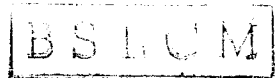


B S L C M



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

Aspectos de geologia ambiental costeira do município de
Fortaleza (Estado do Ceará)

Jáder Onofre de Moraes, MSc , PhD
Professor Adjunto da
Universidade Federal do Ceará

Tese apresentada ao Departamento de
Geociências da Universidade Federal
do Ceará para seleção ao concurso de
Professor Titular.

D e d i c a t ó r i a

À Selene, minha mulher,
Milena, Lília, Raquel e
Meton, meus filhos

Aos meus pais

S U M Á R I O

I	- INTRODUÇÃO	6
II	- MATERIAL E MÉTODOS	10
III	- GENERALIDADES SOBRE A ÁREA	13
III.1	- Condições meteorológicas e climáticas	13
III.2	- Circulação atmosférica - ventos	17
III.3	- Clima - Relevo - Vegetação	20
IV	- QUADRO GEOLÓGICO	22
IV.1	- Geologia costeira continental	22
IV.1.1	- Os terrenos cristalinos	22
IV.1.2	- Vulcanismo alcalino	24
IV.1.3	- Faixa sedimentar litorânea	27
IV.1.3.1	- Sondagens a percussão na faixa costeira emersa ...	27
IV.1.3.2	- Sondagens a percussão na faixa costeira submersa ...	33
IV.1.3.3	- Perfilagens sísmicas	41
IV.1.3.4	- Aspectos da sedimentação na zona transicional	51
IV.2	- Geologia Marinha	56
IV.2.1	- Ambientes superficiais de plataforma	56
IV.2.2	- Subsuperfície dos fundos marinhos	75
V	- MORFOLOGIA DO LITORAL	67
V.1	- Relevo litorâneo	67
V.2	- Superfície de aplanamento	68
V.3	- Morros isolados e maciços montanhosos cristalinos	68
V.4	- Plataforma continental	69

VI - HIDRODINÂMICA DAS ÁGUAS COSTEIRAS	70
VI.1 - Marés	70
VI.2 - Ondas	74
VI.3 - Observações e dados da estrutura vertical das águas litorâneas	77
VI.3.1 - Temperatura das águas	77
VI.3.2 - Salinidade	81
VI.3.3 - Densidade	82
VI.3.4 - Variação sazonal na estrutura vertical	82
VI.4 - Correntes	82
VI.4.1 - Trajetória das correntes superficiais	84
VI.4.2 - Perfis verticais das correntes	88
VI.4.3 - Direção das correntes	88
VI.4.4 - Velocidade das correntes	88
VI.4.5 - Correlação entre ventos, correntes e marés	92
VII - CARACTERÍSTICAS TEXTURAIS DOS SEDIMENTOS DO AMBI ENTE TRANSICIONAL	96
VII.1 - Sedimentos do litoral correspondente a praia do Futuro e adjacências	96
VII.2 - Sedimentos das praias do litoral noroeste	100
VII.3 - Sedimentos ao largo de Fortaleza	103
VII.4 - Parâmetros estatísticos dos sedimentos coletados ...	106
VIII - TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	128
VIII.1 - Tipos de Transporte	128
VIII.2 - Migração das embocaduras dos rios Ceará, Cocó e Pacoti	132

IX	- SEDIMENTAÇÃO E CONTROLE AMBIENTAL	145
IX.1	- Sedimentação e engenharia costeira	147
IX.1.1	- Modelo da evolução sedimentar do Porto de <u>Mu</u> curipe	147
IX.1.2	- Modelo dos processos de erosão/sedimentação na Praia de Iracema	187
IX.1.3	- Evolução sedimentar das praias Formosa, Pirambu, Arpoador, Goiabeiras e Barra do Ceará	203
IX.1.4	- Processos de erosão na Praia dos Dois Coqueiros	217
IX.1.5	- Aspectos da sedimentação na Praia do Futuro ...	220
IX.2	- Poluição costeira/emissário submarino	225
IX.3	- Lagoas costeiras de Fortaleza	236
X	- UTILIZAÇÃO ECONÔMICA DE MATERIAIS DO AMBIENTE TRAN SICIONAL E SEDIMENTOS SUPERFICIAIS SUBMERSOS	242
XI	- CONCLUSÕES	250
XII	- ABSTRACTS	264
XIII	- AGRADECIMENTOS	266
XIV	- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	268
XV	- LISTA DE ABREVIACÕES	281

I - INTRODUÇÃO

Geologia ambiental envolve os problemas geológicos que afetam e são afetados pelo homem. Constitui portanto, a organização e controle de perfís de exploração de recursos minerais; uso dos recursos naturais renováveis e suas implicações ecológicas; interação dos processos de sedimentação costeira e ações do homem; estabilidade das encostas; determinação da erosão costeira; composição de sedimentos de rios e suas ações migratórias de embocadura; planejamento geológico urbano; minerais pesados em estuários, sua mobilização e efeitos de mistura; estudo dos poluentes naturais e provocados pelo homem no ambiente geológico; e ainda a significação dos estudos sedimentológicos no uso do homem em áreas transitórias costeiras, tais como portos e vias navegáveis.

Dentro deste contexto abrangente de geologia ambiental é que este trabalho foi planejado com os objetivos de:

- a) Fazer um modelo da evolução sedimentar da bacia do Porto de Mucuripe desde a construção do porto, até a época atual, e suas implicações na navegação;
- b) Traçar um modelo da evolução sedimentar dos ambientes transitórios e praias de Fortaleza como consequência da ação do transporte e barragem dos sedimentos litorâneos, associado ao quadro geológico local;
- c) Determinar a influência dos sedimentos terrígenos na plataforma continental adjacente, levando em consideração a geomorfologia costeira e submarina;
- d) Avaliar o comportamento da fácies algas calcáreas

rias e seu aproveitamento para fins industriais considerando as implicações ecológicas;

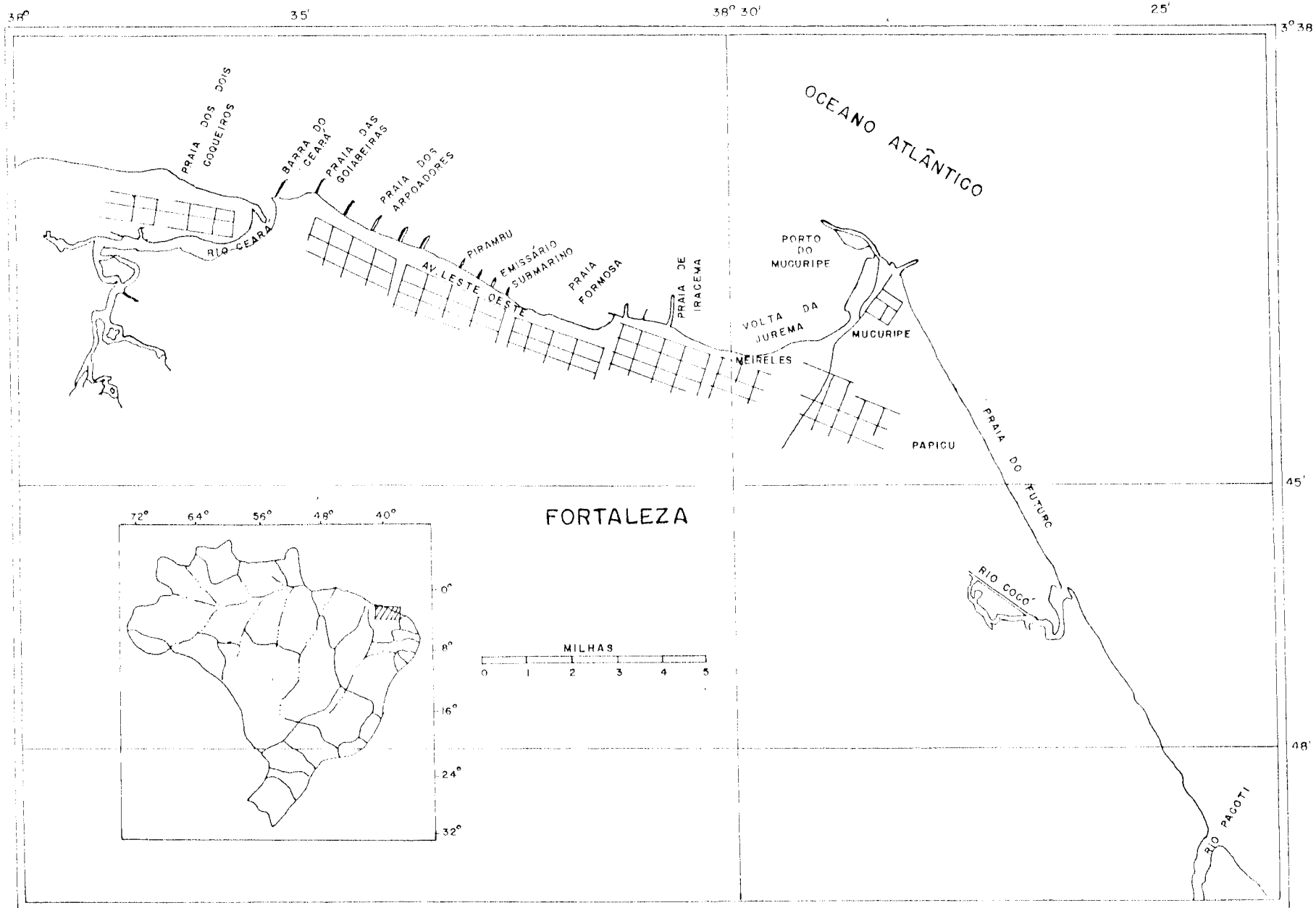
e) Avaliar a influência dos efluentes de Fortaleza, na sedimentação/poluição costeira.

Fortaleza, capital do Estado do Ceará, está situada entre $3^{\circ}38'$ e $3^{\circ}47'$ de latitude sul e $38^{\circ}23'$ e $38^{\circ}38'$ de longitude oeste, na zona litorânea, à margem do Oceano Atlântico, no nordeste do Brasil (Figura I.1) .

Este trabalho foi desenvolvido ao longo do litoral compreendido entre a Foz do Rio Pacoti e a Foz do Rio Ceará, o que inclui a área da bacia do Porto do Mucuripe, zona de construção de quebra-mares e região de lançamentos de efluentes submarinos, formando o ambiente transicional. Para o interior do município foram observados as formações geológicas presentes, para integração dos processos de interação reinantes. A área adjacente ao município de Fortaleza inclui as proximidades da embocadura do Rio Ceará, considerando-se os problemas atuantes de erosão, a plataforma continental ao largo do município de Fortaleza e as proximidades do Rio Pacoti, este último tendo em vista as associações com o vulcanismo alcalino.

Procurou-se organizar um contexto amplo de informações sobre a área, baseado em dados inéditos que foram interpretados pelo autor deste trabalho. Dados atualizados, coletados no campo e processados nos laboratórios do LABOMAR, foram associados às pesquisas realizadas no INPH, no Rio de Janeiro.

Espera-se que este trabalho sirva de base e de diag



nóstico, onde problemas específicos de ordem técnico-científica aplicada sejam atacados com mais detalhe, ensejando um vasto campo de pesquisas para o LABOMAR/Departamento de Geociências nos próximos anos.

II - MATERIAL E MÉTODOS

II.1 - Trabalhos de campo

Os levantamentos da linha de costa foram realizados de julho de 1979 a julho de 1980 para observação do comportamento dos sedimentos em escala anual mais recente. Isso associou-se aos levantamentos efetuados em épocas anteriores, pelo autor e/ou com participação do autor. (Morais, 1968 ; Kempf, Coutinho e Morais, 1968 ; Morais, 1971 , Morais, 1972 ; Morais e Souza, 1971 ; Morais e Pitombeira, 1974 ; Trabalhos da CAGECE , DNPVN - DOCAS , e INPH) .

Foram coletados sedimentos nas praias em perfis perpendiculares, espaçados de 1.000 metros, ao longo dos quebra-mares e ao largo da costa em profundidade rasa, perfazendo um total de 150 amostras. Utilizou-se dragas cônicas e retangulares de tamanho pequeno para condições de arraste normais.

O levantamento dos dados de hidrodinâmica/sedimentação/erosão foram realizados, utilizando-se correntômetros tipo HIDROCEAN, existente no LABOMAR, derivadores e comparados com dados existentes na CAGECE , DHN e INPH .

Nos perfis geofísicos (sísmica marinha de reflexão) utilizou-se a técnica do Sparker e penetrador. Este trabalho foi realizado pela CBG .

Não foi feito levantamento batimétrico adicional, em virtude da grande quantidade de dados desta natureza existente nas DOCAS que nos permitiu um levantamento completo

das mudanças no fundo da bacia do porto, desde o século passado até os dias atuais.

Foi realizado um sobrevôo na área litorânea, utilizando-se um helicóptero pertencente a Base Aérea de Fortaleza para observação visual das possíveis áreas atuais de erosão e assoreamento.

Para informações sobre a geologia local foram feitas apenas algumas visitas aos locais necessários, baseado em levantamentos de dados existentes na CPRM, DNPM e SUDENE.

Foram coletadas 135 amostras de sedimento de fundo ao largo do município de Fortaleza, a bordo do Navio Hidrográfico Taurus da Marinha do Brasil, e processados no LABOMAR. Os perfis batimétricos levados a efeito a bordo do navio, deverão ser processados na DHN no segundo semestre deste ano, e com isto, fazer a complementação atualizada da evolução dos fundos da área estudada, já que o trabalho de campo foi terminado no mês de julho deste ano.

II.2 - Trabalhos de laboratório

Foram observadas sequências de fotografias aéreas de épocas diferentes desde 1958 até 1960, obtidas no INCRA, SUDEC, AUMERF e DG/UFC.

Foram analisados sedimentos de praias e zonas submersas, no microscópio estereoscópio binocular e análise de petrografia sedimentar em rochas de praia. Foi feita separação em algumas amostras de minerais pesados ao bromoformio.

O traçado de fácies/texturas foi efetuado levando-se em consideração os dados já existentes.

Nos capítulos que se seguem algumas observações sobre metodologia de trabalho no campo ou laboratório, com mais detalhe, serão discutidos, quando se fizer necessário.

III - GENERALIDADES SOBRE A ÁREA

III.1 - Condições meteorológicas e climáticas

III.1.1 - Temperatura do ar

A temperatura do ar mostra pequenas amplitudes ao longo do ano, apresentando entretanto uma perceptível variação sazonal. A figura III.1, elaborada a partir de dados obtidos na FUNCEME e CAGECE, mostra a variação sazonal em diversas épocas e nos leva a concluir que:

a) As temperaturas mínimas variam de 21,9 a 24,4°C, com variação sazonal bem definida, ocorrendo a maior mínima em julho e menor mínima em dezembro.

b) As temperaturas máximas variam de 29,9 a 30,7°C, ocorrendo as maiores máximas nos meses de dezembro a fevereiro.

c) A temperatura média do ar varia de 26,0 a 27,3°C, ocorrendo as mínimas médias de junho a agosto e as máximas médias de dezembro a fevereiro.

III.1.2 - Umidade relativa do ar

O primeiro semestre do ano é o período mais úmido com a umidade média relativa alcançando 80,3% em abril. O segundo semestre, tem valores sempre inferiores a 73%. (Figura III.2) .

III.1.3 - Pressão atmosférica

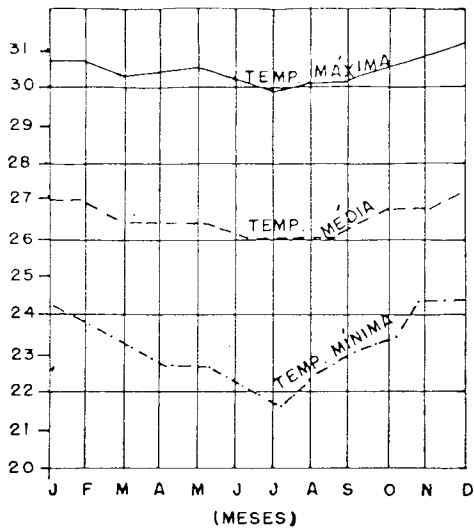


Figura III.1 - Temperatura do ar

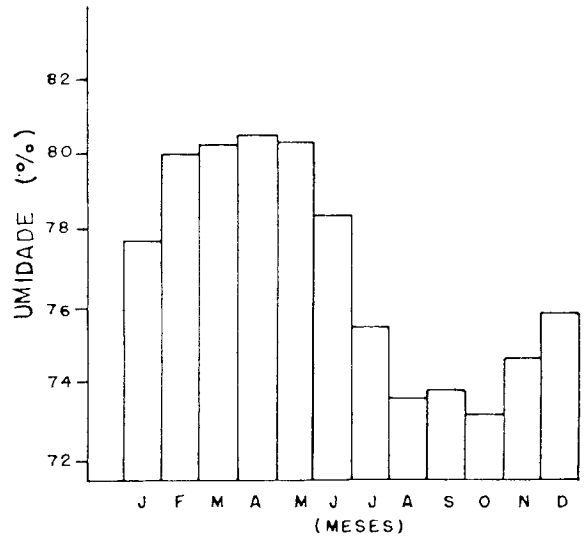


Figura III.2 - Umidade relativa do ar

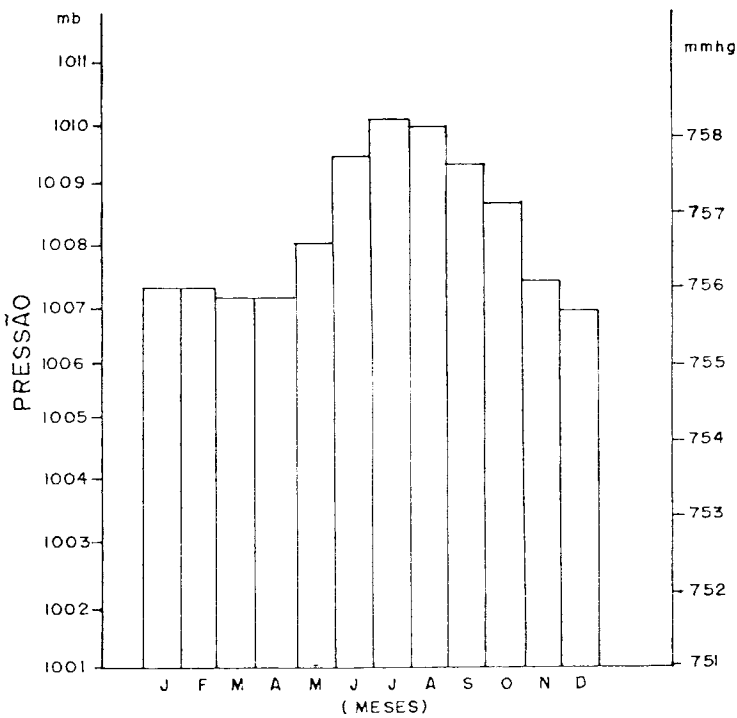


Figura III.3 - Pressão atmosférica

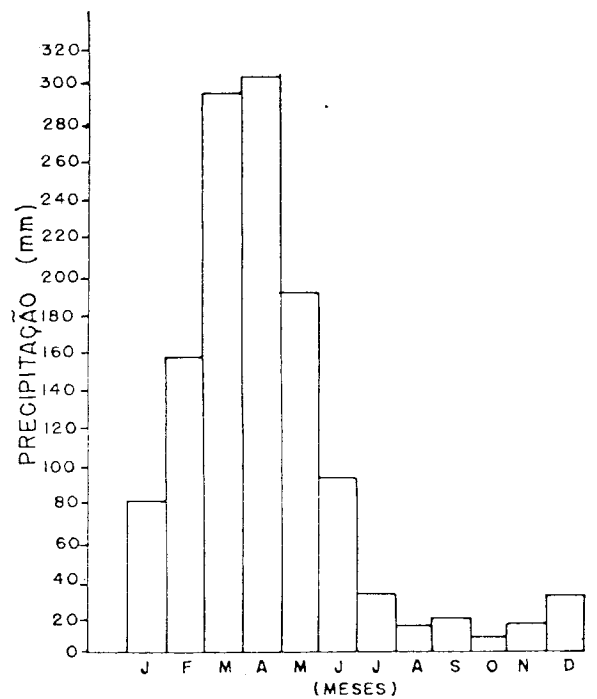


Figura III.4 - Precipitação pluviométrica

Existe uma variação sazonal bem nítida com as mínimas registradas no período de novembro a abril, com os mínimos valores médios nos meses de dezembro, março e abril, de 755 mm Hg . As máximas pressões situam-se entre maio e outubro, atingindo valores máximos de 758,2 em julho (figura III.3).

