'água, como uma das justificativas (CAMPOS, 1940). Este autor refere-se ao fato, historiando o antigo forte de São Bar

tolomeu de Itapagipe, e complementa tais justificativas com a existência de "vêtigios de antiga mortona, abandonada por se haver construído em terreno pouco sólido".

Assim, as condições favoráveis foram realmente encontradas onde hoje o porto se situa. Este local oferece não só profundidades que permitem a atracação de navios de grande calado, como apresenta abrigo dos ventos que sopram do lado oriental de N até SSE.

Nos anos recentes, o Porto de Salvador vai perdendo sua importância. Segundo MESQUITA (1977) seu movimento portuário vem decrescendo nos últimos anos, em consequência da implantação do Porto de Madre de Deus, terminal marítimo da PETROBRÁS.

Porém, se o porto ficou ali localizado. Itapagipe não deixou de ter relativa importância para Salvador. Com efeito, por ser caminho de comunicação do porto com o interior, representava área militarmente estratégica.

Já em 1638, pequenas fortificações ou *trincheiras* que guardavam um lado e outro da entrada da Baía de Itapagipe, foram tomadas pelos holandeses. Após sua expulsão, foi construído o forte de São Bartolomeu da Passagem de Itapagipe. Nesse início do século XVII, além das fortificações e da ocupação da área por pescadores, relata-se que "entre a cidade e a península de Itapagipe havia um engenho e na península os currais de Garcia D'Ávila e também nela já se punham na praia, navios a seco para consertá-los" (GORDILHO, 1960). Com efeito, segundo COSTA, (1960) o forte também representava uma "sentinela a guardar os navios que iam querenar (*ser restaurados*) esteiro adentro". Ainda segundo o mesmo autor, após ter sido devastado para uso de seu material de construção, foi condenado em 1843 e arrasado em 1903.

O desenvolvimento de Salvador interrompe-se no século XIX, resultado do deslocamento da economia nacional para o sul. A capital baiana viveu então um período de grande estagnação e crescimento lento. Essa situação só mudou a partir de 1940. No início deste século, Itapagipe não era mais que uma "paragem assaz pitoresca e deleitável, não só em virtude das muitas fazendas e casas de recreio que bordavam a praia, como também pelas muitas ilhotas, que pontilhavam o estuário" no dizer de VILHENA (1921, in Campos, 1940). E conclui, assinalando que "do lado do sul ,

por fim, ficavam inúmeras roças, maiores ou menores, em terreno plano arenoso e alagadiço".

A partir de 1940 dá-se portanto, o crescimento recente de Salvador com repercussões importantes em Itapagipe e Aratu. Embora o crescimento não tenha sido homogêneo, dadas as condições do sítio, a cidade avançou sobretudo para N e NE, em direção portanto a Itapagipe.

Para uma visão de conjunto da periferia de Salvador, CARVALHO (1960) define, entre outros setores, o setor ferroviário de Plataforma (São Brás, margem direita da enseada) até Candeias. Este setor passa a ser ocupado por apresentar ligação não só constante e garantida com Salvador, através da ferrovia, mas também por se tratar de área onde a moradia é relativamente mais barata. Não só este setor periférico, mas também os bairros de Penha e Mares passam a ter uma função residencial. Acresce-se a esta função, uma função industrial marcada pela vocação daqueles bairros, Penha e Mares, onde se localizavam nos anos 40, 25 fábricas cujos operários residiam em sua maioria em Itapagipe. Assinala SANTOS (1959) que, embora a história urbana de Salvador tenha conduzido à concentração das funções vitais do Estado no centro da cidade, constitui exceção o parque industrial, embora muito pequeno, instalado naqueles bairros e periferia.

Segundo SANTOS (1959) "a chegada de milhares e milhares de novos emigrantes (impelidos pela seca no sertão) não somente provocou a extensão das superfícies construídas, como soluções heróicas (invasões) como a de Itapagipe na enseada dos Tainheiros".

Segundo CARVALHO (1960), Mares e Penha transformaram-se de zonas residenciais da classe humilde em zonas de classe média, à medida que foi sendo instalada a infra-estrutura urbana. A área se valorizando, fez com que a população de baixa renda perdesse terreno, deslocando-se sobre a enseada em aterros de lixo, primeiro sobre os manguesais e depois sobre a enseada mesmo: - os Alagados.

Este crescente aumento populacional da área, com construções sobre palafitas e aterros de lixo lançados na enseada levou à criação de um órgão responsável por esta área - AMESA - que no princípio da década de 70 iniciou a coordenação dos estudos, projetos e execução das obras na região dos Alagados. Isto sistematizou a

acelerou a aterragem e ocupação da Enseada dos Tainheiros, iniciada por volta de 1940.

Em 1961, na entrada da Enseada dos Tainheiros, iniciou-se a construção do cais de reparo e carreira da CNB, terminado em 1963. A Marina Yacht, foi implantada de 1973 a 1975, próximo ao cais da CNB, porém localizada mais para fora da Enseada dos Tainheiros.

Já a ocupação da área de Aratu só agora tem aumentado sensivelmente, com a instalação de um centro industrial em sua periferia. É o caso da fábrica de cimento Aratu, ao lado de uma das áreas aqui apresentadas.

Considerando-se os aspectos da ocupação das áreas objeto de estudo, podemos destacar o seguinte:

- A área de Itapagipe apresenta problemas de sedimentação que limitaram sua ocupação desde o início do século XVII.
- A partir de 1940 a ocupação desta área se dá de forma mais intensa, deslocando-se sobre a enseada em aterros de lixos e palafitas.
- No início da década de 70 foram aceleradas e sistematizadas a aterragem e ocupação da Enseada dos Tainheiros.
- A ocupação da área de Aratu tem aumentado com a instalação de um parque industrial nesta região, sem reflexos notáveis nos processos de sedimentação.

B. Características da Sedimentação Atual na Baía de Todos os Santos

Ao desenvolvermos este trabalho, em 1980, as principais características dos sedimentos de superfície de fundo da Baía de Todos os Santos haviam sido apresentadas por BITTENCOURT *et alii* (1976), que nela distinguiram 4 fácies principais: areia quartzosa, de lama, de biodetritos e mista (FIGURA 21). Os sedimentos de fácies lama seriam atuais, enquanto que os da fácies mista e de biodetritos seriam do tipo palimpsesto. Isto se deveria a uma história evolutiva em que, durante a última fase de rebaixamento do nível marinho, há cerca de 15 000 anos, a região que hoje é a Baía de Todos os Santos, teria recebido sedimentos continentais fluviais, com a transgressão subsequente, os clásticos grossos teriam se concentrado nas linhas de costa sucessivas, originando os depósitos correspondentes à facies areia quartzosa, que são características do canal que se situa entre a Ilha de Itaparica e Salvador. Ao fi

FIGURA 21 - Distribuição das fácies sedimentares na Baía de Todos os Santos (BITTENCOURT *et alii*, 1976).

nal da Transgressão Flandriana teriam se formado os depósitos conchíferos. Sedimentação argilo-siltosa (fácies lama) teria então tido início, prosseguindo até hoje.

Essa caracterização faciológica foi complementada pela descrição dos argilominerais dos sedimentos de fundo, feita por VILAS BOAS & BITTENCOURT (1979), que distinguiram três regiões principais: uma característica da foz do Rio Paraguaçu (predomínio de caolinita e montmorilonita, illita subordinada), outra abrangendo o terço mais setentrional da baía (predomínio de caolinita e illita, montmorilonita subordinada) que estaria relacionada à alteração de rochas do Supergrupo Bahia adjacentes, e uma terceira, abrangendo a região do canal entre a Ilha de Itaparica e Salvador, do Canal de Itaparica, e algumas porções no interior da baía. Esta última representaria região de aporte e movimentação de sedimentos provenientes da costa, trazidos pela Corrente do Brasil.

Entretanto, levamos em conta a observação de BITTENCOURT *et alii* (1976, p.248) de que as "condições hidrológicas no interior da baía são pouco conhecidas, principalmente no que se refere ao padrão de circulação... Durante a maior parte do ano a Corrente do Brasil flui paralelamente à costa, no sentido sudoeste, penetrando na baía, nos meses de junho e julho, com uma velocidade média, medida na superfície, de 0,6 nã ...". Para trazer elementos adicionais visando a elucidar essa questão, lançamos mão de imagens LANDSAT, coincidentemente as correspondentes a uma tomada de 26 de julho de 1973, possivelmente a única existente com boas condições de cobertura de nuvens.

Procedemos então à análise de imagens 1:1 000 000 dos canais 4, 5 e 7, de acordo com metodologia empregada previamente (PONÇANO, 1976b; HERZ, 1979, VILLAGRA *et alii*, 1980): maior contraste solo/vegetação e água é obtido no canal 7, enquanto que o canal 4 mostra situação de maior penetração de luz na água, favorecendo a detecção de dados de material em suspensão e mesmo batimétricos; os canais 5 e 6 são usados complementarmente. Parte-se ainda da premissa que os níveis de cinza das águas são correlacionáveis à quantidade de sedimento em suspensão, numa escala qualitativa e relativa: quanto mais tendem ao cinza-claro, mais sedimentos portam as águas.

Podemos notar que a morfologia das manchas d'água mais car

regadas de sedimentos em suspensão é fortemente sugestiva de uma corrente costeira SW-NE no setor considerado da costa baiana (FIGURA 22).

O interior da Baía de Todos os Santos mostra a NW da Ilha de Itaparica uma forte influência de descargas fluviais, especialmente do Rio Paraguaçu.

Nota-se que há aparentemente um canal de circulação associado ao Paraguaçu, caracterizado por pouco material em suspensão. Isto explica-se provavelmente por esse rio desaguar na pequena baía do Iguape, onde deve depositar parte de sua carga (AVANZO, 1980).

O setor leste da baía, onde se situam as duas áreas de interesse (Aratu e Itapagipe) não mostra, a este nível de análise, influência fluvial marcante, estando sob influência principal da circulação d'água dominada pela penetração de um ramo da corrente costeira baía a dentro.

Cabe aqui ressaltar que as principais zonas de circulação no interior da baía estão associadas ao canal entre a Ilha de Itaparica e Salvador, e suas ramificações, em contexto batimétrico de prováveis paleovales, tal como tivemos ocasião de expor para o caso de Sepetiba.

Esses entalhes fluviais afogados, similarmemente a outros locais da costa brasileira, vêm ainda hoje funcionando como zona preferencial de circulação d'água como parece ser também o caso do canal de maré ligado ao rio Paraguaçu.

Nessa perspectiva, deve-se notar que não há drenagens importantes associadas às duas áreas de interesse (Itapagipe e Aratu), onde esse tipo de controle de paleocanais não é tão evidente numa análise regional.

Apesar disso pode-se notar, a partir das cartas batimétricas, que essas feições se acham presentes em ambos os locais, sendo que no caso de Itapagipe a migração de sedimentos de fundo obliterou parte do canal, notando-se por esse motivo maiores profundidades no interior da enseada que em sua barra.

Esse modo de circulação d'água define também algumas características da deposição de sedimentos.

Assim, ao lado dos principais canais de circulação regional, delimitam-se zonas preferenciais de deposição, como se nota especialmente a norte do canal associado ao Rio Paraguaçu, no Canal

FIGURA 22 - Padrão regional de circulação d'água e sedimentos em suspensão, a partir de imagens LANDSAT.

de Itaparica, e também na zona leste da Baía de Todos os Santos.

De fato, esse padrão concorda com as fácies sedimentares dos sedimentos de fundo mostrada na FIGURA 21, em que se nota forte predominância de sedimentos lamosos ou mistos nas áreas de deposição acima mencionadas, com exceção do Canal de Itaparica, cuja situação não pudemos entender com os dados disponíveis.

No setor leste da baía, em que se situam as duas áreas de interesse, cabe notar que há decréscimo da influência associada à corrente costeira, de sul para norte, ou seja, de Itapagipe para Aratu, que se reflete num aumento de sedimentos finos nesse mesmo sentido.

Tal diferenciação confere características regionais distintas para as duas áreas de interesse, caracterizando a de Aratu, como menos sujeita a modificações naturais, bruscas de sedimentação.

Não obstante a importância da descarga do Rio Paraguaçu (VILAS BOAS & BITTENCOURT, 1979), pode-se perceber que, similarmente ao caso de Sepetiba, o padrão de circulação d'água e sedimentos é dada por componentes oceânicos, em concordância com a conclusão de WOLGEMUTH *et alii* (1981) de que a distribuição de salinidades na Baía de Todos os Santos mostra ser ela quase que inteiramente dominada por água do mar movimentada por corrente de maré. Ademais, verificaram que a carga sedimentar em suspensão do Rio Paraguaçu deposita-se quase que inteiramente antes de atingir o corpo principal da baía, conforme sugeríamos acima.

Nesse sentido parece ser de fundamental importância as dimensões da Baía de Todos os Santos, cuja superfície é de cerca de 800 km^2 (BITTENCOURT *et alii*, 1976), a que podemos comparar Sepetiba, com cerca de 305 km^2 (PONÇANO, 1976a).

Resta entretanto uma divergência fundamental entre nossas observações e as de BITTENCOURT *et alii* (1976), no que diz respeito à corrente que carrega sedimentos da plataforma para o interior da baía. Para aqueles autores, trata-se da Corrente do Brasil, que flui paralela à costa no sentido sudeste. Ora, o padrão de dispersão dos sedimentos, nas imagens examinadas, indica sentido oposto. É possível que tenhamos aqui uma corrente costeira, e não a Corrente do Brasil, oceânica, como fator principal da circulação de sedimentos e água na Baía de Todos os Santos.

Segundo SILVESTER (1968, 1974) o transporte litorâneo pode ser inferido a partir da morfologia de feições costeiras emersas tais como barras, cúspides, e forma de baías e enseadas. A partir da análise de cartas e outros documentos, para o mundo todo, chega esse autor a delinear o sentido do transporte ao longo da costa brasileira, que no caso do Estado da Bahia, seria N-S, conforme postularam BITTENCOURT *et alii* (1976). Entretanto, usamos os mesmos critérios de SILVESTER, e chegamos à conclusão oposta, para o trecho da costa entre Itacaré e Salvador (FIGURA 23)...

C. Características da sedimentação atual na Enseada dos Tainheiros

A evolução geomorfológica e sedimentológica desta área foi caracterizada por VILAS BOAS & NASCIMENTO, 1979. Dentre suas conclusões destacamos as seguintes:

- a) Antes da deposição dos terraços arenosos ao sul e a oes-
te da Enseada dos Tainheiros, há 2600-3000 B.P., o mar ocupava toda a região de afloramentos desses terraços, deixando emersas algumas ilhas constituídas de sedimentos do Supergrupo Bahia. A partir do fechamento da enseada, iniciou-se a sedimentação argilosa que permanece até os dias atuais.
- b) As enseadas dos Tainheiros e do Cabrito constituem um amiente restrito com energia extremamente baixa, onde se depositam atualmente sedimentos muito finos transportados em suspensão uniforme. Os sedimentos grossos e intermediários que aí se encontram estão em desequilíbrio com o ambiente, tendo sido, portanto, depositados em épocas passadas.

A faciologia dos sedimentos de superfície de fundo, conforme os estudos de VILAS BOAS & NASCIMENTO (1979) é apresentada na FIGURA 24.

Realizamos amostragem cobrindo área algo diferente, abrangendo parte da Enseada dos Tainheiros e parte da baía, visando a estabelecer um padrão de circulação atual de sedimentos, visto as informações disponíveis darem conta de movimentação de areias nessa região. Os resultados obtidos para distribuição do diâmetro médio (FIGURA 25) são, no interior da enseada, essencialmente concordan

FIGURA 23 - Transporte resultante de sedimentos, inferido a partir da morfologia costeira.

FIGURA 24 - Distribuição de tipos texturais em Itapagipe (VILAS BOAS & NASCIMENTO, 1979).

FIGURA 26 - Distribuição de matéria orgânica em Itapagipe (VILAS BOAS & NASCIMENTO, 1979).

tes com os de VILAS BOAS & NASCIMENTO (1979). A distribuição de teores de matéria orgânica obtida por VILAS BOAS *et alii* (1979) (FIGURA 26) e por nós (FIGURA 27) apresentam algumas diferenças.

A distribuição do diâmetro médio não pode ser interpretada de modo simples, associando-se-lhe unicamente a energia de transporte dos sítios correspondentes às diversas fácies reliquias, indicativas portanto de dinâmica pretérita. Entretanto, há que admitir que as areias se movem, dadas as informações sobre o assunto.

Assim, o padrão textural seria parcialmente indicativo da dinâmica sedimentar atual, o que nos levaria a admitir migração do banco arenoso que se coloca na face externa da Ponta de Itapagipe para o interior da enseada, conforme sugere a distribuição das areias grossas. Esta migração de areias poderia ser atribuída à intervenção de corrente local, que redistribuiria ao longo da costa o material da zona de arrebentação. Entretanto, a distribuição de siltes, no trecho entre enseada e baía, pode ser quase que delimitada pela curva de 5m, coincidindo pois com o paleocanal que aí existe. Nesse sentido, esse trecho de paleocanal funciona como uma cuba de decantação.

A situação descrita sugere então entrada, por arraste, de areias, margeando pequena extensão da entrada da enseada, e deposição de finos transportados em suspensão, nas partes interiores da enseada e paleocanal.

Os finos podem ter dupla origem: continental e marinha; neste último caso, adentrariam a enseada transportados por correntes de maré, e se depositariam, quando estas perdessem a velocidade, na região do paleocanal, que funcionaria como obstáculo e armadilha.

Nesse sentido, buscou-se dados adicionais na distribuição de matéria orgânica, admitindo-se que esta pudesse ser indicativa da região sob maior influência de águas continentais. Os resultados obtidos, mostrados na FIGURA 27 sugerem como área de influência de aportes continentais a enseada, o paleocanal, e pequena porção ao longo da costa a norte da enseada. Esta situação é sugestiva de que as correntes de vazante, a cujo barramento se associa a deposição dos finos, passem pelo paleocanal.

Assim, embora não seja possível reconstituir todas as etapas de transporte e deposição de sedimentos, variáveis segundo a

maré, apresentar-se na FIGURA 28 um esboço da provável circulação dos sedimentos de superfície de fundo.

D. Características da sedimentação atual na Baía de Aratu.

A formação e constituição dos sedimentos da Baía de Aratu foram estudadas por BITTENCOURT *et alii* (1974) e LEÃO & BITTENCOURT (1977). Entre as principais conclusões apresentadas por BITTENCOURT *et alii* (1974), sintetizamos as seguintes:

- a) A Baía de Aratu apresenta, em geral, um ambiente de fraca energia, desenvolvendo-se na zona do canal uma energia um pouco maior. A energia que mais pode influir sobre a distribuição e a deposição dos materiais está ligada à ação dos marés, sob o efeito do fluxo e refluxo através do canal.
- b) Alguns depósitos grosseiros são encontrados na baía, constituídos predominantemente por conchas e fragmentos esqueletais originados no local, não estando portanto relacionados à ação de correntes e ondas.
- c) Nas desembocaduras de alguns rios, como os rios de Macaco, Cotegipe e do Córrego São João, existem depósitos representados por grãos de quartzo, devendo estar relacionados a antigos depósitos fluviais do Quaternário, já que esses cursos de água, atualmente, não têm competência para trazer e acumular material arenoso grosso.
- d) A presença de mangues com vegetação característica, na desembocadura dos rios e nas bordas da baía, permite maior aprisionamento e acumulação de material fino siltoso, misturado com material grosseiro.

A distribuição textural dos sedimentos de superfície de fundo, segundo esses autores, pode ser vista na FIGURA 29. Em 1980 realizamos coleta de amostras no entorno da área de possível instalação de terminal marinho, obtendo para todas a classificação de silte muito fino. Alguma variação foi observada nos valores de curtose (FIGURA 30), para que sugerimos interpretação semelhante à feita no caso de Sepetiba, ou seja, as distribuições leptocúrti cas indicariam atuação mais efetiva de correntes de fundo.

FIGURA 28 - Esboço da circulação dos sedimentos de superfície de fundo em Itapagipe, campanha de 1980.

FIGURA 30 - Distribuição da curtose na Baía de Aratu, campanha de 1980

em que haveria menor possibilidade de remoção rápida do material dragado lançado (FIGURA 31).

Levando em conta o caráter de circulação restrita de sedimentos na Baía de Aratu, pode-se considerar que as partes terminais N e S da baía sejam locais de menor energia do meio circulante.

Considerando a limitação de distância (2 km), fica excluída a zona N.

Na zona S, por outro lado, movimentações locais do material dragado lançado poderão afetar o Iate Clube.

Outra alternativa, porém já no limite de distância de 2 km, é a reentrância que existe entre a Ponte do Fernandinho e a Coroa do Cação. O material que venha a ser aí lançado poderá ser parcialmente removido para o canal principal, nada fazendo porém esperar que venha a refluir para o local da obra.

Outro local, finalmente, coloca-se logo a N da Coroa dos Ferreiros, entre o mangue e a isóbata de 3 m. Neste caso também, acredita-se que remobilizações do material dragado lançado venham a transportá-lo parcialmente em direção ao canal principal, sem refluxo importante no local da obra.

Sugeriu-se ainda que o material não fosse concentrado em um único local, mas distribuído pelas alternativas propostas, especialmente as duas últimas.

FIGURA 31 - Áreas de lançamento de material dragado - Baía de Aratu.

CAPÍTULO V

PORTOS EM ESTUÁRIOS: OS CASOS DO POTENGI, ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE; DE SANTOS, ESTADO DE SÃO PAULO; E DE ITAJAÍ-AÇU, ESTADO DE SANTA CATARINA.

I APRESENTAÇÃO

No contexto morfológico da pouco recortada costa brasileira, mencionada por PENTEADO (1970), nosso litoral "extenso, porém pouco recortado, conheceu um rápido processo de seleção de pontos favoráveis, não demasiadamente difíceis de distinguir, em virtude de serem pouco numerosos ... Entre os vários pontos que, pelas suas condições, puderam atrair desde logo o europeu, inclui-se o conjunto insular do litoral vicentino" (PETRONE, 1965, p.13-14). Aí desenvolveu-se o Porto de Santos, o mais importante do país, aproveitando portanto um estuário, e não um privilegiado recorte de baía. Nele tivemos ocasião de realizar várias investigações, entre 1973 e 1985, parcialmente publicadas (FÚLFARO & PONÇANO, 1976 ; FÚLFARO *et alii*, 1976; PONÇANO & FÚLFARO, 1976).

Por outro lado, em 1977 estudamos o estuário do Potengi (FÚLFARO *et alii*, 1978), e em 1982 e 1983 o estuário do Itajaí, de sorte que temos resultados referentes a estuários de três regiões fisiograficamente distintas.

Assim, o mais meridional dos três situa-se em região de clima subtropical, de circulação atmosférica francamente governada por frentes polares, cuja influência já é atenuada à altura de Santos, a cujo setentrião começa a se fazer sentir a influência do anticiclone mesoatlântico, dominante em toda a costa nordeste a partir de Salvador, através dos alíseos. As correntes marítimas que interessam a costa brasileira são apresentadas na FIGURA 32.

II ESTUÁRIO DO POTENGI

O porto de Natal, situado no estuário do Potengi, assim como o de Fortaleza, "tornaram-se importantes na navegação de cabotagem e de longo curso, quando se intensificarem as exportações de sal e algodão, no final do século XIX e início do século XX. Ainda em 1970, o sal figurava como produto importante na exportação por cabotagem em ambos os portos. Contudo, Fortaleza mantém a prima-

FIGURA 32 - Correntes marítimas do Atlântico Sul (ANDRADE, 1970, p.409)

zia regional..." (MESQUITA, 1977, p.221). Mais recentemente vem o Porto de Natal servindo de apoio à prospecção petrolífera da Baía Potiguar.

As investigações que procedemos no estuário do Potengi visaram caracterizar-lhe a constituição dos sedimentos de superfície de fundo, dela inferindo considerações de ordem dinâmica, como subsídio a projetos de melhoria das condições de acesso ao porto. Os resultados obtidos integram cadastro de características do meio físico da área em foco. Os trabalhos desenvolvidos seguiram a orientação geral exposta no CAPÍTULO 2.

A. Geologia

Na região circunvizinha a Natal podem ser reconhecidos basicamente dois grandes conjuntos litológicos: rochas do Grupo Barreiras e sedimentos inconsolidados quaternários (FIGURA 33).

1. Grupo Barreiras

As rochas do Grupo Barreiras presentes na área podem ser en

FIGURA 33 - Situação geográfica, geológica e geomorfológica da área de interesse e localização das amostras. (FOLFARO, et alii, 1978, modif.).

quadradas em duas subunidades distintas, quanto a litologia e local de ocorrência.

A primeira subunidade é constituída por arenitos por vezes conglomeráticos com grãos e grânulos de quartzo angulosos, fortemente cimentados por óxidos de ferro, tornando o conjunto bastante duro e resistente. Algumas variações na intensidade de limonitização dão origem, localmente, a arenitos mais friáveis.

Os afloramentos de arenitos limonitizados ocorrem principalmente na faixa costeira ou bastante próximo dela, e em cotas mais elevadas são observados sedimentos areno-argilosos e argilo-arenosos incipientemente estratificados, de coloração variegada típica, com freqüentes tons avermelhados, formando falésias, algumas das quais atualmente retiradas da linha de quebra mar. Exemplo notáveis dessas falésias são encontrados em Pirangi, na praia de Areia Preta (Ponta do Morcego), na praia do Meio, e na Barreira do Inferno, a sul de Natal.

As camadas variegadas expostas nas falésias mais altas parecem ser correlacionáveis à Formação Guararapes definida por MABESOOONE *et alii* (1972).

A segunda subunidade de rochas do Grupo Barreiras presente na área é constituída por arenitos argilosos esbranquiçados, mal selecionados, com material caulínico e freqüentes intercalações de níveis conglomeráticos com seixos de quartzo bem arredondados. Estes arenitos que ocorrem mais para o interior, em notáveis exposições nos cortes da rodovia que liga Natal a Macaíba, podem ser correlacionados à Formação Macaíba proposta por MABESOOONE *et alii* (1972).

As rochas do Grupo Barreiras, apresentam topo aplainado, bastante recortado em planta, onde assentam-se em discordância os sedimentos quaternários.

2. Sedimentos Quaternários

Os sedimentos mais modernos encontrados na área de estudo apresentam ambientes de mangues, dunas, praias e aluviões fluviais. São no geral inconsolidados e predominantemente arenosos, restringindo-se o material silto-argiloso aos mangues.

No km 4 da rodovia Natal-Macaíba, um corte em areias eólicas

apresenta em sua base depósitos de mangue constituídos por argilas cinza escuras. Este antigo mangue tem seu topo cerca de 7 a 8 m a cima do mangue atual, atestando um nível de mar regional mais elevado em época pré-atual.

3. Recifes

Recifes de arenito dispostos de modo aproximadamente paralelo à atual linha de costa são encontrados ao longo das praias de Jenipabu e do Meio, a norte e a sul de Natal, respectivamente.

Estes depósitos possuem forma alongada segundo a praia atual e são formados por areias grossas conglomeráticas e conglomerados de matriz arenosa, fortemente cimentados por material carbonático. Os seixos são de quartzo e têm superfície muito arredondada.

Nos recifes são observadas estruturas de escavação e preenchimento, e estratificações cruzadas com direções de transporte bastante heterogêneas. Próximo ao Forte dos Reis Magos o padrão de estratificações cruzadas é semelhante ao que se observa na deposição atual das areias na barra, onde várias direções diferentes de transporte se sobrepõem. Afastando-se do Forte em direção sul, o padrão dos estratos cruzados torna-se mais regular com direções de paleocorrentes paralelas ou ligeiramente oblíquas à atual linha de costa. O prolongamento deste recife na praia do Meio, entre o Forte dos Reis Magos e a ponta do Morcego, parece apresentar duas unidades litológicas distintas, uma mais fina na base e outra mais grossa, passando a conglomerática, para o topo.

Ainda na praia do Meio foi verificada a existência de um recife mais interno constituído por areias bem selecionadas de cor creme, cimentadas por carbonatos, com estratificação plano-paralela, e alguns níveis mais escuros representando deposição de minerais pesados. Esse recife interior está sotoposto ao recife do Forte.

As estruturas sedimentares e as características texturais observadas em ambos os recifes levam a supor que o recife mais interno represente uma antiga praia, enquanto que o recife de Natal corresponda a uma barreira arenosa construída nas proximidades da paleo-barra do Potengi.

Os recifes da praia do Meio têm seu topo muito aplainado por

erosão marinha. Atualmente continuam sendo atacados pelas ondas, porém de maneira diversa. O terraceamento se deu com um nível de mar mais alto, uma vez que o embate das ondas atuais se dá apenas em seu flanco voltado para leste; a erosão resultante levou à abertura de canais que na maré alta permitem a entrada do mar na parte interior do recife.

O recife da praia de Jenipabu não pôde ser observado em detalhe, pois encontra-se mais afastado da linha de praia, porém, uma amostra nele coletada mostrou que se trata de um recife de arenito grosso cimentado por carbonatos que deve estar relacionado ao mesmo evento que deu origem ao recife externo da praia do Meio.

Em Pirangi do Sul, durante a maré baixa e ao largo, observa-se uma linha de quebra mar demarcando também um recife.

Os recifes de Jenipabu, de Natal e de Pirangi do Sul encontram-se associados às foz dos rios Ceará Mirim, Potengi e Pium respectivamente. Suas características de barras arenosas sugerem certa permanência dessa rede de drenagem ao longo da história geológica mais recente, quaternária. Sua preservação está ligada em primeira instância à cimentação por material carbonático, que possibilita a litificação destes depósitos, e sua forma atual está condicionada à erosão e terraceamento marinho posteriores, em níveis de mar ligeiramente diversos do atual.

4. Mangues atuais

Os mangues atuais concentram-se nas bordas dos canais de maré do Potengi/Jundiaí tendo uma expressão em área um tanto reduzida. Partindo-se da borda do canal principal ou dos canais secundários para o interior, verifica-se a diminuição progressiva dos mangues, que vão dando lugar a vegetação rasteira típica de planícies arenosas. Mesmo nas áreas de ocorrência dominante de mangues encontram-se "ilhas" de material arenoso.

As numerosas "ilhas" arenosas que se encontram entre os mangues do Potengi/Jundiaí podem corresponder a antigas planícies marinhas pouco elevadas. Possuem altitudes pouco superiores às marés altas e são frequentemente utilizadas para a instalação de salinas, pois a ausência de material silto-argiloso em sua constituição favorece a não contaminação do sal extraído.

Para o interior, em direção ao alto estuário, observa-se a

vegetação típica de mangue bordejando o rio Jundiá até Macaíba, atestando dessa forma a influência das marés até essa localidade.

Os sedimentos depositados nos mangues são predominantemente silto-argilosos, embora material arenoso fino e micáceo ocorra com frequência em muitos pontos observados.

5. Praias e dunas

As praias atuais são embutidas entre pontões rochosos formados pelos arenitos limonitizados do Grupo Barreiras, sendo constituídas por areias médias e grossas inconsolidadas. Para o interior dão lugar a extensos campos de dunas.

A grande mobilidade do material arenoso aliada ao regime de ventos explicam a ampla distribuição em área de depósitos de dunas que se estendem por toda a faixa costeira, avançando também para o interior alguns quilômetros. Na faixa costeira as dunas são muito bem desenvolvidas, atingindo cotas superiores a 100 metros.

A sul de Natal, a partir da ponta de Mãe Luiza, desenvolve-se um possante campo de dunas orientadas segundo NW-SE que se interrompe na localidade de Ponta Negra, reiniciando-se em seguida a sul do acidente geográfico denominado Ponta Negra. Este campo de dunas altas, formadas por areias de cor branca, possui uma cobertura vegetal uniforme, mostrando estabilização em período pré-atual. Seu contato oeste é abrupto e muito bem marcado, contrastando com a superfície aplainada nos sedimentos terciários, que neste local formam seu substrato. O contato leste é erosivo, evidenciando um avanço do mar sobre as dunas, recortando-as e estabelecendo a praia atual.

Neste local as dunas assentam-se sobre depósitos inconsolidados de areias grosseiras, mal selecionadas e mal arredondadas com abundantes estratificações cruzadas formando uma falésia baixa com cerca de 3 m de altura. Próximo à ponta Mãe Luiza estas areias dão lugar aos arenitos limonitizados do Grupo Barreiras, que a partir deste ponto formam o substrato das dunas. Na ponta Negra o substrato das dunas altas também é formado pelos arenitos limonitizados.

No campo de dunas, a sul de Natal, as exposições de areias sujeitas à ação do vento atual são pequenas e restritas, já que a cobertura vegetal fornece uma proteção eficiente.

Ao contrário, a norte do estuário do Potengi/Jundiaí, da Re dinha a Jenipabu, a cobertura vegetal é rarefeita, com árvores de raízes expostas e coqueiros de até 20 m de altura soterrados até a copa, atestando uma retomada dos processos eólicos, que leva ao desenvolvimento de zonas de erosão instaladas sobre as dunas mais antigas. Formam-se, neste campo de dunas, corredores de vento onde são encontrados sedimentos de granulação mais grossa e marcas onduladas de grande comprimento de onda.

Tanto a norte como a sul do Potengi, as dunas para o inte rior são menores, passando a coloração de suas areias de branca pa ra amarelada e avermelhada. Decrescem também em altura e mostram formas longitudinais nítidas orientadas também segundo NW-SE.

O avanço das dunas para o interior condiciona a presença de algumas drenagens, como no caso do riacho Ponte Velha a nordeste de Parnamirim, que neste local tem seu curso adaptado à direção das dunas. Ao mesmo tempo este avanço deve ter barrado alguns rios an tigos ou mesmo canais de maré, dando origem a lagos como os de Ex tremoz e Guamoré próximos à ponta de Santa Rita e o de Juíqui pró ximo à ponta do Cotovelo.

Conforme vimos, as dunas a sul do Potengi acham-se relati va mente estabilizadas, de sorte que, dada a aparente predominância dos ventos sudeste na região de Natal, as areias eólicas não devem contribuir significativamente para o assoreamento do estuário.

B. Geomorfologia

1. Compartimentação geomorfológica da área

O relevo na região de Natal pode ser dividido esquemati camen te em três compartimentos, delimitados em altitude aproximadamente pelas cotas de 10 m, de 40 m, e de 80-90 m, respectivamente.

O nível de 10 m englobaria as planícies arenosas baixas e os mangues situados ao longo do vale do Jundiaí/Potengi. O nível de 40 m é separado do anterior por falésias, muitas das quais já interiorizadas.

Para o interior, o nível de 40 m é representado por uma su perfície aplainada nos arenitos argilosos esbranquiçados, ou por sedimentos arenosos intemperizados, de forte coloração vermelha.

Finalmente o nível de 80-90 m é representado por dunas de

areias brancas já fixadas pela vegetação, que recobrem de maneira descontínua o nível de 40 m. Essas dunas concentram-se principalmente na faixa costeira e vão diminuindo em expressão para o interior.

2. Feições morfológicas

Dentro dos compartimentos acima esquematizados podem ser distinguidas como principais as seguintes feições: tabuleiros, baixas planícies, dunas e praias.