III.1.4 - Precipitações

A época de estiagem propriamente dita vai de julho a dezembro com uma precipitação inferior a 10 mm/mês no mês de outubro. (Figura III.4) . O primeiro semestre do ano corresponde ao período chuvoso com as precipitações chegando a 300 mm/mês em média em março e abril.

III.1.5 - Evaporação

Os meses de maior evaporação coincidem com o período seco do ano e os de menor evaporação coincidem com o período úmido do ano (Figura III.5) . A menor evaporação registra-se entre fevereiro e julho, e no mês de abril a mínima média mensal é de 61,5 m . A máxima média mensal foi observada no mês de outubro com 117 mm .

III.1.6 - Nebulosidade

A figura III.6 mostra os valores de nebulosidade em Fortaleza, registrados na escala de 0 a 10 .

O período chuvoso, de janeiro a maio, é, evidente

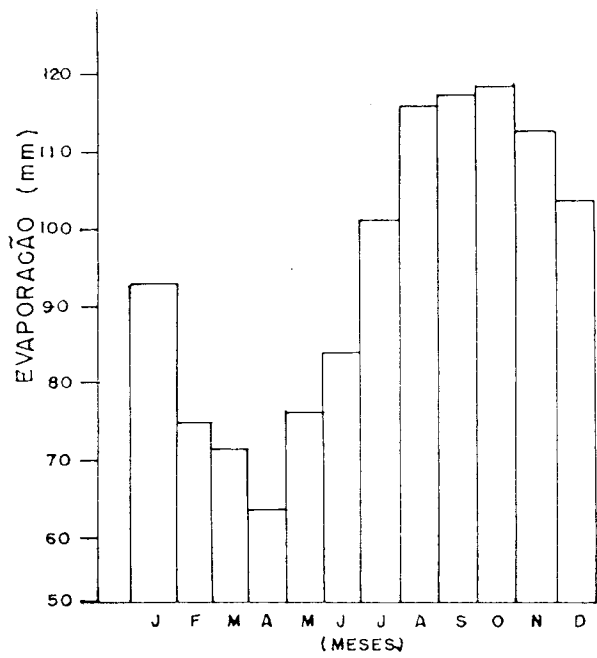


Figura III.5 - Evaporação

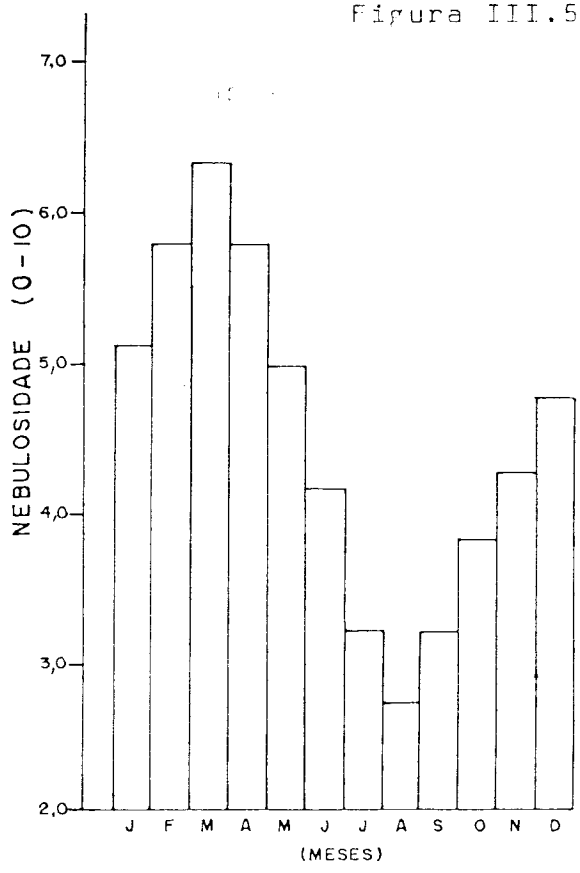


Figura III.6 - Nebulosidade

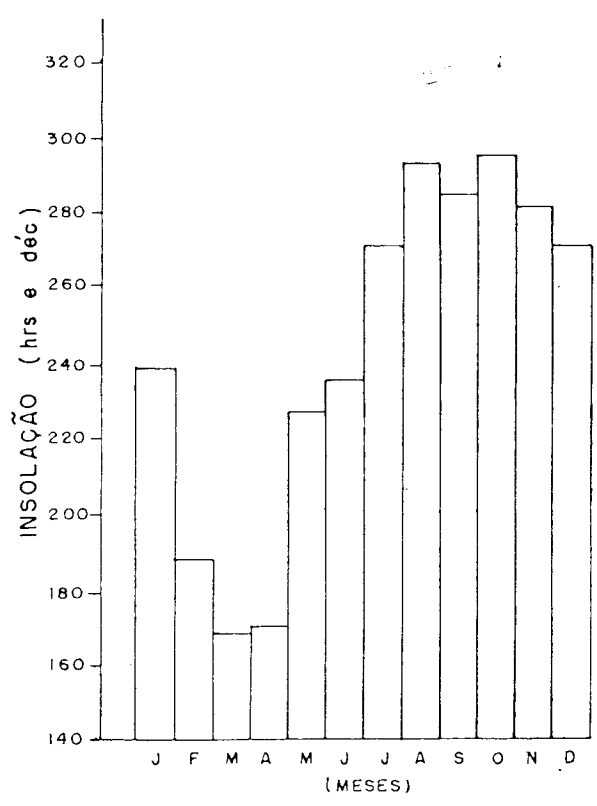


Figura III.7 - Insolação

mente, o que apresenta maior nebulosidade, sendo que a máxima média mensal ocorre em março atingindo 6,2 . Os valores mínimos ocorrem em agosto.

III.1.7 - Insolação

A máxima insolação é registrada no período de menor nebulosidade, ocorrendo entre julho e dezembro, com a máxima média mensal ocorrendo em outubro com 292,5 horas. Os menores valores vão de fevereiro a abril com a média mínima mensal no mês de março de 166 horas. (Figura III.7) .

III.2 - Circulação atmosférica - ventos

A circulação geral atmosférica que predomina no Estado do Ceará, são os chamados ventos alíseos do quadrante de NE a SE . A variação de NE a SE é sazonal e originada pelo deslocamento do equador térmico para o sul do equador geográfico. No inverno predominam os ventos alíseos de sudeste com o deslocamento do equador térmico para o norte.

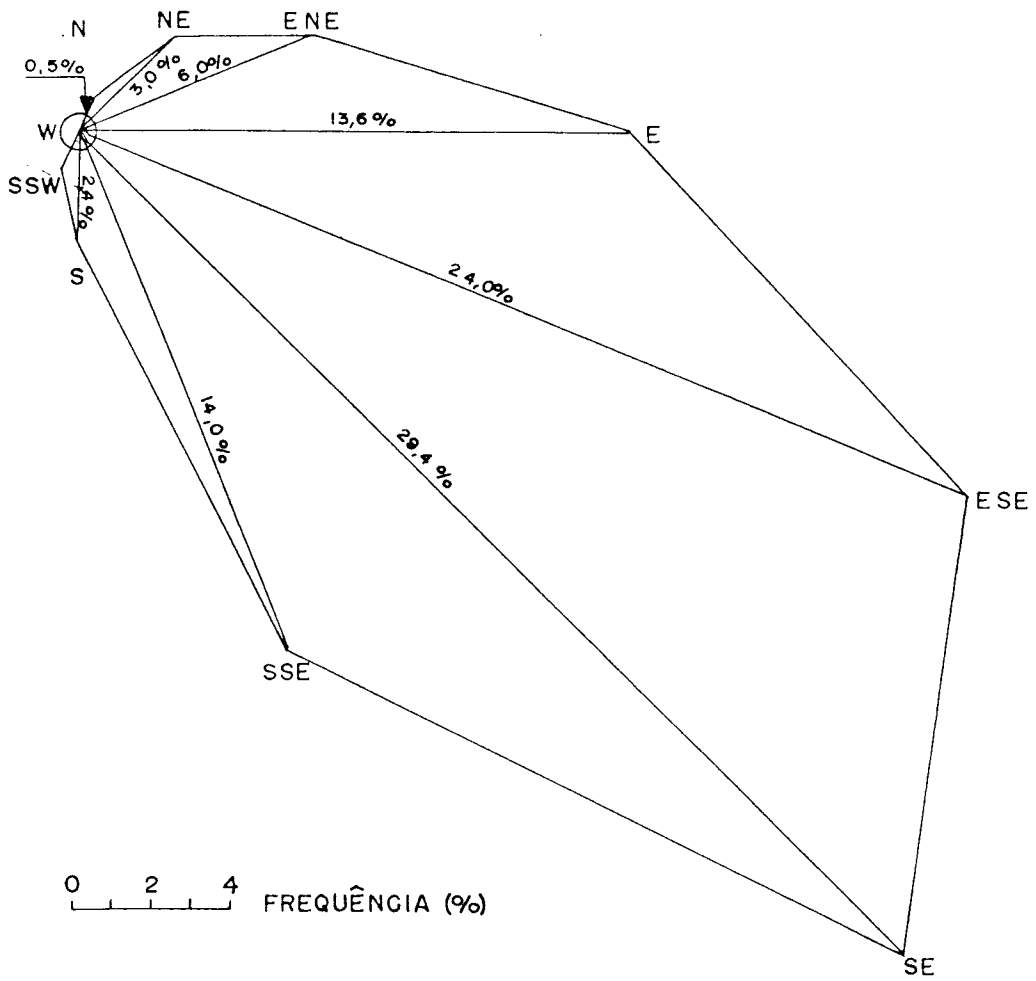
A tabela III.1 mostra as médias das velocidades dominantes em Fortaleza, calculadas a partir de dados obtidos na FUNCEME . Desta tabela pode-se verificar que de fevereiro a abril os ventos são brandos, com velocidade média de 3,7 m/s , procedentes de nordeste, sendo março o mês de menor intensidade. A partir de maio há uma intensificação gradativa dos ventos, atingindo valores máximos no mês de setembro com 7,2 m/s . O período de agosto a novembro é o de maior intensidade com a média de 6,8 m/s , com predominância E-SE .

Das observações acima comentadas chegou-se a elaboração do anemograma (figura III.8) , de onde observa-se que os ventos mais frequentes sopram de sudeste em cerca de 30% do tempo. Os ventos essencialmente de nordeste sopram apenas em 5% do tempo. Se for considerado o quadrante ESE a SSE nota-se que os ventos deste quadrante predominam em 67,4% . No quadrante de nordeste a leste cerca de 23% . Portanto, durante todo o ano há uma predominância de ventos dos quadrantes E-SE e SE a SSE .

Tabela III.1

VENTOS PREVALECENTES EM FORTALEZA
PERÍODO DE OBSERVAÇÃO: 1979
DADOS FORNECIDOS PELA FUNCEME

MÊS	DIREÇÃO	VELOCIDADE a 10,0 m (m/s)	MÉDIA SAZONAL (m/s)
Janeiro	SE a NE	4,9	
Fevereiro	SE a NE	4,0	MÍNIMA 3,7
Março	E a NE	3,2	
Abril	SE a NE	4,0	
Maio	E a NE	4,5	
Junho	SE a E	4,9	
Julho	SE a E	6,0	
Agosto	SE a E	6,5	MÁXIMA 6,7
Setembro	SE a NE	7,2	
Outubro	SE a NE	7,0	
Novembro	SE a E	6,6	
Dezembro	E a NE	6,0	



DADOS FORNECIDOS PELAS PILOT CHARTS OF SOUTH ATLANTIC

Figura III.8 - Anemograma de frequência relativa dos ventos em Fortaleza

III.3 - Clima - Relevo - Vegetação da área adjacente

A região litorânea do município de Fortaleza, segundo a classificação de Kopper é tropical úmido, com chuvas de verão. Na parte III.1 deste trabalho, foi observado detalhadamente o comportamento climático da área de Fortaleza, podendo-se notar que o índice pluviométrico chega a 1.300 mm/ano no litoral, esta precipitação cai para o interior com média de 700 mm/ano. Ao sul do município distando até 190 km da área de estudos situam-se microclimas bem diferenciados como os das Serras de Baturité, Maranguape e Aratanha, onde a temperatura média anual é de 21°C, o índice pluviométrico chega a 1.800 mm/ano. Nestes microclimas a vegetação também diferencia-se pois encontram-se espécies arbóreas, como matas galerias ao passo que a faixa costeira é dominada pela vegetação arbustiva de pequeno a médio porte.

Feição marcante do relevo litorâneo são as dunas que bordejam a orla marítima sob a forma de barcanas, muitas vezes modificadas pelos ventos alíseos para formas de cordões litorâneos. Outra feição dominante são os tabuleiros litorâneos, formados por sedimentos cenozóicos, que serão discutidos no capítulo IV deste trabalho, apresentando uma superfície plana e altitude média de 50 m. Uma terceira feição de relevo é o pediplano de rochas cristalinas, que apresenta também vez por outra, maciços residuais. Vale salientar também a ocorrência de maciços montanhosos de relevo colinoso com altitude variando de 700 a 800 m, como as serras de Maranguape e Aratanha.

A área é drenada a oeste pelo Rio Ceará que limita no litoral os municípios de Fortaleza e Caucaia, Rio Cocó na parte centro litoral da área e pelo Rio Pacoti a oeste, limitando no litoral os municípios de Fortaleza e Aquiraz. (In formações adicionais sobre rios e morfologia serão dadas no capítulo V deste trabalho) .

Quanto a vegetação, predominam as gramíneas e vege tação rasteira nas dunas fixas, os manguezais no litoral, principalmente na desembocadura dos rios e nas várzeas alaga das predominam os carnaubais. Nos tabuleiros aparecem os ca jueiros.

IV - QUADRO GEOLÓGICO

IV.1 - Geologia costeira continental

O município de Fortaleza e área adjacente apresentam três feições geológicas distintas: os terrenos cristalinos, o vulcanismo alcalino ao longo do paralelo 4°S e a faixa sedimentar costeira.

IV.1.1 - Os terrenos cristalinos

A figura IV.1 mostra a distribuição dos terrenos cristalinos na área em estudo, com as seguintes unidades litto-estratigráficas individualizadas:

a) Complexo Tamboril - Sta. Quitéria - Localiza-se na parte oeste do município de Fortaleza, ao sul do município de Caucaia perto da localidade denominada Tabapuá. É constituída de migmatitos e granitos, recobertos por sedimentos do Grupo Barreiras e colúvio-eluviais. Este complexo faz parte também das Serras de Maranguape e Aratanha ao sul de Fortaleza. O posicionamento estrutural deste complexo, segundo Braga et al., 1977, é de domo migmatítico com contato transicional com a rocha encaixante, estendendo-se na direção NNE-SSW.

b) Complexo Caicó - Localiza-se ao sul do município de Fortaleza, aflorando à margem oeste do Rio Pacoti, região de Itaitinga e as margens das nascentes do Rio Cocó. Constitui também toda a parte a oeste do complexo Tamboril - Sta.

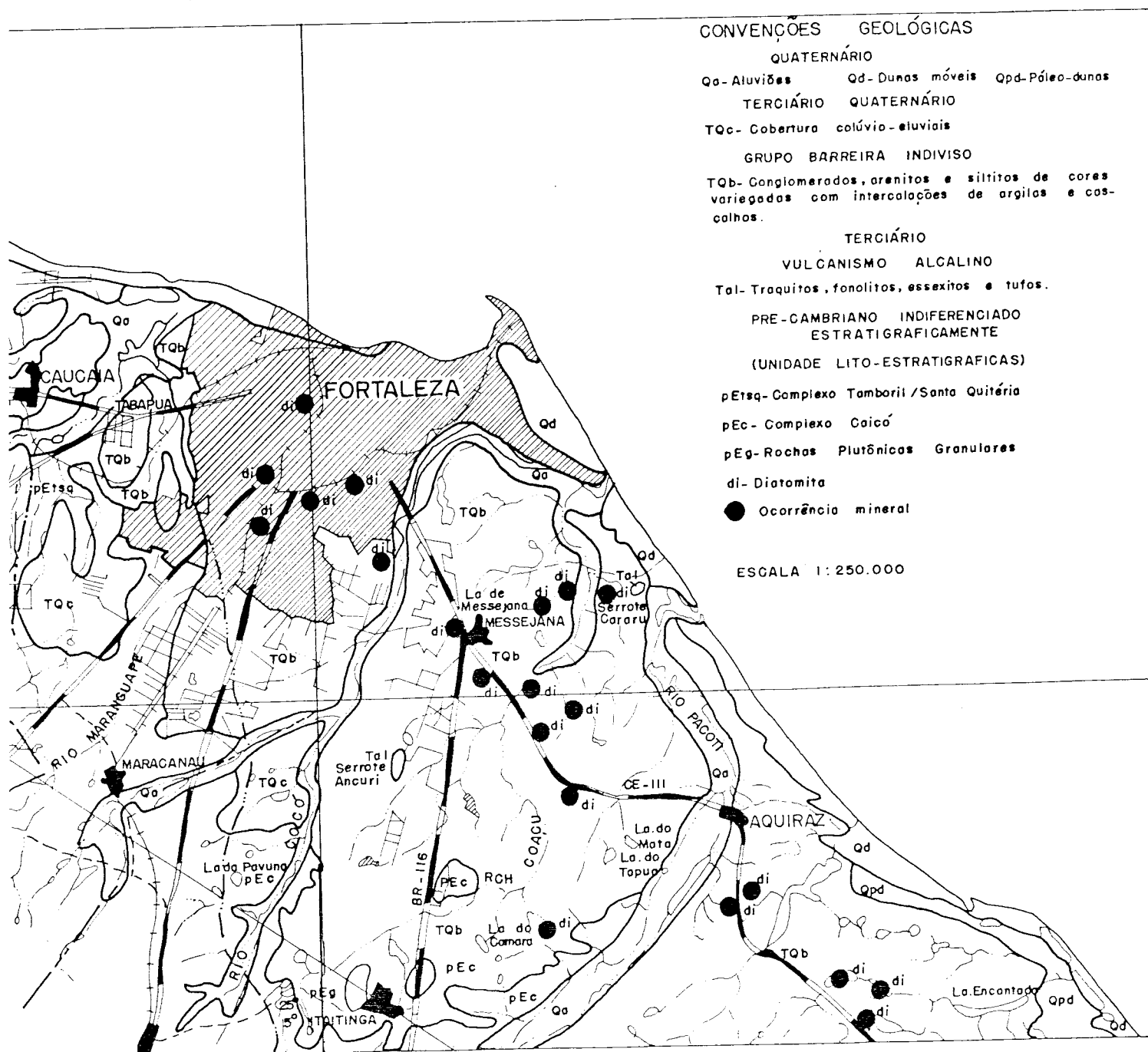


Figura IV.1 - Mapa geológico do município de Fortaleza e adjacências
(Segundo o Projeto Fortaleza DNPM/CPMM).

Quitéria. É constituído predominantemente de gnaisses e migmatitos, com quartzitos, calcários cristalinos, metarcósios, anfibolitos e calcosilicatos subordinados. A sequência dominante é gnaissica parcial ou totalmente migmatizada. O posicionamento estrutural deste complexo mostra contatos concordantes ou discordantes, bruscos ou gradacionais com as outras unidades. As lineações na área adjacente ao município de Fortaleza mostram direção bifurcada - NE - SW às margens do Rio Pacoti e NNE - SSW nas nascentes do Rio Cocó.

c) Rochas plutônicas granulares - A figura IV.1 mostra apenas uma ocorrência desta unidade estratigráfica situada próxima à cidade de Itaitinga. De composição granítica é constituído predominantemente de biotita-granito de grã media, homogêneo, cinza com ocasionais injeções de diabásio (Braga et al., 1977) .

IV.1.2 - Vulcanismo Alcalino

Localiza-se ao redor do paralelo de 4°S e segundo Almeida, 1958 ; Vandoros e Oliveira, 1968 ; Morais, 1969 ; Damuth e Gorini, 1976 ; constitui um alinhamento de vulcões subordinados a uma linha de fraturas, sendo o Arquipélago de Fernando de Noronha e Atol das Rocas os testemunhos emersos na área marinha e o Morro de Caruru situado no litoral sudeste do município de Fortaleza, 6 km a nordeste de Fortaleza como seu primeiro ponto na área continental. A CPRM em estudos da Folha Fortaleza mapeou vários necks e diques de rochas alcalinos situados na extremidade nordeste daquela

folha. Os necks receberam a denominação de Pão de Açúcar, Salgadinho, Serrote Preto, Japarara, Ancuri e Caruru, sendo que a forma característica de cone vulcânico foi encontrada nos dois primeiros. O serrote do Caruru foi descrito petrograficamente por Vandoros e Oliveira, 1968, como fonolito de idade oligocênica. A semelhança com os fonolitos de Fernando de Noronha, parece confirmar a idéia original de Almeida, 1958. Morais, 1969, tendo encontrado argila plástica encaixada nas camadas inferiores das falésias terciárias do Morro Branco, pensou que fosse o produto de uma neoformação sedimentar. Considerou que o vidro vulcânico é mais vulnerável às ações hidrotermais que os silicatos cristalizados, e dão sempre importantes formações de rochas argilosas; que estas argilas poderiam ser provenientes da transformação de cinzas vulcânicas no meio aquoso da bacia de sedimentação e também pela ação meteórica de cinzas e tufos vulcânicos sob ação das intempéries, concluindo que as referidas argilas seriam um produto remanescente de alteração da transformação do vidro vulcânico no ambiente de sedimentação do Grupo Barreiras. Gorini, 1977, estabeleceu definitivamente por "Cordilheira de Fernando de Noronha" esta área submersa ao longo do paralelo 4°S, observando uma possível interseção da citada cordilheira com a linha de costa do Ceará.

Os dois principais serrotes encontrados na área de de finida para o presente trabalho, são os Morros do Caruru e Ancuri. O primeiro foi redescrito e examinado em detalhe por geólogos da CPRM, durante o Projeto Fortaleza, e além do fonolito referido, foram observados blocos de rochas com caracte

terísticas peculiares a tufos. Predominam os fonolitos traquitoides sobre os sodalita-fonolito-traquitoide. No serrote Ancuri, predomina este último tipo de fonolito dominantemente em blocos e matacões dispersos. Em todos os casos estão envolvidos pela sequência gnaissica-migmatítica do Complexo Caicó. Este vulcanismo fissural é concordante com a direção das rochas encaixantes alinhados na direção $N 45^{\circ} E$.

IV.1.3 - FAIXA SEDIMENTAR LITORÂNEA

Para o estudo da faixa sedimentar litorânea foram analisados perfis de sondagem à percussão efetuados pela P.H.D. - Geotécnica e Construções Ltda. , e pela Protégia Ltda., Projetos de Engenharia e Geologia. Dos perfis estudados foram escolhidos alguns mais representativos do pacote sedimentar na área continental próxima à linha de costa.

Na área transicional de praia e submersa, além das perfurações observadas na bacia do Porto do Mucuripe, foram analisados perfis de sísmica na região do Porto de Mucuripe, Praia de Iracema e praias da Avenida Leste-Oeste.

IV.1.3.1 - Sondagens a percussão

Neste tipo de sondagem, tanto as efetuadas pela P.H.D., Protégia ou as realizadas na bacia do porto, a amostragem foi feita executando-se o ensaio de penetração para cada metro perfurado, consistindo na leitura do número de golpes de um peso de 65 kg caindo de uma altura de 75 cm , necessários para aprofundar o amostrador padrão 45 cm no material perfurado.

As figuras IV.2 e IV.3 mostram perfis estratigráficos de furos efetuados na Praia do Futuro no cruzamento das avenidas César Cals e Dioguinho.

O interesse em analisar os furos da área consistia em tentar definir a profundidade do embasamento no litoral já que não dispunhamos de dados de sísmica satisfatórios.

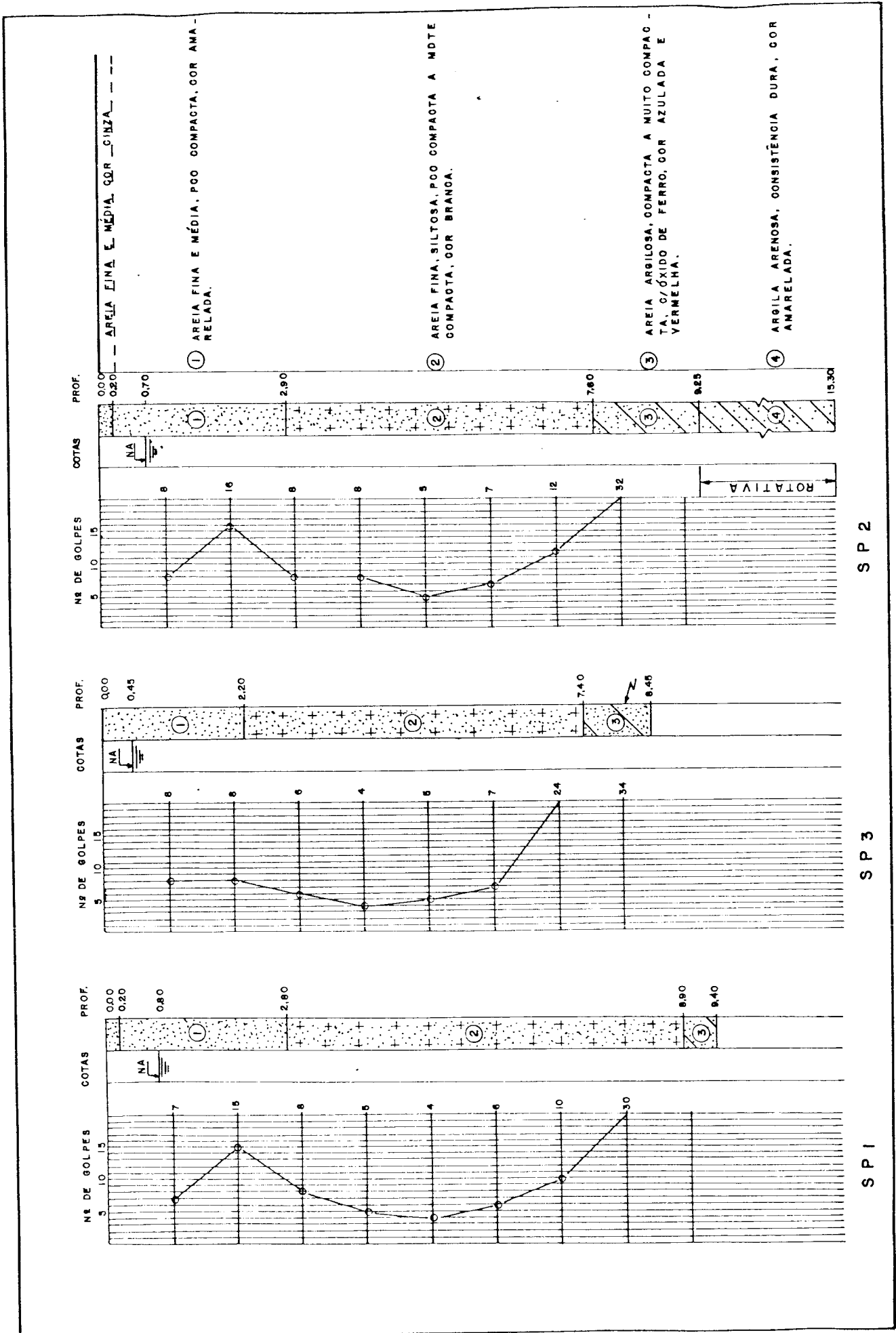


Figura IV.2 - Furos efetuados pela PHD - Geotécnica Construções, na praia do Futuro.

Havia uma dúvida quanto a rocha impenetrável a percussão. Se seria o embasamento ou algum outro tipo de rocha, justamente porque na bacia de evolução aparecia sempre esta situação a determinada profundidade como veremos adiante. Entre as nossas análises encontramos os perfis expostos nas figuras IV.2 e IV.3, que após a impossibilidade do furo a percussão na cota 9,25 m, prosseguiu-se com sondagem rotativa, definindo bem a rocha compacta argilosa, de consistência dura, pertencente ao Grupo Barreiras.

No litoral noroeste da cidade escolhemos o perfil representado na Figura IV.4, em frente a Volta da Jurema, perto das rochas de praia do Meireles, onde encontramos o nível impenetrável a percussão a 16,4 depois dos 30 golpes. Este arenito era semelhante aos encontrados na praia do Meireles. Outros furos realizados no mesmo litoral em lugares diversos indicavam este mesmo arenito ferruginoso na base das sondagens à percussão (Figura IV.5).

Os furos realizados na embocadura do Rio Pacoti (na extremidade leste da área em estudos) mostra na parte superior argila orgânica mole de cor preta, de 2,45 m de espessura, representando a acumulação superficial de sedimentos em mangue. Em seguida com espessura aproximada de 1 metro ocorre uma camada de areia fôfa, fina com pouca argila de cor cinza escura. Abaixo dessa camada encontra-se um pacote de argila rija a dura de cor branca a variegada de 6,5 m de espessura. Daí em diante aparece a camada impenetrável a percussão (Figura IV.6). Podemos interpretar claramente um nível de areia antigo a 2,5 metros de profundidade onde acumularam-se posteriormente os sedimentos argilosos de mangue.

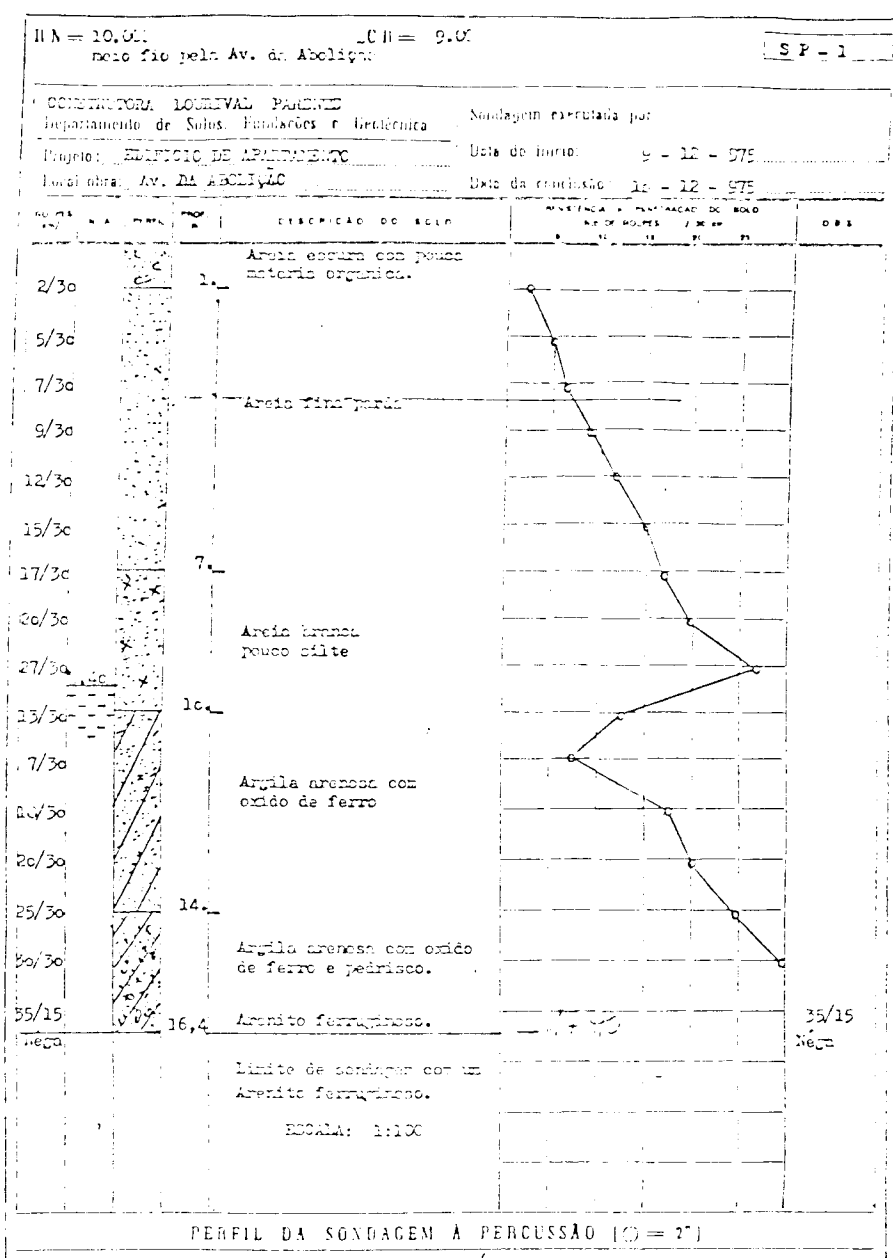


Figura IV.4 - Furo realizado pela Construtora Lourival Sales Parente em frente a Volta da Jurema.

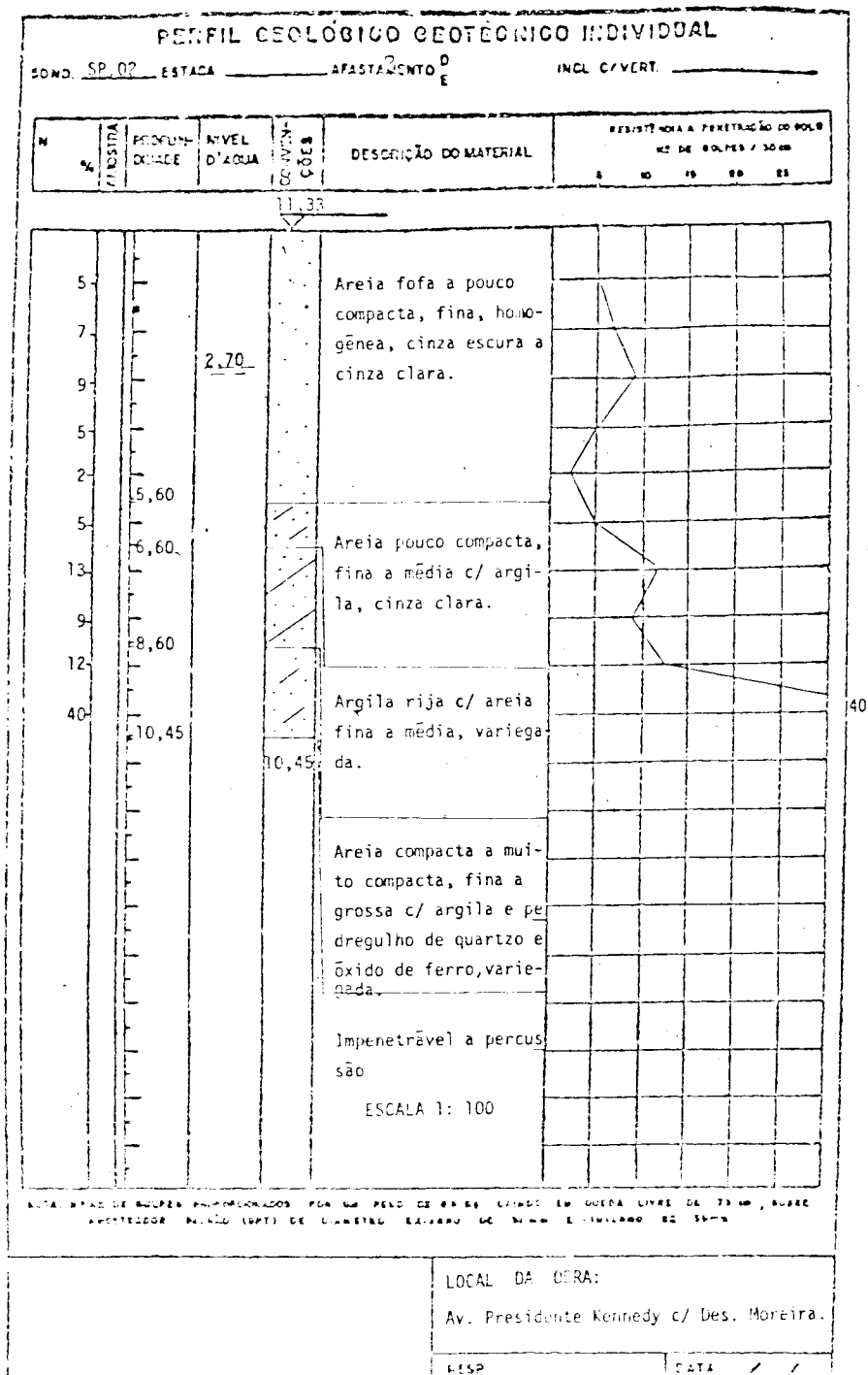


Figura IV.5 - Furo representativo da localização do nível impenetrável a percussão e presença de arenitos ferruginosos (em frente a praia do Náutico, Meireles) .