Os tabuleiros mostram em seu topo uma superfície muito plana aproximadamente na cota de 40 m, que em sua maior parte é sustentada por sedimentos terciários do Grupo Barreiras. Rios e pequenos riachos cortam os tabuleiros, estabelecendo aluviões de pequena expressão. Rios de maior porte como o Potengi/Jundiaí, em suas porções inferiores, entalham mais intensamente os tabuleiros terciários estabelecendo amplos aluviões.

Sobre os tabuleiros terciários encontram-se extensos campos de dunas, alçados algumas vezes de até 100 m sobre o nível do mar. As dunas presentes nestes campos, embora apresentando às vezes formas mais complexas, são no geral do tipo longitudinal, podendo ser observados alguns cordões de até 6 km de comprimento.

O maior desenvolvimento das dunas se dá na faixa costeira, decrescendo os campos de dunas, em altura e em extensão, para o interior.

As planícies baixas, que incluem os mangues atuais, separaram-se dos tabuleiros através de falésias, muitas das quais já inativas, uma vez que se encontram afastadas da atual linha de quebra mar.

As falésias, feições típicas de erosão marinha, estão esculpidas em sedimentos terciários do Grupo Barreiras, formando paredões verticais de até mais de 40 m de altura, como ocorre na Barreira do Inferno.

As falésias inativas no geral separam-se da linha de quebra mar pela praia atual e por uma planície arenosa baixa de construção marinha, como pode ser observado na praia do Meio.

As praias da costa próxima a Natal são bastante características, desenvolvendo-se entre pontas de arenitos fortemente cimentados.

tadas da Formação Barreiras, com concavidade para sul. Estas feições, aliadas à própria forma da barra do Potengi seriam indicativas de transporte litorâneo por corrente costeira no rumo norte (SILVESTER, 1968, 1974).

3. Evolução geomorfológica

Segundo FULFARO *et alii* (1978, p.86 e 87), durante o último período glacial, "estando o nível do mar várias dezenas de metros abaixo do atual, deu-se o entalhe e alargamento dos vales fluviais instalados sobre os tabuleiros terciários. Os depósitos marinhos costeiros achavam-se então recuados mais para o interior da plataforma continental, e o vale do Potengi/Jundiaí encontrava-se em formação".

"Seguiu-se uma fase de subida de nível marinho, que chegou a atingir uma cota cerca de 7 m acima do atual nível do mar, como é testemunhado pelo depósito de mangue suspenso do km 4 da rodovia Natal-Macaíba. Durante a fase final desta transgressão processou-se o entalhe das falésias atualmente interiorizadas, bem como a deposição de lençóis arenosos em direção ao continente."

"Teve início então o recuo do mar em busca de seu nível atual, com o conseqüente estreitamento do espelho d'água na região correspondente ao vale do Potengi/Jundiaí. Isto propiciou a formação de manguesais a partir de fundos em processo de emersão, que em alguns locais isolaram pequenas planícies arenosas formadas pelos depósitos marinhos da fase anterior. Concomitantemente deve ter tido início a formação dos campos de dunas, provavelmente por ação eólica sobre materiais fornecidos pelo enxugamento de extensas superfícies costeiras anteriormente submersas."

"Em nível do mar já próximo do atual, por combinação da atuação de correntes costeiras e diferenças de resistência litológica das rochas do Grupo Barreiras, formaram-se as praias escavadas entre pontões rochosos limonitizados, características das proximidades de Natal. Ao mesmo tempo houve coluvionamento em direção ao interior do continente, testemunhado por sedimentos areno-argilosos de cor creme, que preenchem tubos anteriormente formados por erosão marinha nas falésias da ponta Negra e ponta do Morcego."

"Na fase final de descida do nível marinho teve lugar a formação, e subseqüentes terraceamento e emersão, de barreiras areno-

sas associadas às barras do Potengi/Jundiaí, Ceará-Mirim e Pium, originando os atuais recifes."

"Estabeleceu-se então o mar em seu nível atual, permitindo que a ação das ondas das marés enchentes abrissem passagens nos recifes mais próximos à costa, como na região da praia do Meio, com a formação periódica de pequenos corpos d'água circunscritos pelo continente e recifes."

"Correntes paralelas à costa retificaram a linha costeira, formando falésias nas porções mais proeminentes e homogêneas das rochas do Barreiras, tais como a Barreira do Inferno."

"A atuação eólica deve ter sido efetiva em todo o período regressivo, havendo porém progressiva fixação dos campos de dunas a sul do estuário, enquanto que a norte ela persiste ou sofre uma acentuada retomada."

"Com a estabilização do nível marinho o estuário do Potengi/Jundiaí adquiriu contorno próximos aos atuais, modificados tão somente pelo contínuo crescimento de manguesais canais de maré adentro, e por remobilizações de sedimentos, ora escavando seu leito e margens, ora deslocando bancos arenosos."

C. Variações batimétricas

1. Morfologia atual

A atual batimetria da área de estudo, observada através das cartas DNH n^{os} 802 e 810, pode ser dividida em dois grandes compartimentos com características distintas, a saber, compartimento de mar aberto, e compartimento do estuário, com canais de maré.

No compartimento de mar aberto, em relação aos traços mais amplos, observa-se à cerca de 15 km a nordeste de Natal, que o contorno da isóbata de 20 m descreve uma reentrância de direção NE-SW, demarcando com clareza um pequeno canal. No centro deste pequeno canal encontram-se profundidades de 21 a 22 m, margeadas por fundos de 15 a 18 m.

Pouco mais a sul, o contorno da isóbata de 20 m delineia uma crista estreita e alongada, com direção N-S, que constitui neste local um alto com profundidades de 15 a 18 m. Nas margens dessa crista as profundidades crescem rapidamente, encontrando-se em seu lado oeste profundidades em torno de 23 m. No lado leste a

passagem é mais abrupta, encontrando-se fundos de 25 a 28 m de profundidade.

Este conjunto de feições se assemelha muito à atual barra do Potengi, podendo corresponder a uma páleo-barra e um páleo-recife construídos em um nível de mar de cerca de 20 m abaixo do atual, segundo o esquema de oscilações marinhas anteriormente sugerido.

Ainda na área de mar aberto, com respeito ao setor mais próximo da costa pode-se observar uma nítida mudança no contorno das isóbatas de 5 a 10 m, a partir da barra do Potengi para norte e para sul.

A sul da barra, a isóbata de 10 m margeia a costa a uma distância média de cerca de 800 m, aproximando-se progressivamente da costa em direção ao norte. Junto ao Forte dos Reis Magos encontra-se a apenas 200 m do recife. Padrão idêntico é apresentado pela isóbata de 5 m, que chega mesmo a encostar no recife a sul do Forte dos Reis Magos.

A norte da barra do Potengi as curvas afastam-se da costa situando-se a isóbata de 10 m cerca de 2,0 a 2,5 km da praia da Redinha.

Este padrão de distribuição das isóbatas evidencia que a norte do Potengi ocorre uma superfície bem pouco inclinada formando quase um "platô" com profundidades em torno de 5 a 6 m, avançando em direção ao mar aberto. Por outro lado, a sul da barra a zona de mudança de profundidades é bastante estreita configurando uma superfície bastante inclinada, chegando a constituir-se próximo ao Forte dos Reis Magos em um paredão, onde encostado ao recife já se encontram profundidades de 7 e 8 m.

A partir da isóbata de 10 m para leste encontra-se em toda a área, tanto a norte como a sul do Potengi, uma superfície com poucas irregularidades, caindo suavemente para o mar com profundidades em torno de 12 m.

Apenas a leste da ponta de Mãe Luiza ocorrem algumas irregularidades constituídas por altos fundos à cerca de 9 m de profundidade.

No compartimento do estuário e canais de maré podem ser distinguidas zonas de maior profundidade situadas em geral defronte a zonas de baixa profundidade com bancos e coroas.

"Observa-se que as zonas mais profundas do canal principal situam-se junto às margens côncavas, enquanto que as zonas de baixas profundidades situam-se nas margens convexas. Este padrão evidencia um canal principal de seção assimétrica. Pouco a sul da pedra do Oitizeiro encontra-se a única exceção, onde *a grosso modo* a zona mais profunda situa-se no centro do canal. Dentro das zonas de maior profundidade, em toda a margem direita do Potengi, da pedra do Oitizeiro até as proximidades da gamboa Manimbu encontra-se uma faixa alongada e estreita com profundidades em torno de 11 m, sendo a zona mais profunda do estuário. Também junto à Redinha e na boca da barra encontram-se grandes profundidades, chegando a valores de 13 e 15 m " (FÚLFARO *et alii*, 1978, p.87).

Nos canais de maré, a norte da ponte rodoferroviária de Iga pó, e na gamboa Jaguaribe, embora as cartas 802 e 810 não contivessem informações batimétricas, foi possível observar durante os trabalhos de campo, que persistia o padrão assimétrico do canal principal, com maiores profundidades nas margens côncavas e baixos nas margens convexas.

"Para o interior do estuário, as zonas de baixa profundidade situadas nas margens convexas estão no geral associadas ao crescimento dos mangues. Já no baixo estuário, das proximidades do farolete Potengi até a barra, os bancos e coroas das zonas de baixa profundidade são constituídos essencialmente por material arenoso, como por exemplo nos bancos Jaguaribe e das Velhas, acarretando uma grande mobilidade destas feições. Observando-se as profundidades existentes nas proximidades da barra, é notável a presença de uma elevação topográfica justamente à entrada da barra, configurando uma soleira." (FÚLFARO *et alii*, 1978, p.87).

"Entre os recifes de Natal e da Baixinha encontram-se profundidades de 12 a 15 m; seguindo-se em direção ao interior do estuário as profundidades passam para 8, 7 e 6m, voltando a atingir valores mais elevados 9, 11 e 13 pouco a sul da Redinha." (FÚLFARO *et alii*, 1978, p.87).

Ainda de acordo com FÚLFARO *et alii* (1978), as acima mencionadas características morfológicas permitiriam atribuir a foz do Potengi à categoria de estuário com soleira rasa, segundo a classificação de CURRAY (1969).

2. Comparação de cartas batimétricas

Realizamos uma avaliação das variações batimétricas da região de interesse ao porto através de dois pares de cartas, defasados de 9 e 32 anos, respectivamente.

O primeiro conjunto utilizado compreende a planta do Porto de Natal na escala 1:2 500, levantamento realizado pela Fiscalização do Porto de Natal da Inspeção Federal de Portos, Rios e Canais em 1927, e a planta também na escala 1:2 500, levantamento realizado pela Fiscalização do Porto de Natal - DNPN em 1936.

O segundo conjunto compreende as cartas nº 802, Porto de Natal, levantamentos realizados pela Marinha do Brasil, Diretoria de Hidrografia e Navegação, em 1941 na escala de 1:6 500 e 1973 na escala de 1:8 500.

A escolha dos conjuntos a serem comparados baseou-se na uniformidade de técnicas usadas na confecção das cartas. As cartas antigas de 1927 e 1936 foram elaboradas de forma semelhante, já as cartas mais modernas da DHN foram elaboradas com técnicas mais avançadas, com a utilização de sondagens sônicas de perfilagem contínua. Dessa forma julgou-se conveniente a comparação apenas entre as cartas que não apresentassem diferenças significativas quanto às técnicas de elaboração.

A comparação das cartas de 1927 e 1936 mostrou-se de pequena confiabilidade uma vez que os contornos do canal principal do Potengi apresentavam grandes diferenças de uma carta para outra, invalidando parcialmente as observações sobre as variações batimétricas ocorridas nesse período.

Em virtude dessas variações foi dada ênfase à comparação das cartas da DHN que, embora apresentando algumas imprecisões, mostraram-se mais uniformes quanto ao contorno do canal e posicionamento planimétrico dos acidentes geográficos (recifes, pontões, etc.).

O primeiro passo para o início da comparação foi a redução da escala da carta de 1941 de 1:6 500 para a escala de 1:8 500 correspondente à carta de 1973. A seguir foram interpoladas geometricamente as curvas batimétricas de 6, 7, 8, 9 e 12 m em ambas as cartas, mantendo-se as curvas de 1, 3, 5 e 10 m que já estavam traçadas também nas duas cartas.

O passo seguinte foi a superposição por transparência das

duas cartas, avaliando-se então as áreas onde ocorreram mudanças batimétricas (FIGURA 34).

De acordo com FÚLFARO *et alii* (1978, p. 88), no setor de mar aberto "a variação mais importante observada foi a sensível aproximação em direção à costa da isóbata de 10 m nas proximidades da barra. Na carta de 1941, a isóbata de 10 m situava-se à cerca de 1050 m do recife de Natal. Já em 1973 essa distância era de 220 m, ou até menos, o que resulta numa variação de cerca de 830 m no período considerado".

"Na área do canal de acesso, situada a norte de gamboa Manimbu até a barra, também predominam áreas de erosão, contudo nesta área ocorrem com mais frequência áreas de deposição, e a própria distribuição em planta das áreas de erosão/deposição é mais complexa."

"Com o objetivo de detalhar as variações ocorridas nesta última área foram confeccionados 7 perfis transversais ao canal principal, igualmente espaçados de 255 m e paralelos entre si. A fim de se obter melhor precisão foi convencionalizada uma linha de origem comum aos perfis. Esta linha é orientada segundo N45E passando por cruzamentos de coordenadas. A escala horizontal dos perfis é a mesma da carta DHN nº 802 (edição de 1973) e a escala vertical é de 1:500, resultando numa sobrelevação de 17 vezes." (FIGURA 35). Os resultados obtidos mostram predominância de erosão na margem direita do estuário, e de deposição na esquerda.

D. Características da coluna sedimentar rasa da foz do Potengi

De modo análogo as variações batimétricas, pode-se compreender a análise da coluna sedimentar do fundo estuarino, pois ela também é orientativa na avaliação da história mais recente, que vem a permitir compreender a dinâmica atual.

Dezessete amostras foram coletadas por amostrador *piston-corer*, quinze das quais no interior do estuário (FIGURAS 36 a 38).

De acordo com FÚLFARO *et alii* (1978, p. 96 e 97) os resultados obtidos "permitiram caracterizar quatro zonas distintas, que refletem diferentes condições de sedimentação para a região estuarina".

"A primeira zona compreende a porção terminal do estuário,

— CONVENÇÕES —

- ÁREA DE EROSÃO
- ÁREA DE DEPOSIÇÃO

FIGURA 34 - Variações batimétricas na foz do Potengi, entre 1941 e 1973 (FÚLFARO, *et alii*, 1978, modif.).

FIGURA 35 - Perfis batimétricos ao longo da foz do Potengi (FÚLFARO *et alii*, 1978).

FIGURA 36 - Perfil esquemático das amostras PC-45, 47, 111, 114, 119 e 127 (FÚLFARO *et alii*, 1978).

FIGURA 37 - Perfil esquemático das amostras PC-129, 131, 133, 137, 140 e 142. (FÚLFARO *et alii*, 1978).

FIGURA 38 - Perfil esquemático das amostras PC-145,148, 150,152 e 158 (FULFARO *et alii* , 1978).

e desenvolve-se da boca da barra para sudoeste, até as proximidades da gamboa Jaguaribe. Esta zona é caracterizada pelas amostras PC-45, PC-111, PC-114 e PC-119."

"As três primeiras amostras mencionadas são isentas de material fino, constituindo-se de areias médias, sem estratificação visível, incluindo fragmentos de conchas, grânulos de quartzo, e pelotas de argila. Na superfície de fundo o material é semelhante, indicando continuidade nos processos deposicionais."

"O perfil PC-119 mostra nos primeiros 25 cm a partir do topo areias finas passando a areias médias, com grânulos de quartzo e pelotas de argila, material semelhante ao das amostras precedentemente descritas. No entanto, em direção à base dessa amostra ocorrem níveis de material argiloso interestratificado com areias, sugerindo uma passagem a sedimentos mais antigos. Isto situaria a amostra PC-119 na transição para a segunda zona, descrita a seguir."

"A segunda zona se estende de norte da pedra do Oitizeiro até pouco a sul da gamboa Jaguaribe, coincidindo com o setor mais profundo do estuário, e é caracterizada a partir das amostras PC-127 e PC-129, que mostram uma delgada camada de areias finas a médias recobrendo camadas argilosas razoavelmente coesas. Essa mesma situação foi evidenciada pelas amostras de superfície de fundo dos pontos 126, 129 e 130. Temos aqui duas fases de sedimentação totalmente distintas, colocadas em conjunto por uma situação batimétrica especial."

"De fato, esta segunda zona do estuário corresponde a um sulco erosivo que corta sedimentos mais antigos que os característicos da atual dinâmica de sedimentação do Potengi. Assim, tem-se a exposição de sedimentos argilosos coesos subatuais nos baixos fundos batimétricos, capeados por uma película de areias em movimentação, sendo estes últimos sedimentos compatíveis com a dinâmica sedimentar atual."

"A exposição de antigas argilas nesses fundos batimétricos explica ainda a origem das pelotas de argila, que seriam formadas a partir do desprendimento de fragmentos argilosos coesivos, subsequentemente rolados e transportados como clásticos grosseiros."

"A terceira zona se estende da pedra do Oitizeiro até as

proximidades das amostras 146 e 147, sendo caracterizada pelas amostras PC-133, PC-137, PC-140, PC-142 e PC-145. Os perfis dessas amostras são constituídos por areias finas e muito finas, bem selecionadas, sem estratificação visível. Suas características sugerem que tenham origem eólica, tendo sido levadas ao canal do Potengi, onde foram posteriormente retrabalhadas pelas correntes de maré. Este retrabalhamento é documentado pelas pelotas de argila e fragmentos de conchas incluídos nas areias dessas amostras."

"A quarta e última zona se estende para as porções mais interiores do estuário, e é caracterizada pela presença de colunas sedimentares em que dominam camadas silto-argilosas, com pequenas intercalações de finas camadas arenosas, atestando prevalência de ambiente de baixa energia. A amostra PC-148 seria indicativa de transição da terceira para a quarta zona, enquanto que as amostras PC-150 (canal principal) e PC-158 (canal secundário) são típicas da quarta zona."

"Na parte superior da amostra PC-152 ocorrem areias grossas e médias, mal selecionadas, e mesmo alguns seixos de quartzo, material sobre o qual se decanta, em superfície, material fino silto-argiloso. Tem-se aqui novamente, à semelhança do canal mais profundo do estuário, um material herdado de fase prévia, sobre o qual se assentam os sedimentos representativos da atual dinâmica da sedimentação estuarina. Neste caso, o material mais grosseiro, com seixos, representa sedimentos preteritamente depositados pelo Potengi, em regime fluvial, enquanto que o material silto-argiloso superior representa as condições de circulação estuarina atual, configurando o alto estuário do Potengi como zona de baixa energia."

"Nesta quarta zona deve-se levar em conta então que diâmetros médios elevados representam uma contaminação dos sedimentos representativos de superfície pelo material fluvial mais antigo."

"O topo da coluna sedimentar do estuário do Potengi caracteriza-se então por sedimentos arenosos em seu médio e baixo curso, e por sedimentos mais finos em seu alto curso e ramos secundários. Isto configura para o intervalo de tempo correspondente condições enérgicas de movimentação de sedimentos por correntes de maré, como se observa ainda atualmente, propiciando a deposição de finos apenas nos setores terminais do estuário, e gamboas associadas".

"Na análise dos testemunhos, variações significativas fora do padrão acima delineado parecem estar evidentemente relacionadas a depósitos prévios, não atribuíveis ao atual sistema estuarino."

"Cumpra finalmente lembrar que as areias, quase onipresentes, são abundantes tanto em áreas fonte continentais (arenitos Barreiras e dunas), como marinhas. Neste último caso é significativo notar que o primeiro setor do estuário possui areias com diâmetros médios maiores que os demais setores, sugerindo entrada de material a partir da plataforma, cujo diâmetro médio é mais alto, conforme descrição do PC-47 e amostras de superfície de fundo do mar aberto."

E. Características dos sedimentos de superfície de fundo

1. Composição granulométrica.

As características climáticas de semi-aridez regional, que resultam em baixas taxas de fornecimento de material terrígeno para a plataforma continental, aliadas a condições de altas salinidade, temperatura e transparência das águas oceânicas, favorecem o crescimento de intensa vida vegetal, principalmente algas calcárias. Em decorrência, pode-se reconhecer na plataforma adjacente à costa potiguar duas fácies sedimentares predominantes, uma quartzosa e outra algosa; esta última compõe-se em mais de 90% de algas calcárias viventes e construtivas, sendo as mais frequentes *Hali meda* sp. e *Lithothamnium* sp (KEMPF *et alii*, 1972).

Segundo FÚLFARO *et alii* (1978, p.90 e 91), além da origem autógena, "o material biodetrítico possui um comportamento hidráulico bastante diverso do material clástico terrígeno em função das diferenças de densidade. Na granulação cascalho, por exemplo, o material biodetrítico possui um valor de densidade muito inferior ao do material quartzoso equivalente, uma vez que possui uma série de espaços vazios."

"A medida em que esse material vai sendo transportado há uma cominuição, tanto mais efetiva quanto maior o transporte, que acarreta uma diminuição dos vazios, de forma que a densidade do material biodetrítico de granulação mais fina atinge valores mais elevados."

"Com a progressiva cominuição poder-se-ia supor que certas areias calcárias finas chegassem a ter densidades semelhantes à do quartzo, ou mesmo em caso extremo de ausência de vazios, densidades superiores, próximas dos valores da calcita ($2,72 \text{ g/cm}^3$) e da aragonita ($2,95 \text{ g/cm}^3$), que são os minerais mais comuns formados desse material".

"Na região de Natal o material algáceo vivente e em crescimento é um dos principais constituintes dos biodetritos, sendo coletado em geral sob a forma de pedaços centimétricos, grosseiramente esféricos, com muito vazios. O restante do material encontrado nas amostras biodetríticas, além da grande variação dos espaços vazios, é constituído por clásticos das mais variadas formas, tornando extremamente difícil e especulativa qualquer tentativa de comparação de seu comportamento hidráulico com os clásticos terrígenos".

"Mesmo reconhecendo-se previamente estas dificuldades, foram analisadas as características granulométricas das amostras de composição mista e de composição biodetrítica, a fim de se detectar um possível padrão de comportamento do material biodetrítico. Nesse sentido foram determinadas em separado as curvas de distribuição granulométrica do material clástico quartzoso e do material biodetrítico, sendo também confeccionadas as curvas de frequência simples da distribuição quartzo e da distribuição biodetrítica".

"A análise desses resultados mostra uma extrema dispersão e aleatoriedade com relação aos dados do material biodetrítico, confirmando que não são passíveis de tratamento analítico...". "Este fato deve ser explicado pela origem orgânica e autógena deste material biogênico, que no geral está em crescimento no próprio local, fornecendo fragmentos dos mais diversos tamanhos".

"Em virtude das limitações acima referidas optou-se por considerar para fins de interpretação dos parâmetros estatísticos apenas a distribuição terrígeno-quartzosa, uma vez que os constituintes dessa fração possuem um comportamento hidráulico mais definido...". "Foi ainda convencionado arbitrariamente o limite de até 50 % de material terrígeno-quartzoso nas amostras que foram usadas para fins de interpretação. Todas as amostras com menos de 50 % deste material em sua composição não foram consideradas nas interpretações dos diferentes parâmetros estatísticos".

A rede de amostragem de sedimentos de superfície de fundo consistiu em 127 estações cobrindo parte do estuário do Potengi, e uma porção da plataforma adjacente. Há que se notar que esta ma lha não cobre toda a extensão do estuário, pois, como mencionamos previamente, formações de mangue apresentam-se ainda à altura de Macaíba. Entretanto, o limite montante da amostragem coincide com o final da porção mais larga do estuário, provavelmente seu setor de maior movimentação de sedimentos e de águas.

As relações entre as fácies biogênica e quartzosa bem como sua distribuição em área, observadas através do mapa de isoporcentagem de biodetritos mostram um padrão bastante definido (FIGURA 39).

Os teores de material carbonático mostram acrêscimo acentua dos de oeste para leste. A zona de mudança dos teores é muito pró xima da costa junto à Ponta de Mãe Luiza, afastando-se progressivamente para norte. A ampliação da área de domínio dos terrígenos é acompanhada por um maior espaçamento entre as curvas de isoteor justamente a partir da barra do Potengi, evidenciando claramente a contribuição de material clástico oriundo do sistema Potengi/Jun dia í.

Com relação aos sedimentos da fácies quartzosa, o mapa de distribuição de diâmetros médios mostra no setor de mar aberto uma ampla distribuição de sedimentos arenosos (FIGURA 40).

Ao longo da cidade de Natal ocorre uma faixa de areias gros sas a muito grossas cujo limite leste é provavelmente condicionado pela corrente que propicia o desenvolvimento das colônias de algas.

Junto à linha de costa, entre a Ponta de Mãe Luiza e o For te dos Reis Magos, encontram-se faixas de areias finas e muito fi nas, que dão lugar a areias médias, em faixa que se amplia e se alarga para norte, dominando toda a zona da barra do Potengi. Jun to à entrada da barra uma faixa de areias grossas interrompe o do mínio de areias médias.

No interior do estuário dominam sedimentos arenosos finos, encontrando-se material mais fino apenas na desembocadura de gam boas, associado ao crescimento dos mangues, e mais para o inte rior, já no alto estuário, onde decresce consideravelmente a movi mentação das águas.

As areias médias e grossas encontradas na porção terminal do estuário e junto à saída da barra podem ser atribuídas a transporte de fundo barra adentro a partir das areias mais grosseiras encontradas na plataforma. Essas areias adentrariam a barra por correntes de enchente ou ainda em condições tais que a corrente costeira oscilasse em direção ao continente.

Por outro lado, a zona de areias finas encontradas a sul da Ponta de Santa Rita poderiam ser atribuídas a contribuição de material mais fino provenientes do sistema Potengi/Jundiaí.

Tal distribuição de sedimentos de fundo sugere, no estuário do Potengi, domínio de movimentação de sedimentos por correntes de maré, permitindo a movimentação de sedimentos arenosos até as proximidades da estação 147. Só a partir daí decresce consideravelmente a movimentação, ocorrendo a deposição de material mais fino.

O mapa de distribuição do grau de seleção mostra no setor de mar aberto a norte da barra, incluindo a saída do Potengi/Jundiaí, sedimentos moderadamente selecionados (FIGURA 41). A sul da barra, bordejando a costa, encontra-se uma faixa de sedimentos muito bem e bem selecionados, que devem estar relacionados à zona de domínio dos processos costeiros.

Para o interior do estuário dominam fundos de material moderadamente selecionados, encontrando-se sedimentos pobremente e muito pobremente selecionados apenas nas partes mais interiores (alto estuário). As anomalias de material bem e muito bem selecionado que ocorrem no interior do estuário devem-se provavelmente, a contribuições locais de material de origem eólica com características originais de bom selecionamento.

A distribuição de assimetrias (FIGURA 42) mostra predomínio de valores negativos na maior parte do estuário e plataforma continental, o que consideramos indício de atuação efetiva tanto das correntes de maré, como costeira, na remoção das frações mais finas dos sedimentos de fundo. Sob essa mesma ótica, a porção mais a montante do estuário, com assimetrias positivas, seria indicativa de ambiente menos enérgico. A faixa de assimetrias positivas que se estende defronte à zona de fundos algosos, e se prolonga em direção à barra do Potengi, poderia ser indicativa de população característica do limite leste da corrente costeira.

No que se refere à curtose (FIGURA 43) predominam distribuições leptocúrticas e muito leptocúrticas no estuário e na plataforma. Podemos interpretar que esses valores sugerem populações com modas bem definidas, o que seria indicativo de área-fonte única, ou de efetivo processo de seleção. Considerando a exposição procedente, parece-nos esta última a melhor hipótese. Nesse sentido, a faixa de sedimentos mesocúrticos, platicúrticos e muito platicúrticos ao longo das praias, poderia ser entendida como região de mistura de sedimentos de origens diversas, por transporte litorâneo.

A distribuição do diâmetro médio da fração areia evidencia também um decréscimo de energia em direção ao interior do estuário, especialmente a partir da desembocadura da gamboa Jaguaribe, passando as areias médias de junto da barra para areias finas e muito finas mais para o interior. No entanto persiste em quase todo o setor investigado do estuário, energia suficiente para movimentação de material arenoso.

2. Composição mineralógica

Buscando verificar as relações entre as amostras através de método independente das classificações texturais, procedemos à análise de 68 amostras regularmente distribuídas na malha de amostragem.

Através de análise de agrupamento realizada com os resultados de frequência dos minerais pesados foi possível subdividir a área de interesse em setores bem definidos caracterizados por grupos de amostras distintos (FIGURA 44). Os vários grupos de amostras correlacionáveis entre si permitiram a delimitação de três setores: o setor do estuário, o setor de mar aberto mais próximo da costa situado a norte da barra, e o restante do setor de mar aberto incluindo a porção costeira a sul da barra. Esses resultados vêm de encontro às considerações tecidas com base nas interpretações sobre a distribuição do material de superfície de fundo. O setor do estuário é caracterizado por amostras com elevado coeficiente de correlação, similares às que ocorrem também no setor de mar aberto a norte da barra. O restante da área de mar aberto é caracterizado por amostras exclusivas desta área, que, entretanto, ocorrem também na porção terminal do estuário, mostrando

claramente a entrada de material oriundo da plataforma para o interior do estuário.

F. Síntese da dinâmica sedimentar atual

Segundo FÚLFARO *et alii* (1978, p.97 e 98) "pode-se caracterizar o sistema Potengi/Jundiaí como um estuário de equilíbrio recém adquirido, balizado por uma soleira rasa em sua entrada".

"Os principais modos de circulação d'água que atuam nessa área são comandadas por uma corrente costeira sul-norte, que passa nas proximidades da costa de Natal, e por correntes originadas pelas marés, que adentram e saem do estuário".

"Esses fatores, em interação com a morfologia do estuário, condicionam a sedimentação subaquática".

"Assim, na zona de dominância da corrente costeira há condições propícias à formação de fundo algoso, que transicionam em direção à costa para material terrígeno-quartzoso".

"Por outro lado, na movimentação de águas estuário adentro, há um aporte de material terrígeno-quartzoso mais grosseiro proveniente de mar aberto, que é acumulado na parte interna da barra. Para o interior do estuário, domínio de correntes originadas por marés, começam a depositar-se sedimentos de granulação sucessivamente mais fina, chegando a uma fácies silto-argilosa no alto estuário. Este quadro pode por vezes ser nascardado por contribuições laterais de material detrítico, ou material herdado de fases mais antigas".

"Num movimento de saída de correntes, tem-se movimentação e deposição de material mais fino e restos vegetais, provenientes do interior do estuário, em direção a mar aberto. Este material é levado barra afora, caracterizando uma região de sedimentos mais finos a norte da barra do Potengi/Jundiaí. Neste caso a soleira funciona como elemento de retenção do material mais grosseiro transportado por tração. A deposição dos finos em mar aberto por sua vez faz-se para norte por comando da corrente costeira".

"As gamboas são braços secundários de circulação no interior do estuário, e constituem palco de sedimentação mais fina".

"Com exceção de pequenas contribuições laterais ao longo do estuário, pode-se considerar que os processos sedimentares se fa

zem a partir de material subaquático, já que os campos de dunas a sul do Potengi/Jundiaí encontram-se atualmente estabilizados".

"Vale salientar que o mecanismo de circulação d'águas pode mudar de acordo com a maior ou menor proximidade de corrente costeira da linha de costa, bem como com eventuais variações sazonais do débito do Potengi/Jundiaí. Essas variações induziriam a modificações na distribuição das fácies dos sedimentos de superfície de fundo, podendo originar um quadro de distribuição sedimentar não necessariamente coincidente com o obtido através das amostras coletadas para este trabalho".

"A dominância da circulação marinha no estuário do Potengi/Jundiaí, aliada à grande disponibilidade de materiais detríticos, leva a prever que modificações naturais ou artificiais nos modos de circulação d'água terão reflexos notáveis na razão erosão/deposição no interior do estuário, com alterações da distribuição das fácies sedimentares de fundo, e conseqüentes alterações batimétricas".

Com relação à corrente costeira, gostaríamos de salientar que seu sentido foi inferido por condições morfológicas, e sua faixa de atuação é delimitada pelos fundos algosos. Adicionalmente, consideramos que a faixa de atuação da corrente costeira, essa corrente de uma só margem, na feliz expressão de BLANC (1982), pode ser melhor definida com o auxílio da distribuição dos parâmetros estatísticos granulométricos, e dos conjuntos de minerais pesados.

No que se refere à classificação do estuário, consideramos que seu enquadramento no tipo de soleira rasa (FÚLFARO *et alii*, 1978), embora tenha relação com a morfologia do Potengi, em cuja foz efetivamente se encontra uma barreira (grandemente derrocada) representada por restos de recife, pode induzir a uma avaliação não muito apropriada da circulação estuarina. Esta, parece-nos dominada por correntes de maré, sendo pouco provável a existência de água salgada estagnada em sua porção basal. Assim, levando em conta o porte do Potengi/Jundiaí, bem como o clima regional, parece-nos mais provável que o estuário seja do tipo verticalmente homogêneo ou estratificado com mistura vertical. É possível, aliás, que esses dois tipos se apresentem conforme a vazão do rio.

III ESTUÁRIO SANTISTA

O Porto de Santos situa-se em unidade fisiográfica bem definida, conhecida como Baixada Santista, objeto de numerosos estudos, entre os quais a extensa monografia organizada por AZEVEDO (1965).

O estuário em que se acha implantado o porto mereceu estudos setoriais realizados por pesquisadores do Laboratório de Hidráulica da EPUSP/DAEE (EPUSP/DAEE, 1966). Durante a década de 60, diversos outros estudos de sedimentação em ambientes subaquáticos costeiros foram realizados no Estado de São Paulo, embora não aplicados a portos (KUTNER, 1962, 1963; MAGLIOCCA & KUTNER, 1964, 1965); os trabalhos dessa época, foram revistos por KUTNER (1976).

A partir de 1973 em diversas campanhas, tivemos a ocasião de desenvolver estudos nessa área, parcialmente publicados (FÚLFARO & PONÇANO, 1976; FÚLFARO *et alii*, 1976; PONÇANO & FÚLFARO, 1976). Em nossos trabalhos, usamos uma abordagem que privilegiou a formulação de um modelo de sedimentação atual para todo o estuário, considerando que "a sedimentação estuarina é o resultado da influência de processos tanto continentais, quanto marinhos, que se interferem, produzindo um padrão complexo. Assim sendo, o estuário foi estudado dentro de uma unidade geomorfológica natural, que é a Baixada Santista, levando-se ainda em conta que as influências marinhas seriam esclarecidas considerando-se a baía de Santos como elemento físico complementar" (FÚLFARO & PONÇANO, 1976, p.67 e 68). A rede de amostragem abrangeu 256 estações de coleta de amostras compreendendo estuário e baía, na campanha básica de 1973.

Procuramos a seguir sintetizar os resultados obtidos através da abordagem acima mencionada.

A. Geologia

A Baixada Santista compreende um complexo de terrenos sedimentares quaternários, limitados, pelo lado continental, por rochas precambrianas, que ocorrem ainda no interior da Baixada Santista, sob a forma de morros circundados pelos sedimentos da planície costeira. Essa região acha-se limitada por dois amplos acidentes tectônicos que são a Bacia de Santos e a Serra do Mar.