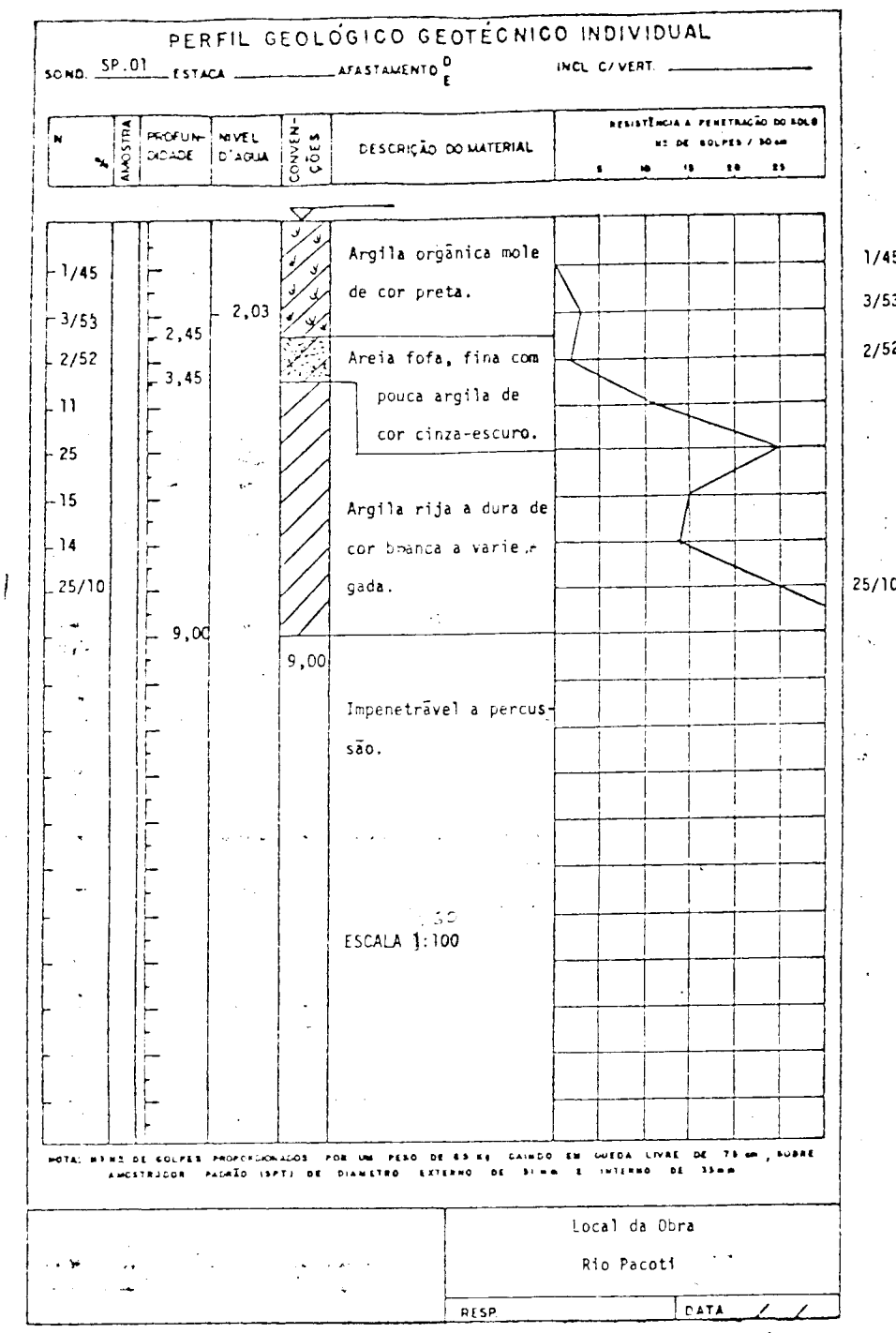


Figura IV.6 - Furos realizados pela PHD - Geotécnica e Construções, nos mangues do Rio Pacoti.

1000 23/85

BS LCM

Na praia do COFECO, bem próxima ao Rio Pacoti foi efetuado pela Protégia os furos mostrados na figura IV.7 . Nota-se aí uma situação um pouco diferente das anteriores com o aparecimento de rochas metafórficas alteradas, no caso, muscovita xisto. Está a uma profundidade aproximada de 7 metros e não é localmente recoberta por sedimentos do Grupo Barreiras.

IV.1.3.2 - Sondagens a percussão na faixa costeira submersa

Para determinação da espessura do pacote sedimentar recente foram observados furos realizados na bacia de evolução do Porto do Mucuripe. Com isso tentou-se também avaliar a taxa de sedimentação daquela área.

A figura IV.8 , mostra um perfil paralelo a costa com 11 furos, dos quais os seis primeiros são espaçados de 125 metros e o restante variável entre 70 e 100 metros, estando o último afastado de 200 metros. A espessura da lâmina d'água varia de 4,30 m no furo S.4 a 7,95 no furo S.2 . A camada de argila siltosa orgânica com areia fina e fragmentos de valvas de cor cinza escuro representa a sedimentação do último estágio de assoreamento depositando-se principalmente preenchendo as depressões formadas pelo antigo nível de erosão representado pela parte superior da camada arenosa sotoposta. Esta camada arenosa em alguns pontos como nos furos S.3 , S.9 e S.7 apresenta-se com granulação fina e média ainda com fragmentos de moluscos, atestando influência direta marinha. Nos outros furos nota-se a presença da

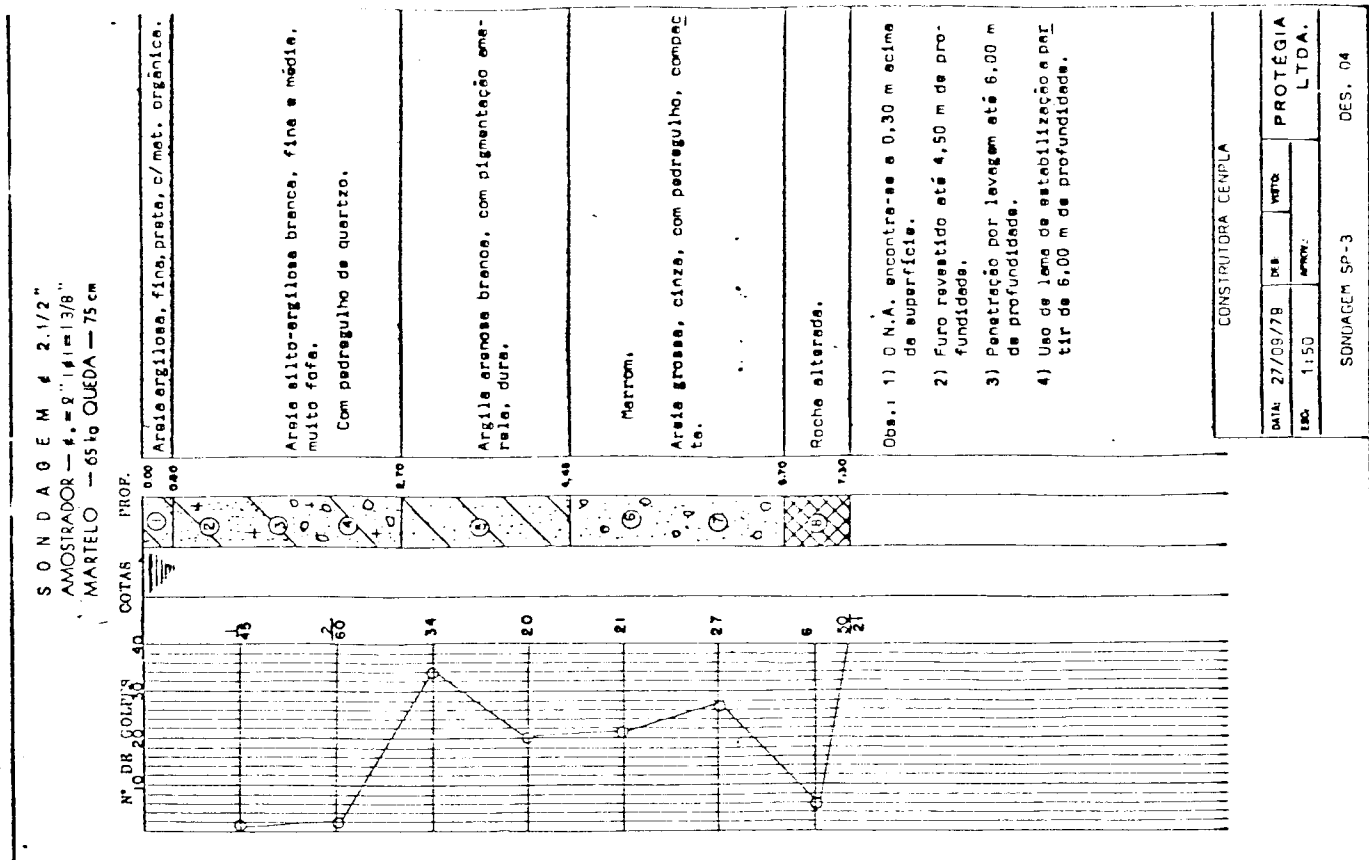
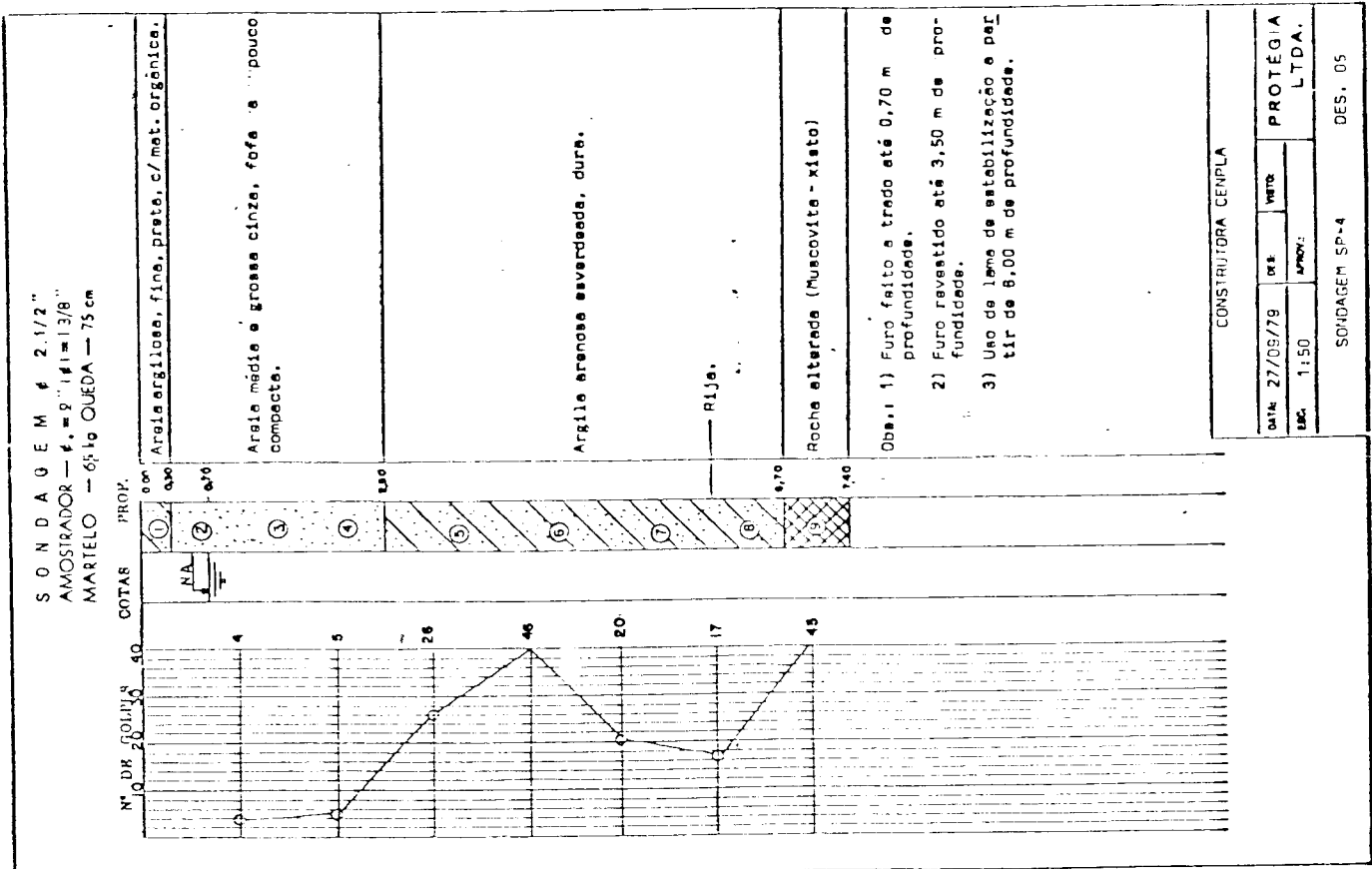


Figura IV.7 - Furos realizados pela Protégia Ltda., na praia da COFECO.

argila arenosa com muitos pedregulhos de arenitos ferruginosos duros amarelados e avermelhados, semelhantes a sedimentos remanescentes do terciário. A camada impenetrável a percussão situa-se em uma profundidade que varia de 12,80 a 20 metros.

A figura IV.9 mostra dois perfis transversais formados pelas sequências dos furos S10 , S11 , S12 , S13 e S14 , S15 , S16 e S17 . Na primeira sequência nota-se um aumento da fração arenosa na camada superficial de argila siltosa, devido possivelmente a diferença de velocidades de circulação da água. A segunda sequência caracteriza-se pela grande espessura da camada de argila siltosa orgânica que atinge até 18 metros em contato direto com a rocha impenetrável a percussão.

A figura IV.10 constituída dos furos S18 , S19 , S20 , S21 , S22 e S23 , espaçados de 200 metros, apresenta também espessura relativamente grande de sedimentos argilosos em contato direto sobre uma camada de areia fina com espessura de menos de um metro. Os trabalhos nos furos S21 , S22 e S23 foram interrompidos por condição de mar.

A figura IV.11 mostra a localização dos furos efetuados na bacia de evolução do porto.

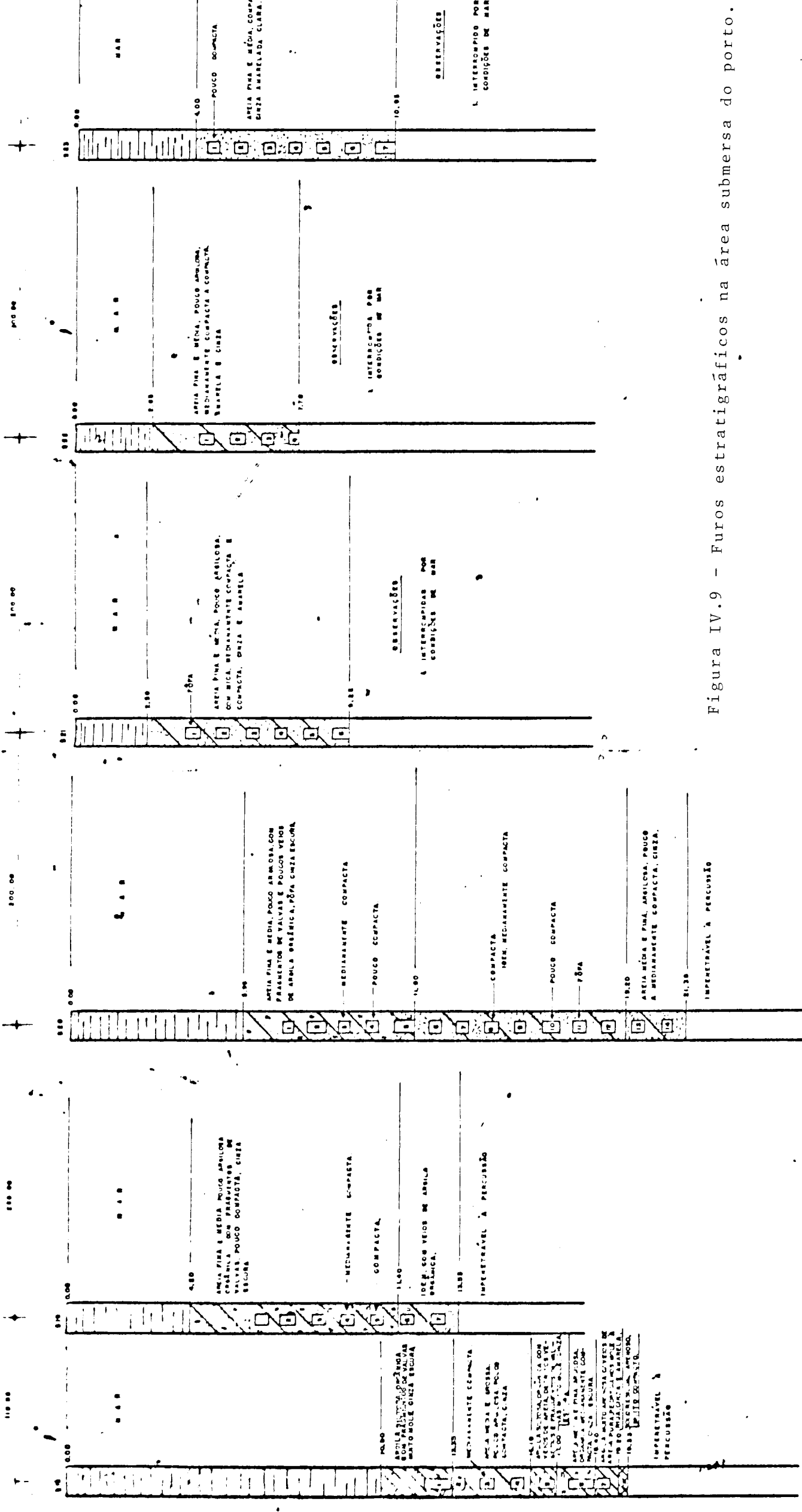


Figura IV.9 - Furos estratigráficos na área submersa do porto.

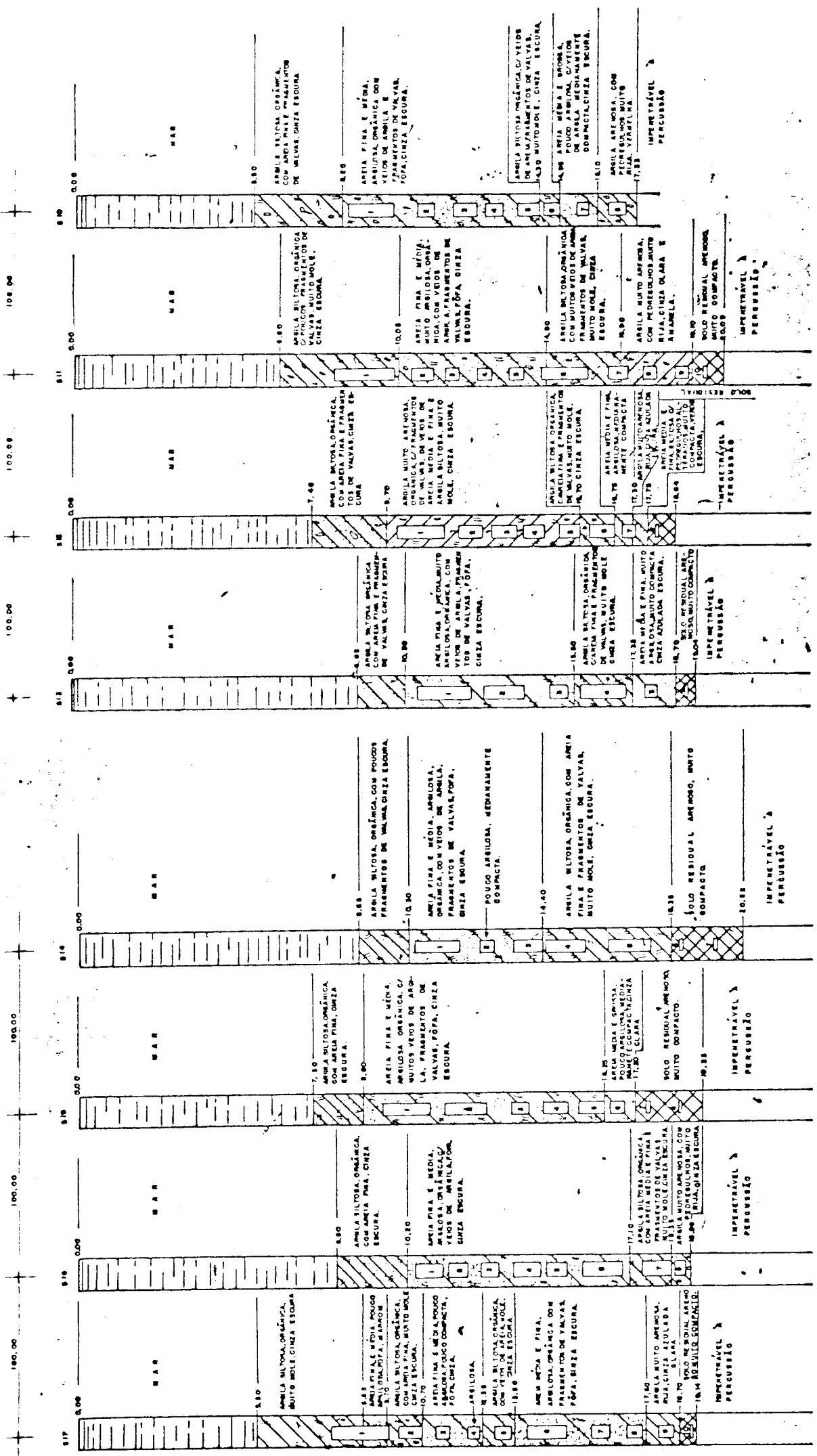


Figura IV.10 - Furos estratigráficos na área submersa do porto.

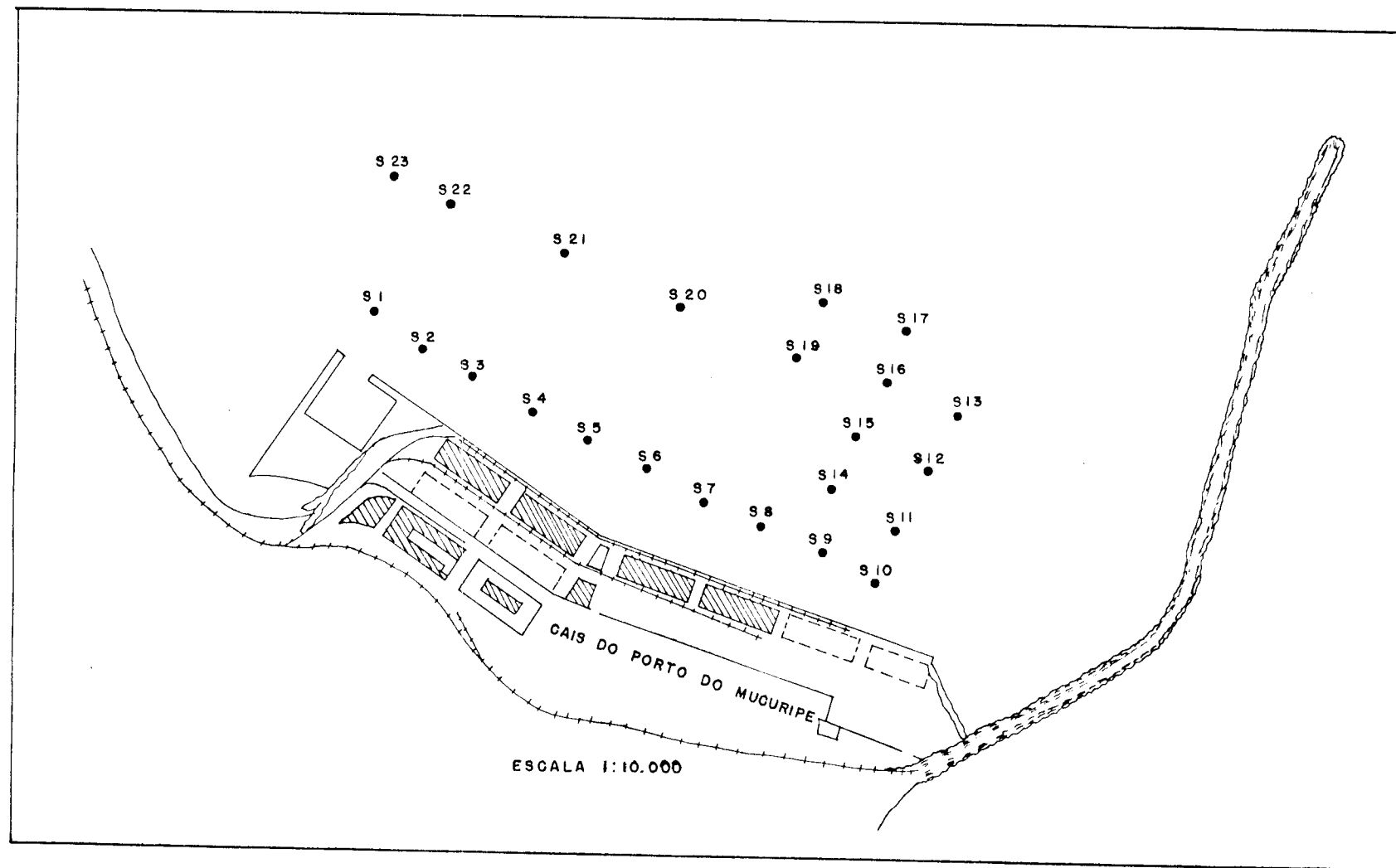


Figura IV.11 - Localização dos perfis expostos nas três figuras anteriores.

um transdutor que transforma os impulsos elétricos em vibrações por efeito piezo-elétrico. De frequência mais elevada tem poder de penetração menor que o Sparker possuindo entre tanto maior poder de resolução para as camadas próximas ao fundo.

A figura IV.12 mostra a localização dos perfis sísmicos na área do Porto do Mucuripe. Estes perfis foram espaçados em 50 metros perpendiculares ao primeiro eixo do molhe do porto. Este levantamento pode nos fornecer a batimetria da área (figura IV.13) e a configuração geral do subsolo marinho (teto do embasamento) . A definição da configuração geral do teto do embasamento foi feita através da análise de todos os perfis, dos quais, os sete mais representativos estão expostos na figura IV.14 .

Os perfis de perfuração expostos e comentados nas figuras IV.8 , IV.9 e IV.10 , mostraram uma espessura de depósitos arenosos e argilosos de superfície que variava de 10 a 20 metros. Abaixo deste depósito aparece sempre um solo muito compacto, impenetrável a percussão que aparece nas cotas de 16 a mais de 21,4 m (S.20) .

Neste trabalho de sísmica de reflexão o sistema penetrador foi essencialmente utilizado para batimetria uma vez que o embasamento não foi detectado. O Sparker, no entanto, permitiu evidenciar em discordância nítida as chegadas múltiplas do fundo do mar. Estes níveis localizados entre 10 e 20 metros de profundidade abaixo do fundo do mar foi atribuído ao embasamento comentado na parte de sondagens a percussão. A figura IV.13 fornece portanto a cota provável do teto do embasamento.

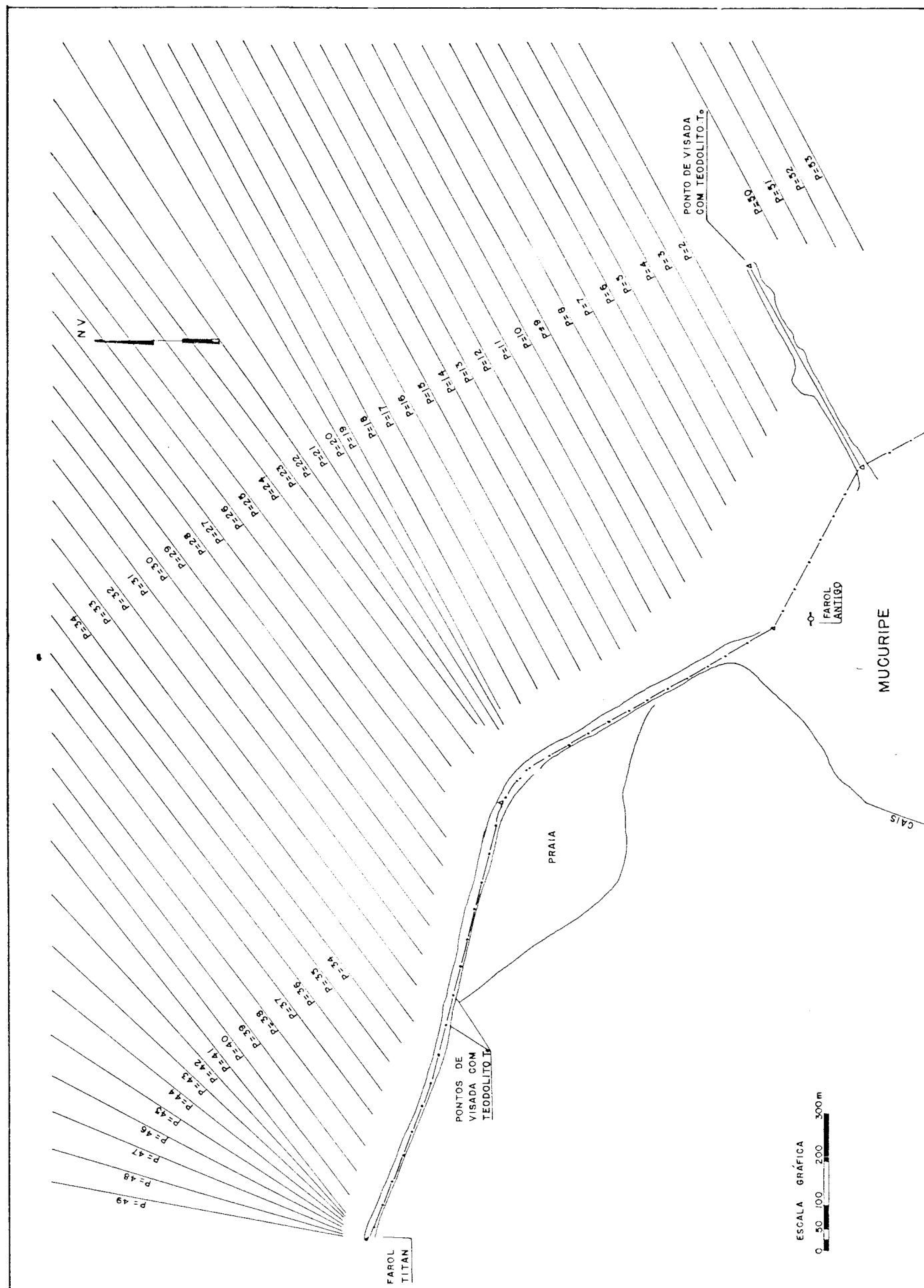


Figura IV.12-Localização dos perfis sísmicos na área do Porto do Mucuripe.

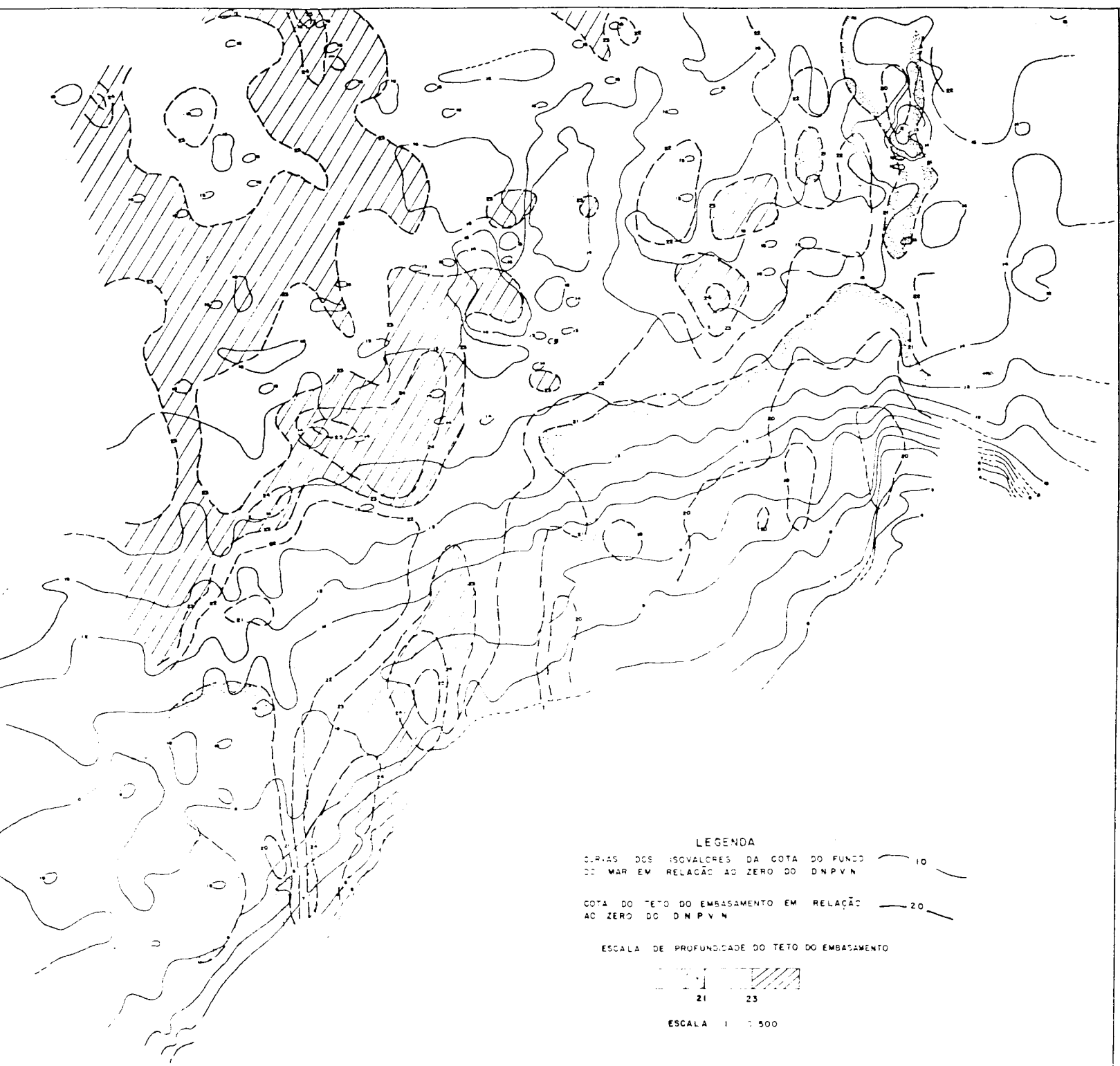


Figura IV.13-Batimetria e teto do embasamento na área próxima ao Molhe do Mucuripe.

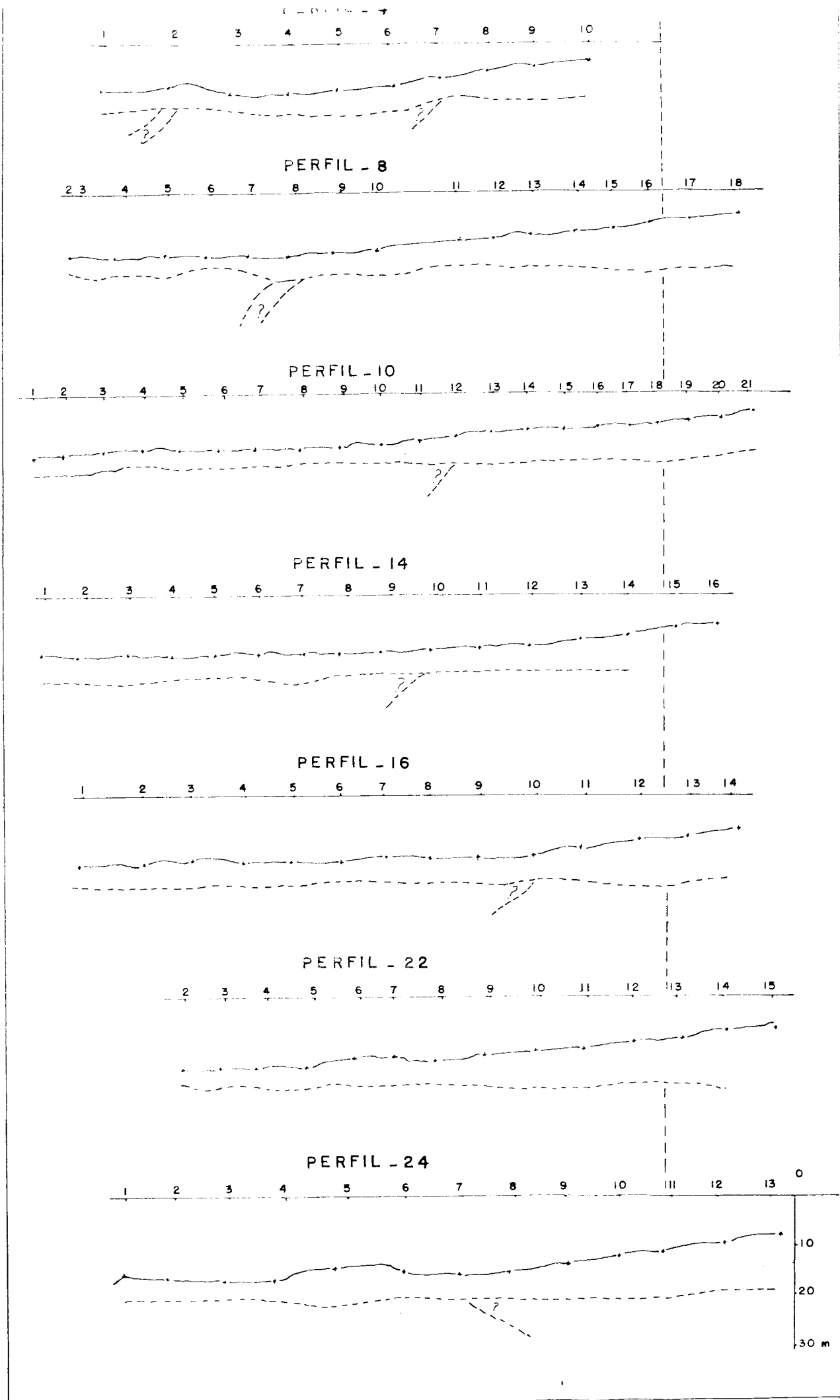
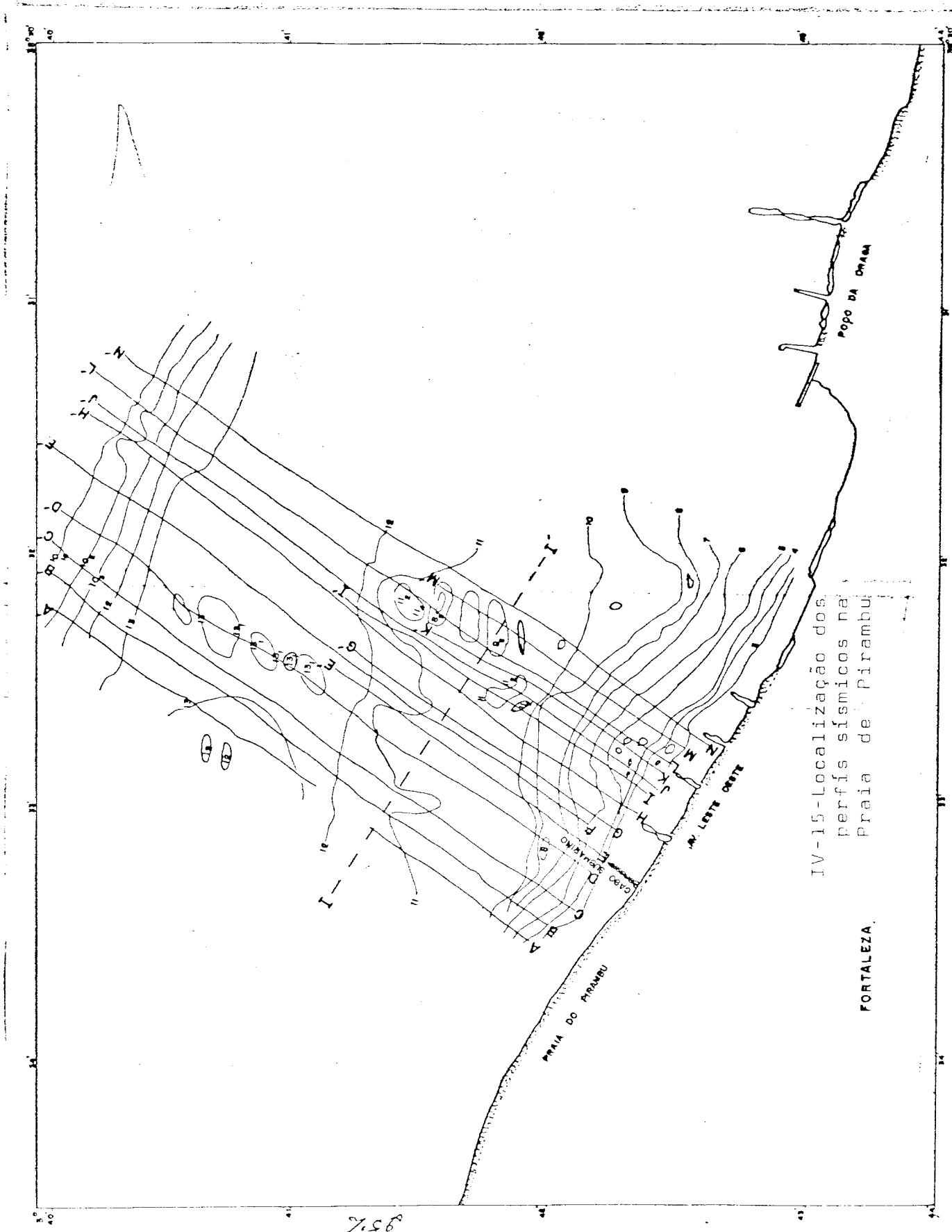