A Serra do Mar teria sido formada durante a fase de tectôni

ca rígida cretácico-terciária que afetou a Plataforma Brasileira, cujos reflexos se estenderam talvez até o início do Quaternário (FREITAS, 1951; ALMEIDA, 1967, 1976; AB'SABER, 1969).

As áreas precambrianas são formadas por um complexo de migmatitos e rochas graníticas associadas, orientados segundo N45-50E, concordantemente com a Direção Brasileira de dobramentos, com mergulhos fortes, próximos da vertical; estas rochas encontram-se cortadas por uma zona de falha, que acompanha aproximadamente os vales dos rios Cubatão e Mogi (BISTRICHI *et alii*, 1981). As rochas precambrianas acham-se ainda cortadas por diques de diabásio, relacionados à fase tectônica cretácico-terciária.

O reconhecimento geológico de superfície levou à subdivisão dos terrenos da Baixada Santista em três grandes grupos, no que diz respeito à natureza de seus depósitos detríticos:

- . Depósitos de mangue

Correspondem a sedimentos argilo-siltosos, com abundantes restos orgânicos. Localmente podem estar capeados por lentes descontínuas e rasos de areias marinhas..

- . Aluviões e coluviões

Aluviões atuais e subatuais (terraços) são predominantemente arenosos em superfície, mostrando em algumas seções ao longo de rios (Cubatão, Mogi e Diana, por exemplo) lentes de argila e cascalho. Estes sedimentos são geralmente imaturos, passando por vezes a depósitos coluvionares finos, como se nota em especial na cabeceira do rio Diana.

- . Antigos depósitos marinhos

Correspondem a antigas praias e sedimentos de mar raso da Formação Cananéia, e a terraços marinhos pós-glaciais. São predominantemente arenosos, bastante maduros, ocorrendo comumente concentrações de conchas nos depósitos de mar raso.

O reconhecimento e cartografia desses depósitos foram apresentados por SUGUIO & MARTIN (1978a,b). A partir dos dados de sondagens executadas pela Geotécnica S.A. em 1968 na Baixada Santista procuramos estabelecer os principais traços da estratigrafia da

Baixada, referente aos sedimentos de subsuperfície, como segue .

Os depósitos de subsuperfície mostram uma sequência sedimentar caracterizada por uma sucessão de camadas conglomeráticas na base, seguidas por camadas de argila, e arenitos conglomeráticos, comumente lenticulares. Esses depósitos parecem integrar um complexo fluvial de piemonte, com depósitos arenosos mal classificados, interdigitados com argilas cinzentas evidenciando planícies de inundação fluvial. Em direção às montanhas passar-se-ia a leques aluviais com conglomerados de matriz argilosa, que geralmente aparecem na base dos depósitos. A estes leques aluviais atribuímos idade sincrônica à do último evento glacial (MELO & PONÇANO, 1983).

A distribuição e profundidade das sondagens mostram ainda que o substrato apresenta topografia irregular. Não obstante, a inclinação dos vales do Quilombo e o Jurubatuba dá valores em torno de 1° para o gradiente fluvial correspondente à base dos depósitos sedimentares. Tomando por espessura média para os médios cursos desses rios um valor em torno de 30 m, poder-se-ia esperar espessuras de sedimentos da ordem de 60 m na área ocupada pela cidade de Santos, o que, de fato, ocorre.

Os fatos acima expostos sugerem que as fases francamente marinhas correlatas aos depósitos sedimentares encontrados em subsuperfície na região da Baixada Santista encontram-se bem distantes, plataforma continental atual adentro. Até Santos, a partir da serra, ainda são encontrados depósitos nitidamente fluviais, em várias fases de reentalhe, que podem ter tido uma origem múltipla: tectônica, eustática e climática. A última transgressão marinha, pós-glacial, recobriu esses depósitos com uma delgada camada sedimentar.

O recuo da linha de costa do último período transgressivo para sua posição atual teria desencadeado o processo de desenvolvimento da extensa região de manguesais da Baixada Santista.

A formação de manguesais, bem como a cobertura de sedimentos reliquiais da plataforma são fatores dos mais importantes para a compreensão da dinâmica de sedimentação no estuário santista, como será discutido mais adiante.

B. Geomorfologia

O limite continental da Baixada Santista corresponde às encostas abruptas, freqüentemente côncavo-convexas da Serra do Mar. Estas encostas são cortadas por uma rede de drenagem essencialmente adaptadas às linhas estruturais, ao longo da qual se organizam planícies aluvionares, terraços, cones de dejeção de torrentes e pequenos deltas.

A Baixada Santista propriamente dita corresponde a uma complexa planície costeira que engloba praias, planícies de maré, planícies aluvionares, e planícies de antigos sedimentos marinhos. Ainda na Baixada Santista, isolados por sedimentos da planície costeira, dispõem-se morros de rochas precambrianas, de encostas semelhantes às da Serra do Mar. Estes morros podem fazer face direta ao mar, o que resulta na formação de costões e de pequenas praias de tombo.

A passagem das encostas de rochas precambrianas à planície costeira é geralmente abrupta, podendo ser feita, não obstante, de modo mais suave, por intermédio de depósitos coluvionares (rampas de colúvio, talus) e aluvionares (cones de dejeção), dispostos em muitos locais ao longo do sopé da Serra do Mar.

Os traços essenciais da evolução geomorfológica da Baixada Santista foram descritos por AB'SABER (1965), cujas conclusões podem ser algo alteradas pelos trabalhos de SUGUIO & MARTIN (1978a, b) e MARTIN *et alii* (1979a).

A exposição de AB'SABER (1965) mostra que dois fatos balizam a evolução geomorfológica da área em foco: o tectonismo cretácico-terciário e a transgressão flandriana, que SUGUIO & MARTIN (1978b) denominaram Transgressão Santos.

Assim, a Serra do Mar, limite continental da Baixada, teve sua origem em falhamentos que se processaram no Cretáceo e Terciário, concomitantemente a um levantamento epirogênico contínuo, que afetaram essa região (AB'SABER, 1965). Estando o mar de 80 a 100m abaixo de seu nível atual, processaram-se o entalhamento e alargamento de vales (AB'SABER, 1965), os principais dos quais obedeciam fundamentalmente a Direção Brasileira de dobramento (que é também a direção de importantes falhamentos), como exemplifica a forma alongada segundo NE das serras de Santo Amaro e Guararu, na

ilha de Santo Amaro, bem como a configuração dos interflúvios dos rios Diana, Quilombo e Jurubatuba, que recortam a planície costeira.

Nesse período de rebaixamento do nível marinho, correspondente à glaciação Würm, teriam sido também entalhados os sedimentos depositados no interglacial Riss-Würm em cujo topo colocam-se as areias da Formação Cananéia.

A subida do nível marinho a pouco mais de cinco metros acima de seu nível atual, no máximo da Transgressão Santos, com conseqüente inundação dos vales formados e alargados na fase anterior, levou à formação da páleo-baía de Santos, que continha o páleo-arquipélago de Santos, formado por interflúvios insulados de antigos vales (AB'SABER, 1965).

Em seu recuo para a deposição que hoje ocupa, o mar teve dois momentos de *still stand*, aproximadamente a 5 m e a 2 m (MARTIN *et alii*, 1979), constituindo terraços marinhos.

Assim, para AB'SABER (1965) os diferentes níveis de planície costeira santista seriam explicados pelos eventos pós-glaciais de oscilação marinha, ao passo que os conhecimentos mais recentes indicam que o nível correspondente à Formação Cananéia é pleistocênico.

Feições subordinadas de antigos alinhamentos de praias são comuns aos diferentes setores de planície da baixada. Menos comuns, porém mapeáveis, são concentrações de areias em terraços, marcadas por tênues lineações com formas sugestivas de atuação de correntes marinhas; sua principal ocorrência está na região de Vicente de Carvalho, Ilha de Santo Amaro.

A ação fluvial processa-se diferentemente, e de acordo com as características topográficas e litológicas das áreas em que atuam. Desta forma, as torrentes serranas escavam vales em "V", de vertentes íngremes, aos quais se associam depósitos de calha e pequenos cones de dejeção, que contêm grande proporção de blocos e matacões. Os rios provenientes de terrenos precambrianos transportam, em seu percurso na serra, sedimentos de granulometria variada, incluindo clásticos grosseiros; no sopé das encostas a fração mais grosseira deposita-se rapidamente, continuando a serem transportados principalmente areia e sedimentos mais finos. A esta mudança de competência superpõe-se uma mudança no modo de es

coamento desses rios: seus percursos, de bastante retilíneos e controlados por direções estruturais, passam a ser meandранtes. Já os rios que nascem na Baixada têm percursos meandранtes, cortando apenas áreas da planície costeira formadas por depósitos detríticos arenosos e mais finos. Vale ainda notar que muitos rios sofrem influência das marés na quase totalidade de seus percursos, como é o caso dos rios Mariana e Piaçabuçu. Formas importantes ligadas a processos fluviais são os pequenos deltas que parecem estar se formando transgressivamente sobre manguesais, dos quais os exemplos mais notáveis são os dos rios Cubatão e Mogi.

Na região de interação mais direta entre águas continentais e oceânicas, nas proximidades das desembocaduras dos rios nos largos da Baixada, colocam-se bancos de areia e coroas submersas. Estes depósitos de sedimentos têm forma variável, e são produtos da perda de velocidade (competência) dos fluxos transportadores, de barramentos naturais provocados por correntes e, possivelmente, por mudanças de condições químicas das águas.

As encostas de rochas pré-cambrianas caracterizam-se pela formação de regolitos espessos, graças ao intenso intemperismo químico. A evolução destas encostas se faz por processos de remoção rápida (escorregamentos) e lenta (rastejo) de solos, resultando na formação de rampas de colúvio, talus, e áreas de exposição de rocha.

Resta finalmente lembrar que a crescente urbanização e industrialização da Baixada têm interferido diretamente nos equilíbrios fito-pedo-morfológicos naturais. O principal resultado da atuação antrópica tem sido acelerar os processos de remoção de solos, seja com a construção de rodovias, ferrovias e núcleos habitacionais no sopé e encostas da Serra do Mar, seja pela eliminação de vegetação e terraplenagem extensiva em áreas da planície costeira. Além disso deve-se salientar a possibilidade de mudança das condições químicas das águas superficiais, pelo lançamento de detritos industriais, fato que viria causar alterações na dinâmica de deposição de sedimentos finos. A abertura de canais e a secagem de manguesais por redes de drenagem artificiais devem por fim serem considerados, já que modificam, ao menos localmente, os processos de remoção e deposição de sedimentos.

C. Transporte litorâneo

Conforme a proposta de SILVESTER (1968, 1974) procuramos usar a morfologia costeira e distribuição das faixas sedimentares para avaliar o sentido do transporte litorâneo.

No chamado litoral sul do Estado de São Paulo, se considerarmos os trechos Ilha do Cardoso/Morro da Juréia, Ponta Paranaçu-Guaçu/Ponta de Itaipu e Ponta de Santo Amaro/Ponta da Una, podemos verificar, pelas cartas topográficas e geológicas (SUGUIO & MARTIN, 1978a) que a morfologia da linha de costa apresenta certa concavidade nas partes sul dos referidos trechos. A isto pode-se acrescentar que as planícies costeiras, nesses mesmos trechos, crescem mais de sul para norte, por adição de sedimentos holocênicos, ficando os afloramentos da Formação Cananéia cada vez mais para o interior, nesse mesmo sentido. Essa situação indicaria um transporte litorâneo resultante para norte.

No que se refere ao litoral norte, a pequena expressão de planícies costeiras não permite concluir por um sentido predominante de transporte. Ambas as assertivas concordam com as observações de SILVESTER (1968) para os trechos de costa considerado.

Ademais, procedemos a análise de imagem LANDSAT-1, que mostrou um padrão de dispersão de sedimentos na plataforma, indicativo de corrente costeira sudoeste-nordeste, defletida à altura de Santos, por inflexão da linha de costa (PONÇANO, 1976) (FIGURA 45), de modo concordante e complementar às conclusões tiradas da morfologia costeira continental.

D. Características dos sedimentos de superfície de fundo

1. Composição granulométrica

A distribuição dos diâmetros médios (FIGURA 46) mostra, para todo o estuário, predomínio de siltes. Áreas restritas de argilas ocorrem nos largos e no Canal da Bertioxa, enquanto que areias ocorrem associadas a rios que drenam sedimentos arenosos da baía da, ou a pontões cristalinos.

A baía deixa-se dividir em dois setores, oeste e leste, o primeiro arenoso e o segundo siltoso. A ligação do setor oeste com o Canal de São Vicente, sugere continuidade das areias da baía para o interior do estuário. Já o setor leste apresenta pre

FIGURA 45 - Características gerais da sedimentação e correntes na costa paulista (PONÇANO, 1976).

domínio de siltes, em continuidade com os sedimentos do Canal do Porto.

Sedimentos bem selecionados coincidem com as áreas de sedimentos arenosos (FIGURA 47). No interior do estuário essa situação parece refletir um selecionamento prévio, já que se trata de areias retrabalhadas de depósitos marinhos prévios. Na baía, porém, a situação é diversa, pois, face à predominância de siltes no interior do estuário, não se pode atribuir origem estuarina às areias do setor oeste.

Devem elas portanto ter origem da plataforma continental, através do transporte litorâneo que indicamos no item precedente.

Isso posto, há que considerar que o bom selecionamento dessas areias contraria a expectativa quanto à imaturidade textural dos sedimentos da plataforma, o que leva a formular duas hipóteses para o caso. A primeira é de que os sedimentos transportados ao longo da costa afetam material previamente selecionado (das praias, por exemplo). A segunda deve levar em conta um processo de seleção local.

A primeira hipótese não é totalmente inviável quando se considera a enorme extensão de praias arenosas a sul da Baía de Santos. Entretanto, conforme mostramos anteriormente através das imagens de satélite, há também material em suspensão sofrendo transporte no mesmo rumo, para norte, de tal sorte que a baía, nessas imagens, mostra também os dois setores oeste e leste, notados através dos sedimentos de superfície de fundo, embora o primeiro apresente mais material em suspensão que o segundo.

Dessa forma, admitindo a validade dos critérios de análise de imagens de satélite empregados, a situação de material de fundo e em suspensão é especular: os fundos arenosos da baía correspondem a lâmina d'água com maiores teores de material em suspensão, e vice-versa.

Assim, cremos poder deduzir desta exposição, que, embora não totalmente excluída a primeira hipótese, terá mais peso a segunda, permitindo então sugerir que os sedimentos finos permaneçam em suspensão no setor oeste da baía por atuação de correntes que revolvem os fundos dessa área: o material fino poderia então passar ao setor leste, talvez mesmo entrando parcialmente no estuário.

Havíamos, em trabalho anterior, aventado esta possibilidade (FÚLFARO & PONÇANO, 1976).

A distribuição da assimetria (FIGURA 48) mostra, para a baía, uma área de predomínio de valores negativos, e outra de positivos, aproximadamente concordantes com os dois setores da baía acima mencionados. No estuário, valores negativos predominam do largo do Canêu até quase a desembocadura do Canal do Porto, e em grande parte do Canal de Bertiooga. FÚLFARO & PONÇANO (1976) atribuem às áreas de assimetria negativa remoção de finos por correntes de fundo, o que levaria à formação de sedimentos com distribuições granulométricas com caudas mais pronunciadas em suas frações mais grossas. Essa assertiva é empírica, mas apresenta concordância com as observações feitas a partir dos dois primeiros momentos.

O padrão de distribuição da curtose (FIGURA 49) é extremamente complexo, o que atribuímos (FÚLFARO & PONÇANO, 1976) a sua sensibilidade a pequenas flutuações no ambiente deposicional, refletidas nas distribuições granulométricas. Esta proposição está em concordância com a observação de FOLK & WARD (1957) de que a curtose é uma espécie de resultante das relações entre os outros parâmetros granulométricos (FIGURA 5).

Não nos parece possível deduzir empiricamente o significado dinâmico da curtose, no caso de Santos. Entretanto, podemos notar um certo predomínio de valores muito platicúrticos a partir do Largo do Canêu, ao longo do Canal do Porto e, barra afora, no setor leste da baía (FIGURA 49). Esta situação é sugestiva de maior heterogeneidade, embora não necessariamente de plurimodalidade, na composição dos sedimentos dessa área, indicativa de possível mistura de populações diversas. No caso, estas populações poderiam ser basicamente duas: a dos finos de origem continental, e a dos finos provenientes do setor oeste da baía.

Como se pode perceber, procuramos, neste trabalho, avançar além da caracterização faciológica para uma interpretação dinâmica dos parâmetros estatísticos granulométricos, assunto que vem sendo objeto da atenção de numerosos autores, e sobre que há sérias divergências. A combinação de observações regionais e locais permitiram-nos efetuar algumas interpretações que, não obstante

seu interesse, têm que ser encaradas como preliminares, empíricas, e válidas para o caso em foco.

2. Composição mineralógica

Cerca de metade das amostras de superfície de fundo, distribuídas em toda a área de interesse, foram examinadas quanto a seu conteúdo mineralógico na fração leve, nos intervalos correspondentes a areia fina (0,250 - 0,125 mm) e areia muito fina (0,125 - 0,062 mm). FÚLFARO & PONÇANO (1976) consideram, que dos resultados obtidos a partir da distribuição de feldspatos, micas e fragmentos vegetais, os mais interessantes referem-se aos feldspatos, que a seguir serão examinados.

Considerando a presença de feldspatos nos dois intervalos granulométricos estudados, pode-se perceber que se distribuem de modo francamente descontínuo pelo estuário e baía (FIGURA 50), em quatro áreas.

A mais expressiva situa-se na baía, especialmente no setor oeste; a segunda abrange a comunicação marinha do Canal de Bertioga. Outras ocorrências situam-se em gamboas a montante do Largo do Canéu, enquanto que uma única aparece a montante do Canal do Porto, próximo à sua junção com o Canal de Bertioga.

Assim, pode-se reconhecer no estuário e baía, excetuando o Canal de Bertioga, duas áreas distintas de ocorrência de feldspatos, que levam a supor duas áreas-fontes também distintas. Uma estaria relacionada à rede fluvial que da serra desagua no estuário, e outra situa-se na plataforma continental.

Havíamos considerado que o limite de ocorrência dos feldspatos de origem fluvial era coincidente com a faixa de distribuição dos manguesais, o que mostraria a importância dessa feição na retenção de descarga sólida fluvial (FÚLFARO & PONÇANO, 1976). Acreditamos que essa coincidência existe; entretanto, o número de amostras em que isso se verifica (três) parece-nos demasiadamente pequeno para comprovar essa assertiva, pelo que, preferimos tomá-la como hipótese a ser provada.

A ocorrência situada a montante do Canal do Porto foi atribuída por FÚLFARO & PONÇANO (1976) à proximidade de pontão cristalino, que de fato lá ocorre. Entretanto, chama-nos a atenção que situações análogas, nas proximidades do Morro da Barra, Ponta

Munduba e Ponta Itaipu, não mostrem resultados comparáveis.

As ocorrências de feldspato no setor oeste da baía, seriam indicativas de que os sedimentos de fundo dessa área seriam provenientes de plataforma continental, trazidos por transporte litorâneo (FÚLFARO & PONÇANO, 1976). Conforme tivemos a ocasião de mostrar na apresentação dos dados da morfologia costeira, sensorialmente e faciologia, parece-nos muito plausível admitir esse transporte, de sul para norte, com inflexão para dentro da baía contornando a Ponta de Itaipu. Entretanto, essa ocorrência poderia também ser explicada se admitirmos que os sedimentos arenosos do setor oeste da baía sejam reliquiais, conforme aventaram BITTEN COURT *et alii* (1979) para a Baía de Todos os Santos. Analogamente pode ser interpretada a ocorrência de feldspatos na ligação oceânica do Canal de Bertioja.

Não temos elementos para chegar a uma conclusão sobre esse assunto. Entretanto, procedemos a amostragem (em 123 estações) para verificar a hipótese da entrada de areias da plataforma para o setor oeste da baía (PONÇANO & FÚLFARO, 1976). Os resultados obtidos, dos quais apresentamos a distribuição dos diâmetros médios (FIGURA 51) são sugestivos de que esse aporte efetivamente ocorra da forma mencionada.

3. Variações temporais das fácies sedimentares de superfície de fundo

Como se pôde perceber ao longo da exposição dos diferentes casos deste trabalho, a principal contribuição dos estudos de sedimentação em corpos d'água costeiros a projetos de engenharia, consiste no fornecimento de dados básicos referentes ao meio físico, do ponto de vista geológico. Em decorrência, surgiu a preocupação de se ter uma estimativa da validade dos padrões faciológicos determinados, o que se refletiu já no caso da Baía de Todos os Santos, em que julgamos adequado realizar nova amostragem de áreas já abordadas pela literatura. No caso de Santos, examinamos essa questão em duas áreas distintas, quais sejam, as adjacências da Ponta de Itaipu e a Bacia de Santos.

Nas adjacências da Ponta de Itaipu, procedemos a cinco etapas de amostragem, segundo a malha da FIGURA 52, em dezembro de 1984, janeiro, março, agosto e outubro de 1975. Os resultados ob

FIGURA 52 - Localização das estações de coleta de amostras de controle nas adjacências da Ponta de Itaipu.

tidos foram comparados através dos diâmetros médios (FIGURA 53). No conjunto notam-se pequenas alterações, geralmente oscilações para intervalos granulométricos próximos, sugerindo que o padrão em faixas de granulometrias diferentes (FIGURA 51) se mantém.

No caso da Baía de Santos, realizamos comparação entre os resultados da campanha de 1973 (FIGURA 46) com os de outra campanha efetuada em 1980. Esta última consistiu em amostragem de 98 estações, situadas nos mesmos locais das da primeira campanha. Tomando como comparação as variações de diâmetros médios, temos os resultados das FIGURAS 54 e 55. Elas mostram mesmos diâmetros médios em 55 estações; das 43 restantes, houve aumento de diâmetro médio em 22 casos e diminuição em 21.

A fim de comparar as variações observadas em planta, procedemos inicialmente à atribuição de áreas de influência às estações de amostragem, representando a seguir, com mesmos critérios, as situações de 1973 e 1980 (FIGURAS 56 e 57), dando ênfase à separação de areias e siltes, característicos dos setores oeste e leste da baía, respectivamente. A variação deste limite pode ser visualizada na FIGURA 58.

Podemos concluir que o padrão geral dos dois setores da baía se mantém. Pode-se notar, adicionalmente, que as mudanças de limites entre áreas silteosas e arenosas podem ser devidas tanto à remoção de finos, como a movimentação de areias; esta questão parece-nos passível de resolução somente através de investigação da coluna rasa do fundo da baía, buscando estruturas sedimentares, ou mesmo por meio de análise de espalhamento de radioisótopos.

E. Agregação de partículas

Havíamos notado (FÚLFARO & PONÇANO, 1976) que os sedimentos de superfície de fundo do estuário santista compunham-se essencialmente de siltes; depósitos francamente argilosos eram muito raros, ocorrendo, no estuário, somente no Largo do Canêu (FIGURA 46). Concluímos, em decorrência, que a floculação teria um papel subordinado na sedimentação regional, e que as principais acumulações de argilas nos fundos do estuário poderiam ser mais apropriadamente atribuídas a regiões de energia nula de transporte, correspondentes ao encontro de frentes opostas de propagação de maré,

DATA DE COLETA	AMOSTRA	DIÂMETRO MÉDIO	DATA DE COLETA	AMOSTRA	DIÂMETRO MÉDIO	DATA DE COLETA	AMOSTRA	DIÂMETRO MÉDIO
11-12/11/1974	S-21	areia m.fina	11-12/11/1974	S-27	silte médio	11-12/11/1974	S-33	areia m.fina
15-20/01/1975	S-21A	areia m.fina	15-20/11/1975	S-27A	areia m.fina	15-20/01/1975	S-33A	silte médio
15/05/1975	S-21B	areia m.fina	15/05/1975	S-27B	silte m.fino	15/05/1975	S-33B	silte médio
13-18/08/1975	S-21C	areia m.fina	13-18/08/1975	S-27C	areia m.fina	13-18/08/1975	S-33C	silte médio
20/10/1975	S-21D	areia m.fina	20/10/1975	S-27D	areia m.fina	20/10/1975	S-33D	silte médio
11-12/11/1974	S-22	areia m.fina	11-12/11/1974	S-29	areia m.fina	11-12/11/1974	S-34	areia m.fina
15-20/01/1975	S-22A	areia m.fina	15-20/01/1975	S-29A	areia m.fina	15-20/01/1975	S-34A	areia m.fina
15/05/1975	S-22B	silte grosso	15/05/1975	S-29B	silte médio	15/05/1975	S-34B	areia m.fina
13-18/08/1975	S-22C	areia m.fina	13-18/08/1975	S-29C	silte médio	13-18/08/1975	S-34C	areia m.fina
20/10/1975	S-22D	areia m.fina	20/10/1975	S-29D	silte fino	20/10/1975	S-34D	areia m.fina
11-12/11/1974	S-23	silte m.fino	11-12/11/1974	S-30	areia m.fina	11-12/11/1974	S-35	areia m.fina
15-20/01/1975	S-23A	silte fino	15-20/01/1975	S-30A	areia m.fina	15-20/01/1975	S-35A	silte fino
15/05/1975	S-23B	silte fino	15/05/1975	S-30B	areia m.fina	15/05/1975	S-35B	silte fino
13-18/08/1975	S-23C	silte fino	13-18/08/1975	S-30C	silte fino	13-18/08/1975	S-35C	areia m.fina
20/10/1975	S-23D	silte médio	20/10/1975	S-30D	areia m.fina	20/10/1975	S-35D	areia m.fina
11-12/11/1974	S-24	silte médio	11-12/11/1974	S-31	silte médio	11-12/11/1974	S-36	silte grosso
15-20/01/1975	S-24A	silte médio	15-20/01/1975	S-31A	silte grosso	15-20/01/1975	S-36A	areia m.fina
15/05/1975	S-24B	areia m.fina	15/05/1975	S-31B	silte médio	15/05/1975	S-36B	silte grosso
13-18/08/1975	S-24C	areia m.fina	13-18/08/1975	S-31C	silte fino	13-18/08/1975	S-36C	areia m.fina
20/10/1975	S-24D	areia m.fina	20/10/1975	S-31D	silte fino	20/10/1975	S-36D	areia m.fina
11-12/11/1974	S-25	silte fino	11-12/11/1974	S-32	silte médio	11-12/11/1974	S-37	silte médio
15-20/01/1975	S-25A	areia m.fina	15-20/01/1975	S-32A	areia m.fina	15-20/01/1975	S-37A	silte grosso
15/05/1975	S-25B	areia m.fina	15/05/1975	S-32B	areia m.fina	15/05/1975	S-37B	silte grosso
13-18/08/1975	S-25C	areia m.fina	13-18/08/1975	S-32C	silte médio	13-18/08/1975	S-37C	areia m.fina
20/10/1975	S-25D	areia m.fina	20/10/1975	S-32D	areia m.fina	20/10/1975	S-37D	areia m.fina
11-12/11/1974	S-26	areia m.fina						
15-20/01/1975	S-26A	silte médio						
15/05/1975	S-26B	silte médio						
13-18/08/1975	S-26C	silte médio						
20/10/1975	S-26D	areia m.fina						

FIGURA 53 - Tabela comparativa de variações de diâmetro médio nas adjacências da Ponta de Itaipu.

Nº DA AMOSTRA

DIÂMETRO MÉDIO
(1980)DIÂMETRO MÉDIO
(1973)

1	Areia fina	Areia fina
2	Areia fina	Areia fina
3	Areia muito fina	Areia fina
4	Areia muito fina	Areia muito fina
5	Areia muito fina	Areia muito fina
6	Areia muito fina	Areia muito fina
7	Areia muito fina	Areia muito fina
8	Areia muito fina	Areia muito fina
9	Areia muito fina	Areia muito fina
10	Areia muito fina	Areia muito fina
11	Areia muito fina	Areia muito fina
12	Areia muito fina	Areia muito fina
13	Areia muito fina	Areia muito fina
14	Areia muito fina	Areia muito fina
15	Areia muito fina	Areia muito fina
16	Silte fino	Areia muito fina
17	Areia muito fina	Silte médio
18	Silte muito fino	Areia muito fina
19	Silte muito fino	Silte fino
20	Areia muito fina	Areia muito fina
21	Silte grosso	Areia muito fina
22	Areia muito fina	Silte médio
23	Areia muito fina	Areia muito fina
24	Areia muito fina	Areia muito fina
25	Areia muito fina	Areia muito fina
26	Areia muito fina	Silte médio
27	Areia muito fina	Areia muito fina
28	Areia muito fina	Silte médio
29	Areia muito fina	Areia muito fina
30	Areia muito fina	Areia muito fina
31	Silte Grosso	Areia muito fina
32	Silte fino	Silte médio
33	Areia muito fina	Areia muito fina
34	Areia muito fina	Areia muito fina
35	Areia muito fina	Areia muito fina
36	Silte médio	Silte grosso
37	Silte médio	Silte médio
38	Silte grosso	Silte médio
39	Silte grosso	Areia muito fina
40	Areia muito fina	Areia muito fina
41	Areia muito fina	Areia muito fina
42	Areia muito fina	Areia muito fina
43	Silte médio	Areia muito fina
44	Silte grosso	Silte grosso
45	Areia muito fina	Silte médio
46	Areia muito fina	Areia muito fina
47	Areia muito fina	Areia muito fina
48	Areia muito fina	Areia muito fina
49	Areia muito fina	Silte grosso
50	Areia muito fina	Areia muito fina
51	Silte fino	Silte fino

FIGURA 54 - Tabela comparativa de diâmetros médios na Baía de Santos (1)

Nº DA AMOSTRA	DIÂMETRO MÉDIO (1980)	DIÂMETRO MÉDIO (1973)
52	Silte fino	Areia muito fina
53	Silte médio	Silte muito fino
54	Silte médio	Areia muito fina
55	Areia muito fina	Areia muito fina
56	Areia muito fina	Areia muito fina
57	Silte muito fino	Silte médio
58	Areia muito fina	Areia muito fina
59	Areia muito fina	Areia muito fina
60	Areia muito fina	Silte grosso
61	Areia muito fina	Silte grosso
62	Areia muito fina	Areia muito fina
63	Areia muito fina	Silte médio
64	Silte médio	Silte médio
65	Silte médio	Silte médio
66	Silte médio	Silte médio
67	Silte médio	Silte médio
68	Silte médio	Silte médio
69	Silte médio	Silte médio
70	Areia muito fina	Areia muito fina
71	Areia muito fina	Areia muito fina
72	Silte grosso	Silte fino
73	Areia muito fina	Silte médio
74	Silte grosso	Areia muito fina
75	Areia muito fina	Silte médio
76	Silte grosso	Areia muito fina
77	Silte fino	Silte médio
78	Silte grosso	Areia muito fina
79	Areia muito fina	Silte médio
80	Silte médio	Silte médio
81	Silte médio	Silte médio
82	Silte grosso	Areia muito fina
83	Silte médio	Silte médio
84	Silte fino	Silte muito fino
85	Silte médio	Silte médio
86	Areia muito fina	Areia muito fina
87	Areia muito fina	Areia muito fina
88	não há amostra com esta numeração	
89	Areia muito fina	Silte médio
90	Areia muito fina	Areia muito fina
91	Areia muito fina	Areia muito fina
92	Silte grosso	Silte fino
93	Silte médio	Silte grosso
94	Silte médio	Areia muito fina
95	Silte médio	não há amostra equiva lente
96	Silte médio	Idem
97	Silte médio	Idem
98	Silte grosso	Silte médio
99	Silte grosso	Silte médio
100	Silte médio	Silte grosso
101	Silte fino	Silte muito fino
102	Silte muito fino	Silte fino

FIGURA 55 - Tabela comparativa de diâmetros médios na Baía de Santos (2)

LEGENDA

SILTES

amf = silte muito fino

sf = silte fino

sm = silte média

sg = silte grosso

AREIAS

amf = areia muito fina

af = areia fina

ÁREA NÃO AMOSTRADA

FIGURA 56 - Distribuição do diâmetro médio em 1973 - Baía de Santos.

LEGENDA

SILTES
smf = silte muito fino
sf = silte fino
sm = silte médio
sg = silte grosso

AREIAS
cf = areia fina
omf = areia muito fina

FIGURA 57 - Distribuição do diâmetro médio em 1960 - Baía de Santos.

LEGENDA

DIÂMETROS MÉDIOS IDÊNTICOS	AUMENTO DE DIÂMETROS MÉDIOS
DIMINUIÇÃO DE DIÂMETROS MÉDIOS	ÁREA NÃO COMPARÁVEL (sem amostras coletadas)

LIMITE SILTE/AREIA
Ref. RELATÓRIO 7443/8328

FIGURA 58 - Variação da distribuição do diâmetro médio, entre 1973 e 1980 - Baía de Santos.

provenientes dos canais do Porto e de São Vicente.

Procedemos então à coleta de testemunhos rasos, por cravação de amostrador do tipo *piston corer*, cuja distribuição é indicada na FIGURA 46. Os resultados obtidos (FIGURAS 59 a 62) mostram frequentes descontinuidades na sedimentação, sendo comuns intercalações de camadas ou lâminas arenosas. Pareceu-nos à época, e ainda concordamos em parte com essa conclusão, que essas variações de energia do meio, indicadas pelas variações texturais ao longo das colunas sedimentares, eram incompatíveis com a deposição em bancos argilosos exclusivamente por floculação. Acreditávamos então que essa situação poderia ser explicada pela grande mobilidade das argilas, resultante da diminuição da viscosidade da água devido a temperaturas mais elevadas (relacionadas ao clima tropical vigente), o que tenderia a manter os colóides em suspensão (TRICART, 1972).

Segundo POSTMA (1967), alguns estudos têm mostrado que a floculação é diferencial para os diversos argilo-minerais, devido às suas diferentes estruturas. Segundo esse autor, são as condições físico-químicas, e não o tamanho das partículas envolvidas, o fator fundamental na floculação. Assim, experimentos mostraram que caolinitas e illitas floculam completamente sob baixos teores de cloretos, enquanto que as montmorillonitas vão floculando progressivamente mais, à medida que aumentam os teores de cloretos. Essa diferença é atribuída a maior estabilidade da dupla capa catiônica das montmorillonitas.

POSTMA (1967) considera ainda que em correntezas muito rápidas os argilo-minerais são transportados de modo indiferenciado; a menores velocidades as illitas e caolinitas poderiam se depositar, enquanto que as montmorillonitas continuariam a ser transportadas.

Pode-se inferir dessas considerações que nas águas salobras e sujeitas a diminuição de velocidades de corrente dos estuários, haveria tendência à maior deposição de illitas e caolinitas, enquanto que montmorillonitas ocorreriam mais frequentemente nos baixos estuários.

KRANK (1975 e 1981) critica várias dessas conclusões, apontando que foram essencialmente obtidas por experimentos de labo-

FIGURA 59 - Descrição de testemunhos de cravação rasa, estuário de Santos (1) (FÚLFARO *et alii*, 1978).

FIGURA 60 - Descrição de testemunhos de cravação rasa, estuário de Santos (2) (FÚLFARO *et alii*, 1978).

FIGURA 61 - Descrição de testemunhos de cravação rasa, estuário de Santos (3) (FÚLFARO *et alii*, 1978).

FIGURA 62 - Descrição de testemunhos de cravação rasa, estuário de Santos (4) (FÚLFARO *et alii*, 1978).

ratório. Inicialmente apresenta resultados de estudos em material em suspensão coletado na costa da Nova Scôcia e embora não tenha determinado os tipos de argilo-minerais presentes, mostrou que todas as populações granulométricas floclaram de modo similar. Conclui, em decorrência, que, uma vez em ambiente marinho, todas as partículas dessas populações são instáveis e que, assim, o tamanho das partículas é mais importante que a mineralogia, na floclação. Uma possível explicação seria de que matéria orgânica adsorvida obliteraria as propriedades das faces e bordas dos cristais, tornando-os, então, semelhantes físico-quimicamente.

O estudo de KRANK (1981) refere-se ao Estuário de Miramichi, New Brunswick, do tipo micromaré e mistura parcial. Fazendo vários estudos de correlação por regressão, conclui que amostras menos salinas apresentaram menor floclação, em concordância com estudos de laboratório. Entretanto, amostras com maiores teores de material em suspensão floclaram mais que amostras mais salinas e com menos material em suspensão, sugerindo que a concentração do material em suspensão é um dos principais condicionantes na formação de agregados em ambiente estuarino.

Hipoteticamente, a inexistência de floclação permitiria que finos em suspensão fossem para o mar. Entretanto, a combinação de maiores teores de material em suspensão (e conseqüentemente maior probabilidade de choque entre partículas) por diminuição de velocidade de correntes nos estuários, associadas a mudanças de potencial eletrolítico, fazem com que ocorra floclação e se deposite material fino preferencialmente no interior dos estuários.

Em resumo, queremos aqui destacar que a deposição de argilas em estuários sob a forma de agregados não diz respeito somente à simples coagulação eletrolítica, mas envolve também o fator choque entre partículas, que por sua vez, depende das frentes de turbidez máximas. Ora, estas frentes dependem do tipo de circulação estuarina, de modo que acreditamos poder retomar esta questão após a exposição, a ser feita adiante, sobre o modo de circulação do estuário santista.

F. Salinidade e material em suspensão

Estes dois fatores foram já previamente examinados (EPUSP/DAEE, 1966), visando, o primeiro, a caracterizar a importância da

floculação no processo de formação de vasas na faixa portuária, e, o segundo, a determinar a importância dos sólidos em suspensão no assoreamento dessa mesma faixa. Para tanto foram realizadas coletas de amostras de água em seções dos rios Cascalho, Casqueiro, Jurubatuba, Diana-Sandi e Canal da Bertioxa, em diversas profundidades. A amostragem para material em suspensão estendeu-se de 19 de junho de 1964 a 20 de maio de 1966, enquanto que salinidades e velocidades de correntes foram medidas de 18 a 20 de maio de 1966.

Os resultados obtidos mostraram valores de salinidades de crescentes em direção ao interior do estuário, variando de 30 000 a 22 900 p.p., de saís.

Por outro lado, verificou-se que a variação entre concentrações de sólidos na enchente e na vazante era mínima, e que a inversão de correntes invalidaria cálculos buscando estabelecer predominância de transporte num ou noutro sentido; apenas no Canal de Bertioxa e na embocadura do Diana-Sandi haveria dominância de material em suspensão durante as vazantes, caracterizando então contribuição mais direta no assoreamento destas áreas. Nestes dois casos as concentrações de material em suspensão variaram entre 10 e 200 mg/l, enquanto que nas outras seções estariam entre 5 e 50 mg/l.

O equilíbrio morfológico regional, associado às baixas concentrações de material em suspensão explicariam as baixas taxas de assoreamento no Canal do Porto; a própria floculação, que teria lugar nas partes mais altas do estuário, fixaria parte da descarga sólida, propiciando o crescimento dos manguesais.

A proveniência dos sólidos em suspensão seria continental, e a circulação estuarina do tipo cunha salina.

Procuramos rever o assunto, porém com abordagem distinta, essencialmente voltada ao estabelecimento do modo de circulação estuarina. Para tanto, procedemos a amostragens em situações de preamar e de baixa-mar, em marés de sizígia de 21 e 22 de janeiro de 1985, cobrindo a maior parte dos principais canais do estuário. Realizamos duas seções longitudinais: uma desde a barra do porto até a região dos largos, com 14 estações de amostragem, e outra abrangendo o Canal de São Vicente e sua ligação com os largos, com 7 estações (FIGURA). Em cada estação foram coletadas 3 amostras, a 1 m de superfície, a meia-profundidade, e a 1 m do fundo,

designadas pelas letras T, M e B, respectivamente, sendo as profundidades estimadas por fio graduado e peso. Levamos ainda em conta que esta amostragem seria representativa de uma situação de verão, e, conseqüentemente, de maiores descargas fluviais.

A respeito deste último aspecto, tão importante quando se deseja passar da determinação do modelo de circulação à aplicação, não pudemos obter informações mais precisas. Os dados publicados, na área de interesse referem-se a período de observações de 1966 a 1970, para uma estação no Rio Cubatão (DAEE, 1974) (FIGURA 64).

FIGURA 64 - Vazões médias mensais do Rio Cubatão entre 1966 e 1970 (DAEE, 1974, p.49).

1. Salinidade

Os valores de salinidades, em equivalentes de NaCl, estão apresentados nas FIGURAS 65 e 66. Com eles preparamos as seções de preamar e baixa-mar dos canais do Porto e de São Vicente, apresentados nas FIGURAS 67 e 68.

Ambas as seções do Canal do Porto mostram acentuada estratificação ao longo dos poucos mais que 16 km investigados. Na situação de preamar, o estrato inferior apresenta menos que 10 % de variação máxima de salinidade, desde a foz até o Largo do Canêu; o gradiente de salinidade sofre brusca variação na isocurva de

FIGURA 63 - Localização das estações de coleta de água - Santos

PREAMAR				BAIXA-MAR			
Amostra	Salinidade (p.p.m. de NaCl)	Amostra	Salinidade (p.p.m. de NaCl)	Amostra	Salinidade (p.p.m. de NaCl)	Amostra	Salinidade (p.p.m. de NaCl)
1T	23 000	8T	18 000	1T	24 000	8T	17 500
1M	29 000	8M	28 000	1M	28 000	8M	27 000
1B	29 500	8B	29 500	1B	29 000	8B	28 000
2T	23 000	9T	17 500	2T	20 000	9T	16 000
2M	27 000	9M	28 000	2M	27 000	9M	28 000
2B	28 000	9B	29 000	2B	28 000	9B	28 000
3T	19 500	10T	14 000	3T	19 500	10T	15 500
3M	29 000	10M	23 000	3M	29 000	10M	16 000
3B	29 500	10B	24 000	3B	29 000	10B	18 000
4T	20 500	11T	17 000	4T	19 500	11T	14 000
4M	28 000	11M	27 000	4M	26 500	11M	27 000
4B	29 500	11B	28 000	4B	29 000	11B	27 500
5T	22 500	12T	14 500	5T	18 000	12T	12 000
5M	27 000	12M	27 000	5M	27 000	12M	27 500
5B	29 000	12B	28 000	5B	29 000	12B	28 000
6T	19 500	13T	13 000	6T	17 500	13T	10 000
6M	28 000	13M	27 000	6M	27 500	13M	24 500
6B	29 000	13B	27 000	6B	29 000	13B	27 000
7T	19 000	14T	14 500	7T	28 000	14T	10 500
7M	29 000	14M	27 000	7M	29 000	14M	23 500
7B	29 500	14B	27 500	7B	29 000	14B	27 500

FIGURA 65 - Valores de salinidade no Canal do Porto, em situações de preamar e baixa-mar.

PREAMAR		BAIXA-MAR	
Amostra	Salinidade (p.p.m. de NaCl)	Amostra	Salinidade (p.p.m. de NaCl)
15T	29 000	15T	-
15M	30 000	15M	-
15B	30 000	15B	-
16T	26 500	16T	18 000
16M	29 000	16M	23 000
16B	30 000	16B	27 000
17T	24 000	17T	16 000
17M	27 000	17M	19 000
17B	26 500	17B	18 000
18T	21 000	18T	13 000
18M	22 500	18M	14 000
18B	23 000	18B	15 500
19T	15 500	19T	8 600
19M	-	19M	-
19B	19 000	19B	12 000
20T	14 100	20T	6 300
20M	15 500	20M	11 000
20B	15 100	20B	12 500
21T	8 900	21T	12 300
21M	19 000	21M	13 000
21B	-	21B	14 100

FIGURA 66-Valores de salinidade no Canal de São Vicente em situações de preamar e baixa-mar.

LEGENDA

— CURVA DE ISOVALOR DE SALINIDADE (ppm)

— SUBSTRATO DE FUNDO

① PONTO DE COLETA DAS AMOSTRAS

ESCALA { H. 1:80.000
V. 1:400

FIGURA 67 - Salinidade na seção Canal do Porto - Largo do Canêu, preamar e baixa-mar.

PREAMAR

BAIXA-MAR

LEGENDA

— CURVA DE ISOVALOR DE SALINIDADE (ppt)

- - - SUBSTRATO DE FUNDO

(1) PONTO DE COLETA DAS AMOSTRAS

FIGURA 68 - Salinidade na seção ao longo do Canal de São Vicente, preamar e baixa-mar.

27 000 p.p.m. de NaCl.

Na baixa-mar a situação é semelhante, também balizada pela isocurva de 27 000 p.p.m de NaCl. Entretanto, a montante da estação 12, no Largo do Canêu, a camada inferior tende a desaparecer, aproximando-se seu valor de salinidade do da camada superior. É ainda nesse mesmo setor que se observa ligeira diminuição de salinidades da camada superior, comparativamente à situação de preamar.

Para as duas situações, preamar e baixa-mar, pode-se constatar mistura de água salgada e água doce, pouco pronunciada no estrato inferior, e maior no superior. Em nenhum dos dois casos se configura um gradiente mais acentuado, definido por alguma variação mais brusca nas curvas.

Bem diversa é a situação ao longo do Canal de São Vicente, em que as salinidades são nitidamente maiores na preamar que na baixa-mar. Em ambas as situações alguma estratificação, mais nítida na preamar, começa a se esboçar apenas a montante da estação 5, ou seja, no Largo da Pompeba e em sua ligação com o Largo do Canêu. No demais, os valores de salinidade aumentam progressivamente de juzante para montante, caracterizando uma mistura mais efetiva de águas doce e salgada.

2. Material em suspensão

Os teores de material em suspensão foram obtidos somente para a seção ao longo do Canal do Porto, e acham-se apresentados na FIGURA 69.

Provavelmente a constatação mais notável que se pode fazer, de início, refere-se aos baixos teores de sólidos em suspensão, que se mantêm, em sua maior parte, na mesma faixa de valores obtidos em 1964-1966 (EPUSP/DAEE, 1966). Tal fato parece denotar o propalado equilíbrio do estuário santista (EPUSP/DAEE, 1966; FÚLFARO & PONÇANO, 1976), apesar de intensificações temporárias de taxas regionais de erosão por implantação de obras viárias, exploração de materiais de construção e degradação da cobertura vegetal da Serra do Mar, que vêm ocorrendo justamente nesse período de 1966 a 1985.

A distribuição do material em suspensão em situações de preamar e baixa-mar, pode ser visualizada na FIGURA 70.

PREAMAR		BAIXA-MAR	
Amostra	Material em Suspensão mg/l	Amostra	Material em Suspensão mg/l
1T	9,1	1T	4,6
1M	10,6	1M	19,5
1B	18,0	1B	59,0
2T	11,5	2T	7,2
2M	11,2	2M	6,0
2B	32,9	2B	112,8
3T	7,9	3T	6,1
3M	22,5	3M	6,4
3B	53,8	3B	13,6
4T	3,0	4T	5,1
4M	12,8	4M	8,1
4B	38,8	4B	17,8
5T	6,2	5T	7,5
5M	10,0	5M	12,6
5B	24,4	5B	23,2
6T	7,3	6T	8,5
6M	11,2	6M	12,7
6B	19,1	6B	12,0
7T	3,4	7T	10,5
7M	14,1	7M	10,1
7B	30,2	7B	29,1
8T	7,9	8T	8,9
8M	7,3	8M	12,5
8B	18,0	8B	50,0
9T	4,7	9T	7,5
9M	16,3	9M	16,6
9B	24,6	9B	21,7
10T	8,0	10T	7,1
10M	11,0	10M	10,7
10B	13,7	10B	15,6
11T	7,1	11T	8,9
11M	13,9	11M	11,4
11B	22,1	11B	10,7
12T	6,6	12T	8,2
12M	13,9	12M	9,1
12B	20,3	12B	9,3
13T	8,1	13T	9,3
13M	14,8	13M	7,9
13B	22,9	13B	8,1
14T	6,4	14T	8,1
14M	11,7	14M	5,9
14B	8,0	14B	5,6

FIGURA 69 - Teores de material em suspensão no Canal do Porto em situações de preamar e baixa-mar.

FIGURA 70 - Material em suspensão na seção Canal do Canéu, preamar e baixa-mar.

Nas duas situações nota-se que as maiores concentrações situam-se ao longo de toda a seção com teores superiores a 10 mg/l, enquanto que em baixa-mar a curva de 10 mg/l fecha à altura do Largo do Canêu. Este padrão é sugestivo de que, exatamente onde os valores de salinidade indicavam maior influência de água doce (Largo do Canêu em baixa-mar), há menos sólidos em suspensão, o que leva a supor em princípio que o aporte sólidos em suspensão de origem continental é menor que o de origem marinha.

G. Circulação estuarina

A literatura indica que os dois parâmetros mais característicos da circulação estuarina são as distribuições de salinidades e de velocidades de corrente (cf. BOWDEN, 1967).

Para a porção do estuário santista abrangida por nossa seção ao longo do Canal do Porto até o Largo do Canêu, recorremos a duas séries de medições de velocidades de correntes apresentadas no trabalho da EPUSP/DAEE (1966), realizadas na Ponta da Praia (Canal do Porto) e à altura da Ilha Barnabé, nas proximidades das estações 1 e 10, respectivamente. Através de consulta à tábua de marés de 1966, selecionamos as horas de medições mais próximas de situações de preamar e baixa-mar.

Admitimos também mudança no sentido da corrente, após ter esta atingido velocidade nula, com o que pudemos construir os gráficos da FIGURA 71, em que representamos também as médias de salinidades.

Entre os quatro tipos básicos de circulação estuarina apresentados por BOWDEN (1967), quais sejam, cunha salina, estratificado com aporte (*two-layer flow with entrainment*), estratificado com mistura vertical (*two-layer flow with vertical mixing*) e verticalmente homogêneos, é ao terceiro que podemos melhor assimilar o trecho do estuário santista na seção Canal do Porto / Largo do Canêu. O segundo tipo, que poderia ser também cogitado, é característico dos fiordes, em que a mistura de águas doce e salgada ocorre exclusivamente no estrato superior.

Assim, a mencionada seção do estuário santista teria padrão de circulação similar ao rio Tâmisa. Neste tipo de estuário, não há uma nítida separação entre águas doce e salgada, e sim um aumento contínuo de salinidade em direção ao fundo, sendo que o ma

FIGURA 71 - Diagramas de velocidades de fluxo e profundidade, e salinidades e profundidade

ximo gradiente de salinidade ocorre na região de velocidades nu las, situação bem caracterizada para a preamar na FIGURA 71.

No caso da seção Canal de São Vicente/Largos, não dispomos de medidas de velocidades de corrente. Entretanto, neste caso, não há dúvida que, na maior parte da seção, o gradiente de salinidades é quase horizontal, caracterizando então uma circulação do ti po verticalmente homogênea. Conforme já notáramos, na região dos largos, há uma tendência à maior estratificação, tanto em preamar como em baixa-mar (FIGURA 67 e 68).

Procuramos a seguir verificar quais as implicações mais di retas do modelo de circulação da seção Canal do Porto/Largo do Canê u na distribuição do material em suspensão, por meio de correlação entre salinidades e teores de material em suspensão.

Para todos os dados, obtivemos coeficiente de correlação de 0,72 em situação de preamar, e de 0,44 em baixa-mar (FIGURAS 72 e 73).

Procedemos a seguir à correlação entre esses dois fatores , para os três níveis amostrados (T, M e B). Obtivemos as seguintes correlações em preamar: $T = 0,20$, $M = 0,30$, $B = 0,43$; em baixa - mar os valores foram: $T = 0,62$, $M = 0,49$, $B = 0,43$.

Verificamos assim que a distribuição do material em suspen são não guarda relação direta com a estratificação do estuário . Procedemos então as novas correlações entre salinidaes e teores de material em suspensão, desta vez abrangendo três setores do es tuário: um próximo à foz, compreendendo as estações 1 a 5, um in termediário, estações 6 a 9, e outro interior, estações 11 a 14 .

Desta feita obtivemos as correlações de jusante para montante de: 0,78, 0,83 e 0,83 em preamar, e de 0,62, 0,77 e 0,3 em baixa-mar (FIGURAS 74 e 75).

Esses resultados mostram que a melhor correlação observada na preamar para todas as amostras, se mantém. Adicionalmente no ta-se que a menor correlação global da baixa-mar decorre de maior dispersão do material em suspensão na região dos largos, coinci dentemente com uma tendência à homogeneização do gradiente de salini dades, conforme expusêramos anteriormente.

No conjunto podemos concluir que na preamar o estuário apresen ta-se melhor definido quanto a velocidades de corrente, salinini

FIGURA 72 - Correlação entre salinidades e teores de material em suspensão, preamar, seção Canal do Porto - Largo do Canêu.

FIGURA 73 - Correlação entre salinidades e teores de material em suspensão, baixa-mar, seção Canal do Porto - Largo do Canêu.

EQUACAO
 $Y = X / (A + B \cdot X)$

A =
 0.000

B =
 0.000

COEF. DE DETERMINACAO =
 0.605

ERRO RESIDUAL =
 5368099.629

RESIDUAL ABS MAX =
 5893.418

No. PARES = 15
 EIXO X = TEOR MAT. SUSP.
 EIXO Y = SALINIDADE
 X MEDIO = 18.18
 Y MEDIO = 26300.00

EQUACAO
 $Y = X / (A + B \cdot X)$

A =
 0.000

B =
 0.000

COEF. DE DETERMINACAO =
 0.681

ERRO RESIDUAL =
 9115987.986

RESIDUAL ABS MAX =
 5298.000

No. PARES = 12
 EIXO X = TEOR MAT. SUSP.
 EIXO Y = SALINIDADE
 X MEDIO = 13.68
 Y MEDIO = 25333.33

EQUACAO
 $Y = A + B/X$

A =
 34714.850

B =
 -122842.414

COEF. DE DETERMINACAO =
 0.696

ERRO RESIDUAL =
 13085764.333

RESIDUAL ABS MAX =
 8140.451

No. PARES = 12
 EIXO X = TEOR MAT. SUSP.
 EIXO Y = SALINIDADE
 X MEDIO = 12.98
 Y MEDIO = 23125.00

FIGURA 74 - Correlações salinidades x teores de material em suspensão para três setores da seção Canal do Porto-Largo do Canêu, em preamar.

EQUACAO
Y=A+B/X

A =
30049.551

B =
-41530.397

COEF. DE DETERMINACAO=
0.386

ERRO RESIDUAL=
11940521.289

RESIDUAL ABS MAX=
6512.165

No. PARES= 14
EIXO X= TEOR MAT. SUSP.
EIXO Y= SALINIDADE
X MEDIO= 14.41
Y MEDIO= 25321.43

EQUACAO
Y=A+B/X

A =
34008.580

B =
-119334.620

COEF. DE DETERMINACAO=
0.590

ERRO RESIDUAL=
13012624.650

RESIDUAL ABS MAX=
5806.729

No. PARES= 12
EIXO X= TEOR MAT. SUSP.
EIXO Y= SALINIDADE
X MEDIO= 16.68
Y MEDIO= 24458.33

EQUACAO
Y=A+B/X

A =
18248.331

B =
24979.859

COEF. DE DETERMINACAO=
0.009

ERRO RESIDUAL=
58465679.006

RESIDUAL ABS MAX=
10934.316

No. PARES= 12
EIXO X= TEOR MAT. SUSP.
EIXO Y= SALINIDADE
X MEDIO= 8.54
Y MEDIO= 21291.67

FIGURA 75 - Correlações salinidades x teores de material em suspensão para três setores da seção Canal do Porto-Largo do Canêu, em baixa-mar.

dade e material em suspensão. Na baixa-mar sua estruturação é menor, havendo entretanto ainda boa definição de dois estratos e boa correlação destes com os teores de material em suspensão, ao longo do Canal do Porto; na região dos largos, a correlação é muito baixa.

Há portanto uma certa mudança na dispersão dos sólidos em suspensão nessas duas situações, que pode ser associada à maior ou menor penetração de água marinha para o interior do estuário, conforme se esteja em preamar ou em baixa-mar.

Há que analisar ainda a distribuição dos sólidos em suspensão do estuário, com relação a seu elemento complementar, a baía. Assim, havíamos proposto, ao discutirmos as características dos sedimentos de superfície de fundo, que material em suspensão proveniente da deriva litorânea poderia dirigir-se do setor oeste da baía para o estuário. Parece-nos então que o padrão de distribuição e teores de material em suspensão no interior do estuários, conforme expusemos, vem a concordar com essa fonte marinha para os sólidos em suspensão.

Entretanto, não se pode deixar de considerar que o tipo de estratificação do estuário também implica em que, dada a mistura parcial de águas, haja material em suspensão de origem continental nas partes mais profundas do estuário.

Pode-se então concluir que, nas condições de descarga fluvial e marés investigadas, a zona de turbidez máxima do estuário santista estende-se ao longo do Canal do Porto, entre as estações 1 e 9 (FIGURA 70), sendo formada essencialmente por sólidos em suspensão provenientes preferencialmente da plataforma continental. Efeitos de ressuspensão podem ocorrer, possivelmente mais na baixa-mar, conforme sugere a distribuição de curvas de isovalores de material em suspensão e velocidades para essa situação. Complementarmente deve-se notar que os teores de sólidos em suspensão são relativamente baixos, o que indica que a zona de turbidez máxima possa exercer seu efeito a longo prazo, o que pode ser contornado por dragagens.

Outro fator a ser novamente considerado é o da agregação de partículas, sob o ponto de vista da zona de turbidez máxima e do modelo de circulação. Este último dado, no caso em questão, mos

tra considerável aporte de água marinha para o interior do estuário, à altura dos largos; isto implica que, do ponto de vista eletrolítico, há condições de precipitação de flocos nessa região.

Levando em conta, como já se notara anteriormente (EPUSP/DAEE, 1966), que é nessa faixa dos largos que se estendem os manguesais, pode-se concluir que os sólidos de origem fluvial ficam preferencialmente a) retidos por 1) quebra de gradiente fluvial, perda de energia do meio transportador e conseqüente deposição das frações granulométricas mais grossas; 2) coagulação eletrolítica das frações finas; 3) fixação do material assim depositado por efeito tanto físico (coesão, velocidades críticas de deposição e erosão) como biológico (crescimento de vegetação do mangue).

O esquema acima esboçado é bastante simplificado; na verdade parte do material fino não se fixa de imediato. Ademais há que considerar que as correntes associadas à circulação estuária devem ter competência para não só manter sólidos em suspensão como ainda para promover ressuspensão.

Entre a região do alto estuário e o Canal do Porto, nos largos, estende-se uma região caracterizada por baixos teores de material em suspensão. Nessa região, tanto o fator deposicional físico-químico ligado à salinidade das águas já foi ultrapassado, como ainda não há condições especialmente favoráveis a aumento de choques entre as partículas, dadas suas baixas concentrações.

Em decorrência, somente na porção terminal do Canal do Porto voltam a haver condições mais favoráveis à agregação de partículas, desta vez devido a aumentos locais de concentrações de sólidos em suspensão, na zona de turbidez máxima. Nesse sentido, as amostras de cravação rasa coletadas no Canal do Porto (amostras 9 e 10, FIGURA 61) não mostram características texturais que indiquem ser a agregação de finos fator importante nessa região.

Podemos então concluir, no que diz respeito à agregação de partículas, que, no caso de Santos, o padrão de circulação estuarina é o fator determinante.

IV ESTUÁRIO DO ITAJAÍ-AÇU

O Porto de Itajaí-Açu atende, basicamente, ao Estado de Santa Catarina, conjuntamente com o Porto de São Francisco do Sul, ve

rificando-se certa especialização nesses portos, com predomínio de carga geral no primeiro, e graneis no segundo (PORTOBRÁS, 1979).

Desenvolvemos no estuário do Itajaí-Açu três campanhas de reconhecimento e amostragem, visando sobretudo contribuir para a compreensão de seu regime, e elucidar alguns aspectos do assoreamento que aí se verifica, em especial a origem dos sedimentos que o causam se fluviais, se marinhos.

Os sedimentos de superfície de fundo foram abordados do ponto de vista de sua distribuição sazonal, para tanto tendo sido desenvolvidos duas campanhas, de acordo com a vazão do Itajaí-Açu. Os sedimentos em suspensão foram coletados numa campanha especial, quando se refez também parte da amostragem de superfície de fundo, para possíveis correlações.

Para os sedimentos de superfície de fundo, foi projetada uma rede de amostragem cobrindo desde as últimas evidências de penetração de água salgada no estuário, até uma pequena porção da plataforma adjacente (FIGURA 76). O limite de montante foi estabelecido tanto por informações verbais a respeito da penetração da água salgada, obtidas por medições não sistemáticas de salinidade, como por observações de campo sobre a ocorrência de vegetação típica de águas salobras.

As amostras de água foram coletadas em 12 estações, na preamar e na baixa-mar, segundo a disposição mostrada pela FIGURA 76. Concomitantemente, foram coletadas amostras de superfície de fundo nas seções correspondentes às estações de amostragem de material em suspensão.

A. Características gerais da circulação regional de sedimentos

O estuário do Itajaí-Açu desenvolve-se em planície costeira relativamente estreita, entre morros de rochas cristalinas. A parte mais interior dessa planície apresenta terraços fluviais e marinhos, enquanto que sua porção litorânea é essencialmente constituída de sucessivas linhas de antigas praias, configurando um lençol de areias regressivas.

Não obtivemos dados altimétricos mais detalhados que nos permitissem avançar a interpretação. Entretanto, as observações de campo e de fotos aéreas indicam evolução semelhante à da Baixada

FIGURA 76 - Rede de coleta de amostras no estuário do Itajaí-Açu.

Santista: é provável que as partes mais interiores da planície costeira correspondam a um evento correlato da Formação Cananéia, enquanto que os cordões litorâneos contíguos devam representar a regressão pos-flandriana.

A comparação de carta de fins do século passado, com cartas náuticas atuais mostra que o trecho final do estuário do Itajaí-Açu teve suas características naturais profundamente alteradas. Assim, o estuário terminava em um braço de meandro com desembocadura para N, apoiado no prolongamento do morro do Hospital; desse meandro fazia parte o atual Saco da Fazenda (FIGURA 77). O prolongamento do morro do Hospital pode ser detectado pela laje que se situa próximo ao farol nº 4 do molhe sul.

As principais alterações introduzidas nessa situação foram a construção de duas extensas linhas de molhes, uma norte e outra sul, truncando o antigo meandro (o que originou o Saco da Fazenda). Os molhes são levemente convergentes, e criaram uma nova saída, artificial, para o estuário, voltada para E-NE.

Segundo o Plano Diretor Portuário do Brasil (1974), em 1914 "foram iniciadas as obras de construção do porto. Em 1948 estavam concluídos 233 m do Cais Comercial, o terrapleno e um armazém. No trecho de 290 m e mais um armazém foram concluídos em 1955 e, finalmente em 1959, encerraram-se as obras no trecho final de 200 m ...".

Dessa forma, o estuário do Itajaí-Açu adquiriu a conformação que hoje mostram suas margens ao final da década de 50.

Além da conformação morfológica original da parte terminal do estuário, podemos notar que os recortes da costa, na região de Itajaí-Açu, mostram concavidade a sul, e crescimento das faixas sedimentares para norte, evidenciando então transporte litorâneo S-N, segundo os critérios de SILVESTER (1968, 1974).

Ora, um quadro genérico da variação sazonal de correntes costeiras (FIGURA 78), mostra uma tendência geral N-S, inversa por tanto da acima apontada, exceto de março a maio.

Exame de fotos aéreas tomadas no mês de junho mostram nítido do transporte rumo norte. Adicionalmente, examinamos transparências de todas as imagens da série LANDSAT disponíveis no CNPq/INPE, e, através da morfologia da pluma de sedimentos em suspensão asso-

FIGURA 77 - Conformação da foz do Itajaí-Açu em 1896, e atual (VARGAS, 1983).

FIGURA 78 - Variação sazonal das correntes costeiras na costa catarinense (Administração do Porto de Itajaí, sem data).

ciada à saída do Itajaí-Açu, pudemos inferir a seguinte situação:

06/04/1978	transporte S-N
15/05/1975	transporte S-N
13/06/1977	transporte N-S
06/06/1980	transporte N-S
15/07/1976	transporte N-S pouco acentuado
18/08/1973	transporte S-N
23/09/1973	transporte S-N

Para os meses restantes não haviam imagens com visibilidade adequada, devido a cobertura de nuvens. Entretanto, admitindo que o transporte de material em suspensão, detectado nas imagens, tenha mesmo sentido que o de fundo, parece-nos correto admitir que, na maior parte do ano, as correntes costeiras dirijam-se para norte, sendo esse o rumo predominante do transporte litorâneo.

Por outro lado, segundo o Setor de Engenharia da Administração do Porto de Itajaí o volume de assoreamento no canal de acesso, calculado a partir de duas sondagens ecobatimétricas de fachadas de 1 ano, executadas pela Companhia Brasileira de Dragagem, é da ordem de 180 000 m³. Até 1974, segundo o Plano Diretor Portuário do Brasil, a praticagem apontava pontos localizados de assoreamento no canal, por fuga de material do terrapleno, observando ainda que havia uma tendência à manutenção de cotas de 6,0 m no restante do canal.

A mesma fonte notava haver assoreamento da entrada da barra por estrangulamento, ocasionado por um banco de areia disposto para SE, a partir da extremidade do molhe norte. Não obstante, o mencionado Plano Diretor Portuário do Brasil afirma que o transporte litorâneo predominante é dirigido para N.

Assim, parece-nos importante, para efeito de melhor compreensão das contradições expostas na questão da movimentação dos sedimentos costeiros distinguir dois níveis de observação: um regional, comandado por fatores cuja causa não está ligada às características da área em foco, e outro local.

Entre os fatores regionais, podemos lembrar inicialmente a geração de ondas oceânicas provenientes da faixa de geração máxima de ciclones situada no intervalo de latitudes 40°-60°S. São estas ondas as responsáveis pelas principais tendências de movimentação

de sedimentos ao longo da costa (SILVESTER, 1974), e, embora não tenhamos obtido medidas de ondas para a região de Itajaí-Açu, observações de ondas mais a sul são sugestivas de que as ondas oceânicas da área de interesse venham de sul e sudeste. Além disso, sabe-se que, pela força de Coriolis, a tendência de saída de águas de estuários no hemisfério sul é para a esquerda, norte no caso do Itajaí-Açu.

Os fatores locais poderão sofrer alguma variação do esquema imposto pelos fatores regionais, e estarão ligados à conformação da costa, descarga fluvial e prisma de marés.

Assim, a praticagem de Itajaí observa que há uma tendência de saída de correntes para sul, a partir da barra do estuário. Isto talvez deva à concavidade da enseada nesse local, que poderia criar uma região de menores velocidades de correntes, para onde se dirigiria inicialmente o fluxo estuarino, antes de tomar rumo norte.

Esta possibilidade, e mais a inversão de corrente costeira que parece ocorrer em algumas épocas do ano, podem explicar a observação contida no Plano Portuário do Brasil de que há um engorramento de ambos os molhes do lado externo, enquanto que o crescimento do banco de areia que estrangula a entrada da barra se faz para sudeste.

Este último fato, aparentemente contraditório, prende-se à circulação local dos sedimentos, e será retomado quando da discussão da proveniência dos sedimentos de superfície de fundo.

B. Vazão fluvial e amostragem

Tendo em vista a premissa básica do presente trabalho, de que os sedimentos da superfície de fundo representam uma resultante da dinâmica sedimentar, incluindo aí a circulação das águas, deve-se ponderar os resultados obtidos em função de uma relação básica entre descarga fluvial e penetração da água do mar.

Com efeito, o avanço ou recuo da água salgada movimentada pelas marés no estuário do Itajaí-Açu, tem reflexos efetivos na sedimentação estuarina, dependendo esta última da relação entre dois fluxos básicos: os de correntes de maré, que adentram o estuário e provocam barramento; e o fluvial, que a estes primeiros se contrapõem.

Dessa forma nos pareceu básico iniciar a análise pelo conhecimento do regime sazonal do Itajaí-Açu. Além do reconhecimento, para o Itajaí-Açu, de um período de "águas altas", de julho a outubro, e um período de "águas baixas", de dezembro a maio, não identificamos nenhum trabalho que caracterizasse os dados hidrográficos da área de interesse.

Atendendo a nossa solicitação, o 2º Distrito do DNAEE, sediada em Curitiba, enviou dados de vazão de Itajaí-Açu e do Itajaí-Mirim, referentes a uma série de 44 anos, de 1935 a 1978.

As estações de observação foram escolhidas imediatamente a montante da última estação em que se detecta alguma variação de nível d'água fluvial por barramento da maré; são elas as estações de Indaial e Brusque.

Para essas duas estações foram calculadas as médias mensais de vazão, bem como seus desvios-padrões. Adicionalmente é apresentado um coeficiente de variação que é a razão entre desvio-padrão e média: quanto mais se aproxima da unidade, menos as médias são representativas.

No caso do Itajaí-Açu, os principais resultados obtidos acham-se apresentados nas FIGURAS 79 e 80.

O Itajaí-Açu apresenta dois máximos e dois mínimos de vazão. Os desvios-padrões das médias mensais são elevados, aproximando-se da média no mês de agosto. Isto mostra um regime em que a uma certa regularidade sazonal, impõem-se episódios de grandes descargas. Não é o intuito desta análise chegar às causas das variações de vazão desse rio; entretanto, pela situação da bacia do Itajaí-Açu, é possível que chuvas orográficas, sazonalmente associadas à chegada de frentes polares, possam causar rápidas cheias. Nesse sentido, deve-se considerar que o coeficiente de variação do mês de agosto, próximo da unidade, sugere que as variações de médias mensais desse mês estejam associadas a uma oscilação da época de chegada de frentes de primavera, responsáveis, provavelmente, pelo nítido máximo assinalado entre setembro e outubro.