Figura IV.14 - Perfis sísmicos mais representativos para o traçado da figura anterior.

Ao largo da Praia do Pirambu na Avenida Leste-Oeste, próxima a área de localização do emissário submarino foram feitos também perfis sísmicos com a mesma finalidade de delimitar a espessura dos sedimentos superficiais. Os perfis foram traçados aproximadamente perpendiculares à linha de costa (figura IV.15) .

A interpretação destes perfis tornou-se um tanto mais difícil que os realizados no porto, em virtude da superposição dos múltiplos chegados aos registros. Os perfis representados na figura IV.16 , mostram resoluções nítidas para o embasamento também em torno de 20 m , mas em alguns casos, como na parte central dos perfis AA' , CC' e DD' torna-se quase impossível uma resolução clara. Nesta área a presença dos recifes de arenitos ferruginosos foi detectada até a profundidade aproximada de 10 metros. Na figura IV.17 , o perfil JJ' é o que apresenta maior constância da presença dos impulsos representativos dos arenitos ferruginosos. A figura IV.18 mostra os perfis com excelente poder de resolução para as camadas do embasamento, assim como para os limites de ocorrência de recifes de arenitos ferruginosos. A espessura do pacote de sedimentos argilosos e/ou argilosos se mantém quase que constante ao longo de todos os perfis.

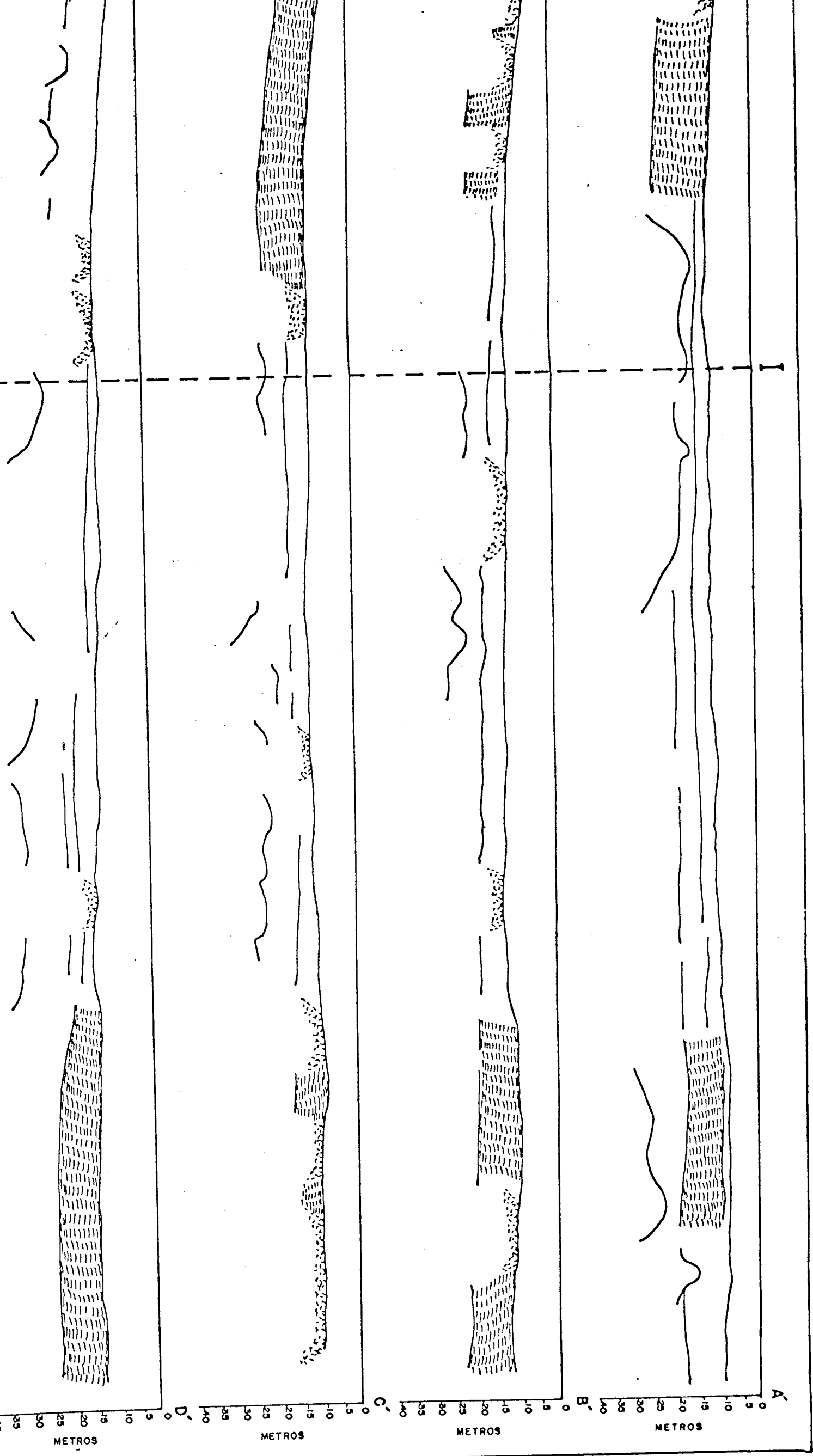
Destes perfis pode-se inferir portanto, que o embasamento cristalino deve estar representado pelas superfícies irregulares de reflexão. As superfícies refletoras planas, devem ser representativas dos níveis consolidados de arenitos ferruginosos e/ou argilitos e siltitos que aparecem como superfícies impenetráveis a percussão.

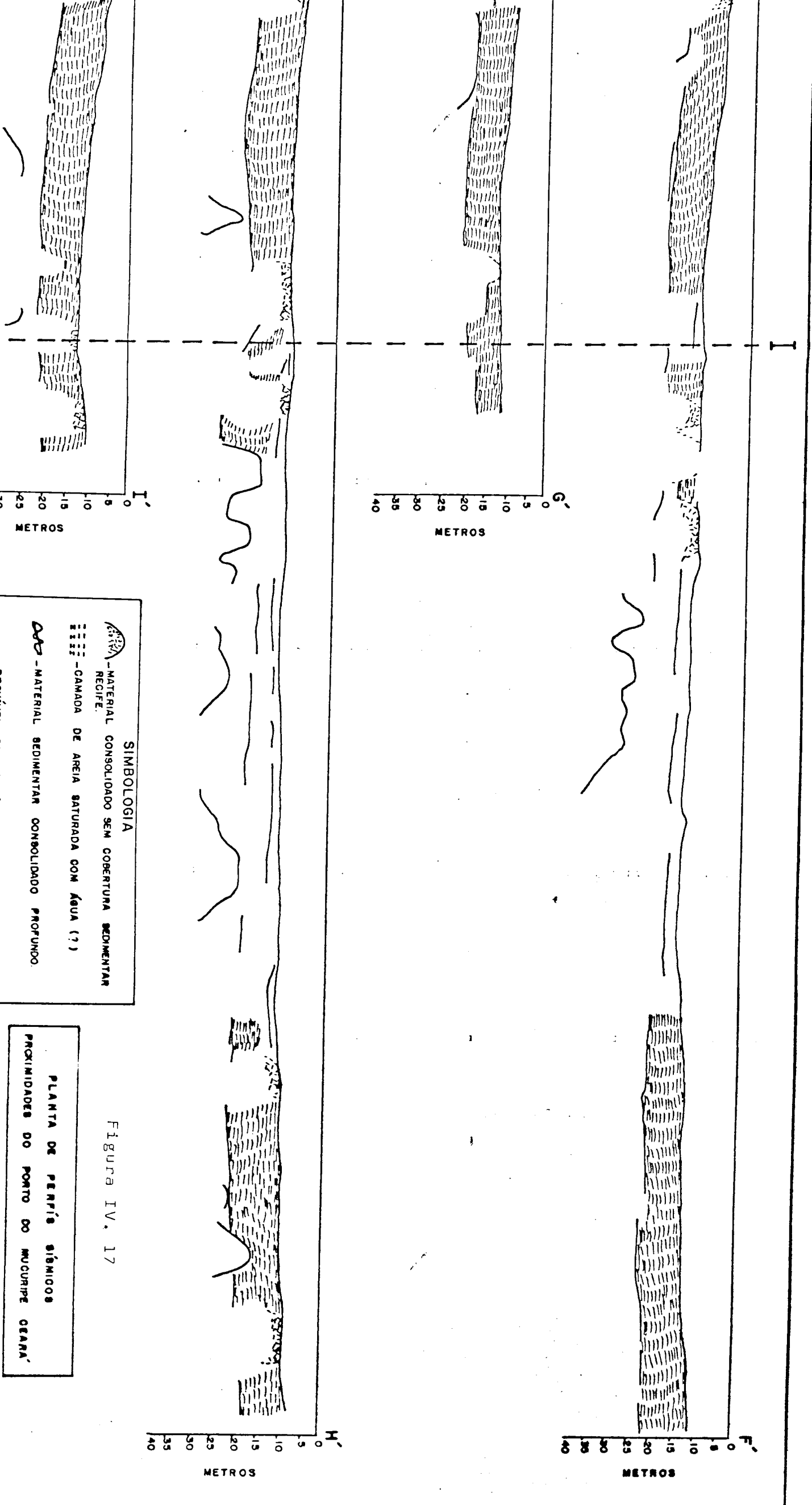


IV-15-Localização dos perfis sísmicos na Praia de Pirambu

FORTALEZA

756





METROS

METROS

METROS

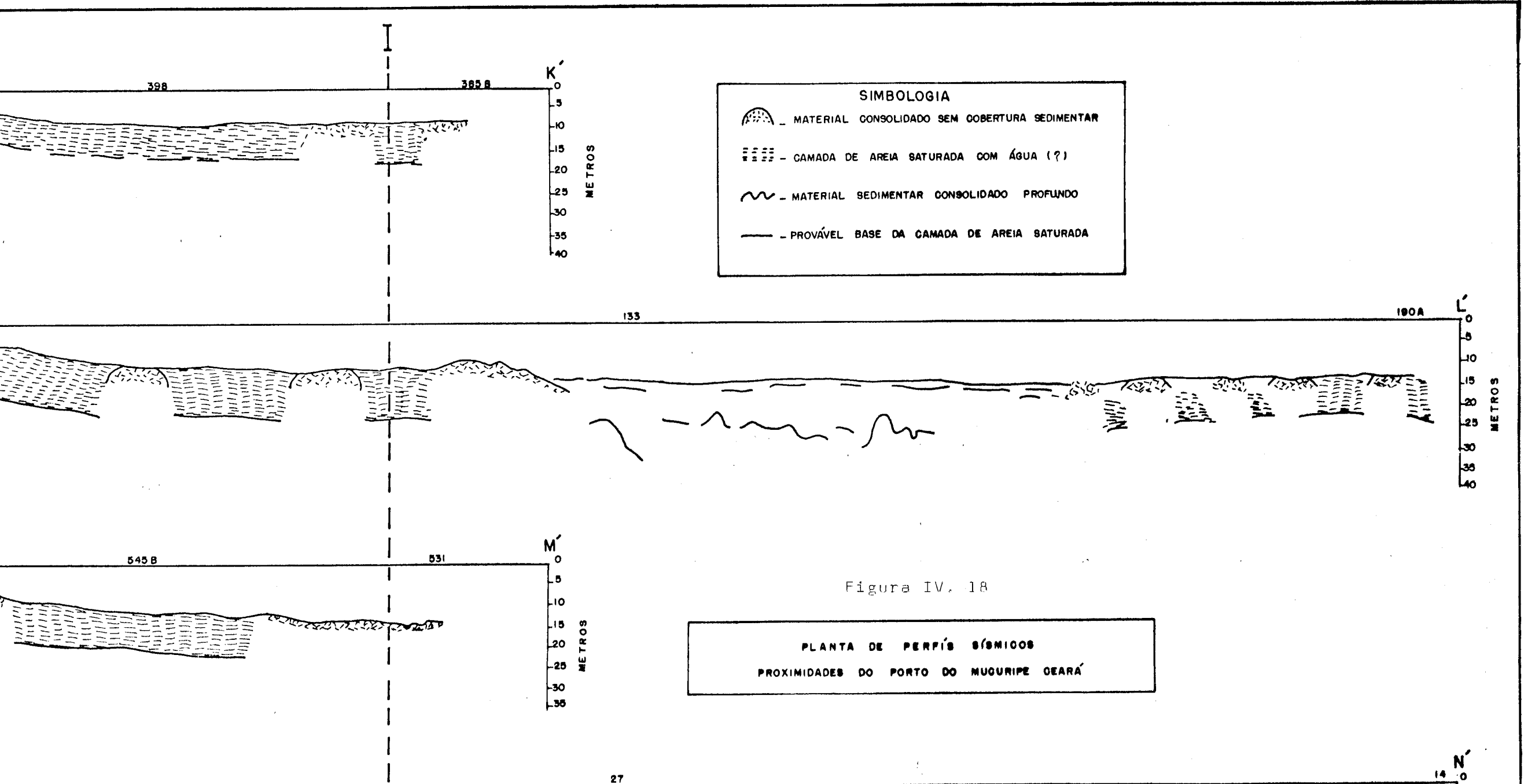
METROS

SIMBOLOGIA

- MATERIAL CONSOLIDADO SEM COBERTURA SEDIMENTAR RECIFE.
 - CAMADA DE AREIA SATURADA COM ÁGUA (?)
 - MATERIAL SEDIMENTAR CONSOLIDADO PROFUNDO.

PLANTA DE PERFIS SÍSMICOS
 PROXIMIDADES DO PORTO DO MUCURIBE OCEANO

Figura IV. 17



SIMBOLOGIA





-  - MATERIAL CONSOLIDADO SEM COBERTURA SEDIMENTAR
-  - CAMADA DE AREIA SATURADA COM ÁGUA (?)
-  - MATERIAL SEDIMENTAR CONSOLIDADO PROFUNDO
-  - PROVÁVEL BASE DA CAMADA DE AREIA SATURADA

Figura IV. 18

PLANTA DE PERFIS SÍSMICOS
PROXIMIDADES DO PORTO DO MUGURIBE CEARÁ

IV.1.3.4 - ASPECTOS DA SEDIMENTAÇÃO NA ZONA TRANSICIONAL

Considerando os aspectos revelados nas perfurações à percussão nas áreas emersas e submersas, os perfis de sísmica marinha, as observações diretas no campo e as referências bibliográficas existentes sobre a área pode-se confirmar a seguinte situação:

a) O Grupo Barreiras que aflora ao sul do município de Fortaleza e ocorre em falésias no litoral adjacente, é recoberto por dunas na área urbana. São sedimentos pouco consolidados que variam de conglomerados a areias argilosas de cores variegadas. Estes sedimentos foram notificados pela primeira vez por Branner em 1904, e vários outros estudos tais como Oliveira e Leonardos, 1943; Oliveira e Andrade Ramos, 1956; Kegel, 1957; Bigarella e Andrade, 1964; Campos e Silva, 1965; Mabesoone *et al.*, 1972; Campos e Silva, Mabesoone e Beurlen, 1973, foram levados a efeito para definições litológicas e estratigráficas como plio-pleistocenicos.

Nos furos realizados pela Protégia e P.H.D. - Geotécnica e Construções, foram encontrados sempre os sedimentos inconsolidados, alaranjados, amarelados de granulação fina a siltosa as vezes com grão de quartzo milimétricos e blocos lateríticos. Estes sedimentos também aparecem nos furos da bacia do porto. Talvez o embasamento discutido nos perfis sísmicos e nas sondagens à percussão sejam os arenitos consolidados caulínicos conglomeráticos ou arenitos consolidados de matriz argilo-arenosa e cimento argiloso-ferruginoso sem estratificação definida que são encontrados na

base do Grupo Barreiras, em várias localidades do litoral do Ceará.