A partir desses dados, esperava-se que a amostragem efetuada na primeira campanha de sedimentos da superfície de fundo, ter-se-ia situado em período de cheia do rio, quando, estatisticamente, a vazão do rio teria superado a marca das médias do máximo se

MES	MÉDIA MENSAL ($\bar{x}$) m^3/s	DESVIO-PADRÃO (s) m^3/s	$\frac{s}{\bar{x}}$
Janeiro	184,5	112,5	0,61
Fevereiro	245,4	172,0	0,70
Março	218,8	122,4	0,56
Abril	145,1	90,9	0,63
Mai	137,9	100,1	0,73
Junho	176,2	126,1	0,72
Julho	167,1	121,4	0,73
Agosto	234,7	227,8	0,97
Setembro	275,7	181,7	0,66
Outubro	282,3	183,1	0,65
Novembro	198,7	140,3	0,71
Dezembro	171,7	120,3	0,70

Média das médias anuais ($\bar{x}_1$) = 202,8 m^3/s
Desvio-padrão das médias anuais (S_1) = 67,6 m^3/s
 $S_1/\bar{x}_1 = 0,33$
Média das máximas anuais ($\bar{x}_2$) = 1919,8 m^3/s
Desvio-padrão das máximas anuais (S_2) = 906,3 m^3/s
 $S_2/\bar{x}_2 = 0,47$
Média das mínimas anuais ($\bar{x}_3$) = 36,3 m^3/s
Desvio-padrão das mínimas anuais ($\bar{x}_3$) = 13,8 m^3/s
 $S_3/\bar{x}_3 = 0,38$

NOTA: Os dados aqui apresentados foram calculados a partir de uma série completa de observações abrangendo um período de 44 anos (1935-1978).

FIGURA 79 - Principais características de descarga do rio Itajaí-Açu, na estação de Indaial.

FIGURA 80 - Representação gráfica dos dados de descarga do rio Itajaí - Açu (médias mensais de 1935 a 1978), na estação de Indaial.

cundário, que ocorrem em fevereiro.

Assim, essas amostras corresponderiam a um período em que a descarga fluvial ia adquirindo sua força máxima contrária à penetração das marés, não sendo representativa da fase de maior descarga fluvial, que só ocorreria entre setembro e outubro.

No entanto, é preciso considerar que, das variações observadas nas médias mensais, especialmente no mês de agosto, a assertiva feita anteriormente deve ser tomada com ressalvas. O significado da amostragem de 1982 só pôde ser analisado de modo mais real após a obtenção dos dados específicos referentes a 1982, já em 1983 (FIGURA 81).

Uma revisão e avaliação qualitativa dos dados de vazão do Itajaí-Açu, realizada em 1983 no 2º Distrito do DNAEE em Curitiba foi fortemente sugestiva de que se possa provavelmente vir a definir dois comportamentos básicos para o rio: em períodos de pluviosidade moderada, a distribuição de vazão segue aproximadamente o padrão da curva média da FIGURA 82. Porém, em anos excepcionalmente chuvosos, ocorrem máximas de inverno, sempre mais elevadas que as máximas de verão.

Ora, os dados então disponíveis, referentes a 1983, indicavam ser esse um ano de altas vazões, ou seja, excepcionalmente chuvoso, de tal sorte que o período de águas altas de inverno deveria ser mais pronunciado.

Essa previsão confirmou-se, aliás de modo catastrófico, conforme pode-se verificar na FIGURA 82.

Os dados de coeficiente de variação (FIGURA 82) são sugestivos de grande irregularidade de vazões de julho a setembro, melhorando em outubro e novembro.

Pela FIGURA 82 verifica-se que a vazão do rio, no momento da coleta dos sedimentos de superfície de fundo (final de junho - início de julho) estava em torno de $700 \text{ m}^3/\text{s}$, pelo segundo mês consecutivo (média de maio = $766,05 \text{ m}^3/\text{s}$), valores comparáveis ao período de maior vazão de 1982 (FIGURA 81).

Dessa forma, acredita-se que os sedimentos então coletados reflitam as fácies de superfície de fundo do estuário já adaptado a condições de águas altas, porém não excepcionais (que corresponderiam à situação imediatamente seguintes às cheias excepcionais

FIGURA 81 - Representação gráfica dos dados de descarga do rio Itajaí-Açu, na estação de Indaial, no ano de 1982.

FIGURA 82 - Representação gráfica de dados de descarga do rio Itajaí-Açu, estação de Indaial, para o ano de 1983.

do mês de julho).

Por outro lado, o material em suspensão foi coletado em 5 e 6 de outubro, ocasião em que o rio apresentava, pela curva de 1983 (FIGURA 1) vazões em torno de $300 \text{ m}^3/\text{s}$.

Mais precisamente, a partir de dados diários de vazão, sabe-se que a vazão do Itajaí-Açu na estação de Indaial era de $288,5 \text{ m}^3/\text{s}$ dia 5 e $240 \text{ m}^3/\text{s}$ dia 6 de outubro.

Esses valores aproxima-se daqueles que ocorreram durante a campanha de 1982.

Em síntese, em termos da vazão do rio, pode-se dizer que a campanha de 1983 processou-se sob condições comparáveis às das vazões médias máximas e mínimas de 1982.

Em decorrência, e de modo bastante simplificado, pode-se estimar que o conjunto de dados obtidos nas campanhas de 1982 e de 1983 podem ser projetados para situações de descarga significativas, realizáveis em um único ano.

C. Variações recentes da morfologia do fundo do estuário

Realizamos uma comparação entre as edições existentes da carta DHN 1801, com o objetivo de observar as tendências evolutivas da morfologia subaquática na área de interesse do estuário do Itajaí-Açu.

As cartas comparadas, ambas na escala 1:15 000, correspondem a:

- 1a. edição, publicada em 13/12/1936, levantamento de 1935, com pequenas correções no período de 1937 a 1949, correta até 30/09/1955.
- 2a. edição, publicada em 11/06/1957, levantamento de 1956, com pequenas correções no período de 1958 a 1980, correta até 30/06/82.

A comparação tem caráter mormente qualitativo e é apresentada nas FIGURAS 83 e 84, destacando-se as mudanças que seguem.

Na região litorânea observa-se na carta da edição mais moderna, ampliação da área de profundidades menores que 5 m (ou seja, há engordamento) a norte e a sul dos molhes de proteção da barra.

FIGURA 83 - Esboço da 1ª edição da Carta DHN 1801 (1935). Notar áreas com profundidades maiores que 9m, na porção mais a montante do estuário.

FIGURA 84 - Esboço da 2ª edição da Carta DHN 1801 (1956). Notar comparativamente à 1ª edição, redução de profundidades mais a montante e aumento junto à barra.

A norte do molhe norte o contorno da isóbata de 5 m mantém-se paralelo ao traçado antigo, apenas deslocando-se em direção ao mar aberto. Por outro lado, o sul do molhe sul, na edição mais antiga, a isóbata - 5 m apresenta uma reentrância até bem próximo da linha de costa, com profundidades mais ao largo em torno de 6 m. Na edição mais recente da carta 1801, esta mesma curva mostra-se retificada, sugerindo acreção de material de fundo neste local.

O restante do contorno da curva de - 5 m, nas demais áreas litorâneas é muito semelhante, senão coincidente, em ambas as edições da carta 1801.

Situação semelhante é observada no contorno da isóbata -10m, que embora não seja o mesmo nas cartas das duas edições, situa-se aproximadamente à mesma distância da costa. As diferenças no contorno desta última curva devem-se provavelmente à maior densidade de observações do levantamento efetuado para a carta da segunda edição.

No interior do estuário, a montante do banco da margem esquerda, situado em frente ao porto, observa-se nas duas cartas, que as formas do canal, bem como as dos bancos situados nas margens convexas permanecem as mesmas em ambas as cartas. Por outro lado, as profundidades do canal principal são sempre maiores na versão mais antiga da carta DHN 1801. Esta situação é evidenciada pela diminuição das áreas abrangidas pelas curvas de - 9 m e - 10 m traçadas nas FIGURAS 83 e 84.

Na área terminal do estuário, que compreende a bacia de evolução e canal de acesso, observa-se também uma certa manutenção da forma do canal de maiores profundidades, embora na carta mais antiga a largura desta faixa de maiores profundidades seja menor.

Ainda na área terminal do estuário observam-se na carta da segunda edição, profundidades ligeiramente maiores, sobretudo na barra e bacia de evolução. Estas mudanças devem refletir as sucessivas remoções de material de fundo por dragagem, desenvolvidas mais recentemente.

Exemplos desta situação ocorrem no banco da margem esquerda, situado em frente ao cais, que se apresenta bem menor na carta mais recente, e também no banco arenoso da barra, quase inexisten

te na carta da 2a. edição.

As observações sobre as variações de profundidades a partir das duas edições da carta 1801 da DHN, embora devam ser tomadas como avaliações qualitativas, sugerem como modificação mais significativa a redução generalizada de profundidades no setor do interior do estuário situado a montante do cais e nas áreas litorâneas situadas imediatamente a norte e sul dos molhes protetores da barra do Itajaí-Açu.

As modificações observadas na porção terminal do estuário, compreendendo a bacia de evolução e canal de acesso, foram ocasionadas por dragagem.

No restante e de maneira mais geral, verifica-se uma forte tendência à manutenção da forma e deposição do canal de maiores profundidades no interior do estuário, bem como a manutenção da morfologia subaquática em toda a área litorânea mais afastada da barra.

D. Características dos sedimentos de superfície de fundo

1. Resultados obtidos na campanha de 1982

a) Observações realizadas durante a amostragem

Durante a campanha de amostragem na área de interesse foram realizadas, simultaneamente à coleta, descrições tátil-visuais sobre as características dos sedimentos recolhidos. Dentre as informações destacam-se a composição granulométrica estimada, consistência, presença de restos vegetais, estruturas sedimentares, coloração, e presença de restos de organismos e/ou organismos vivos.

A sistematização dessas informações para o conjunto das amostras recolhidas na área de interesse, permitiu a elaboração do mapa da FIGURA 85, cujos elementos principais são descritos a seguir.

Na porção superior do estuário, a montante do perfil das amostras 72-73-74, observam-se sedimentos de composição mista argilosa e arenosa com colorações castanha a amarronzada em superfície passando gradualmente em direção à base para coloração cinza mais escura. As cores castanha e marrom indicam proveniência fluvial de aporte terrígeno, que gradualmente vai

se adaptando às condições mais redutoras da parte cinza das amostras.

As porções de sedimentos mais arenosos distribuem-se em faixas alongadas e estreitas, sobretudo nas margens convexas, tendo um desenvolvimento semelhante às barras de meandro dos canais tipicamente fluviais, quer se considere a porção do Itajaí-Açu em que já começa a prevalecer um regime mais fluvial (a montante da seção 72-73-74), quer na região já tipicamente estuarina, como é o caso do banco arenoso situado à altura da bacia de evolução, defronte ao cais da PORTOBRÁS.

Ainda a montante da seção 72-73-74 concentram-se as áreas de exposição do embasamento sedimentar mais antigo, atestadas pela presença de sedimentos mais consistentes, freqüentemente apresentando restos de conchas e/ou presença de "seixos" de material argiloso mais coeso, misturado em areias mais grossas (amostra 82). Essas áreas de exposição do embasamento mais antigo encontram-se preferencialmente junto às margens côncavas, que apresentam na porção emersa feições de erosão intensa, como solapamento e desbarrancamento de margens, como por exemplo, à altura da estação 81.

Nesses locais o embasamento sedimentar mais antigo encontra-se praticamente em erosão, sendo que algumas vezes (ponto 74) o amostrador recupera apenas fragmentos do substrato, cobertos por película milimétrica de material argiloso oxidado.

A jusante do perfil das amostras 72-73-74 até a barra, ocorrem sedimentos tanto de composição arenosa como argilosa, apresentando coloração amarronzada característica de material oxidado, sempre recobrando material de mesma granulometria e coloração cinza escura. Neste setor, especialmente nas proximidades das amostras 68-69-70, observou-se um espessamento da porção superior de material oxidado que atinge espessuras de 5 a 6 cm, indicando uma deposição mais intensa deste tipo de material.

Levando em conta que a coloração amarronzada é característica de material terrígeno, oxidado, de aporte fluvial, pode-se supor que é neste setor que se processa com maior intensidade o efeito do barramento por marés, ocasionando a decantação de sedimentos.

No Saco da Fazenda observam-se amostras de composição mais fina, exclusivamente silto-argilosas, onde a coloração amarronza da é dominante, sugestiva de deposição, tanto de material oxidado carreado pelo estuário, como da remobilização de material de terraplenagem das margens.

Ainda na porção terminal do estuário, junto aos pontos 29 e 32, observaram-se amostras de composição argilosa na base e arenosa no topo, constituindo duas fases distintas. Assim, a porção arenosa é exclusivamente arenosa e se sobrepõe, por conta brusco, ao material argiloso basal. Esta situação deve corresponder ao avanço de areias marinhas, transportadas por arraste em direção ao interior do estuário.

A região fora da barra é caracterizada por duas áreas de sedimentos de diferentes composições, arenosas e argilo-siltosas, bem diferenciadas, não se observando, à execução das amostras 7, 8 e 16, a presença de material oxidado. Junto às praias e à saída norte do estuário predomina material arenoso, quase sem argilas, de coloração cinza clara. No restante predominam siltes e argilas de coloração cinza escura, sem a presença de material oxidado. Apenas nos pontos 7, 8 e 16 observou-se pequena película de material acastanhado, indicando contribuição fluvial para o próprio material transportado pelas correntes costeiras mais próximas.

b) Classificação textural

A distribuição faciológica apresentada na FIGURA 86 foi feita segundo a classificação textural do diagrama triangular de SHEPARD (1954, in SUGUIO, 1973).

Esta classificação, não obstante ser necessariamente numérica, tem a vantagem de dar uma descrição mais facilmente perceptível do sedimento, já que se aproxima bastante de sua descrição táctil-visual.

Ela indica, para a área da plataforma a N da saída do estuário, uma graduação de areias até argilas. Estas últimas configuram uma mancha de limite *grosso modo* N-S, enquanto que as areias adentram o estuário, contornando o molhe N. Os siltes, por sua vez, delimitam uma clara zona de influência na parte sul da porção final do estuário e ocupam uma expressiva porção da plata

taforma a sul da desembocadura do estuário, após o que se separam das areias próximas à região praial.

Essa distribuição sugere um transporte N-S, que carrega sedimentos arenosos para dentro do estuário até após a altura da amostra 29, com influência reduzida na altura da amostra 32 (silte argilo-arenoso). Indica também que a parte terminal do estuário é claramente dividida em duas porções longitudinais, predominando siltes na metade sul, que se estendem à plataforma.

Dessa maneira, a circulação de sedimentos na porção terminal do estuário é indicativa de um esquema bem definido de entrada de material grosso em faixa que perlonga o molhe norte, e saída de material fino a sul dessa faixa. Naturalmente, não se pode excluir que haja entrada de siltes da plataforma estuário dentro, de tal sorte que a língua de siltes que se estende após as amostras 32 e 33 representam, em conjunto com as areias, um limite de avanço da água salina por ocasião das preamares.

O restante da área estudada do estuário, bem como o Saco da Fazenda, até a bacia de evolução, revela uma predominância de argilas siltosas, com algumas exceções, a seguir discutidas.

Um banco arenoso delinea-se na altura das amostras 59 e 62. Levando em conta observações de campo efetuadas a montante da bacia de evolução, já na porção fluvial do Itajaí-Açu, que revelaram forte corrente e erosão acentuada nas concavidades de meandros, parece mais provável relacionar o crescimento desse banco ao aporte fluvial, e não da derivação do material arenoso da plataforma.

Defronte a esse banco arenoso, e apoiando-se no final do cais da PORTOBRÁS, define-se uma mancha siltosa mais ou menos contínua. É possível que essa mancha, bem como aquela definida em torno das amostras 48 e 49 sejam em parte originadas por fuga de material do terrapleno. Esta questão já havia sido apontada no Plano Hidroviário Nacional, e, se tiver somente essa origem, deverá ser resolvida com a consolidação das obras que atualmente se desenvolvem no cais.

Já os sedimentos arenosos entre os espigões das amostras 109, 110, 111 e 113 acham-se bastante próximos da frente de penetra-

tração do material arenoso da plataforma. Observações de campo mostraram ainda acúmulo de areia na porção NE da área entre os espigões da amostra 114. Assim, a tendência de penetração de areia da plataforma ao longo do molhe N pode ser retrazada estuário adentro até a altura do espigão que se situa entre as amostras 108 e 109.

c) Diâmetro médio

A distribuição dos diâmetros médios difere da classificação textural de SHEPARD, pois descreve uma tendência estatisticamente obtida, buscando uniformizar inclusive populações de dados com distribuição não normal (bimodais, por exemplo).

O padrão obtido, representado na FIGURA 87, mostra uma distribuição faciológica bastante concordante com a obtida através da classificação de SHEPARD.

Assim, na região da plataforma tem-se, da costa para E, passagem de areias para siltes (estes com diversas gradações), configurando mais nitidamente o padrão de transporte N-S anteriormente sugerido. A N do molhe norte, e adentrando o estuário até pouco após a amostra 26, tem-se uma mancha de areias finas, que são os sedimentos de granulação mais grossa detectados em toda a área de estudo. Esta mancha de areia fina deve corresponder à porção final de um banco de areia, provavelmente enriquecido com areias mais grossas provenientes da zona de arre-bentação próxima do molhe norte.

Neste mapa, a zona principal de penetração de sedimentos pelo avanço da água salina pode ser delineada até pouco após a amostra 32, por meio de uma faixa de areias finas, siltes grossos e siltes médios. A metade sul da porção final do estuário é dominada por sedimentos mais finos (siltes finos e siltes muito finos). Esta situação no conjunto é similar à indicada no mapa prévio.

Cabe aqui retomar a questão do banco arenoso, apresentada ao final da exposição dedicada à circulação regional de sedimentos, para destacar que essa feição sedimentar sofre influência de fatores de ordem regional e local. Do ponto de vista regional, o banco deve crescer por adição de material proveniente da deriva litorânea predominante sul-norte, com alguma reversão

d) Assimetria

Do ponto de vista dinâmico, interpretamos, por hipótese, áreas caracterizadas por assimetrias negativas como sendo sujeitas a um processo de lavagem, o que explicaria a tendência à remoção de seus componentes mais finos. As áreas de assimetria positiva indicariam regiões em que há certa tendência à deposição, por algum tipo de barramento ou interferência dos agentes de transporte.

Na área estudada, a partir da distribuição da assimetria (FIGURA 88) podem ser constatadas, segundo os critérios anteriormente expostos, as seguintes zonas principais de movimentação:

Na plataforma, uma faixa aproximadamente N-S, com inflexão para a ponta do molhe sul. Esta faixa deve representar a zona de mais intensa movimentação local.

Imediatamente a N do molhe norte, contornando-o em direção do estuário, coloca-se uma mancha de sedimentos com assimetria negativa. Esta mostraria que, no processo de carreamento de areia da plataforma dentro do estuário, já evidenciado pela análise dos mapas precedentes, uma ação mais enérgica da penetração da corrente se verifica até pouco além da amostra 29. Esta situação serve de elemento de suporte para a determinação do limite mais efetivo de arraste provocado pela penetração de água marinha.

No interior do estuário, até o final da bacia de evolução, nota-se um predomínio de assimetrias negativas, que se estende em direção à barra até após as amostras 30 e 31. Considerando que a montante da bacia de evolução o regime estuarino cede passo rapidamente a um regime fluvial (de contínua remoção de finos por lavagem), pode-se interpretar essa predominância de assimetrias negativas como indicativa de capacidade do sistema estuarino em promover a remoção barra afora dos sedimentos mais finos. Esta situação é sugestiva de um predomínio da descarga fluvial no balanço resultante da interferência rio-correntes de maré.

Das regiões de domínio de sedimentos de assimetria positiva destaca-se a faixa da plataforma orientada aproximadamente norte-

norte-sul, por ocasião das mudanças de rumo de corrente costeira. Entretanto, nota-se que há uma continuidade das areias do banco para o interior do estuário, conforme mencionamos, para a qual provavelmente contribuem fatores locais, quais sejam, correntes associadas ao prisma de maré.

Para o interior do estuário, até o final da bacia de evolução, dominam siltes finos e siltes muito finos, com as exceções a seguir discutidas.

Nas proximidades da amostra 62 delinea-se um banco arenoso (areia muito fina) que se expande para jusante na mancha de siltes médios das amostras 59 e 60.

Siltes médios são ainda encontrados entre os espigões do molhe norte, até a altura da amostra 109.

Essa distribuição concorda bastante com a discutida no mapa anterior, e pode ser da mesma forma interpretada.

Entretanto, alguns outros elementos tornam-se agora mais sugestivos: a mancha de siltes médios (amostras 59 e 60) alongando-se para jusante, bem como a faixa de siltes finos (amostras 70, 68, 65, 63, 64, 61, 58, 57 e 55) que se colocam em continuidade com o banco de areia, e que também se espalham para jusante, parecem indicar que o crescimento do banco de areia (amostra 62) se faz mais por acreção de material vindo de montante, ou seja, do rio, que de material arenoso da plataforma.

Ao longo dos espigões do molhe norte coloca-se uma faixa de siltes finos que chega a atingir o molhe sul à altura da amostra 40. Por sua ligação imediata com o material mais grosso que adentra o estuário, sugerem que as correntes de enchente possam carrear sedimentos até pouco a montante da amostra 50, ou seja, quase até o final do molhe norte: Esta constatação estende significativamente a área de influência de sedimentação por efeito de marés, que o mapa precedente indicava situar-se cerca do espigão que se coloca entre as amostras 108 e 109.

Nesse sentido, a mancha de siltes finos próxima da amostra 49 tanto pode representar uma migração para jusante dos siltes finos, que chegam até a amostra 55, como se constituir de material de fuga do terrapleno, ou ainda estar associada à penetração da água salina.

sul e situada entre as duas áreas de assimetria negativa primeiramente citadas, estendendo-se para o estuário até pouco além da amostra 32. Esta faixa parece indicar, fora da barra, uma região de interferência entre a corrente costeira e a zona de deriva N-S adjacente ao molhe norte. Barra adentro, deve corresponder à zona de máxima interferência entre a água salina e o fluxo fluvial, indicando, pois uma região em que se pode esperar assoreamento importante por decantação de finos.

Mais para o interior do estuário, é interessante notar que poucas áreas de assimetria positiva, situadas entre os espigões do molhe norte, devem denotar acreção de material com adição de finos.

A mancha de sedimentos de assimetria positiva junto às amostras 59 e 62, demarca a presença de um banco de areia, sugerindo que durante seu crescimento haja adição de finos.

A mancha de sedimentos simétricos no entorno da amostra 55 pode ser indicativa de uma tendência à formação de um banco de sedimentos ao longo daquela faixa do cais.

A distribuição de assimetrias negativas no Saco da Fazenda é curiosamente sugestiva de boa movimentação de suas águas. Esta indicação deve, porém, ser ainda tomada com reservas.

e) Curtose

O padrão de distribuição da curtose mostra que valores leptocúrticos ocorrem de ambos os lados externos dos molhes norte e sul, na foz do estuário, e a montante, além da seção 78-79-80. Valores platicúrticos dominam o restante da área (FIGURA 89). Se admitirmos que as populações leptocúrticas descrevem populações mais homogêneas, e as platicúrticas mais heterogêneas, com relação ao agente de transporte, ou com relação à área-fonte, torna-se possível a interpretação que segue.

Os sedimentos leptocúrticos da plataforma estariam associados à faixa de movimentação de sedimentos próxima da zona de surf, havendo então tendência à constituição de populações adaptadas a essas condições dinâmicas. Mais ao largo, passariam a dominar sedimentos constituídos pela mistura de diversas populações, dada a deriva de sedimentos ao longo da costa, bem como à própria contribuição estuarina.

FIGURA 89 - Distribuição de curtose - campanha de 1982.

No interior do estuário, pode-se notar que faixas leptocúrticas ocupam as concavidades dos meandros, opostas a faixas platicúrticas, estas onde há acreção de material sedimentar.

Usando este indicador, de modo empírico, parece-nos poder, tentativamente, distinguir uma zona estuarina, caracterizada por adição de diferentes populações originais, desde a foz até a seção 87-88-89, a montante da qual caracterizar-se-ia o mencionado padrão fluvial.

f) Distribuição das porcentagens de areia

Com o objetivo de avaliar a distribuição de material arenoso na área de interesse foram plotadas em planta as porcentagens em peso das classes granulométricas superiores a 0,062 mm, para o conjunto das amostras analisadas.

Após a plotagem, foram estabelecidos arbitrariamente os intervalos: 0 a 10%, 10 a 20%, 20 a 50% e maior que 50%, e em seguida traçadas as respectivas curvas de isovalores.

A separação das classes granulométricas correspondentes às areias (maiores que 0,062 mm) tem importância realçada devido aos diferentes modos de transporte dos materiais arenosos e silto-argilosos.

Os materiais arenosos, embora também possam ser transportados em suspensão, são predominantemente transportados por arraste de fundo, especialmente em condições estuarinas, onde as velocidades de fluxo não são geralmente altas o suficiente para manter areias em suspensão.

Já o material silto-argiloso mais fino, mesmo em condições de menor energia do meio (menor velocidade e turbulência), ainda pode ser mantido em suspensão, sendo este seu modo preferencial de transporte.

A partir do mapa das porcentagens de areia no estuário do Itajaí-Açu (FIGURA 90) é possível separarmos três setores, distintos quanto às distribuições do material arenoso nas amostras.

O primeiro setor, situado a montante do perfil das amostras 68-69-70, é caracterizado por maiores quantidades de material arenoso disposto em faixas estreitas e alongadas localizadas nas margens convexas. Nas margens côncavas e nas porções centrais

FIGURA 90 - Distribuição das porcentagens de areia.

do canal encontram-se sempre amostras com teor de material arenoso inferior a 10% (em média de 1 a 5%), sendo que em alguns locais (ponto 81 p.ex.) observou-se a exposição do embasamento sedimentar mais antigo, atestando a predominância de processos erosivos.

Esta distribuição de material arenoso sugere uma circulação semelhante à de canais fluviais meandantes, onde as máximas velocidades de fluxo concentram-se nas margens côncavas, havendo uma diminuição de velocidade, e conseqüente deposição de material arenoso nas margens convexas.

O mesmo padrão de distribuição de material arenoso, mantém-se para as amostras localizadas mais a montante (96 a 107).

O segundo setor, coloca-se a jusante do perfil das amostras 68-69-70, estendendo-se até a barra, e apresenta uma distribuição de material arenoso diversa da anterior.

Neste setor, embora ainda haja uma certa tendência de concentração de material arenoso junto às margens convexas, o padrão mostra-se mais complexo, evidenciando a interferência de outros processos na distribuição do material arenoso.

Imediatamente a jusante da bacia de evolução, englobando as amostras 63-64, 60-61 e 56-58, observa-se uma área de maiores concentrações de material arenoso, disposta transversalmente ao canal, truncando o padrão anteriormente observado.

É provável que a maior concentração do material arenoso neste local seja o resultado da deposição comandada pelo barramento imposto pelas marés ao fluxo fluvial, que teria sua velocidade, reduzida ao máximo neste trecho do canal do Itajaí-Açu.

Mais a jusante, nas proximidades das amostras 39-40, encontra-se outra área de maior concentração de material arenoso, disposta transversalmente ao canal. Esta segunda área apresenta amostras com menores quantidades de material arenoso (teor máximo = 16 %) e também encontra-se menos desenvolvida.

Na margem esquerda e mais próxima à barra, nas proximidades dos espigões, coloca-se uma estreita faixa de maiores concentrações de material arenoso, que se estende até a amostra 50. Mais próximo à barra e ao molhe norte (amostras 26 e 29) os teores de areia são superiores a 50%, enquanto que no restante observam-se concentrações de 10 a 20% e 20 a 50%.

Esta distribuição de material arenoso é sugestiva de arraste de fundo comandado pela movimentação da água marinha, que encontra suporte adicional quando se observa composição da amostra 29. Nesta amostra observou-se na porção superior areia fina, sem argila, em contato brusco com material fino, silto-argiloso, sugerindo um avanço de material arenoso marinho em direção ao interior do estuário.

Finalmente, o último setor, que se localiza barra afora, apresenta as maiores concentrações de material arenoso (aproximadamente 12 amostras essencialmente arenosas). Neste setor as maiores concentrações de material arenoso correspondem ao domínio dos processos costeiros praias.

As áreas com teor superior a 50% passam de forma relativamente brusca, através de estreitas faixas de orientação aproximada sul-norte, para as áreas de domínio de material fino localizado mais longe da barra.

Observa-se uma estreita passagem de material fino (teores inferiores a 10% de areia) que liga o interior do estuário às áreas de domínio de material fino situadas barra afora. Esta situação sugere uma saída de material fino do estuário, que é dispersado pelas correntes costeiras (sul-norte e norte-sul), indo depositar-se mais distalmente sobre a plataforma continental.

g) Análise de minerais pesados

Os dados referentes à análise de minerais pesados de 35 amostras regularmente distribuídas por toda a área estudada, foram tratados por análise de agrupamento, segundo os coeficientes de Pearson e de distância.

No presente estudo pode-se dizer que o coeficiente de distância pode ser útil na detecção de similaridade entre amostras, independentemente da fonte, pois que se baseia em valores percentuais absolutos dos minerais pesados. Já os grupos obtidos pelo coeficiente de Pearson seriam mais indicativos de derivações de sedimentos de suas áreas fontes, imaginando-se que valores percentuais possam variar com a distância da área-fonte, mantendo, entretanto, suas proporções relativas.

Para se efetuar uma análise de agrupamento, é necessário compor uma matriz numérica de dados, em que teores iguais a zero

devem ser evitados, para que não se efetuem correlações por ausência. Examinando-se a FIGURA 91, percebe-se que apenas cinco variáveis satisfazem a essa condição: epídoto, hornblenda, hiperstênio, turmalina e zircão. Nas amostras em que essas variáveis ocorrem como traços, foi-lhes atribuído um valor arbitrário de 0,1 para efeito numérico.

. Amostras com teor de areia superior a 10 %

A análise de minerais pesados em amostras mais arenosas, visou à determinação da proveniência do material transportado por arraste que forma os bancos arenosos que crescem nas convexidades dos meandros fluviais e estuarinos do Itajaí-Açu, bem como do material que vem assoreando a região dos espigões do molhe norte.

De montante para jusante, ao longo do estuário, foram escolhidas as amostras 93, 97, 83, 88, 62, 59, 60, 55, 109, 110, 111, 112, 113, 114 e 115, bem como as amostras 5, 15, 16, 17, 18 e 25, estas em domínio marinho. A amostra 5 foi incluída, apesar de ter pouco menos de 10 % de areia, por situar-se em posição de interesse para correlação.

Os agrupamentos pelo coeficiente de Pearson, ou de similaridade, podem ser visualizadas no dendrograma da FIGURA 92, sendo sugestivos os seguintes grupos:

- a) 17, 18
- b) 83, 60, 68, 113, 25
- c) 87, 115, 93, 55
- d) 15, 110, 62, 109, 114, 112, 59, 16, 5

Este último grupo aparentemente comporta subdivisões. Entretanto, é mais conveniente caracterizar um único grupo, pois os coeficientes de correlação são muito elevados, havendo mesmo a possibilidade de que as pequenas variações dentro do grupo sejam dadas pelos próprios processos de cálculo (e suas aproximações) do método empregado.

AMOSTRAS MINERAIS	05	06	07	15	16	17	18	25	30	36	42	48	54	55	59	60	62	66	68	73	76	83	87	88	93	109	110	111	112	113	114	115	116	117	123	
Anatásio	tr	-	tr	tr	tr	-	tr	tr	-	tr	tr	tr	-	tr	-	tr	tr	-	1	1	1	-	-	tr	tr	-	tr	-	tr	-	-	-	-	-	-	tr
Andaluzita	tr	-	tr	tr	tr	tr	1	tr	-	-	tr	tr	tr	tr	tr	1	tr	tr	tr	-	-	tr	tr	tr	-	tr	-	tr	-	tr	-	-	-	-	1	tr
Anfibólio Incolor	2	1	-	1	1	tr	tr	tr	1	1	tr	1	1	tr	tr	2	tr	1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	1	tr	tr	tr	1	tr	2	tr	tr	13	tr	
Apatita	1	1	1	1	2	2	tr	3	2	3	1	1	tr	1	3	1	1	tr	1	1	tr	tr	tr	1	1	1	1	tr	1	tr	tr	1	tr	1	1	
Clinopiroxênio	tr	4	tr	tr	tr	tr	tr	tr	2	3	1	1	1	2	tr	1	1	tr	tr	tr	1	tr	1	tr	1	tr	tr	2	2	tr	tr	1	tr	1	2	
Carbonato	tr	1	1	tr	-	tr	-	-	tr	-	tr	tr	tr	-	-	-	-	tr	-	1	1	tr	-	tr	-	-	-	-	-	-	-	-	tr	-	-	
Cianita	tr	-	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	-	tr	tr	tr	tr	tr	-	tr	tr	-	tr	-	tr	-	-	tr	tr	-	-	-	-	-	-	-	-	
Epídoto	19	15	15	10	17	13	11	18	13	15	17	19	10	12	21	14	13	14	21	23	30	32	5	17	10	19	15	17	21	22	15	15	21	20	15	
Estaurolita	tr	-	-	-	tr	tr	2	2	tr	-	-	tr	-	tr	tr	tr	tr	tr	tr	1	-	tr	tr	tr	-	tr	1	tr	tr	tr	tr	tr	-	tr	-	-
Granada	tr	-	tr	1	tr	tr	1	tr	tr	-	-	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	1	1
Hornblenda	48	43	28	22	32	10	17	23	39	40	38	41	43	55	39	18	25	27	22	25	21	19	28	30	43	30	28	35	42	29	30	40	43	42	19	
Hiperstênio	2	2	1	2	1	1	1	3	2	1	1	3	3	2	2	7	1	1	1	1	1	tr	3	1	1	3	1	2	1	2	2	5	1	2	2	
Rutilo	tr	tr	tr	tr	1	2	2	1	tr	-	-	tr	-	-	-	1	1	tr	tr	-	1	tr	tr	tr	1	tr	1	-	-	1	1	-	tr	2	-	
Siderita	tr	2	-	-	-	tr	-	tr	-	-	-	tr	-	2	-	tr	-	tr	tr	tr	-	1	tr	tr	-	tr	-	-	-	-	-	tr	-	-	-	
Sillimanita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	tr	-	tr	tr	tr	-	tr	-	-	tr	tr	tr	-	-	-	-	tr	-
Titanita	tr	tr	tr	tr	tr	-	tr	2	tr	tr	-	tr	tr	tr	-	tr	1	tr	tr	tr	tr	tr	-	2	tr	tr	tr	-	tr	tr	tr	tr	tr	3	-	2
Turmalina	3	2	4	3	2	3	4	6	4	3	1	3	4	2	4	3	4	2	2	7	8	4	5	4	3	4	5	2	4	7	2	6	2	2	2	
Zircão	1	tr	4	9	3	10	16	6	9	1	2	1	2	tr	2	2	6	4	5	8	3	6	8	16	5	5	8	2	3	2	5	8	2	1	3	
Outros	tr	tr	-	-	tr	tr	tr	tr	tr	-	-	-	tr	tr	-	-	-	-	tr	-	-	tr	tr	-	-	tr	-	tr	-	tr	-	-	tr	-	3	
Opacos	10	21	25	35	30	55	36	25	16	12	14	21	18	10	18	35	38	35	33	18	13	11	46	18	15	28	25	27	12	26	30	16	10	17	21	
Semi-opacos	13	7	16	13	10	3	10	11	10	15	22	8	16	12	9	15	8	15	13	10	16	24	4	7	18	10	13	12	13	12	13	8	17	8	25	
Agreg. Sericítico	tr	1	1	2	tr	-	tr	-	1	5	3	tr	2	1	1	tr	tr	tr	tr	tr	3	2	2	-	3	tr	-	2	-	tr	-	-	tr	1	3	2
Fosfato Biogênico	tr	tr	tr	tr	-	-	-	-	-	-	-	tr	-	-	-	tr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

FIGURA 91 - Frequência de minerais pesados não magnéticos e não micáceos na fração 0,062 a 0,125 mm.