Os sedimentos do Grupo Barreiras são capeados no litoral pelas dunas através de discordância. Repousa sobre o embasamento cristalino em discordância erosiva angular, como é visto às margens do Rio Pacoti na área estudada.

b) Coberturas colúvio-eluviais - localizam-se a sudeste da área urbana de Fortaleza, resultante da alteração das rochas subjacentes. Recobrem rochas pre-cambrianas, e têm textura clástica psamítica e psefitica.

c) Dunas - bordejam paralelamente a linha de costa em uma faixa que vai de dezenas de metros a 3 km. Concentram-se em maior escala no litoral leste do município de Fortaleza. Ocorrem em forma típica de barcanas, ora em cordões arenosos, seccionados pelas embocaduras dos rios. Estas são as dunas móveis que segundo Morais e Souza, 1971, são constituídas de areia média a fina e migram com velocidade aproximada de $0,045 \text{ g/cm}^2/\text{s}$ para uma velocidade média do vento de 9 m/s . Possuem estratificação diagonal cruzada e sua espessura chega as vezes a ser superior a 30 metros. Dunas fixas, ou paleo-dunas ocorrem em um nível mais rebaixado, as vezes são recobertas pelas dunas móveis, e são mais oxidadas com grãos arredondados e foscos, bem selecionados. Tem coloração variando de cinza claro a alaranjado no topo e avermelhado na base.

d) Aluviões - situam-se nos vales dos principais rios que drenam a área, no caso os Rios Ceará, Cocó e Pacoti e nas regiões de baixadas. São, portanto, todos os depósitos

fluviais ou lagunares recentes. São constituídos por argilas, areias argilosas, areias puras e cascalhos. No caso da zona transicional os aluviões tem muitas vezes predominância de argilas e sob influência marinha com mistura de matéria orgânica em decomposição formam os mangues dominantes na barra do Rio Ceará e Cocó. Na figura IV.6 , está representada a espessura dos aluviões argilosos na foz do Rio Pacoti. Podemos citar que são aluviões de espessura pequena e de um modo geral eles não devem ultrapassar 5 metros de espessura pois localizam-se sempre nas partes mais baixas dos vales. As argilas têm boa plasticidade, de coloração branca, esverdeada e várias tonalidades de cinza constituídas predominantemente de caulinita e traços de montimorilonita e vermiculita, quartzo e feldspato (Oliveira e Medeiros, 1975) .

e) Rochas de praia - localizam-se nas embocaduras dos rios Pacoti, Cocó e Ceará sempre a juzante da corrente litorânea, e nas enseadas das Praias da COFECO, Volta da Jurema e Praia dos Dois Coqueiros.

Os arenitos da embocadura são de origem fluvio-marinha, cimentados pela precipitação do carbonato de cálcio provocada pela diferença de saturação das águas doce e salgada. Tem matriz areno-argilosa. São sedimentos conglomeráticos com seixos de até 3 cm , fragmentos de moluscos. São bem estratificados, com mergulho suave para o mar. Na Praia dos Dois Coqueiros a oeste da embocadura do Rio Ceará apresentam-se em escala bem acentuada numa extensão aproximada de 500 metros confundindo-se à primeira vista com os arrecifes de franja típicas de enseadas. Estes arenitos tem um

papel peculiar neste trabalho pois há 6 anos eles não estavam expostos na praia. A erosão provocada pelas ondas locais fizeram com que estes arenitos aflorassem em toda extensão da Praia dos Dois Coqueiros. Feitas as análises petrográficas, constatou-se que são constituídos de cimentação dominante argilosa, diferindo em parte das encontradas em locais da costa, a seguir discutidas.

As rochas de praia encontradas na Praia do Meireles, na Volta da Jurema, foram estudadas pelo autor que classificou em dois tipos de fácies: uma de arenitos cimentados por carbonato de cálcio, com influência marinha, e outra de arenitos cimentados por óxido de ferro de origem continental. Estes últimos apresentam 3 microfácies: arenitos ferruginosos cuja cimentação é causada exclusivamente pela limonita, arenitos ferruginosos conglomeráticos e arenitos ferruginosos com cimentação secundária de calcita.

As rochas de praia, fácies calcífera foram classificadas ainda em microfácies levando-se em consideração a natureza do cimento calcífero. a) Os arenitos puramente calcífero, de aspecto macroscópico típico de um "beach rock", de granulação variável de cor cinza escura até amarelada, dispostos em cordões mais ou menos paralelos à praia, em estratificação horizontal e em alguns lugares apresentando laminação cruzada. São idêntidos aos recifes típicos da cidade de Recife - Pe.; b) Microsparito - apresenta-se macroscopicamente como um calcarenito de cor bege, de granulação média. O cimento calcítico espárico não é um precipitado original, mas um produto de recristalização da calcita microcristalina;

c) Alga-biomicrito - é um calcário de granulação muito fina e coloração cinza claro, com estruturas de algas visíveis.

Este tipo de rocha também aparece na área entre os rios Pacoti e Cocô no litoral leste, nos locais de erosão, dando a entender também que estavam soterradas.

A presença de linhas de recifes soterrados foi também constatada na cidade do Recife, Estado de Pernambuco (Ottman, 1960), tendo sido interpretada como formadas na fase regressiva do Quaternário. Estas rochas foram datadas por Carbono 14 (Von Andel & Laborel, 1964) em 5.900 anos. Em Salvador, no Estado da Bahia (Tricart, 1959) arenitos de características semelhantes, situados próximo ao Rio Vermelho foram interpretados como sendo do Dunquerqueiano, correspondendo à nível do mar mais alto que o atual.

Os termos "beach rocks" , rochas de praias, recifes e arrecifes têm sido usados para definir ocorrências de rochas sedimentares que ocorrem na praia, junto a linha da costa ou submersas. Darwin, 1841 in Lira, 1975 , lançou as primeiras idéias dizendo que os recifes de Pernambuco não se tratavam de recifes de corais, mas de uma biotocenose misturada a areia litificada. A idéia de que estas rochas de praia eram o resultado da consolidação das areias por carbonato de cálcio (Branner, 1904) , levou a se pensar que esses arenitos representassem antigas linhas de praia. Há no entanto quem sugira que estas rochas foram formadas acima do nível d'água e cimentadas em ambientes distantes da praia (Andrade, 1955) .

Os estudos com mais detalhe destas ocorrências no litoral de Fortaleza, se resumem aos da Praia dos Dois Coqueiros, e serão considerados no capítulo IX.1.4 .

IV.2 - Geologia Marinha

IV.2.1 - Ambientes superficiais de plataforma

A plataforma continental adjacente ao município de Fortaleza caracteriza-se por dois ambientes típicos de sedimentação.

Um formado por sedimentos terrígenos, com predominância da fração arenosa, que se estende da linha de maré baixa até uma profundidade de 10 a 20 metros, em uma faixa bastante estreita. Nota-se portanto a pouca influência dos rios na distribuição dos sedimentos sobre a plataforma.

O outro ambiente é formado pela predominância de algas calcárias que ocorrem em manchas esparsas nas profundidades de 10 a 20 metros, e a partir daí ocorrem em bancos contínuos até a borda da plataforma.

IV.2.1.1 - Ambiente terrígeno

É formado pela fácies litorânea arenosa, estudada por Kempf, Coutinho & Morais, 1968 ; e Mabesoone & Coutinho, 1970 , constituída predominantemente de areia quartzosa, formando um ambiente tipicamente terrígeno arenoso.

São quase ausentes as ocorrências locais de fácies lamosa, até mesmo da foz dos rios locais.

Isto significa que o material carregado pelos rios não permanece na plataforma, sendo transportado pela corrente litorânea, sedimentando-se ocasionalmente à barlamar e

sotamar dos espigões. São também depositados nos próprios estuários onde há formação de mangues. Para a área de Fortaleza está afastada a hipótese do "by passing" do material que seria acumulado no talude ou regiões mais profundas, já que os rios locais são de pequeno porte.

Francisconi et al., 1972, estudando a plataforma continental do nordeste delimitaram extensas faixas subarcóneas que ocorrem na sua parte interna, ou seja entre a linha de praia e as construções calcárias, interposta por uma faixa de areias ortoquartzíticas-biodetríticas.

Estes sedimentos apresentaram textura grosseira, evidenciando que os sedimentos mais finos foram removidos pelo retrabalhamento holocênico.

Os minerais pesados da área indicam proveniência do Grupo Barreiras com a contribuição local de outras fontes (Coutinho e Coimbra, 1974). Há ocorrência de associação rica em cianita, estauroлита, monazita e andaluzita. Esta associação é encontrada no Grupo Barreiras acrescida de silimanita, turmalina e zircão.

As areias terrígenas internas estão sujeitas a uma intensa mobilização que impede a colonização biogênica próxima ao litoral.

Entretanto, em algumas áreas, nota-se o avanço da sedimentação carbonática migrando sobre as areias terrígenas (figura IV.19). Isto pode ser devido a uma menor movimentação local das águas ou abundância de nutrientes.

Nota-se na figura IV.19 que há ocorrência de algas calcárias e também de algas agarófitas ao largo da embocadura

dos rios Cocó e Pacotí. Isto, comparando-se com estudos realizados pelo LABOMAR na costa do Estado do Ceará, observa-se uma correlação entre a presença das algas e presença de embocaduras.

Principalmente nas embocaduras dos grandes rios como o Jaguaribe e Acarau, aproximadamente em torno da isóbata de 10 metros, encontramos grande acumulação de algas, sendo que em maior escala apresentam-se Criptonemia crenulata e Dictyopteris delicatula, além de Halimeda incrassata progredindo a fácies terrígena.

Nas áreas junto a linha de costa entre 0 e 10 metros é grande a ocorrência de Gracilaria domingensis, Gracilaria ferox, Gracilaria sjoestedtii, Spatoglossum schroederi, e Bryotamnium triquetrum (figura IV.20) . Isto é contrário a idéia inicial que se tinha de que os sedimentos da plataforma interna a menos de 20 metros de profundidade, eram predominantemente compostos de areias quartzosas, sem interferência das algas (Mabeoone & Tinoco, 1967 ; Coutinho & Moraes, 1970 ; França et al., 1976) .

A presença constante destas algas ao largo das embocaduras de rios levou o autor a sugerir que os nutrientes dos rios em épocas de cheias são os responsáveis pela sua proliferação em maior escala que nas outras partes da faixa de fácies terrígena.

Tanto nos sedimentos puramente terrígenos como nas frações biodetríticas associadas nota-se uma quantidade acentuada de pigmentação de óxido de ferro nos sedimentos, principalmente nos que estão dispostos ao largo da costa oeste

de Fortaleza. Costa, 1974 , argumentou que isto é o principal indício de exposição subaérea ao término da regressão Wisconsiniana. Embora isto deva ser uma hipótese bastante viável, é bom não esquecer também a forte erosão da costa que pode levar sedimentos do Grupo Barreiras que retrabalhados, podem formar depósitos com grandes quantidades de fragmentos oxidados. (Discutiremos este ponto no capítulo IX ao tratar da evolução sedimentar do porto do Mucuripe e praias adjacentes) . Summerhays et al., 1975 , estudando a mineralogia das argilas para a plataforma continental do nordeste do Brasil, notou que em frente a Fortaleza, há enriquecimento de illita devido as condições amenas de intemperismo químico. Esta faixa se prolonga de Fortaleza até Macau no Rio Grande do Norte. Isto fortalece a idéia de que a predominância do intemperismo mecânico no litoral do município de Fortaleza levou sedimentos do Grupo Barreiras para o largo.

IV.2.1.2 - Ambiente de sedimentação carbonática

É o ambiente que predomina da profundidade de 20 metros da plataforma até a sua borda (figura IV.20) . Dois tipos de algas calcárias bentônicas predominam: a) a alga coralina (Rhodophyta) e b) alga codiaceana Halimeda (Chlorophyta) . As primeiras são mais cosmopolitas, ao passo que as Halimedas são mais restritas aos trópicos.

No Oceano Atlântico três tipos de sedimentos de algas calcárias são reconhecidas (Milliman, 1978) .

a) Maerl - areia ou cascalho onde mais da metade dos sedimentos é composto de ramificações coralinas (Jacquot, 1962) . Deste tipo os Lithothamnion solution, Lithothamnium coralloides e Phymatholithum calcareum são as principais espécies.

b) Coralinas incrustantes ocorrem como recifes calcários e como componentes proeminentes em sedimentos inconsolidados. (Ocorrem geralmente associados com barnacles, corais e briozoários) .

c) Rodolitos - são os nódulos e concreções de algas em que o carbonato algal cresceu em torno de um núcleo, de milímetros e centímetros de tamanho.

No Brasil, as algas coralinas tipo maerl ocorrem ao longo da plataforma média e na plataforma externa abundam os recifes algais (Mabeoone & Coutinho, 1970 ; Kempf, 1972 ; Summerhays et al., 1975 ; Melo et al., 1975 ; Vicalvi & Milliman, 1975) .

Na plataforma do Ceará são muito semelhante ao maerl conforme definição de de Jacquote, 1962 . Há, no entanto, extensa floresta de Halimeda. É portanto dominada por algas calcárias ramificadas seguida em abundância pelas incrustantes, Halimeda, foraminíferos bentônicos e moluscos.

O sedimento popularmente denominado cascalho pelos pescadores do nordeste, equivale ao maerl da Bretanha e é formado por uma mistura de areia e seixos calcários organógenos, os quais são constituídos de fragmentos de algas acumuladas no local (Kempf, 1974) .

Areias de Halimeda consideradas restritas à plataforma média por Milliman, 1975 ocorrem em profundidades de 8 a 10 metros ao largo das embocaduras nos rios Ceará e especificamente ao largo da foz do Rio Cocó e Pacoti na plataforma continental do município de Fortaleza. Este tipo de sedimento não pode ser considerado também Maerl, devido a ocorrência quase que exclusiva de Halimeda incrassata. Segundo Folk & Robles, 1974 , dependendo do grau de desarticulação e desintegração do esqueleto (in Coutinho, 1976) as Halimedas produzem sedimentos calcários de várias texturas, desde o cascalho a lama calcária.

As espécies de Halimeda incrassata que dominam na altura da foz do rio Cocó apresentam um sistema de raízes importantes na aglutinação de sedimentos inconsolidados. Isto serve de base para absorção de nutrientes provenientes do rio Cocó e/ou Pacoti, que alimentam esta ocorrência, fazendo-a progredir na fácies terrígena. Os artículos de Halimeda são formados de aragonita e apresentam uma concentração em

estroncio superior a qualquer outro organismo calcário (Milliman, 1974) .

Por outro lado as algas vermelhas dominantes, possuem esqueleto de calcita magnesiana (Vinogradov, 1956) . São constituídas de 75 a 95% de carbonato de cálcio (Coutinho & Morais, 1970) e de 4 a 10% de carbonato de magnésio (Coutinho, 1976) . Pertencem a família Corallinacea, subfamília Malobesiae, com uma ou mais espécies do gênero Lithothaminium.

A ocorrência em larga escala destas algas calcárias no nordeste do Brasil, dominando o substrato da plataforma continental média e externa está ligada aos seguintes fatos: a) Os rios Orinoco e Amazonas, pela turbidez das suas águas, a corrente das Guianas, pelo seu sentido noroeste, impedem a migração de corais hermatípicos para a plataforma continental brasileira; b) A plataforma é rasa e as águas mornas; c) O clima semi-árido e o pequeno aporte de sedimentos pelos rios regionais; d) O substrato é geralmente duro.

O substrato duro é fator fundamental não somente para acumulação das algas calcárias, como também para as algas agarófitas e comestíveis. Como pode-se observar no capítulo IX deste trabalho estas últimas acumulam-se nas rochas de praias e em substratos de granitos que formam os espigões de proteção das praias. Os pólenes jogados sobre os espigões fazem proliferar a flora bentônica das algas.

Por outro lado, as algas do gênero Lithothaminium podem viver livres sobre o fundo sem ponto de fixação no substrato. (Coutinho, 1977) . Quando o talo é jovem, pode uti

lizar um grão de areia como suporte (Coutinho, 1976) , e depois podem crescer livremente.

Um fato interessante relacionado a fundos de algas calcárias e que foi observado por Emery & Uchupi, 1972 (in Palma, 1979) , é que os perfís sísmicos realizados em áreas presentemente cobertas por algas calcárias mostram que a plataforma externa e o talude superior são sotopostos por altos topográficos interpretados como recifes orgânicos.

IV.2.2 - Sedimentos de subsuperfície

Os sedimentos que compõem a parte submersa ao largo do município de Fortaleza são pertencentes à Bacia submersa do Ceará, que é bordejada pela Plataforma de Fortaleza a oeste.

Esta bacia do Ceará, juntamente com as demais bacias marginais do nordeste originaram-se basicamente do rifteamento do Atlântico Equatorial no Cretáceo Inferior (Miura & Barbosa, 1972 ; Gorini, Asmus & Bryan, 1974 ; Ponte & Asmus, 1976) .

Na bacia do Ceará a secção cretácica inferior é bastante espessa, apresentando forte gradação de clásticos grosseiros junto a borda sul da bacia passando a clásticos finos costa a fora. A secção cretácica superior ocorre em espessura muito reduzida (Miura & Barbosa, 1972) . Segundo este autor a sequência estratigráfica dos sedimentos é formada na base por sedimentos clásticos grosseiros de idade alboatiana limitados pela discordância pré-Aptiana na base e o ciclo evaporítico no topo, que correspondem aos sedimentos da Formação Santana no sul do Estado do Ceará. (Sequência Alagoas) . Segue-se a Sequência Barro Duro - Arpoador também de clásticos grosseiros progradacionais de idade albiana e que correspondem a formação EXU . A sequência seguinte de idade Cenomaniana (Sequência Bonfim - Preguiças) é também formada de clásticos finos correlacionados aos calcarenitos de plataforma rasa gradando a calcisiltitos e calcilutitos e micritos de águas profundas, correspondentes a Formação Açú

superior. Do Turoniano ao Santoniano estão os carbonatos de plataforma rasa gradando a folhelhos de águas mais profundas e constituem a sequência Humberto de Campos, correspondente a Jandaíra Inferior. A sequência Campaniano - Oligoceno é constituída de folhelhos e arenitos subordinados. O Mioceno está representado por arenitos e carbonatos correlacionados a Formação Pirabas e Tibau, e é limitado pela discordância basal do Plioceno.

Na plataforma continental desenvolvem-se grandes altos regionais. O Alto de Fortaleza é de origem ígnea intrusiva, datado provavelmente do Cretácio Superior, terciário inferior.

V - MORFOLOGIA LITORÂNEA

O município de Fortaleza é formado por 2 feições morfológicas distintas: a) o relevo litorâneo, onde se incluem os cordões litorâneos, dunas e planícies de marés, mangues. b) superfície aplainada das coberturas cenozóicas. Da área em estudo consegue-se visualizar perfeitamente mais duas feições morfológicas bem típicas na área adjacente, que são os maciços montanhosos cristalinos, representados pelas serras de Aratanha (Pacatuba) e Maranguape, e o pediplano cristalino.

V.1 - Relevo litorâneo

A linha de costa do litoral NW-SE que se estende do molhe do Porto do Mucuripe até a foz do Rio Pacoti, apresenta-se retilínea, apenas interrompida pela presença dos rios Cocó e Pacoti. A costa E-W que vai do molhe do porto até a foz do Rio Ceará, apresenta características bem diferentes tomando forma de enseadas. No primeiro tipo de costa há ocorrência de planícies de marés constituídas predominantemente de material arenoso, expostos em maré baixa. Os mangues localizam-se nas margens dos rios daquela área. Na costa tipo enseadas, não há formação de planícies de marés propriamente ditas, e a quase totalidade de rochas de praia da área ocorre aí. Também a presença de "spits", cordões arenosos ao longo da Enseada do Meireles, são mais características na costa E-W já que a presença dominante na costa NW-SE é de

acumulações de dunas. As dunas estão dispostas paralelamente a praia sobrepostas às dunas fixas ou sobre os sedimentos terciários do Grupo Barreiras.