IPT-DMA-RECURSOS MINERAIS
 NOME DO PROJETO = ITAJAI
 RESPONSÁVEL = PONCAHO

FOLHA = DIN-1801
 TIPO = MINERAIS PESADOS
 INTERESSADO = INPH/PORTOBRAS

DATA = 14/10/82
 NÚMERO DO PROJETO = 1955.01.7
 UNIDADE EXECUTORA = GEOESTATÍSTICA

DENDROGRAMA- EIXO-X CONTEM VALORES DE SIMILARIDADE

MINERAIS PESADOS COM MAIS DE 10% DE AREIA

VARIÁVEIS: EPID-HORN-MIPR-TURN-ZIRC

FIGURA 92 - Dendrograma segundo o coeficiente de Pearson para amostras com mais de 10 % de areia.

Nota-se ainda que a correlação entre os grupos e e d é elevada (0,93100), diversamente do que ocorre entre os grupos c e b (0,65908) e b e a (0,61879).

A distribuição em planta desses resultados pode ser visualizada na FIGURA 93.

Nela se constata que o grupo a é exclusivamente marinho, não se deixando retrair para o interior do estuário, sendo ainda o grupo mais dissimilar dos demais. É provável que ele seja representativo dos sedimentos arenosos do banco de areia marinhas, que avança ao longo do molhe norte.

O grupo b engloba amostras que se situam desde o final da área de penetração de água salgada (amostra 83) até o domínio marinho raso (amostra 25). Das quatro amostras estuarinas que compõe este grupo, três situam-se em bancos arenosos (83, 68 e 60) e uma entre espigões do molhe norte (113). Esta situação é sugestiva de derivação de montante para jusante, ou seja, de um aporte em que predominem as correntes fluviais e/ou de vazantes. A amostra 25 pode estar refletindo uma derivação do material resultante do estuário, quando predominam na zona litorânea correntes de sul para norte, situação que ocorre provavelmente na maior parte do ano.

O grupo c reúne as duas amostras mais típicas fluviais (93 e 87), coletadas em pontos em que não há supostamente penetração de água salobra, e onde o regime fluvial é afetado somente por efeitos de barramento das marés, que lhe diminuem periodicamente a capacidade de transporte. Amostras deste mesmo grupo são detectadas no banco em formação à altura da amostra 55, bem como entre os espigões do molhe norte, à altura da amostra 115. Esta situação é sugestiva de uma derivação de montante para jusante, ou seja, de uma derivação fluvial.

O grupo d é caracteristicamente estuarino e marinho. No estuário é encontrado na margem esquerda, no banco arenoso em crescimento em frente ao cais, e bacia de evolução (amostras 59 e 62), e também entre os espigões do molhe norte (amostras 109, 110, 111, 112 e 114). Em domínio marinho, nas partes mais profundas da área investigada (amostras 5 e 16) pode ser retracado na faixa em que mapas analíticos anteriores indicaram saída de

material estuarino. A amostra 15, situada em região mais rasa, também se liga a esse grupo.

Dois pontos merecem ainda destaque. Primeiramente, deve-se notar que a correlação entre os grupos c e d é alta (0,93100) ; considerando-se o grupo c de origem fluvial, conforme exposto anteriormente, pode-se supor que parte do material constituinte do grupo d seja de derivação continental.

Outro ponto a ser considerado é a dissimilaridade das amostras a norte (17, 18 e 25) e a sul (5, 15 e 16) da saída do estuário . Nota-se que amostras que ocupam posições mais ou menos simétricas com relação à saída do estuário, pertencem a grupos separados por baixos coeficientes de similaridade (0,65908). Esta situação é sugestiva de que o engordamento nas partes externas dos molhes norte e sul se faz sazonalmente, de acordo com o predomínio da corrente costeira mais próxima para norte ou para sul.

O dendrograma da FIGURA 94 sugere os seguintes agrupamentos de amostras, através do coeficiente de distância:

- a) 83;
- b) 17, 18;
- c) 60, 68, 25, 113, 114, 109, 111, 16;
- d) 87, 110, 62, 15;
- e) 55, 115, 93, 112, 59, 5.

A distribuição em planta desses agrupamentos pode ser visualizada na FIGURA 95.

A amostra 83 mostra, segundo o coeficiente de distância ora empregado, baixa similaridade com o restante das amostras analisadas.

O grupo b é característico do domínio marinho, identificando-se com o grupo a segundo o coeficiente de Pearson (item 4.2.2.1). As amostras do grupo c situam-se em sua maior parte no domínio marinho (16 e 25).

O grupo d inclui amostras tipicamente fluvial (87), estuarinas (62 e 110) e marinha (15).

O grupo e mostra distribuição similar à do grupo d, incluindo uma amostra fluvial (93), quatro estuarinas (59, 60, 55, 112 e 115), e uma marinha (5).

IPT-DNCA-RECURSOS MINERAIS FOLHA = DNM-1801 DATA = 14/10/82
 NOME DO PROJETO = ITAJAI TIPO: MINERAIS PESADOS NUMERO DO PROJETO = 1955.01.7
 RESPONSÁVEL = PONCANO INTERESSADO = INPH/PORTOBRAS UNIDADE EXECUTORA = GEOESTATISTICA

DENDROGRAMA- EIXO-X CONTEM VALORES DE SIMILARIDADE

MINERAIS PESADOS COM MAIS DE 10% DE AREIA

VARIÁVEIS: EPID-HORN-HIPR-TURN-ZIRC

FIGURA 94 - Dendrograma segundo o coeficiente de distância, para amostras com mais de 10 % de areia.

Os grupos d e e, que o dendrograma da FIGURA mostra situa-rem-se em famílias totalmente distintas, separadas pela máxima distância entre grupos (241, 63879) tem um ponto em comum de grande significado: acham-se eles representados em áreas de domínio fluvial, estuarinho e marinho. Isto mostra que, segundo o coeficiente ora utilizado, há uma grande semelhança na composição mineralógica do conjunto das amostras analisadas. Isto se deve provavelmente a que os sedimentos transportados ao longo da costa reúnem tanto contribuições de outras drenagens, como também de material alterado dos pontões rochosos que interrompem as faixas praias arenosas.

Assim, uma análise da proveniência e dispersão dos sedimentos arenosos segundo este critério, torna-se mais difícil.

Entretanto, algumas conclusões parciais são possíveis; amostras dos grupos d e e caracterizam os bancos arenosos mais tipicamente fluviais (amostras 93 e 87), ocorrendo ainda no banco defronte ao cais e bacia de evolução (amostras 59 e 62) e no banco em formação no cais no entorno da amostra 55. Daí para jusante, ocorre entre espigões do molhe norte (amostras 112 e 115) e logo após a desembocadura do estuário (amostra 5). Se para estas últimas amostras (5 e 115) pode-se propor, como hipótese, a entrada de material marinho, o restante da disposição das amostras dos grupos d e e sugere maior ligação com sedimentos fluviais.

Por outro lado, o grupo c, o mais numeroso, tem quatro de suas oito amostras entre os espigões de molhe norte, e outras duas no banco arenoso defronte ao cais e bacia de evolução. Este grupo parece ser mais útil na definição dos limites de uma sedimentação estuarina, que na definição da proveniência de sedimentos por arraste. Assim, esta região em que a circulação estuarina teria influência na deposição do material transportado por arraste, ficaria definida da altura da amostra 68 (final da bacia de evolução) para jusante, justamente onde ocorre a maior parte das amostras do grupo c, bem como amostras dos grupos d e e, indicando que é nesse mesmo espaço que ocorre a maior mistura de sedimentos de composições diferentes.

Complementarmente, deve-se notar que o grupo b, exclusivamente

marinho, acha-se bastante distanciado do grupo c, o que é sugestivo de pouca influência de aporte marinho por arraste do mar para o interior do estuário.

Finalmente, há também uma coincidência interessante de que amostras dos grupos d e e encontram-se a sul da desembocadura do estuário, já que mapas analíticos prévios são sugestivos de um fluxo estuarino para sul, o que reforça um transporte arenoso rio abaixo, conforme se discutiu para os grupos d e e anteriormente.

. Amostras com teor de areia menor que 10%

A análise mineralógica das amostras com teores menores que 10% de areia visou a análise da origem e distribuição dos sedimentos mais finos, transportados predominantemente por suspensão. Como no caso das amostras mais arenosas, foram usados dois coeficientes de agrupamento: o de Pearson e o de distância. Levando-se em conta que estas análises referem-se, em boa parte, a amostras que se situam em áreas sujeitas a dragagens, os resultados obtidos devem ser tomados com reservas.

Os resultados obtidos pelo coeficiente de Pearson são apresentados no dendrograma da FIGURA.96, e sugerem os seguintes grupos:

a) 76, 123 e 73;

b) 88;

c) 54, 30, 117, 48, 116, 42, 66, 7, 36, 6.

Em planta (FIGURA 97) esses resultados mostram que há grande similaridade na composição dos sedimentos finos do estuário (66, 54, 48, 42, 36 e 30), do Saco da Fazenda (116 e 117) e do domínio marinho (6 e 7), conforme a distribuição do grupo c. É interessante notar que, nesse grupo, as amostras 30 e 54 são ligeiramente diferenciadas. Coincidentemente elas se acham próximas de locais mais arenosos (amostras 29 e 50, respectivamente), o que é sugestivo de uma contaminação (natural) das assembléias mineralógicas.

Duas amostras do grupo a (73 e 76) são indicativas de uma mudança na composição mineralógica do material transportado em suspensão, pouco a montante da bacia de evolução. É posssível

FIGURA 96 - Dendrograma segundo o coeficiente de Pearson, para amostras com menos de 10 % de areia.

FIGURA 98 - Dendrograma segundo o coeficiente de distância, para amostras com menos de 10 % de areia.

que esse seja o limite máximo montante, da maior influência da circulação estuarina, na deposição do material em suspensão. Os resultados de agrupamentos de amostras obtidos através do coeficiente de distância estão sintetizados nas FIGURAS 98 e 99 compondo os seguintes grupos:

- a) 88;
- b) 76 e 73;
- c) 123, 66 e 7;
- d) 54, 30, 116, 117, 48, 36, 6;

A discriminação de outros grupos na família de amostras do grupo d mostrou-se improdutiva do ponto de vista interpretativo. Assim, a distribuição de grupos indicados pelo coeficiente de distância corresponde grandemente à indicada pelo coeficiente de Pearson.

O grupo c, entretanto, é sugestivo de que material em suspensão marinho (amostra 7) possa se depositar até a altura da baía de evolução (amostras 123 e 66). Torna-se também significativa a situação da amostra 66, pertencente ao grupo d, característico do estuário, pois estaria colocada em local de passagem do fluxo resultante do estuário.

• Análise de agrupamento integrada das amostras

O total das 35 amostras analisadas do ponto de vista mineralógico foi analisado em conjunto, visando-se estabelecer analogamente entre os diferentes tipos de sedimentos, transportados por arraste e por suspensão.

Através do coeficiente de Pearson, obteve-se o dendrograma da FIGURA 100.

Dada a grande variação da composição granulométrica das amostras envolvidas, os agrupamentos a seguir listados são aqueles melhor evidenciados pelo dendrograma, com algumas simplificações, estabelecendo-se porém um mínimo de similaridade de 0,90 para o conjunto das 30 primeiras amostras listadas no dendrograma. São assim reconhecidos os seguintes grupos principais:

- a) 18, 17;
- b) 76, 83;

IFT-DHNA-RECURSOS MINERAIS
NOME DO PROJETO = ITAJAI
RESPONSÁVEL = PORCANO

FOLHA = DHN-1801
TIPO MINERAIS PEGADOS
INTERESSADO = INPH/PORTOBRAS

DATA = 14/10/82
NÚMERO DO PROJETO = 1955.01.7
UNIDADE EXECUTORA = DEOESTATISTICA

DENDROGRAMA - EIXO-X CONTEM VALORES DE SIMILARIDADE
MINERAIS PEGADOS (AMOSTRAGEM TOTAL)
VARIÁVEIS: EPID-MONN-MIPR-TURN-ZIRC

FIGURA 100 - Dendrograma segundo o coeficiente de Pearson para todas as amostras analisadas petrograficamente.

c) 87, 30, 115, 93, 54, 55, 88, 15;

d) 60, 73, 68, 113, 123, 25, 110, 62, 109, 66, 114, 7, 112, 59, 16, 48, 42, 116, 117, 111, 6, 36, 5.

A distribuição destes grupos em planta é mostrada na FIGURA 101. O grupo a, exclusivamente marinho, já foi mostrado através de análises prévias.

O grupo b contém uma amostra de banco arenoso do final do estuário (83) e uma amostra fina (76), sugerindo deriva para jusante de material fino em suspensão.

O grupo c mantém uma amostra marinha (15) e duas próximas à desembocadura do estuário (30 e 115). Por outro lado, inclui amostras francamente fluviais (93, 87 e 88) e francamente estuarinas (54 e 55).

Sabe-se que há inversão sazonal da corrente costeira, o que permitiria tecer hipótese a respeito da semelhança entre as amostras 15, 30 e 115. Entretanto, isto torna-se especulativo, considerando-se o padrão de entrada de areias ao longo do molhe norte, indicado por outros dados analíticos.

O restante das amostras deste grupo é sugestivo de uma deriva de sedimentos fluviais para o estuário, incrementando o banco em formação na altura da amostra 55.

O grupo d aproxima amostras marinhas (5, 6, 7, 16 e 25), do canal do estuário (73, 66, 60, 48, 42 e 36), do Saco da Fazenda (116 e 117), dentre os espigões do molhe norte (109, 110, 111, 112, 113, 114 e 123) e do banco arenoso defronte à bacia de evolução (59, 62, 68).

Esta situação parece refletir, de início, a já mencionada similaridade entre sedimentos finos da corrente costeira e os sedimentos transportados em suspensão no estuário. O limite principal da deposição desses sedimentos poderia ser colocado a montante da amostra 73 (limite a montante da área de ocorrência do grupo d).

É bastante significativa a aproximação que este grupo propõe para as amostras que os espigões do molhe norte (região de decantação de material estuarino) e as do banco arenoso defronte à bacia de evolução. Ela sugere que, embora as areias desse banco possam ser derivadas de material fluvial (conforme exposto

anteriormente), ele recebe também uma adição de material tipicamente estuarino. Nessa linha de raciocínio, considerando-se a provável deriva fluvial do banco que se coloca à altura da amostra 55, essa situação sugere que o material estuarino fino que se adiciona ao banco arenoso defronte a bacia de evolução, corresponde, em parte, à fração mais fina do material marinho que penetra ao longo do molhe norte.

A correlação de todas as amostras através do coeficiente de distância mostra duas grandes famílias (FIGURA 102), cada qual com vários grupos. Amostras de ambientes fluvial, estuarino e marinho encontram-se nas duas famílias, de tal forma que os resultados desta análise são ilustrativas da grande semelhança na composição mineralógica em amostras desses diferentes ambientes, não sendo portanto úteis do ponto de vista da interpretação sobre sua origem.

2. Resultados obtidos na campanha de 1983

a) Observações realizadas durante a amostragem

As principais observações de campo referem-se a áreas de exposição do embasamento pré-sedimentação atual, identificados por ocorrência de argilas muito rijas.

De montante para jusante ocorrem áreas de exposição do embasamento no entorno dos pontos 81, 79 e 74. Com relação à campanha de 1982, nota-se uma redução nessas áreas de exposição do embasamento sedimentar mais antigo, situação sugestiva de seu entulhamento parcial por ocasião das cheias, quando maior quantidade de sedimentos seria transportada.

b) Classificação textural

A distribuição de fácies segundo a classificação textural de SHEPARD (1954, *apud* SUGUIO, 1973) é apresentada na FIGURA 103.

Segundo este critério percebem-se, para a região da plataforma, dois domínios distintos, com limite N-S, *grosso modo* alinhado à costa: um de areias, estendendo-se da praia até profundidades de 5-6 m, e outro de siltes e argilas, desde a barra do estuário até a parte mais externa da área amostrada na plataforma.

As areias adentram o estuário para além da amostra 45, definindo provavelmente o limite de atuação da água marinha na movimen

IPT-DMA-RECURSOS MINERAIS
NOME DO PROJETO = ITAJAI
RESPONSAVEL = PONGANO

FOLHA = DHH-1001
TIPO-MINERAIS PESADOS
INTERESSADO = INPH/PORTOBRA

DATA = 15/10/82
NUMERO DO PROJETO = 1955.01.7
UNIDADE EXECUTORA = DEOESTATISTICA

DENDROGRAMA- EIXO-X CONTEM VALORES DE SIMILARIDADE

FIGURA 102 - Dendrograma segundo o coeficiente de distância para todas as amostras analisadas petrograficamente.

tação de sedimentos por arraste.

Os siltes da plataforma têm também uma ligação com material si milar do estuário.

A situação que se configura é de penetração de material arenoso da plataforma ao longo do molhe norte, e saída de material fino do estuário, em faixa ao longo do molhe sul. Este material fino une-se, na plataforma, a siltes e argilas transportados por corrente próxima da costa (que seriam, aliás, provenientes de outros cursos d'água que chegam à costa nessa região).

Por outro lado, o trecho mais a montante, ora investigado, entre as seções 93-94-95 e 59-50-61, caracteriza-se por predomínio de fundos arenosos e acumulação de siltes e argilas especialmente nas porções de margens convexas. Esta disposição obedece já a um pa drão fluvial, com predomínio das condições de circulação de se dimentos pelo fluxo do rio.

Entre as seções 59-60-61 e 44-45-46 não há um padrão definido , nem tipicamente dominado pela penetração marinha, nem caracte risticamente influenciado pela correnteza do rio.

c) Diâmetro médio

Nota-se que os padrões aqui obtidos (FIGURA 104) são essencial mente semelhantes aos anteriores (FIGURA 103), se bem que com re dução das porções arenosas, mais restritas ao centro do canal do estuário.

O alargamento da faixa arenosa na foz do Itajaí-Mirim é bastante sugestivo do aporte sólido dessa drenagem.

Ainda com relação às areias, é interessante notar, no baixo es tuário, que a faixa arenosa entre as seções 32-33-34 e 44-45-46 não se acha diretamente ligada às areias da plataforma, como no caso anterior.

Ademais há que se notar um aumento da área em que não se pode definir claramente qual o processo de transporte dominante, se fluvial, se marinho. No caso anterior essa área parecia estar limitada pelas seções 59-60-61 e 44-45-46. Aqui, ela parece es tender-se entre as seções 44-45-46 e 65-66-67, abrangendo já boa parte da bacia de evolução.

d) Distribuição das porcentagens de areia

- CONVENÇÕES
	Argila
	Site muito fino
	Site fino
	Site médio
	Site grosso
	Areia muito fina
	Areia fina
	Areia média
	Areia
	Área de exposição do emboscamento
	sedimento mais antigo

FIGURA 104 - Distribuição do diâmetro médio - campanha de 1982.

A avaliação da distribuição das classes granulométricas correspondentes às areias (maiores que 0,062 mm) prende-se aos diferentes modos de transporte dos sedimentos arenosos e silto-argilosos.

Assim, embora as areias também possam ser transportadas em suspensão, são predominantemente transportadas por arraste de fundo. Já o material silto-argiloso é preferencialmente transportado em suspensão.

Dessa forma, o padrão de distribuição das areias (FIGURA 105), especialmente onde ocorrem em porcentagens elevadas, podem auxiliar a definir as tendências de circulação de sedimentos esboçados pelos mapas de distribuição texturas e de diâmetros médios.

No geral, pode-se perceber, segundo este critério, os mesmos compartimentos definidos anteriormente.

Entretanto, a distribuição das areias entre o final da bacia de evolução (seção 68-69-70) e as proximidades da barra (seção 29-30-31) sugere que areias de proveniência continental possam ser transportadas mais a jusante da bacia de evolução (entornos da seção 53-54-55), eventualmente chegando à faixa arenosa que começa próximo à seção 44-45-46. Esta faixa arenosa, que estaria ligada à penetração de areias marinhas, conforme se expôs anteriormente, poderia então, em episódios de maior descarga do Itajaí-Açu, receber também material arenoso, continental.

3. Variações temporais das fácies de superfície de fundo

As campanhas de amostragem de sedimentos de superfície de fundo de 1982 e 1983 referem-se a situações de descargas fluviais em torno de $250 \text{ m}^3/\text{s}$ e $750 \text{ m}^3/\text{s}$, representativas portanto das situações médias de cheia e estiagem, embora tenhamos que ressaltar o baixo significado das médias no caso do Itajaí-Açu.

Comparando-se as duas campanhas através da classificação textural, temos, no que se refere à plataforma, grande semelhança de resultados, com uma faixa de areias próxima à costa e uma faixa de siltes e argilas rumo ao mar, relacionada ao aporte de finos das drenagens da região, e do próprio estuário do Itajaí-Açu (FIGURA 106).

Muito diversa é a situação no interior do estuário, em que,

FIGURA 106 - Esboço da distribuição de diâmetros médios dos sedimentos de superfície de fundo em 1982 e 1983.

na campanha de 1982 tinha-se um predomínio de argilas e siltes. Em 1983 são as areias que predominam do início da bacia de evolução (seção 59-60-61) para montante, ocupando ainda uma expressiva área entre a seção 44-45-46 e a barra do estuário.

Essa mudança reflete bem a resposta sedimentar à variação de descarga do rio - cerca de $300 \text{ m}^3/\text{s}$ em 1982, em águas baixas e cerca de $700 \text{ m}^3/\text{s}$ em 1983, em águas altas.

Aceitando-se, numa primeira aproximação, que a faixa arenosa do baixo estuário represente o limite máximo de atuação da água marinha, no que se refere a sedimentos transportados por ar raste, teríamos um limite nas proximidades da seção 44-45-46.

Uma comparação, tendo por critério as variações de diâmetros médios, reforçam as alterações verificadas acima, segundo mostra a FIGURA 106.

Em 1982, pode-se dizer que o estuário, acima da seção 32-33-34 era domínio de siltes e argilas, ficando as areias quase que exclusivamente limitadas à plataforma.

Já em 1983 há faixas de areia descontínuas ao longo de todo o trecho amostrado no estuário, que se interrompem, a jusante, pouco abaixo da seção 32-33-34. Esta situação é sugestiva de que material arenoso de origem continental possa, em épocas de águas altas, depositar-se até bem mais a jusante da seção 53-54-55. Esta seção havia sido indicada, na campanha de 1982, como ainda representativa de tendência à deposição de material grosso na convexidade do estuário (entorno da amostra 55), disposição indicativa de um fluxo fluvial importante.

A comparação dos mapas de distribuição das porcentagens de areia das duas campanhas mostra, mais uma vez, as mudanças ocorridas na superfície de fundo do estuário, que passa a ser revestido, durante os períodos de águas altas, por sedimentos com altos teores em areia (FIGURA 107).

Conforme já se havia notado em outras ocasiões, a distribuição de areias de 1983 é fortemente sugestiva de aporte de sedimentos continentais até a região dos molhes. O limite montante da faixa mais arenosa do baixo estuário está próximo à seção 44-45-46, em concordância com a hipótese admitida no caso da classificação textural.

FIGURA 107 - Distribuição esquemática das porcentagens de areia dos sedimentos de superfície de fundo em 1982 e 1983.

Em vista porém da possibilidade de acreção de areias conti
nentais, deve-se fazer reservas de que essa seção (44-45-46) repre
sente a zona de influência de água marinha no transporte por arras
te.

A distribuição por porcentagens de areia na porção terminal
do estuário, em 1982, sugeria que a influência da água marinha na
penetração de material por arraste estendia-se até a seção 50-51-52.

Ter-se-ia então uma retração, por ocasião das águas altas de
1983, em cerca de 450 m da água salina, para jusante, quando compa
rada à situação de águas baixas de 1982.

Levando em conta a possibilidade de transporte de areias flu
viais para as porções mais baixas do estuário, deve-se considerar
que essa distância de 450 m pode ser uma estimativa conservadora.

Finalmente, como realizamos duas amostragens de sedimentos de
superfície de fundo em 1983, uma em junho e outra em outubro (FI
GURA 82), podemos comparar as situações prévia e posterior às
cheias excepcionais de junho-agosto.

A distribuição de diâmetros médios em outubro de 1983 (FIGU
RA 108) é muito semelhante à de junho de 1983 (FIGURA 104), mostran
do apenas pequeno aumento em área dos fundos arenosos.

É preciso notar que essa comparação não pode ser rigorosa ,
pois amostramos em outubro metade das estações amostradas em junho.
Adicionalmente, ressaltamos também que a amostragem de outubro deu
-se após dois meses da fase principal das cheias, e três meses
após a cheia principal.

Levando em conta essas restrições, podemos considerar que a
maior alteração das fácies de fundo deu-se de 1982 para 1983 (FIGU
RA 106), em função das prolongadas altas vazões do rio (exceto abril,
sempre acima de $400 \text{ m}^3/\text{s}$). Um episódio de cheia catastrófica (mē
dia máxima em julho, superior a $2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$) não parece ter altera
do substancialmente a situação prévia.

E. Salinidade e material em suspensão

Estes elementos foram analisados a partir de amostras coleta
das em 12 estações, cuja localização é mostrada na FIGURA 76.

1. Salinidade

Os valores de salinidade estão apresentados na FIGURA 109, e

FIGURA 108 - Distribuição esquemática do diâmetro médio após as cheias de 1983.

AMOSTRA	TEOR EM NaCl (p.p.m.)	AMOSTRA	TEOR EM NaCl (p.p.m.)
1T	5 000	13T	3 500
1M	25 000	13M	24 000
1B	26 000	13B	26 000
2T	1 500	14T	3 500
2M	26 000	14M	17 000
2B	26 000	14B	27 000
3T	1 300	15T	3 600
3M	30 000	15M	6 000
3B	26 000	15B	26 000
4T	1 100	16T	3 500
4M	26 000	16M	4 000
4B	26 000	16B	17 000
5T	2 500	17T	2 900
5M	26 000	17M	4 200
5B	26 000	17B	17 000
6T	2 400	18T	2 600
6M	25 000	18M	4 000
6B	26 000	18B	13 000
7T	5 000	19T	2 600
7M	24 000	19M	7 000
7B	26 000	19B	20 000
8T	1 800	20T	2 700
8M	24 000	20M	9 000
8B	26 000	20B	25 000
9T	700	21T	1 800
9M	25 000	21M	4 200
9B	26 000	21B	21 000
10T	800	22T	1 400
10M	9 000	22M	2 700
10B	25 000	22B	20 000
11T	300	23T	800
11M	13 000	23M	14 000
11B	25 000	23B	25 000
12T	250	24T	1 300
12M	3 500	24M	1 800
12B	20 000	24B	2 100

Preamar

Baixa-mar

FIGURA 109 - Teores em sais (calculados para NaCl).

sua distribuição espacial, em curvas de isovalores, na FIGURA 110.

A situação de preamar, indica que toda a seção estudada do estuário encontra-se sob domínio de água salobra ou salgada. Estas últimas apresentam valores mais baixos que os esperados para águas oceânicas; definem porém uma região de elevados teores em sais, com valores acima de 25 000 p.p.m..

Ainda que de modo arbitrário, é possível colocar uma separação de duas zonas de domínios de águas diferentes, passando pela curva de isovalores de 25 000 p.p.m.. Isto configura, de modo sugestivo, uma cunha de água marinha até a altura da estação 11.

Para a preamar, então, sob as condições de vazão investigadas, em torno de 250 m³/s, próxima da vazão média do rio em estiaagem, verificamos que água marinha penetra no estuário acima da estação 12, ou seja, acima da zona máxima de influência marinha detectada pela análise dos sedimentos de superfície de fundo, sob condições semelhantes de descarga fluvial.

Em baixa-mar parece-nos possível definir dois estratos, limitados pela curva de 5 000 p.p.m.. Apesar de apresentar gradientes verticais de salinidade bastante similares ao longo de toda a seção, o estrato inferior mostra algumas irregularidades, basicamente porções de água mais salgada no fundo, à altura das estações 8 e 11, além de uma nítida configuração em cunha entre as seções 1 e 4.

2. Material em suspensão

As concentrações de sedimentos em suspensão são apresentadas na FIGURA 111, enquanto que sua distribuição ao longo da seção amostrada encontra-se na FIGURA 112.

A situação de preamar denota claramente uma zona de maiores concentrações associada à penetração da maré, com intensidade máxima até as proximidades da estação 9. O contato entre a zona de maiores e menores concentrações pode ser colocado na isocurva de 100 mg/l, e configura uma cunha, sugestiva de um contato bem definido entre dois tipos de água.

No caso da baixa-mar, há que se notar que quase todos os valores se distribuem em faixas abaixo da última isocurva de preamar (de 40 mg/l). A amostra 14B foi

LEGENDA

— CURVA DE ISOVALOR DE SALINIDADE (psm)

— SUBSTRATO DE FUNDO

① PONTO DE COLETA DAS AMOSTRAS

ESCALA { H. 1 : 40 000
V. 1 : 200

FIGURA 110 - Salinidade ao longo do estuário do Itajaí-Açu, preamar e baixa-mar.

AMOSTRA	RESÍDUO ($\frac{\text{mg}}{\text{l}}$)	AMOSTRA	RESÍDUO ($\frac{\text{mg}}{\text{l}}$)
1T	33,2	13T	30,4
1M	10,9	13M	31,1
1B	18,5	13B	60,8
2T	27,5	14T	28,5
2M	186,4	14M	30,9
2B	267,2	14B	226,8
3T	27,1	15T	22,8
3M	353,2	15M	30,3
3B	108,4	15B	29,0
4T	21,7	16T	27,9
4M	9,8	16M	30,1
4B	80,7	16B	37,6
5T	29,1	17T	26,3
5M	78,8	17M	19,9
5B	126,5	17B	15,8
6T	24,7	18T	26,0
6M	91,5	18M	26,7
6B	215,1	18B	24,8
7T	29,7	19T	14,6
7M	79,5	19M	34,3
7B	233,5	19B	22,4
8T	26,1	20T	36,6
8M	61,3	20M	27,2
8B	227,8	20B	29,7
9T	25,7	21T	35,7
9M	47,4	21M	27,9
9B	83,9	21B	17,0
10T	30,8	22T	40,0
10M	16,0	22M	33,6
10B	85,6	22B	31,2
11T	36,6	23T	41,3
11M	13,4	23M	32,8
11B	90,5	23B	33,2
12T	52,4	24T	33,5
12M	44,7	24M	36,6
12B	71,5	24B	44,0

Preamar

Baixa-mar

FIGURA 111 - Concentrações de materiais sólidos em suspensão.

FIGURA 112 - Material em suspensão ao longo do estuário do Itajaí-Açu, preamar e baixa-mar.

excluída deste tratamento por apresentar valor anômalo.

A partir de uma isocurva de 45 mg/l, situada na desembocadura do estuário (estação 1), tem-se concentrações gradativamente menores até 20 mg/l, até pouco a montante da estação 9. Entre as estações 9 e 12 há um ligeiro aumento nas concentrações, caracterizado pela curva de 35 mg/l.

A disposição das faixas de isovalores de baixa-mar é sugestiva de mistura, na vertical, de parte das águas do estuário.

Há pois um grande contraste entre as situações de preamar e baixa-mar. No primeiro caso há uma marcação bem definida entre duas zonas diferentes quanto aos seus teores em sedimentos em suspensão, enquanto que no segundo caso não há limites nítidos a destacar.

Complementarmente, procedemos à caracterização granulométrica dos sedimentos em suspensão em aparelho *Coulter Counter*. Analisamos os resultados assim obtidos pelo método de WARD (BOUROCHEV & SAPORTA, 1982). O critério de agrupamento consiste em fundir as duas classes em que a inércia é menor, o que equivale a reunir as duas classes mais próximas, tendo como distância entre elas a perda de inércia em que se incorre ao agrupá-las.

A inércia interclasse é definida como a média dos quadrados das distâncias entre os centros de gravidade de cada classe e o centro de gravidade total.

Para compor a matriz de dados de correlação, não seria possível usar as 16 classes granulométricas, anteriormente definidas, já que, pelo fato de cada amostra totalizar 100 %, o determinante da matriz resultante seria nula.

Decidimos então fazer a correlação a partir das primeiras classes granulométricas, ou seja, eliminando-se a classe 1,00 a 0,794 μm . Esta escolha prende-se ao fato de que a classe 1,00 a 0,794 μm apresenta numerosos valores nulos, e todos eles bem menores que a primeira classe (32,0 a 25,4 μm).

A correlação foi feita separadamente para preamar e baixa-mar, levando em conta a influência das velocidades de corrente na seleção das populações em suspensão (SENGUPTA, 1975, 1979).

Os resultados obtidos estão apresentados nas FIGURAS 113 a 116.

WARD'S MINIMUM VARIANCE HIERARCHICAL CLUSTER ANALYSIS

SIMPLE STATISTICS

	MEAN	STD DEV	SKEWNESS	KURTOSIS	BIMODALITY
CLASS1	2.46111	1.90794	1.06837	2.26567	0.18646
CLASS2	3.10278	1.47613	1.05338	1.65369	0.44285
CLASS3	4.94722	1.51135	0.11866	-0.12714	0.32211
CLASS4	6.13000	1.77515	-0.64318	-0.47621	0.55503
CLASS5	6.67500	1.92449	-0.46733	-0.54824	0.42152
CLASS6	7.33611	1.80240	-0.33027	-0.82564	0.45273
CLASS7	7.74722	1.58430	-0.65923	-0.27277	0.49558
CLASS8	8.48333	1.16078	-0.64655	0.13226	0.45161
CLASS9	8.69167	0.77515	-0.73547	1.26254	0.34063
CLASS10	10.16333	0.53763	0.43191	0.25144	0.33264
CLASS11	10.64444	2.36371	-2.53244	10.67474	0.53141
CLASS12	10.95833	2.80819	0.84619	0.73651	0.42752
CLASS13	11.16556	5.44326	1.26064	1.75033	0.51517
CLASS14	0.45556	0.17476	0.32655	-0.35526	0.37648
CLASS15	0.35278	0.18591	0.40567	-0.32222	0.39434

EIGENVALUES OF THE COVARIANCE MATRIX

EIGENVALUE	DIFFERENCE	PROPORTION	CUMULATIVE
32.11604	46.78675	0.75991	0.75991
5.32930	1.61576	0.07771	0.83762
3.71354	0.34303	0.05415	0.89177
3.37054	2.02757	0.04915	0.94091
1.34297	0.24713	0.01958	0.96050
1.05584	0.25635	0.01540	0.97589
0.75949	0.40724	0.01107	0.98697
0.35225	0.11023	0.00514	0.99210
0.24253	0.11868	0.00353	0.99563
0.12337	0.02714	0.00140	0.99703
0.08622	0.04056	0.00061	0.99864
0.05567	0.03303	0.00036	0.99900
0.02264	0.02176	0.00013	0.99913
0.00088	0.00000	0.00001	0.99914
0.00081		0.00001	1.00000

ROOT-MEAN-SQUARE TOTAL-SAMPLE STANDARD DEVIATION = 2.13825
 ROOT-MEAN-SQUARE DISTANCE BETWEEN OBSERVATIONS = 4.2614

NUMBER OF CLUSTERS	FREQUENCY OF NEW CLUSTER	RMS STD OF NEW CLUSTER	SEMI-PARTIAL R-SQUARED	F-SQUARED	APPROXIMATE EXPECTED F-SQUARED	CUBIC CLUSTERING CRITERION
10	2	1.40143	0.012273	0.062334	0.256710	-0.5430
9	4	1.12341	0.014309	0.068025	0.275321	-0.5453
8	9	0.857073	0.015543	0.052483	0.259981	-0.5298
7	4	1.17411	0.020717	0.031766	0.242113	-0.6611
6	11	1.06111	0.024357	0.007404	0.240020	-0.7753
5	12	1.2512	0.037251	0.0770158	0.274622	-1.0881
4	15	1.18651	0.043221	0.026593	0.260078	-1.0773
3	9	1.45477	0.069414	0.057523	0.267593	-1.0138
2	27	1.45462	0.115375	0.042148	0.266657	-0.8254
1	36	2.13625	0.242148	0.000000	0.000000	0.0000

FIGURA 113 - Resumo dos cálculos estatísticos e gráfico de agrupamento, método de WARD, para a preamar.

FIGURA 114 - Distribuição dos Grupos correlacionados segundo o método de WARD, para a preamar

WARD'S MINIMUM VARIANCE HIERARCHICAL CLUSTER ANALYSIS

SIMPLE STATISTICS

	MEAN	STD DEV	SKEWNESS	KURTOSIS	BIMODALITY
CLASS1	2.56111	1.87804	0.62433	-0.49069	0.45908
CLASS2	2.34167	1.32025	0.15924	-0.53265	0.37907
CLASS3	3.26885	1.49853	0.51825	-0.24644	0.41814
CLASS4	4.26944	1.66467	0.46891	-0.18340	0.39453
CLASS5	4.32500	1.53927	0.74135	0.75877	0.38412
CLASS6	5.05556	1.36576	0.21811	-0.16744	0.33708
CLASS7	5.73611	1.50545	0.35312	-0.79285	0.45304
CLASS8	6.85833	1.26983	0.55933	-0.67553	0.52279
CLASS9	7.84444	1.28498	0.85626	1.05244	0.41667
CLASS10	10.20556	1.23078	0.55057	-0.35433	0.46174
CLASS11	12.18056	1.47218	1.38814	3.44466	0.40517
CLASS12	14.45000	2.46755	0.25904	0.16459	0.31021
CLASS13	20.40278	6.25573	-0.25900	-1.11254	0.49405
CLASS14	0.36389	0.13910	0.09646	-0.53639	0.36856
CLASS15	6.15722	0.14636	0.51382	-0.37342	0.43557

EIGENVALUES OF THE COVARIANCE MATRIX

EIGENVALUE	DIFFERENCE	PROPORTION	CUMULATIVE
53.21968	45.06415	0.76166	0.76166
8.15553	4.59326	0.11672	0.87838
3.16227	1.54042	0.04526	0.92363
1.62165	0.14910	0.02321	0.94684
1.47254	0.57356	0.02107	0.96792
0.89499	0.29445	0.01267	0.98059
0.40454	0.30154	0.00865	0.98924
0.30300	0.13018	0.00434	0.99358
0.17282	0.04518	0.00247	0.99605
0.12764	0.05950	0.00183	0.99788
0.06774	0.02202	0.00097	0.99885
0.04572	0.02607	0.00065	0.99950
0.01945	0.01820	0.00028	0.99978
0.00146	0.00129	0.00002	1.00000
0.00017	.	0.00000	1.00000

ROOT-MEAN-SQUARE TOTAL-SAMPLE STANDARD DEVIATION = 2.15629

ROOT-MEAN-SQUARE DISTANCE BETWEEN OBSERVATIONS = 6.35503

NUMBER OF CLUSTERS	FREQUENCY OF NEW CLUSTER	RMS STD OF NEW CLUSTER	SEMI-PARTIAL R-SQUARED	R-SQUARED	APPROXIMATE EXPECTED R-SQUARED	CUBIC CLUSTERING CRITERION
10	4	1.09693	0.011549	0.587742	0.500846	-1.0327
9	6	0.925654	0.013108	0.574634	0.486522	-0.9937
8	6	1.21359	0.016747	0.457837	0.474236	-1.0338
7	4	1.1822	0.018116	0.459771	0.457133	-1.0229
6	11	0.564655	0.022533	0.417238	0.436565	-0.8305
5	7	1.44272	0.031432	0.785806	0.609256	-0.9073
4	13	1.40369	0.042145	0.743661	0.771551	-0.9420
3	12	1.27583	0.045356	0.694264	0.711744	-0.5303
2	23	1.39727	0.102734	0.561530	0.566649	0.0562
1	36	2.15629	0.591530	0.000000	0.000000	0.0000

FIGURA 115. - Resumo dos cálculos estatísticos e gráfico de agrupamento, método de WARD, para a baixa-mar.

FIGURA 116 - Distribuição dos grupos correlacionados segundo o método de WARD, para a baixa-mar

No caso da preamar, foram estabelecidos três grupos, considerados significativos em função da distribuição de valores característicos (*eigenvalue*) e de desvios-padrões (FIGURA 113).

Os três grupos reconhecidos foram então distribuídos segundo a seção amostrada (FIGURA 114), que foi dividida em áreas de predominância de cada um dos grupos. O resultado obtido é muito sugestivo da existência de uma população de sedimentos característicos da desembocadura do estuário (Grupo 2), de uma população característica de montante (Grupo 1) e de uma população intermediária entre essas duas (Grupo 3).

A distribuição dessas populações pode ser interpretada a partir da penetração de uma cunha salina: à frente do material transportado por arraste, ter-se-ia a seleção de duas populações (as dos Grupos 2 e 3) de sedimentos colocados em suspensão, segundo o modelo de SENGUPTA (1975 e 1979) e GHOSH *et alii* (1981). A terceira população (a do Grupo 1) poderia resultar tanto de uma diferenciação das populações anteriores, como receber, na sua formação, sedimentos diferenciados a partir de transporte mais caracteristicamente fluvial.

No caso da baixa-mar, usando-se procedimento similar ao acima mencionado (FIGURA 115), pode-se notar que há uma população característica próxima ao leito do estuário (dada pelo Grupo 1) e duas outras acima desta (FIGURA 116).

Neste caso, o limite entre as populações caracterizadas pelos grupos 2 e 3 não é nítido, podendo permitir outras interpretações.

Essas situações são bastante sugestivas, segundo o critério ora empregado, de um comportamento assimilável à penetração de uma cunha salina na preamar, e de uma estratificação bastante marcada na baixa-mar, seguramente em duas faixas (talvez três) de materiais distintos em suspensão.

3 Correlação entre salinidades e teores de material em suspensão

As correlações entre todos os valores de salinidade e materiais em suspensão, para preamar e baixa-mar (FIGURA 117) mostram, basicamente, grande dispersão de resultados. Não obstante, pode-se notar melhor estruturação em preamar que na baixa

EQUACAO
Y=A+B*X

A =
9685.113

B =
78.839

COEF. DE DETERMINACAO=
0.331

ERRO RESIDUAL=
90014511.969

RESIDUAL ABS MAX=
15540.301

No. PARES= 36
EIXO X= TEOR MAT. SUSP.
EIXO Y= SALINIDADE
X MEDIO= 82.41
Y MEDIO= 18198.61

Preamar

EQUACAO
Y=A+B/X

A =
18507.134

B =
-18037.298

COEF. DE DETERMINACAO=
0.810

ERRO RESIDUAL=
80350160.322

RESIDUAL ABS MAX=
16114.842

No. PARES= 35
EIXO X= TEOR MAT. SUSP.
EIXO Y= SALINIDADE
X MEDIO= 29.81
Y MEDIO= 9720.00

Baixa-mar

FIGURA 117 - Correlações entre salinidade e teores de material em suspensão, para preamar e baixa-mar.

-mar, em virtude de que procedemos a correlações parciais, visando estabelecer a que se poderia atribuir essa diferença.

As correlações abrangendo todas as amostras de base, meio e topo, forneceram os seguintes valores para coeficientes de correlação: 0,19 , 0,46 e 0,31 na preamar, 0,63, 0,22 e 0,0 na baixa-mar.

Desses resultados, apenas o caso das amostras de topo, na baixa-mar, forneceram correlação de algum interesse, embora com coeficiente baixo. A curva dessa distribuição (FIGURA 118) mostra que quanto menor a salinidade, maior o teor de material em suspensão, situação sugestiva de que as amostras de topo constituem uma camada de derivação fluvial.

FIGURA 118-Correlação entre salinidades e teores de material em suspensão para as amostras de topo na baixa-mar.

Procedemos então à correlação de salinidades e material em suspensão para as amostras de três conjuntos de quatro estações (1 a 4, 5 a 8 e 9 a 12), obtendo os seguintes coeficientes de correlação: 0,50, 0,97 e 0,69 na preamar, 0,59, 0,01 e 0,60 na baixa-mar.

A elevada correlação observada no trecho entre as estações 5 e 8 parecia decorrer da posição da cunha de água salgada da preamar; estabelecemos então a correlação entre as amostras das

estações 5 a 11, região onde a cunha está melhor caracterizada, obtendo entretanto um baixo valor de correlação, de 0,66.

F. Circulação estuarina

Não dispomos, para este caso, de medidas de velocidades de correntes no interior do estuário. Entretanto, parece-nos que a distribuição de salinidades e alguns elementos da análise dos sólidos em suspensão permitem propor uma classificação tentativa do estuário do Itajaí-Açu.

Consideremos inicialmente a situação da salinidade na preamar (FIGURA 110). Temos uma estratificação bem marcada, onde se podem reconhecer, *grosso modo*, três gradientes verticais de salinidade: 1) na porção basal, entre as estações 1 e 11, com pequenas variações de salinidades, todas iguais ou maiores que 25 000 p.p.; 2) nas profundidades intermediárias de toda a seção levantada, exceto a estação 12, com salinidades de 5 000 a 25 000 p.p.m.; na verdade, este gradiente é acentuado entre as estações 1 e 9, e diminui para montante; 3) na lâmina superior do estuário, com salinidades inferiores a 5 000 p.p.m..

Essa distribuição de salinidades não se enquadra a rigor em nenhum dos tipos básicos apresentados por BOWDEN (1967), pois apresenta conformação similar a um caso de cunha salina, embora haja uma certa mistura entre águas doce e salgada.

Levando em conta que essa distribuição de salinidades representa uma situação de baixa descarga fluvial, acreditamos que o estuário em preamar, sob condições de mais alta descarga, passe a apresentar maior separação entre águas doce e salgada, aproximando-se mais tipicamente, então, do modelo de cunha salina.

Na baixa-mar (FIGURA 110) pode-se reconhecer basicamente dois estratos: um inferior, entre 5 000 e 25 000 p.p.m., e outro superior, com salinidades menores que 5 000 p.p.m., sendo o contato entre ambos muito irregular.

Neste caso, o padrão aproxima-se mais do tipo de estuário estratificado, com mistura vertical, embora possamos ainda reconhecer uma cunha mais salina entre as estações 1 e 4.

Assim, no caso do Itajaí-Açu temos um estuário em que a circulação sofre grande influência fluvial, e que, na maré enchente, assiste ao avanço de uma cunha salina; as correntes de maré devem

ser importantes, a ponto de provocar uma relativa mistura de água marinha e fluvial, descaracterizando então de certa forma esse modelo. Na vazante, à medida que recua a cunha, vai-se implantando ao longo do estuário uma circulação em dois estratos, neste caso com maior mistura devido a correntes de maré.

Nesse sentido, embora o material em suspensão não seja elemento classificatório, traz evidências que vêm de encontro ao esquema acima proposto. Assim, na preamar podemos notar uma distribuição de diferentes populações compatível com a cunha salina (FIGURA 114) e com os dois estratos (FIGURA 116) na baixa-mar.

Esses dados, e mais a distribuição de sólidos em suspensão (FIGURA 112) mostram zona de turbidez máxima entre as estações 1 e 9 na preamar, e entre as estações 1 e 3 na baixa-mar. Assim, a zona de maior turbidez está associada à posição da cunha salina.

Adicionalmente, podemos notar que os maiores teores absolutos de sólidos em suspensão associam-se a água salgada, e não a fluvial.

CAPÍTULO VI

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

I METODOLOGIA

O ponto de partida metodológico deste trabalho postula que a disposição e dinâmica dos sedimentos atuais, que revestem e circulam em corpos d'água costeiros, podem ser melhor compreendidos se colocados sob a perspectiva da história geológica mais recente. Esta diz respeito, em especial, aos eventos quaternários relacionados ao afeiçãoamento da plataforma continental e regiões costeiras, e pode ser sintetizada a partir de dados geológicos e geomorfológicos.

As peculiaridades dessa evolução geológica mais recente foram sendo expostas em cada caso, e delas podemos relevar alguns aspectos.

O primeiro, e talvez mais importante, prende-se à última fase de entalhe, cuja idade tentativa, correlativa da fase glacial Würm (cerca de 15.000 B.P.), foi inicialmente proposta para Sepetiba, e a seguir generalizada para todos os casos, com graus variados de incerteza.

Em decorrência, nossa suposição básica é a de que, ressalva dos aspectos tectônicos locais ou regionais, os estuários e baías alojam-se em escavações resultantes de drenagens antigas, desenvolvidas há cerca de 15 000 anos. Nos casos de Itajaí e de Sepetiba notamos a associação de partes mais profundas a locais de exposição de argilas rígidas, interpretando-as como embasamento. Raciocínio similar foi usado em outras áreas, sempre que se apresentavam depressões mais profundas no interior de estuários e baías, mesmo que nelas não se contatassem afloramentos de argilas do embasamento. É oportuno notar que, de modo independente, chegamos a conclusões semelhantes às dos pesquisadores da Bahia, sobre esta questão.

O segundo aspecto de interesse prende-se à transgressão flandriana, a cujo recuo associamos o desenvolvimento dos manguesais, especialmente a partir do *stand still* ocorrido há cerca de 2 500 anos atrás. Este balizamento temporal auxilia a situar de modo mais preciso, no tempo, os fatores da dinâmica sedimentar, dos quais, os mais recentes são abordados através de documentação,

imagens de sensores e amostragem.

Assim, uma vez estabelecidos os fatores de larga escala - no espaço - passamos a situar os eventos de sedimentação na escala dos milhares, centenas e dezenas de anos, aproximando-nos assim de intervalos de tempo compatíveis com os das vidas úteis de grandes obras de engenharia, como são os portos.

Os aspectos geológicos e geomorfológicos foram, no decorrer da exposição, abordados de modo bastante diverso, segundo a área estudada, variando mesmo notavelmente em extensão. Essas variações representam na verdade um certo tateamento na detecção dos pontos mais importantes, que só vieram a ser melhor esclarecidos à medida em que surgiam resultados de outras pesquisas, como, por exemplo, o intenso programa de datações C-14 desenvolvido em São Paulo e na Bahia.

Procuraremos a seguir destacar alguns tópicos específicos que nos parecem os mais interessantes do ponto de vista metodológico.

A. Plantas e imagens de sensores

Em todos os casos abordados, lançamos mão de cartas topográficas, batimétricas e imagens de sensores remotos, na tentativa de caracterizar, através de dados qualitativos e quantitativos, as tendências mais recentes da evolução morfológica da área estudada.

Uso intensivo de cartas foi efetuado no caso de Guarás, quando mostramos a necessidade de se restringir as técnicas de comparação mais rigorosa a edições resultantes de levantamentos compatíveis quanto à precisão. Naturalmente, esta constatação podia ser esperada, tendo em vista as mudanças tecnológicas dos últimos cem anos, entretanto preferimos realizar todos os procedimentos possíveis de permitir a comparação de cartas da DHN com as mais antigas, conforme expusemos no CAPÍTULO 3.

No que se refere aos produtos de sensores remotos, obtivemos bons resultados com fotos aéreas, também no caso de Guarás. As tendências detectadas por fotos aéreas defasadas foram, então, úteis na detecção e delimitação da evolução da linha de costa, cujos resultados foram convergentes com os obtidos através da análise de cartas batimétricas.

Imagens de satélites da série LANDSAT foram usadas na avaliação do transporte litorâneo, e da atuação de correntes costeiras.

ras, nos casos de Itajaí-Açu, Santos e Baía de Todos os Santos. Nestes últimos os resultados têm que ser tomados com reservas, uma vez que dizem respeito a apenas, um conjunto de cenas. No caso de Itajaí-Açu a pesquisa foi mais completa, embora deixasse ainda a descoberto um período do ano.

A deficiência acima apontada resulta da cobertura de nuvens, restrição que pode se tornar crítica em determinadas regiões climaticamente adversas. Temos porém que destacar que a repetição de tomadas de imagens em períodos curtos e compatíveis com a maior parte dos processos costeiros, possivelmente mesmo com eventos excepcionais como tempestades, é a característica que torna mais interessante o uso real e potencial - incluindo maior exploração de informações por sinais espectrais determinados - dos sensores imageadores radiométricos em estudos de dinâmica costeira.

Além da questão ligada à disponibilidade de fotos aéreas e imagens de satélite, seu uso não é mutuamente exclusivo, devido a suas características próprias de resolução espacial (maior para as fotos aéreas) e espectral (mais diversificada para os sensores radiométricos).

Assim, consideramos que as questões pendentes relativas a mudanças na morfologia e correntes costeiras possam ser resolvidas se empreendido um programa de pesquisa voltado para esse fim. Uma pesquisa desse tipo deveria equacionar não só problemas regionais, mas também locais de circulação, tais como os apontados para a foz do Itajaí-Açu. Neste caso alguns avanços talvez só venham a ocorrer com a utilização de imagens de satélites da 3a. geração, de maior resolução geométrica.

B. Granulometria

Uma discussão que perpassa todos os casos anteriormente apresentados, exceto Guarás, é o da interpretação dinâmica dos parâmetros estatísticos granulométricos, que ora retomamos.

Inicialmente, achamos importante filiar nossa interpretação ao trabalho de FOLK & WARD (1957), no mínimo pela utilização que fazemos das fórmulas por eles propostas. Nesse estudo, já referido no CAPÍTULO 2, são abordados sedimentos fortemente bimodais de uma barra fluvial constituída de areia e cascalho, distribuídos no intervalo granulométrico de $- 3\phi$ a $+ 3\phi$. Acreditam ter demonstrado,

para esse intervalo, haver uma função entre os diversos parâmetros estatísticos, definida por um helicóide (FIGURA 5). Essa função seria contínua para outros intervalos granulométricos, sendo "cada mínimo de melhor seleção coincidente com uma moda do ambiente e cada máximo coincidente com uma posição intermodal ..." (FOLK & WARD, 1957, p.24) (FIGURA 119).

FIGURA 119- Variação teórica do desvio-padrão, assimetria e curtose em função do diâmetro médio, para um sedimento hipotético polimodal (FOLK & WARD, 1957, p.24).

Suas conclusões vão ainda no sentido de que pequenas variações de curtose e assimetria de seus valores normais são indicadores de bimodalidade, enquanto que valores extremos de curtose podem ser interpretados no sentido de que o sedimento considerado guarda características de uma fase prévia, cujo meio foi mais eficiente em promover seleção que o meio em que veio a ser depositado.

Finalizam com a observação de que maiores progressos na in

interpretação devem ser esperados do estudo quadri-dimensional dos parâmetros, mais de que seus valores absolutos.

SHEPARD & YOUNG (1961) contestam o valor da assimetria como parâmetro interpretativo de ambiente. FOLK (1962) e DUANE (1964) não aceitam essa conclusão, atribuindo o insucesso dos primeiros autores ao método analítico, pois SHEPARD & YOUNG (1961) realizaram análise em tubo de sedimentação, o que levaria a valores de assimetria sistematicamente negativos. DUANE (1964) acredita que as distribuições granulométricas obtidas por tubo de sedimentação diferem das obtidas por peneiramento, não sendo válido comparar resultados dessas duas técnicas.

DUANE (1964) realizou estudo em diversos ambientes da Carolina do Norte, voltado à interpretação da assimetria. Os cálculos foram feitos segundo o método dos momentos, e os resultados obtidos para algumas amostras foram comparados com os obtidos através de outras fórmulas. Considera que os sinais obtidos para assimetria por diferentes fórmulas são compatíveis, e que, portanto, os resultados de assimetria podem ser considerados reproduzíveis.

Uma análise detalhada, por ambiente de deposição, levou DUANE (1964) a admitir que a assimetria é sensível ao ambiente: com sinal negativo indicaria remoção seletiva (*winnowing*) contínua, característica de praias, zonas litorâneas e canais de entrada de marés (*tidal inlets*). Com sinal positivo caracterizaria zonas protegidas, de deposição, como lagunas, bem como dunas, de deposição eólica.

HAILS (1967) estudou mais de 1500 amostras na região costeira New South Wales (Austrália) de ilhas barreiras, praias, dunas e planícies flúvio-deltáicas, buscando um parâmetro que permitisse separar esses diversos ambientes. Mostrou que isso não poderia ser feito pelos diâmetros médios, nem pela morfologia (arredondamento) dos grãos e sim pela assimetria. Curiosamente, usou este critério para separar sedimentos holocênicos de pleistocênicos.

Entretanto, os dados de HAILS (1967) permitem também supor que as populações separadas refletem condições de ambientes protegidos (*inner barrier*) ou de baixa energia (dunas), com assimetria positiva, ou abertos (*front beach-outer barrier*) com assimetria negativa. É certo que muitas amostras são de subsuperfície e po

dem refletir condições pretéritas de exposição ou abrigo, porém, os resultados são indicativos de que o sinal da assimetria pode ser mais adequadamente referido a processos, e não a idades. Estas últimas podem ser melhor deduzidas a partir da situação geológica e geomorfológica dos depósitos considerados.

Para FRIEDMAN (1967) as distribuições granulométricas têm significado genético, permitindo distinguir com segurança sedimentos fluviais de praias. Para tanto sugere numerosas combinações gráficas de relação entre parâmetros (por exemplo assimetria x desvio-padrão) que permitiriam separar populações de diferentes origens.

CRONAN (1972) realizou estudo de sedimentos de superfície de fundo no Mar da Irlanda, entre a Ilha de Man e Cumberland, caracterizados por polimodalidade. Para esse autor, a interpretação de DUANE (1964) de que assimetria negativa indicaria erosão ou não de posição, enquanto que assimetria positiva indicaria deposição, não pode ser estendida a sedimentos fortemente polimodais.

Assim, no caso do Mar da Irlanda, há uma deposição de sedimentos cada vez mais finos de oeste para leste, à medida em que diminui a força das correntes de maré, de tal modo que os parâmetros estatísticos vão refletir as diferentes proporções de misturas de diferentes modas, e não o regime deposicional, que é único. Cabe notar que essa conclusão é análoga à de FOLK & WARD (1957) para os sedimentos bimodais de Brazos Bar, e significaria que o diâmetro médio é antes indicativo de disponibilidade local de uma ou outra moda, que da distância com relação à área-fonte.

Essa controvérsia a respeito do significado dos parâmetros estatísticos permanece, e, a nosso ver, boa parte da literatura que consultamos acha-se permeada por discussões simultâneas envolvendo a precisão dos parâmetros estatísticos, e seu significado dinâmico. Um exemplo disto é o seguinte trecho de HAILS & HOYT (1969, p.575): "o significado da assimetria como parâmetro sensível ao ambiente é demonstrado não somente pela distinção que pode ser feita entre ambientes de alta e baixa energia, como pela concordância no sinal da assimetria entre medidas gráficas e método dos momentos".

Trata-se de dois assuntos distintos. No que se refere aos parâmetros descritores da distribuição granulométrica, SWAN *et alii*

(1978) mostraram que a correlação entre os métodos gráficos e de momentos decresce do diâmetro médio, ao desvio-padrão, à assimetria, à curtose. Em decorrência, pode-se discutir resultados dos dois primeiros parâmetros sem levar em conta o método de cálculo, diversamente dos dois restantes. Esta questão, bem como outras limitações decorrentes dos métodos utilizados, foram apresentados no CAPÍTULO 2, e serão retomadas oportunamente.

Ficando então no uso interpretativo dos parâmetros, apresenta-se-nos, aparentemente, um paradoxo: se houver uma relação definida entre os parâmetros, ou seja, não sendo eles independentes, qual o alcance de sua interpretação? Tentaremos responder esta questão com base nos dados que vimos coletando nos últimos dez anos.

Assim, dos casos que anteriormente apresentamos, procedemos inicialmente à separação de conjuntos de dados a serem analisados. Visando eliminar, de início, possíveis alterações provenientes de diferenças de manipulação laboratorial, reduzimos o universo de amostragem aos casos das baías de Sepetiba, Santos (amostras de 1980) e aos estuários de Itajaí-Açu (Campanha de 1982) e do Potengi (somente amostras com menos que 50 % de carbonatos), num total de 588 amostras, todas tratadas no mesmo laboratório.

As distribuições granulométricas desses diversos conjuntos são descontínuas, abrangendo cada um deles, de modo preferencial, certos intervalos ou modas (FIGURA 120). Entretanto, todas essas amostras em conjunto caracterizam bastante bem o intervalo de 0Ø a 8Ø, com pequenas caudas entre - 1Ø e 0Ø e 8Ø e 9Ø (FIGURA 121).

Procuramos então iniciar nossa análise através da comparação do primeiro com os demais parâmetros, já que o diâmetro médio se constitui numa medida cujo significado físico pode ser apreendido de modo relativamente simples. Construímos então os diagramas binários, apresentados nas FIGURAS 122 a 124. A fim de melhor captar as tendências esboçadas nos diagramas de pontos, realizamos um alisamento (*smoothing*) que consistiu, basicamente, em se traçar uma curva contínua através das medianas de cada 10 pontos.

A distribuição do desvio-padrão (FIGURA 122) mostra uma notável ruptura em torno de 4Ø. Entre 0Ø e 4Ø as amostras distribuem-se em torno de um valor médio de assimetria de 0,74; pode-se

FIGURA 120 - Frequência de dos quatro casos considerados.

FIGURA 121- Frequência de amostras por intervalo granulométrico, para 588 amostras das baías de Sepetiba e Santos, e estuários de Itajaí-Açu e Potengi.

então dizer que todas as amostras desse intervalo granulométrico oscilam em torno de um grau de seleção que, pela escala de FOLK & WARD (1957), corresponde a moderadamente selecionado. Ainda nesse intervalo de 0 ϕ a 4 ϕ , pode-se notar que os desvios do desvio-padrão em torno do valor de 0,74 são menores de 0 ϕ a 2 ϕ que de 2 ϕ a 4 ϕ , o que sugere duas populações distintas.

Entre 4 ϕ e 8 ϕ pode-se traçar uma média, provavelmente definida por uma equação de 2 o grau, inteiramente compreendida nos intervalos de valores pobremente a muito pobremente selecionados de FOLK & WARD (1957). Neste caso nota-se que o desvio em torno da curva média diminui no intervalo granulométrico de 7 ϕ a 8 ϕ .

Com relação à assimetria (FIGURA 123), embora o diagrama de pontos seja sugestivo de uma certa ruptura em torno de 4 ϕ , parece-nos que a tendência à definição de uma senóide pode ser estendida entre 3 ϕ e 8 ϕ , conforme fica mais claro no diagrama submetido a alisamento.

Novamente parece definir-se uma população entre 0 ϕ e 2 ϕ , caracterizada por valores oscilando em torno de assimetria nula.

Nº. DE PONTOS=588

Nº. DE PONTOS=588

FIGURA 122 - Diagramas binários diâmetro médio $\times$ desvio-padrão

Nº. DE PONTOS=588

Nº. DE PONTOS=588

FIGURA 123 - Diagramas binários diâmetro médio $\times$ assimetria

No que se refere à curtose (FIGURA 124), novamente julgamos reconhecer três populações. Uma no intervalo granulométrico de 0Ø a 2Ø, com valores de curtose em torno de 1,2 (mesocúrtico), outra no intervalo 2Ø a 4,5Ø com valores de curtose em torno de 1,5 (leptocúrtico), e uma terceira, de 4,5Ø a 8Ø, com valores platocúrticos a mesocúrticos, segundo a escala de FOLK & WARD (1957).

Com relação ao conjunto dos parâmetros, podemos então destacar que, para o universo analisado, é possível definir três conjuntos de amostras, nos intervalos granulométricos aproximados de 0Ø a 2Ø, de 2Ø a 4Ø e de 4Ø a 8Ø. O primeiro desses intervalos caracteriza-se por pequenas oscilações dos valores de desvio-padrão, assimetria e curtose, em torno de um valor médio (nulo, no caso da assimetria). O segundo guarda certa semelhança com o primeiro, caracterizando-se entretanto por maiores oscilações em torno do valor médio; o valor médio da curtose para este caso é maior que no primeiro.

O intervalo de 4Ø a 8Ø caracteriza-se por uma relação mais complexa entre os parâmetros, embora bem definida nos diagramas binários.

Os resultados acima expostos diferem substancialmente de expectativa de FOLK & WARD (1957) (FIGURA 119), e nos levam a afirmar que as relações entre parâmetros granulométricos são válidas para dados intervalos granulométricos, não parecendo possível deduzir uma única lei de comportamento cíclico, como a proposta por aqueles autores, aplicável a todos os intervalos granulométricos.

Adicionalmente, achamos oportuno retomar a questão assim proposta por FOLK & WARD (1957, p.14): "Uma escala verbal de seleção realmente significativa será desenvolvida somente quanto a tendência geral da relação entre tamanho (*size*) e seleção for construída para um grande número de ambientes. Somente então será possível dizer, por exemplo, que um sedimento tem um desvio-padrão 0,25Ø mais baixo que o sedimento médio correspondente àquele diâmetro médio".

Esse raciocínio parece-nos válido, e provavelmente seja um caminho a ser pesquisado e estabelecido para o futuro. Entretanto, julgamos que deva ser aplicado também aos demais parâmetros, ou seja, uma vez definida uma relação entre diâmetro médio, desvio-

Nº. DE PONTOS=533

Nº. DE PONTOS=538

FIGURA 124 - Diagramas binários diâmetro médio $\times$ curtose

-padrão, assimetria e curtose, não nos parece viável usar uma escala absoluta para nenhum caso.

Naturalmente, esta discussão tem que ser tomada com algumas reservas, no sentido de não incorrermos em generalizações incorretas. Entretanto, parece-nos possível constatar que, para as amostras analisadas, o único parâmetro com real significado físico é diâmetro médio, de tal sorte que cabe colocar dúvidas quanto a interpretações dinâmicas oriundas dos demais.

Tendo assim proposto uma primeira abordagem para a solução do paradoxo anteriormente mencionado, podemos perguntar a respeito do significado das três populações acima definidas.

A descontinuidade mais notável, em torno de 4 ϕ , assinala não só a separação entre areias e siltes, como mudança de método granulométrico. Enquanto que para areias procede-se a peneiramento, estabelecendo-se portanto uma referência física para a separação das classes granulométricas, siltes e argilas são divididos segundo a Lei de Stokes, calculada para uma situação ideal. Ademais, os intervalos granulométricos são de 0,5 ϕ no primeiro caso, e de 1 ϕ no segundo, o que, de *per se*, causa aumento nos desvios-padrões por ampliação da base de cálculo. Entretanto, dada a abrupta passagem dos valores de desvio-padrão no limite de 4 ϕ , de 0,7 para 2,4, há margem para se suspeitar de que a passagem de areias para siltes corresponda a uma mudança dinâmica, possivelmente o limite entre transporte por arraste e suspensão, para as energias de transporte vigentes nos ambientes sedimentares aqui considerados.

Não temos elementos para avançar qualquer explicação fundamentada em observação direta para o limite em torno de 2 ϕ , limite entre areias médias e finas. Podemos apenas fazer uma suposição, de que, se de fato tal limite corresponde a um fenômeno natural, estará possivelmente ligado à textura dos grãos, no sentido de seu arredondamento, por exemplo: neste caso, as partículas de 0 ϕ a 2 ϕ poderiam ter uma tendência a formas mais homogêneas, de tal forma que a separação imposta pelo diâmetro dos orifícios das peneiras levariam à separação de populações (de 0,5 em 0,5 ϕ) mais uniformes, portanto, com menores oscilações em torno de um valor médio de desvio-padrão.

Retomando agora as observações de SWAN *et alii* (1978) sobre

os parâmetros de FOLK & WARD (1957) gostaríamos de destacar que o significado dos diagramas binários deverá decrescer no sentido diâmetro médio $\times$ desvio-padrão, diâmetro médio $\times$ assimetria, diâmetro médio $\times$ curtose.

Levando em conta a complexidade das questões levantadas, não nos parece oportuno avançar esta discussão por meio da combinação de valores de desvio-padrão, assimetria e curtose entre si, conforme fizeram FOLK & WARD (1957) e segundo a proposta de FRIEDMAN (1967).

II GUARÁS

Além dos aspectos já contidos no CAPÍTULO 3 e anteriormente neste mesmo capítulo, parece-nos importante destacar aqui que o estudo do caso de Guarás, feito em base essencialmente morfológica, poderia ser melhor esclarecido se este tipo de investigação houvesse sido estendido no sentido de caracterizar as ondas de areia. Levantamentos geofísicos poderiam fornecer informações quantitativas sobre essas feições, de modo a se obter um resultado independente dos demais (determinados principalmente através de cartas batimétricas e fotos aéreas), e a ser com eles comparado. Tais levantamentos deveriam ser defasados, de modo a não só caracterizar a geometria das ondas, como sua velocidade de mudança.

III AS BAÍAS

Uma característica comum às três baías abordadas, Santos, Sepetiba e Todos os Santos, é sua estreita vinculação com a circulação oceânica, através das correntes costeiras. Dominam estas inteiramente a circulação na baía santista, enquanto que nas outras duas os paleocanais würmianos parecem ainda constituir um fator de expressão regional na distribuição das correntes de maré.

Mesmo levando em conta as restrições anteriormente apontadas quanto aos parâmetros granulométricos, os modelos de circulação propostos para Santos e Sepetiba permanecem, considerando-se apenas a distribuição de fácies através do diâmetro médio, bem como as evidências trazidas por outros dados granulométricos brutos (porcentagens de argila, por exemplo), ou sobre a constituição dos sedimentos.

Os pesquisadores da Bahia, em sua reconstituição paleoambiental da Baía de Todos os Santos, chamam a atenção para a possibilidade de serem as areias reliquias. Este ponto é da maior importância na delimitação do uso que se pode fazer das fácies sedimentares como indicadores do presente nível de energia do meio de transporte, e coloca dúvidas se os fundos arenosos de Santos e Sepetiba correspondem à dinâmica sedimentar atual.

Pelo menos no caso de Santos, medições de dispersão de radioisótopos mostram efetivo transporte de material arenoso, da ordem de $10 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times \text{dia}$ (verão) a $200 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times \text{dia}$ (inverno), na direção norte, com tendência a espalhamento para leste, (NUCLEBRÁS, 1981), ou seja, conforme sugerimos a partir da faciologia.

Parece-nos provável, então, dado o tipo de circulação das baías, que, embora parte das áreas aí encontradas sejam reliquias, são elas efetivamente movimentadas por correntes atuais, correspondendo então às regiões de maior energia de transporte.

No que se refere às variações temporais das fácies de superfície de fundo, os padrões determinados em Santos, em sucessivas campanhas ao longo de um ano, e em campanhas defasadas de sete anos, permaneceram relativamente constantes. Ainda este fato estará, provavelmente, vinculado à circulação marinha predominante; variações sazonais relacionadas a mudanças de descargas fluviais seriam neste caso minimizadas, pois seus aportes sólidos seriam espalhados ao longo de toda a costa por correntes costeiras.

IV OS ESTUÁRIOS

Neste caso atenua-se a influência da circulação marinha e influenciam, embora com pesos diversos segundo o clima regional, as características de vazão dos rios. Dos três casos estudados, o regime fluvial torna-se mais importante do Potengi a Santos, e deste ao Itajaí-Açu.

No primeiro caso não temos dados suficientes para classificar o estuário; os existentes são sugestivos de que sua circulação seja dominada por correntes de maré, provavelmente com mistura vertical de águas.

O regime do estuário santista parece-nos adequadamente determinado ao longo do Canal do Porto e largos, necessitando com

plementação no Canal de São Vicente. O modelo de cunha salina anteriormente proposto para as duas ligações do estuário coma baía foi modificado, conforme vimos, face às novas investigações que aí realizamos.

É no caso de Itajaí-Açu que se realiza, de modo aproximado o modelo da cunha salina, embora faltem-nos ainda dados de velocidades de corrente para completar esta caracterização. Este padrão de circulação está diretamente relacionado à predominância do fluxo fluvial, que em épocas excepcionais parece sobrepassar largamente as correntes de maré. Assim, enquanto que os rios que desaguan na lagamar sabbista têm vazões relativamente baixas (média máxima mensal menor que $20 \text{ m}^3/\text{s}$ para o Cubatão) e estão dispersos em vários locais do estuário, o Itajaí-Açu tem médias mensais predominantemente acima de $100 \text{ m}^3/\text{s}$.

Variações temporais das fácies de superfície de fundo foram investigadas somente no caso do Itajaí-Açu, tendo-se constatado significativa mudança em suas características, do regime de águas-baixas ao de cheias. Dada a maior interveniência de correntes de marés nos casos de Santos e do Potengi, parece-nos razoável admitir, como hipótese de trabalho, que as fácies de superfície de fundo apresentem menor variação nesses dois casos.

Mais uma vez, levando em conta as restrições apontadas quanto aos parâmetros estatísticos granulométricos, podemos notar que não haverá mudanças significativas nas interpretações feitas, se usarmos tão somente parâmetros texturais e dados sobre a composição dos sedimentos. Assim, sugere-se enquanto essa questão não é definitivamente esclarecida, usar-se como critérios para delimitação de subambientes, a classificação textural de Shepard, o diâmetro médio, dados granulométricos brutos e composição mineralógica. Ademais, é preciso levar em conta também os limites indicados pelos estudos de salinidade e material em suspensão.

Um ponto brevemente afluído e que aqui gostaríamos de destacar é o da inferência da circulação estuarina a partir das fácies de superfície de fundo. Conforme verificamos no caso de Santos, um modelo de cunha salina foi inferido a partir da constatação de que sedimentos mais grossos adentravam o estuário, conforme fica especialmente claro na entrada do Canal de São Vicente. Is

to significa tão somente que há correntes de marés capazes de promover tal aporte; o padrão de circulação das águas dependerá de outros fatores, como discutimos acima. Desse modo, este tipo de influência pode ser melhor realizado se, em não se dispondo de medições de salinidades e velocidades de corrente, levarmos em conta elementos morfológicos (seção do estuário, padrão regional de drenagem) e de descarga fluvial.

V ASSOREAMENTO

No caso das baías, a questão do assoreamento, tal como pudemos estudá-la para Sepetiba, pode ser equacionada sob a perspectiva de variações de energia do meio, detectadas através de elementos morfológicos de fundo e das fácies sedimentares. Uma aproximação quantitativa é possível de ser obtida através da análise de variações batimétricas ou de linha de costa; entretanto caso as tendências assim apontadas se revelem críticas, só medições diretas podem precisar as quantidades efetivamente mobilizadas.

No caso dos estuários, além dos fatores regionais, tais como a situação geomorfológica, o padrão de circulação estuarino será determinante na determinação das frentes de turbidez máxima.

Esse assunto apenas começa a ser estudado entre nós, e os resultados aqui apresentados necessitam ser ampliados especialmente na verificação do comportamento sazonal dessas frentes, o que permitiria, em futuro próximo, melhor planejar as épocas e locais preferenciais de campanhas de dragagem.

Finalmente, um aspecto a ser considerado, é que a eficiência das dragagens dependerá não só dos processos e locais responsáveis pelo assoreamento, como também da adequada escolha do local de despejo do material dragado. Para tanto, a determinação do padrão regional de circulação deve ser conhecido, conforme demonstramos em Santos, e precauções quanto a feições ligadas ao equilíbrio sedimentar tem que ser levados em conta, como é o caso da preservação dos mangues em Aratu.

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES

1. Os estudos geológicos aplicados a portos, no que diz respeito a profundidade e disposição dos canais de navegação e de atracação, podem ser vistos sob a perspectiva da constituição e permanência dos fundos subaquáticos. A caracterização desses fundos pode ser feita de modo mais produtivo através da reconstituição de alguns eventos geológicos, essencialmente do Quaternário, de tal sorte a se integrar nessa história próxima os processos atuais. Dentre esses eventos tem especial importância o entalhe sincrônico ao último evento glacioeustático de rebaixamento do nível do mar (Würm), bem como as oscilações marinhas pós-glaciais, balizada pela Transgressão Flandriana ou Santos.

Os processos atuais podem ser definidos por critérios morfológicos e sedimentológicos, de modo, basicamente, a caracterizar a velocidade das mudanças das feições, bem como a constituição de seus materiais, conforme já propuséramos em nosso estudo sobre a Baía de Sepetiba (PONÇANO, 1976).

2. As mudanças morfológicas podem ser avaliadas por produtos de sensores remotos, cartas batimétricas, e reconhecimento de campo. Imagens de sensores podem ser úteis mesmo quando de uma única data, pois permitem a detecção de paleoformas, que, datadas, permitem estimar velocidades de acreção ou erosão. Entretanto, sensores e cartas batimétricas têm maior interesse quando provenientes de levantamentos defasados no tempo; seu uso é complementar: as cartas batimétricas, em suas sucessivas edições, sofrem alterações apenas nas profundidades, não passando por correções para mudanças de linha de costa. Estas podem ser definidas somente através de imagens de sensores

3. A caracterização sedimentológica pode ser feita, de modo complementar, para os sedimentos rasos da coluna sedimentar, para sedimentos de superfície de fundo, e para sedimentos em suspensão.

No primeiro caso tem-se mostrado útil a testemunhagem por cravação com amostrador do tipo *piston corer*; os resultados fornecidos permitem avaliar variações temporais da cobertura de superfí

cie de fundo.

A faciologia dos sedimentos de superfície de fundo tem dupla utilidade: fornece indicadores da energia de transporte envolvida, e pode ser usada diretamente na preparação de modelos de simulação laboratoriais.

O estudo dos sedimentos em suspensão, associado ao de salinidade e velocidade de correntes, permite definir padrões de circulação, bem como definir regiões de turbidez máxima, úteis na prevenção de assoreamento e planejamento de dragagens em estuários.

4. No estudo sedimentológico do material de superfície de fundo, é aconselhável adotar-se técnicas compatíveis com os resultados esperados. Assim, segundo SWAN *et alii* (1978), caso os sedimentos venham a ser descritos com parâmetros estatísticos calculados a partir do método dos momentos, um intervalo de separação de 0,5 ϕ é desejável, enquanto que se utilizar as fórmulas de FOLK & WARD (1957), 1 ϕ é suficiente, qualquer que seja o intervalo granulométrico considerado.

5. Empregamos as fórmulas de FOLK & WARD (1957), cujos resultados são compatíveis com os obtidos pelo método dos momentos para diâmetro médio e desvio-padrão, diversamente do que ocorre com a simetria e curtose, conforme demonstraram SWAN *et alii* (1978). Assim, de início, são os dois primeiros parâmetros mencionados os mais confiáveis.

6. A literatura tem privilegiado a interpretação dinâmica dos parâmetros estatísticos de areias. Neste trabalho pudemos realizar uma apreciação desse assunto cobrindo, com 588 amostras reais, o intervalo de 0 ϕ a 8 ϕ . Nele constatamos grande descontinuidade em 4 ϕ , limite de areias e siltes, especialmente nítido na distribuição de diâmetros médios x desvios-padrões; os valores de assimetria e curtose reforçam essa constatação. Embora fatores ligados às técnicas analíticas possam ser responsáveis por parte dessa descontinuidade, parece-nos provável que ela se deva basicamente a diferenças na dinâmica de transporte entre areias e siltes.

7. Os quatro parâmetros estatísticos granulométricos dessas 588 amostras, apresentam relações bastante definidas entre si, diversas entretanto das postuladas por FOLK & WARD (1957). Os resul

tados que obtivemos colocam sérias dúvidas quanto à possibilidade de se empregar os conceitos interpretativos correntes de grau de seleção, assimetria e curtose.

8. O diâmetro médio tem significado físico real, e deve ser usado como critério básico de interpretação, acrescido da classificação textural (SHEPARD, 1954) e do uso de dados referentes à composição da amostra, tais como porcentagens de argila, de grânulo, e outros que puderem destacar alguma propriedade física do sedimento.

9. A interpretação de processos atuais através da faciologia deve sempre considerar a possibilidade de se estar tratando com depósitos reliquiais. Verificação das interpretações sedimentológicas através de processos de medição direta de movimentação de sedimentos é desejável, antes de se fazer investimentos em obras ou de manutenção.

10. Os resultados obtidos em Guarãs mostram que, além da manutenção de profundidades de canais, a variação desses eixos de circulação deve ser avaliada. Os resultados obtidos nesta região, embora específicos, são emblemáticos de situações em que os volumes de sedimentos movimentados naturalmente, ultrapassam marcas que inviabilizam, sob o ponto de vista econômico, qualquer possibilidade de construção, como é o caso de áreas próximas a deltas.

11. Nos casos das baías de Santos, Sepetiba e Todos os Santos, pudemos destacar a necessidade de compreensão de padrões regionais de circulação, para melhor caracterização dos problemas locais.

12. Os estudos de estuários mostram padrões de circulação dependentes do clima e morfologia locais bem como do regime de marés. Assim, acentua-se a interferência fluvial da costa nordeste (Potengi) para a sudeste (Santos) para a sul (Itajaí-Açu); tal influência é maior no caso de se ter um único canal (Itajaí-Açu) que um complexo estuarino (Santos).

Realizamos, no presente trabalho, uma reavaliação de diversos fatores ligados à sedimentação do estuário santista, entre eles a floculação e o modelo de circulação estuarina; mostramos que

ao longo do Canal do Porto e largos apresenta-se um padrão de circulação em dois estratos, com mistura vertical, enquanto que o Canal de São Vicente apresenta circulação verticalmente homogênea.

Para o Itajaí-Açu, apresentamos estudo envolvendo, sob diferentes condições de descarga fluvial, sedimentos de superfície de fundo e em suspensão. Este estuário apresenta circulação do tipo cunha salina em preamar, e em dois estratos com mistura vertical em baixa-mar.

13. Tanto no estuário santista como no do Itajaí-Açu, a zona de turbidez máxima caracteriza-se por finos em suspensão provenientes predominantemente da plataforma adjacente.

14. No que se refere às variações temporais das fácies de superfície de fundo, verificamos que são pouco importantes quando comandadas por circulação marinha - caso da Baía de Santos - e pronunciadas no estuário do Itajaí-Açu. Neste último caso, tem-se um único canal estuarino, o que acentua a influência fluvial; pode-se esperar que no caso do estuário santista, que se desenvolve em intrincado lagamar, com numerosos canais, a influência fluvial se dilua, com conseqüente maior permanência das fácies.

15. A caracterização de áreas de erosão e deposição, bem como de tendências evolutivas, deve basear-se, sempre que possível, em critérios múltiplos, abrangendo três enfoques distintos: morfologia, sedimentos de superfície de fundo, e sedimentos em suspensão. Pudemos mostrar, no caso de Santos, que a dedução de um modelo de cunha salina, feita pelos autores prévios, a partir das fácies de superfície de fundo, não é adequada; ainda neste caso pudemos mostrar, através da distribuição *instantânea* do material em suspensão, dependência da zona de turbidez máxima do aporte marinho, diversamente também das indicações prévias.

Uma vez estabelecido o padrão de circulação estuarina, entretanto, inferências a partir das fácies de superfície de fundo podem ser feitas com maior segurança. Assim, no caso do Itajaí-Açu, podemos constatar avanço das areias de origem marinha para o interior do estuário, em torno de 500 m em regime de águas-baixas, comparativamente ao de águas altas. Ora, sabendo que neste caso o modelo é de cunha salina, com proveniência de finos predominantemen

te marinha, podemos fazer variar a frente de turbidez máxima se gundo as variações dos sedimentos de superfície de fundo.

16. Similarmente, a seleção de áreas de despejo, ou o planejamento de campanhas de dragagem, devem apoiar-se nesses mesmos três fatores: feições especiais, como os mangues, devem ser protegidas. Variações de fácies de superfície de fundo podem fornecer indicações sobre as áreas fontes do material sedimentar, como pudemos mostrar nos casos do Itajaí-Açu e da Baía de Santos-Ponta de Itaipu, enquanto que a delimitação das zonas de turbidez máxima devem contar, necessariamente, com estudo de materiais em suspensão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A.N. 1965. A evolução geomorfológica. In: AZEVEDO, A. A Baixada Santista: aspectos geográficos. São Paulo, EDUSP.v.1.
- AB'SÁBER, A.N. 1969. Superfície aplainadas e terraços na Amazônia. São Paulo, Instituto de Geografia/USP. (Geomorfologia, 4).
- AB'SÁBER, A.N. 1969. Ritmo da epirogênese pós-cretácica e setores das superfícies neogênicas em São Paulo. São Paulo, Instituto de Geografia/USP. (Boletim, 13).
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1967. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. (Boletim 241).
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. An.Acad.Bras.Ciênc., Rio de Janeiro, 48 (supl.):15-26.
- ANDRADE, G.O. de. 1970. Os climas. In: AZEVEDO, A. Brasil; a terra e o homem. São Paulo, EDUSP. Ed. Nacional. v.1.
- ARANTES, J.L.G.; DAMASCENO, B.C.; KREBS, A.S.J. 1972. Projeto argila, Belém. Belém, CPRM.
- AZEVEDO, A. 1960. Fisionomia da cidade de Salvador em Cidade do Salvador. sL., Imprensa Oficial da Bahia.
- AVANZO, P. 1980. Corrijam-se os mapas: o Paraguaçu desagua a vinte quilômetros acima. s.n.t. (inédito).
- AZEVEDO, A. coord. 1965. A baixada santista: aspectos geográficos. São Paulo, EDUSP. 4v.
- BACOCOLI, G. 1971. Os deltas marinhos holocênicos brasileiros : uma tentativa de classificação. Bol.Tec.Petrobrás, Rio de Janeiro, 14 (1/2):5-38.
- BISTRICHI, C.A. *et alii*. 1981. Mapa geológico do estado de São Paulo; escala 1:1 000 000. São Paulo, IPT. v.2. (Monografias,6).
- BITTENCOURT, A.C. da S.P.; BRICHTA, A.; NAPOLI, E. 1974. A sedimentação na Baía de Aratu, Bahia. Rev.Bras.Geoc., 4 (1):51-64, mar.
- BITTENCOURT, A.C. da S.P.; FERREIRA, Y.A.; NAPOLI, E. 1976. Alguns

aspectos da sedimentação na Baía de Todos os Santos, Bahia .
Rev. Bras. Geoc., 6 (4).

BITTENCOURT, A.C. da S.P. *et alii*. 1979. Quaternary marine formations of the coast of the State of Bahia, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM on COASTAL EVOLUTION in the QUATERNARY, São Paulo, 1978. Proceedings... São Paulo, IGCP/IGUSP/SBG. p.232-253.

BLANC, J.J. 1982. Sédimentation des marges continentales: actuelles et anciennes. Masson.

BOKUNIEWICZ, H.J.; GORDON, R.B.; KASTENS, K.A. 1977. Form and migration of sand waves in a large estuary, Long Island Sound. Marine Geology, 24:185-199.

BOUROCHOV, J.M. & SAPORTA, G. 1982. Análise de dados. Rio de Janeiro, Zahar Ed.

BOWDEN, K.F. 1967. Circulation and diffusion. In: LAUFF, G.H. ed. Estuaries. Washington, American Association for the Advancement of Science. p. 15-36. (Publication, 83).

BRUUN, P. 1976. Port engineering. Houston, Gulf Publ.

CAMARGO, F. P. de 1976. Geologia de engenharia. Construção Pesada, 6 (61):101-102, fev.

CAMPOS, J.S. 1940. Fortificações da Bahia. s.L., Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. (Publicação, 7).

CARVALHO, A.D.S. 1960. O crescimento recente da cidade de Salvador em Cidade do Salvador. s.L., Imprensa Oficial da Bahia.

CAUNIN, R. 1972. Cartographie générale. Paris, Eyrolles. Tome 1. (Collection Scientifique de l'Institut Géographique National.).

CHAVES, H.A.F. 1983. Introdução geral. In: PETRÓLEO BRASILEIRO. Reconhecimento global da margem continental brasileira: processos e métodos; relatório final. Rio de Janeiro, PETROBRAS/CENPES/SINTEP. p.7-23. (PROJETO REMAC,6).

COSTA, L.M. 1960. Fortificações coloniais em Cidade do Salvador. s.L., Imprensa Oficial da Bahia.

CRONAN, C.S. 1972. Skewness and Kurtosis in polymodel sediments

from the Irish Sea. Jour. Sedim. Petrol., 42 (1).

CURRAY, J.R. 1969. Estuaries, lagoons, tidal flats and deltas. In: AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE. The new concepts of continental margin sedimentation: application to geological record. Washington. p. JCIII-1-JCIII-30.

DEPARTAMENTO de ÁGUAS e ENERGIA ELÉTRICA. Centro Tecnológico de Hidráulica. Divisão de Hidrogeologia. 1974. Dados fluviométricos coligidos até 1970 na quinta zona hidrográfica, Bacia do Rio Ribeira de Iguape e Bacias Litorâneas. Boletim Fluviométrico, São Paulo, (2):1-391.

DUANE, D.B. 1964. Significance of skewness in recent sediments, Western Pimlico Sound, North Carolina. Jour. Sedim. Petrol., 34 (4).

EMERY, K.O. 1967. Estuaries and lagoons in relation to continental shelves. In: LAUFF, G.H. ed. Estuaries. Washington, American Association for the Advancement of Science. p.9-11. (Publication 83).

ESCOLA POLITÉCNICA da UNIVERSIDADE de SÃO PAULO. Divisão de Hidráulica Marítima. 1966. O estuário santista: pesquisas sobre o assoreamento verificado na faixa portuária, para a Companhia Docas de Santos. São Paulo, DAEE. cap.3, fl.14-101.

FAIRBRIDGE, R.W. 1966. Mean sea-level changes, long term eustatic and other. In: THE ENCYCLOPEDIA of oceanography. New York. v. 1, p.479-485.

FLINT, R.F. 1971. Glacial and quaternary geology. New York, John Wiley.

FOLK, R.L. 1962. Of skewness and sands. Jour.Sedim.Petrol., 32:145-156.

FOLK, R.L. & WARD, W.C. 1957. Brazos river bar: a study in significance of grain size parameters. Jour.Sedim.Petrol., 27:2-26.

FRANCISCO, B.H.R. *et alii*. 1971. Contribuição à geologia da Folha de São Luiz (SA-23). Belém, INPA. 40 p.il. (Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, Nova Série, Geologia, 17).

- FREITAS, R.O. de 1951. Ensaio sobre a tectônica moderna do Brasil. São Paulo, FFCLUSP. (Boletim 130, Geologia 6).
- FRIEDMAN, G.M. 1967. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. Jour.Sedim.Petrol., 37(2).
- FÚLFARO, V.J. & PONÇANO, W.L. 1976. Sedimentação atual do estuário e baía de Santos: um modelo geológico aplicado a projetos de expansão da zona portuária. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA de ENGENHARIA, 1, Rio de Janeiro, 1976. Anais... Rio de Janeiro, ABGE. v.2, p.67-90.
- FÚLFARO, V.J.; PONÇANO, W.L.; GIMENEZ, A.F. 1976. Sobre o significado dos depósitos argilosos do estuário santista: contribuição ao estabelecimento de um modelo de sedimentação da área de interesse ao porto. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA de ENGENHARIA, 1, Rio de Janeiro, 1976. Anais... Rio de Janeiro, ABGE. v.2, p.141-150.
- FÚLFARO, V.J.; PONÇANO, W.L.; GIMENEZ, A.F. 1978. Sedimentação atual na foz do rio Potengi, Rio Grande do Norte: subsídio ao planejamento da ampliação do porto. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA de ENGENHARIA, 2, São Paulo, 1978. Anais... São Paulo. ABGE. v.2, p.85-110.
- GEORGE, P. 1967- Geografia econômica. Rio de Janeiro, Fundo de Cultura, Biblioteca do Fundo Universal, Estante de Economia. p. 318.
- GHOSH, J.K.; MAZUMDER, B.S.; SENGUPTA, S. 1981. Methods for computation of suspended load from bed materials. Sedimentology, 28: 781-791.
- GORDILHO, W. 1960. Contribuição ao estudo da evolução urbana da cidade de Salvador em Cidade do Salvador. s.L., Imprensa Oficial da Bahia.
- HAILS, J.R. 1967. Significance of statistical parameters for distinguishing sedimentary environments in New South Wales, Australia. Jour.Sedim.Petrol., 37 (4).
- HAILS, J.R. & HOYT, J.H. 1969. The significance and limitation of

statistical parameters for distinguishing ancient and modern sedimentary environments of the Lower Georgia Coastal Plain. Jour.Sedim.Petrol., 39 (2).

HERZ, R. 1979. Spatial and temporal variations in lagoon and coastal processes of the Southern Brazilian Coast. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM on REMOTE SENSING of ENVIRONMENT, 13, Ann Arbor, 1979. Proceedings... poster session E.

HILLIER, G.J. 1984. Analysing turbidity in estuaries: a literature review. País de Gales University of Bangor. 49p. (inédito).

INMAN, D.L. 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. Jour.Sedim.Petrol., 22: 125-145.

JOHN, K.W. 1974. O 2º Congresso Internacional de Geologia de Engenharia; São Paulo, Brasil, 18 a 24 de agosto de 1974, revisão e análise. Informativo ABGE, São Paulo, (1).

KEMPF, M.; MABESOONE, J.M.; COUTINHO, P.N. 1972. Characterization of surface sediments on the northern and eastern Brazilian shelf. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 26, Belém, 1972. Anais... Belém, SBG. v.2, p.261-265

KOWSMANN, R.O. & COSTA, M.P.A. 1979. Evidence of late quaternary sea level stillstands on the Upper Brazilian Continental: a synthesis In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM on COASTAL EVOLUTION in the QUATERNARY, São Paulo, 1978. Proceedings... São Paulo, IGCP/IGUSP/SBG. p.170-192.

KRANK, K. 1975. Sediments deposition from flocculated suspension. Sedimentology, 22: 111-123.

KRANK, K. 1981. Particulate grain-size characteristics and flocculation in a partially mixed estuary. Sedimentology, 28: 107-114.

KRUMBEIN, W.C. & SLOSS, L.L. 1963. Stratigraphy and sedimentation. San Francisco, W.H. Freeman.

KUTNER, A.S. 1962. Granulometria dos sedimentos de fundo da região de Cananéia, SP. Bol.Soc.Bras.Geol., São Paulo, 11 (2) : 41-54, nov.

- KUTNER, A.S. 1963. Estudo sedimentológico e mineralógico da enseada do Mar Virado, Ubatuba, SP. São Paulo, Instituto Oceanográfico/USP. (Oceanografia Física, 5).
- KUTNER, A.S. 1969. A sedimentação no Canal de São Sebastião. São Paulo. (Estudo realizado para a firma BRASCONSULT, destinado ao Projeto Básico do Porto de São Sebastião).
- KUTNER, A.S. 1976. Levantamentos sedimentológicos de apoio na pesquisa e reconhecimento de áreas portuárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA de ENGENHARIA, 1, Rio de Janeiro, 1976. Anais... Rio de Janeiro, ABGE. v.2, p.47-66.
- LANGHORNE, D.N. 1973. A sandwave field in the outer Thames estuary, Great Britain. Marine Geology, 32: M19-M27.
- LEÃO, Z.M. de A.N. & BITTENCOURT, A.C. da S.P. 1977. A fração biotritica dos sedimentos de fundo da Baía de Aratu, BA. Rev. Bras.Geoc., 7 (2): 115-130, jun.
- MABESOONE, J.M.; CAMPOS e SILVA, A.; BEURLÉN, K. 1972. Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Rev.Bras.Geoc., 2 (3):173-188, set.
- MAGLIOCCA, A. & KUTNER, A.S. 1964. Conteúdo orgânico dos sedimentos de fundo de Cananéia. São Paulo, Instituto Oceanográfico/USP. (Oceanografia Física,7).
- MAGLIOCCA, A. & KUTNER, A.S. 1965. Sedimentos de fundo da enseada do Flamengo, Ubatuba. São Paulo, Instituto Oceanográfico/USP. (Oceanografia Física, 8).
- MARTIN, L. *et alii*.1979a. Le quaternaire marin du littoral brésilien entre Cananéia, SP et Barra de Guaratiba, RJ. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM on COASTAL EVOLUTION in the QUATERNARY, São Paulo, 1978. Proceedings... São Paulo, IGCP/IGUSP. p.296-331.
- MARTIN, L. *et alii*. 1979b. Courbe de variation du niveau relatif de la mer au cours des 7000 dernières années sur un secteur homogène du littoral brésilien, nord de Salvador - Bahia. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM on COASTAL EVOLUTION in the QUATERNARY, São Paulo, 1978. Proceedings... São Paulo, IGCP/IGUSP/SBG. p.264-274.

- MARTONNE, E. de 1935. Cartographie coloniale. Paris
- MELO, M.S. de & PONÇANO, W.L. 1983. Gênese, distribuição e estratigrafia dos depósitos cenozóicos no Estado de São Paulo. São Paulo, IPT. (Monografias, 9).
- MESQUITA, M. 1977. Transporte. In: INSTITUTO BRASILEIRO de GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil, região nordeste. Rio de Janeiro, SERGRAF. v.2.
- MILLIMAN, J.D. *et alii*. 1972. Superficial sediments of the Brazilian Continental Margin. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 26, Belém, 1972. Anais... Belém, SBG. v.2, p.29-44.
- OLIVEIRA, A.M. dos S.1981. Estudo da percolação d'água em maciços rochosos para o projeto de grandes barragens. São Paulo (Dissertação de Mestrado, IGUSP.).
- PENTEADO, A.R.1970. O homem brasileiro e o meio. In: AZEVEDO, A. ed. Brasil; a terra e o homem. São Paulo, EDUSP. Ed.Nacional. v.2.
- PETRÓLEO BRASILEIRO & INSTITUTO de GEOCIÊNCIAS da UNIVERSIDADE de SÃO PAULO. Projeto Rio Doce; relatório final. São Paulo.
- PETRONE, P.1965. Povoamento e população. In: AZEVEDO, A. A Baixada Santista: aspectos geográficos. São Paulo, EDUSP. v.2.
- PICHLER E. 1954. Diretrizes para o estudo geológico de barragens. São Paulo, IPT. (Publicação IPT, 507).
- PICHLER,E. 1957. Aspectos geológicos dos escorregamentos de Santos. Bol.Soc.Bras.Geol., São Paulo, 6 (2):61-68.
- PIMENTA, J. 1959. Deltas intermittents; existence d'un paléodelta de l'Amazone. Eclogae Geol.Helvetiae, 51:551-561.
- PONÇANO, W.L. 1976a. Sedimentação atual na baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro: contribuição à avaliação de viabilidade geotécnica da implantação de um porto. São Paulo.2v. (Dissertação de Mestrado/IGUSP).
- PONÇANO, W.L. 1976b. Características gerais da sedimentação e correntes costeiras entre Santos e Cananéia. Notícia Geomorfológica, Campinas, 16 (31): 107-111, jun.

- PONÇANO, W.L. & FÚLFARO, V.J. 1976. Sedimentação atual nas adjacências da Ponta de Itaipu e Baía de Santos: implicações na escolha de locais de lançamento de material dragado. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA de ENGENHARIA, 1, Rio de Janeiro, 1976. Anais... Rio de Janeiro, ABGE. v.2, p.91-110.
- PONÇANO, W.L. & FÚLFARO, V.J. 1978. Dynamic significance of grain size parameters in coastal areas. In: INTERNATIONAL CONGRESS of the INTERNATIONAL ASSOCIATION of ENGINEERING GEOLOGY, 3, Madrid, 1978. Proceedings... Madrid, IAEG. v.1, sec.2, p.268-277.
- PONÇANO, W.L.; FÚLFARO, V.J.; GIMENEZ, A.F. 1976. Sedimentação atual na baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro: contribuição a avaliação de viabilidade geotécnica da implantação de um porto. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA de ENGENHARIA, 1, Rio de Janeiro, 1976. Anais... Rio de Janeiro, ABGE. v.2, p.111-140.
- PONÇANO, W.L.; FÚLFARO, V.; GIMENEZ, A.F. 1979. Sobre a origem da baía de Sepetiba e da restinga de Marambaia, RJ. In: SIMPÓSIO REGIONAL de GEOLOGIA, 2, Rio Claro, 1979. Atas... São Paulo, SBG. v.1, p.291-304.
- PORTOBRÁS, . 1979. Plano Diretor Portuário do Brasil. s.L.
- POSTMA, H. 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In: LAUFF, G.H. ed. Estuaries. Washington, American Association for the Advancement of Science. p.158-179. (Publication, 83).
- QUINN, A. 1972. Design and construction of ports and marine structures. New York, McGrawhill.
- RUSSEL, R.J. 1967. Origins of estuaries. In: LAUFF, G.H. ed. Estuaries. Washington, American Association for the Advancement of Science. p.93-99 (Publication, 83).
- SANTOS, M. 1959. O centro da cidade de Salvador. s.L. (Tese apresentada à Universidade de Strasbourg) (Publicação da Universidade Federal da Bahia, 4).
- SENGUPTA, S. 1975. Size-sorting during suspension transportation, lognormality and other characteristics. Sedimentology, 22:257-273.

- SENGUPTA, S. 1979. Grain-size distribution of suspended load in relation to bed materials and flow velocity. Sedimentology, 26: 63-82.
- SILVESTER, R. 1968. Sediment transport, long-term net movement. In: FAIRBRIDGE, R.W. ed. Encyclopedia of Geomorphology. London, Reinhold. p.985-988.
- SILVESTER, R. 1974. Coastal engineering. Amsterdam, Elsevier. 2v. (Developments in Geotechnical Engineering, 4B).
- SUGUIO, K. 1973. Introdução à sedimentologia. São Paulo, Edgard Blücher.
- SUGUIO, K. & MARTIN, L. 1978a. Mapas geológicos 1:100 000 cobrindo a costa paulista. São Paulo, DAEE.
- SUGUIO, K. & MARTIN, L. 1978b. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM on COASTAL EVOLUTION QUATERNARY, São Paulo, 1978. Special Publication, São Paulo, IGCP/IGUSP/SBG, (1).
- SWAN, D.D.; CLAQUE, J.J.; LUTERNAUER, J.L. 1978. Grain-size statistics I: evaluation of the Folk and ward graphic measures. Jour. Sedim. Petrol., 48 (3): 863-878, sept.
- SWAN, D.D.; CLAQUE, J.J.; LUTERNAUER, J.L. 1979. Grain-size statistics II: evaluation of grouped moment measures. Jour. Sedim. Petrol., 49 (2): 487-500, jun.
- SWIFT, D.J.P.; SCHUBEL, J.R.; SHELDON, R. W. 1972. Size analysis of fine-grained suspended sediments: a review. Jour. of Sedim. Petrol., 42 (1): 122-134.
- TRICART, J. 1972. The landforms of the humid tropics: forests and savannas. London, Longman.
- VARGAS, B.M. 1983. Evolução histórico-morfológica do estuário do Rio Itajaí-Açu e sua implicação no Porto de Itajaí-Açu, Rio de Janeiro, Portobrás/INPH. (Relatório 900/01-139/83).
- VILAS BOAS, G.S. & BITTENCOURT, A.C.S.P. 1979. Mineralogia e composição química da fração argilosa dos sedimentos de fundo da Baía de Todos os Santos, Bahia. Rev. Bras. Geoc., 9 (3): 179-197, set.

VILAS BOAS, G.S. & NASCIMENTO, M.A.M. 1979. Evolução paleogeográfica e paleoclimática da região das enseadas dos Tainheiros e do Cabrito, BA, nos últimos 5000 anos. Rev.Bras.Geoc., 9 (3): 159-168, set.

VILLAGRA, H.M.I. *et alii*. 1980. Metodologia de utilização de imagens orbitais em oceanografia. In: INSTITUTO de PESQUISAS ESPACIAIS. Curso de treinamento: aplicações de sensoriamento remoto, com ênfase em imagens LANDSAT, no levantamento de recursos naturais. São José dos Campos. (Relatório INPE-1949-MD/006).

WALKER, P.H.; WOODYER, K.D.; HUTKA, J. 1974. Particle-size measurements by Coulter Counter of very small deposits and low suspended sediment concentrations in streams. Jour.of Sedim.Petrol, 44 (3): 673-679.

WOLGEMUTH, K.M.; BURNETT, W.C.; MOURA, P.L. de. 1981. Oceanography and suspended material in Todos os Santos Bay. Rev.Bras.Geoc., 11 (3).

ZEMBRUSCKI, S.G. *et alii*. 1971. Fisiografia e distribuição dos sedimentos superficiais da plataforma continental norte brasileira. Bol.Tec.Petrobrás, Rio de Janeiro, 14 (3/4): 127-155.

ZEMBRUSCKI, S.G. *et alii*. 1972. Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 26, Belém, 1972. Anais... Belém, SBG. v.2, p.187-209.