V.2 - Superfície de Aplanamento

A superfície de aplanamento das coberturas cenozóicas, de forma ligeiramente tubulares, que repousam sobre o cristalino, surgem próximo a costa com altitudes que variam de 10 a 29 metros, elevando-se até 150 metros em direção ao interior. As formas lagunares estão assentadas sobre esta superfície de aplanamento. Estas lagoas têm importância do ponto de vista geoeconômico em virtude das argilas e diatomito que acumulam. As principais são as de Cocorote, perto do Aeroporto Pinto Martins, Maraponga, Parangaba, Porangabussu, situadas nos bairros de nomes correspondentes, Lagoa de Opaia e Taperoaba, perto do Estádio Castelão. Esta superfície de aplanamento continua nas áreas adjacentes e ocupam uma faixa que varia de 5 a 50 km ao longo da costa.

V.3 - Maciços montanhosos e morros isolados

São representados na área pelo maciço de composição granítica da região de Maranguape e a serra de Pacatuba (Aratanha). Apenas citados aqui, já que são avistados facilmente da área em estudo, mas pertencem como o próprio nome indica aos municípios de Maranguape e Pacatuba.

V.4 - Plataforma continental

A plataforma continental ao largo da área estudada apresenta-se rasa com profundidades dominantes menores que 40 metros e a sua quebra tem lugar a 70-80 m (figura V.1) e tem largura aproximada de 60 km .

O contexto geral batimétrico da plataforma continental do Estado do Ceará revela uma declividade que aumenta com o seu alargamento. Em Acarau temos um gradiente de 1:1106 e largura de 83 km , aumenta para 1:322 em frente a Macau onde a largura da plataforma atinge um mínimo de 19 km (Palma, 1979) .

Até agora não foram encontrados vales submarinos que testemunhassem a ação pretérita do rio Jaguaribe ou outros do Estado do Ceará. Nota-se um relevo relativamente plano com feições irregulares de recifes e aglomerações de algas.

O perfil de reflexão sísmica (figura V.2) mostra a morfologia da quebra da plataforma seguida pelos altos fundos que se distribuem em torno do paralelo 4°S , já discutidos no capítulo IV.1.2 , e que formam a cadeia de Fernando de Noronha. Bryan & outros, 1972 , Kuman & Bryan, 1973 , e Gorini e Bryan, 1974 , conectaram a extremidade leste da cadeia de Fernando de Noronha com a zona de fratura Chain e sua extremidade oeste com o alto de Fortaleza.

Uma forma erosiva corta o talude (Canyon do Ceará) sendo pouco desenvolvida na plataforma.

O Plateau do Ceará situa-se a 400 metros de profundidade e é separado da plataforma continental pelo Vale de Fortaleza.

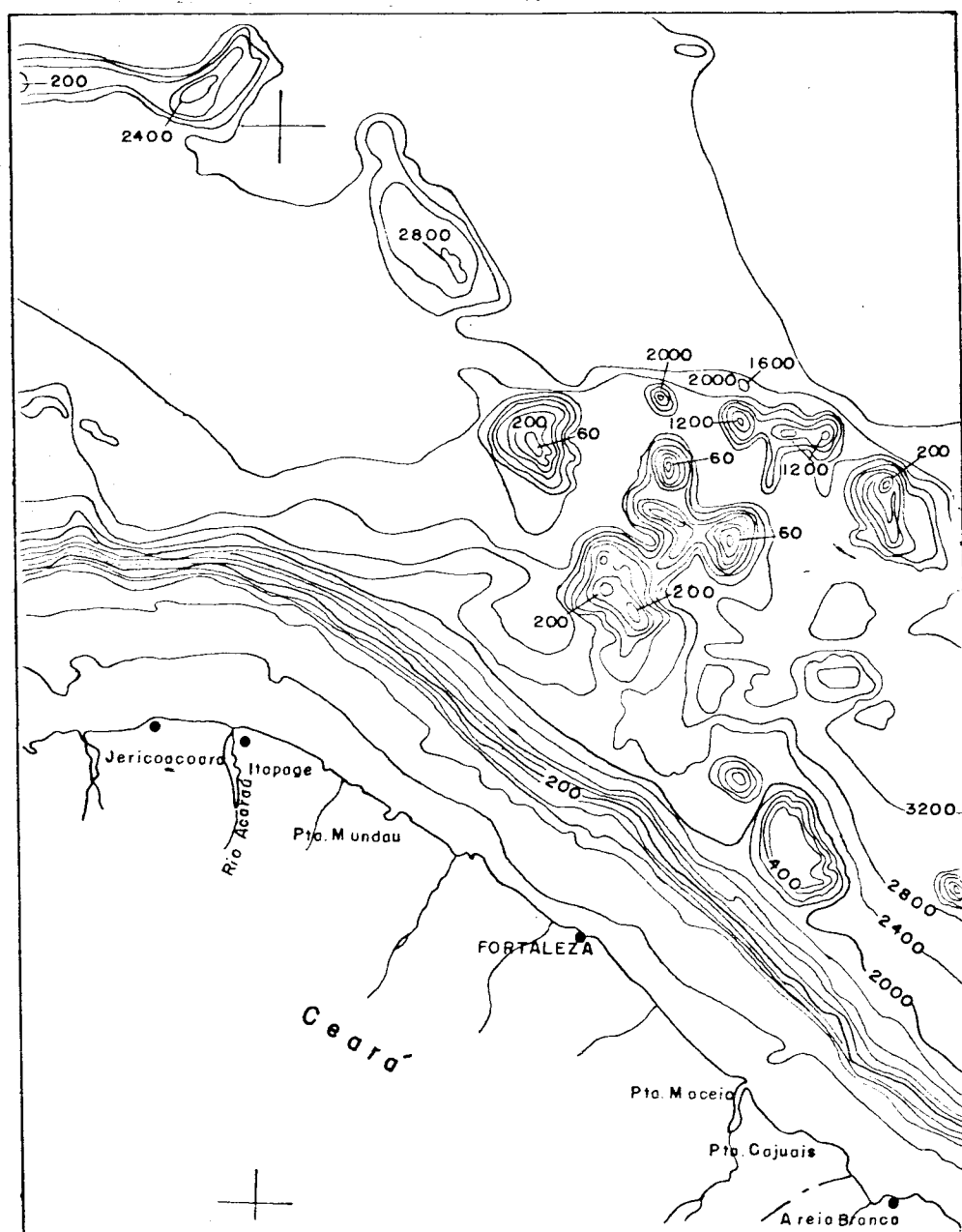
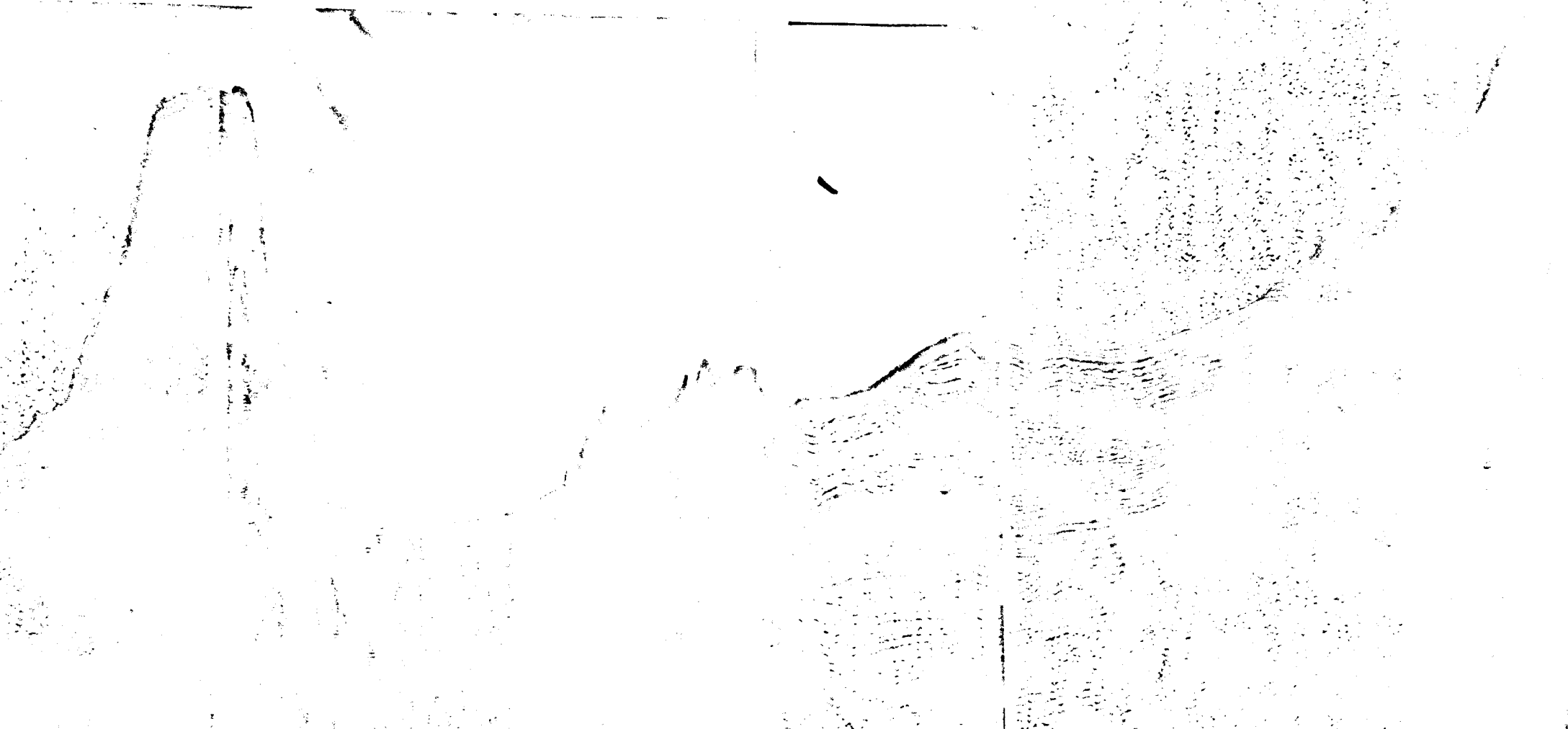


Figura V.1 - Esboço fisiográfico da área submersa do litoral do Ceará expresso em linhas isobatimétricas. O Guyot do Ceará em frente a Fortaleza está circundado pela curva 400 .

exão sísmica mostrando o esboço da morfologia
ataforma Continental e elevações submersas
rtaleza. Observa a superfície da plataforma
alude e as introsões que constituem a cadeia
entado no capítulo IV .



VI - HIDRODINÂMICA DAS ÁGUAS COSTEIRAS E SUA INFLUÊNCIA NA DISPERSÃO DOS SEDIMENTOS

O estudo da hidrodinâmica das águas costeiras é de fundamental importância para a avaliação do transporte dos sedimentos, zonas de assoreamento, zonas de erosão, dispersão de poluentes e material em suspensão. Neste capítulo serão considerados os dados obtidos sobre as marés, ondas, salinidade e temperatura das águas costeiras, densidade das águas, correntes, e suas interações no litoral do município de Fortaleza.

VI.1 - Marés

As cotas verticais de nível de maré têm uma certa influência sobre o transporte litorâneo, pois a posição da zona de arrebentação varia sensivelmente conforme o nível instantâneo.

As marés de Fortaleza podem ser classificadas como de ondas semi-diurnas com desigualdade de amplitudes. O período médio das ondas de marés é de 12,4 horas.

A tabela VI.1 mostra as amplitudes das marés de sizígia e quadratura, respectivamente, para o ano de 1976. Registrou-se uma amplitude máxima de 2,7 m no equinócio de abril. A tabela VI.2, mostra os valores registrados para o ano de 1980, estimados de hora em hora por computação na DHN. Comparando estes valores com os de 1976 podemos notar que a amplitude não permaneceu a mesma, tendo no en

Tabela VI.1

AMPLITUDES DAS MARÉS DE SIZÍGIA
(TÁBUA DE MARÉS DA DHN-1976)

DIA/MÊS	MARÉ MÁXIMA (m)	MARÉ MÍNIMA (m)	AMPLITUDES (m)
01/01	2,3	0,0	2,3
17/01	2,4	0,0	2,4
31/01	2,2	0,2	2,0
16/02	2,5	-0,1	2,6
01/03	2,2	0,2	2,0
15/03	2,5	-0,1	2,6
30/03	2,1	0,2	1,9
14/04	2,5	-0,2	2,7
29/04	2,1	0,2	1,9
30/05	2,1	0,2	1,9
12/06	2,4	-0,1	2,5
29/06	2,2	0,2	2,0

Tabela VI.1 (continuação)

DIA/MÊS	MARÉ MÁXIMA (m)	MARÉ MÍNIMA (m)	AMPLITUDES (m)
11/07	2,3	0,0	2,3
27/07	2,3	0,1	2,2
10/08	2,2	0,1	2,2
26/08	2,4	0,0	2,4
08/09	2,1	0,2	1,9
24/09	2,5	0,0	2,5
08/10	2,1	0,2	1,9
23/10	2,5	-0,1	2,6
06/11	2,1	0,2	1,9
21/11	2,5	-0,1	2,6
06/12	2,1	0,2	1,9
21/12	2,4	-0,1	2,5
MÉDIAS	2,29 (m)	0,04 (m)	2,25

Tabela VI.2

AMPLITUDE DAS MARÉS DE SIZÍGIA E QUADRATURA PARA O ANO DE 1980 .

DIA/MÊS	MARÉ DE SIZÍGIA			DIA/MÊS	MARÉ DE QUADRATURA		
	MÁXIMA	MÍNIMA	AMPLITUDE		MÁXIMA	MÍNIMA	AMPLITUDE
02/01	3,0	0,2	2,8	11/01	2,2	1,0	1,2
18/01	3,0	0,0	3,0	27/01	2,4	0,9	1,5
01/02	2,9	0,3	2,6	10/02	2,1	1,1	1,0
16/02	3,2	-0,1	3,3	24/02	2,3	1,0	1,3
01/03	2,8	0,5	2,3	10/03	2,2	1,1	1,1
17/03	3,3	-0,1	3,4	24/03	2,2	1,1	1,1
31/03	2,7	0,3	2,4	08/04	2,2	1,1	1,1
15/04	3,2	-0,1	3,3	22/04	2,2	1,2	1,0
30/04	2,7	0,3	2,4	07/05	2,4	0,8	1,6
14/05	3,1	0,0	3,1	22/05	2,2	1,0	1,2
29/05	2,7	0,3	2,4	06/06	2,5	0,7	1,8
13/06	3,1	0,1	3,0	05/07	2,6	0,7	1,9
28/06	2,8	0,2	2,6	21/07	2,1	1,1	1,0
12/07	3,0	0,2	2,8	04/08	2,5	0,9	1,6
28/07	3,0	0,0	3,0	19/08	2,1	1,1	1,0
10/08	2,9	0,3	2,6	03/09	2,3	1,0	1,3
28/08	3,2	0,0	3,2	17/09	2,1	1,1	1,0
09/09	2,8	0,3	2,5	02/10	2,2	0,9	1,3
24/09	3,2	-0,1	3,3	17/10	2,2	1,1	1,1
09/10	2,7	0,3	2,4	31/10	2,2	1,2	1,0
23/10	3,2	-0,1	3,3	15/11	2,3	1,0	1,2
07/11	2,7	0,3	2,4	30/11	2,2	1,1	1,1
22/11	3,2	0,0	3,2	15/12	2,5	0,8	1,7
07/12	2,7	0,3	2,4	31/12	2,2	1,0	1,2

tanto ficado em torno de 3,3 metros para máximas de sizígia.

As correntes de maré desempenham papel importante associadas com o transporte frontal dos sedimentos a ser discutido no capítulo VIII .

VI.2 - Ondas

As ondas são o fator natural dominante, tanto pela sua ação direta (agitação pelo plano d'água) como pela sua ação indireta (transporte das areias) .

As ondas reinantes são as vindas do setor sudeste a leste, e são as principais responsáveis pelo caminhamento das areias de leste para oeste e por conseguinte do assoreamento do porto.

As ondas mais raras e mais fortes que as anteriores são as que vêm do setor leste a leste-nordeste e mais raramente de nordeste (em fevereiro-março-abril) . As ondas vindas desta direção são as que mais facilmente penetram no porto de Mucuripe, sendo portanto as mais perigosas. Têm também uma certa influência sobre o assoreamento do porto, provocando a migração das areias ao longo da face interna do quebra-mar, isto é, em direção ao cais de atracação dos petroleiros, depois dessas areias terem ultrapassado a extremidade da referida obra de proteção.

Occhipinti, 1975 , com base em observações dos ventos avaliou as pistas das ondas (fetches) e a partir des

tas, estimou as características das ondas que poderão ocorrer em Fortaleza para efeito do projeto do emissário submarino. A tabela VI.3, mostra as características das ondas estimadas para Fortaleza.

Pode-se observar que a altura máxima calculada para o período de 1 ano foi de 3,4 metros, e o período das ondas atinge 10 s. O Relatório Neyrpic, avaliou que a amplitude das ondas no município de Fortaleza mantem-se sempre abaixo de 3,50 m e os seus períodos raramente ultrapassam 10 segundos. Por este motivo os ensaios de modelo reduzido comentados no capítulo IX deste trabalho foram feitos em torno destes valores.

Neste trabalho não houve medições de características de ondas, mas foi checado em campo através de observações visuais em cronômetro os períodos discutidos na tabela VI.3. Por outro lado a observação acurada de fotografias aéreas tiradas em horas diferentes em diversas épocas, evidenciou que as ondas mais frequentes são as do quadrante leste-sudeste. As menos frequentes são as de quadrante nordeste, mas são as mais perigosas para efeito de erosão, agitação das águas do sistema portuário e responsáveis pela maioria do transporte frontal a ser discutido no capítulo VII.

Estas direções predominantes de ondas foram testadas em modelo reduzido na França (Relatório Neyrpic, 1953) (Ver capítulo IX deste trabalho) e ficou estabelecido que as ondas de direção $N25^{\circ}E$ no modelo, correspondiam às que em Mucuripe são chamadas ondas de nordeste. Estas ondas apresentam período de 8,4 segundos e comprimento de 75 metros

Tabela VI.3

CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS DE PROJETO PREVISTAS PARA FORTALEZA

TIPO DE ONDA	PERÍODO T (seg)	PROFUNDIDADE Z (seg)	DIREÇÃO	COMPRIMENTO L (m)	ALTURA SIGNIFICATIVA Hs (m)		ALTURA MÁXIMA Hm _{max} (m)	
					P= 1 ano	P=10 anos	P=1 ano	P= 10 anos
Ondas geradas localmente (wind-wave)	4 a 6 $\bar{T} = 5,0$	10	ESE-ENE	15,0	1,0	1,2	1,8	2,25
Marulho (swell)	7 a 10 $\bar{T} = 8,5$	10	NE	25,0	1,8	2,15	3,4	4,0

As ondas que ocorrem na área de projeto devem ser consideradas ondas propagando-se sobre fundo raso. (De acordo com Occhippinti, 1975).

sobre um fundo de -10 m . A amplitude total variava entre 2,50 e 3,00 metros.

As ondas do 2º quadrante (sul a leste) em alto mar agiam durante 80% do tempo do ciclo adotado, enquanto que as ondas do 1º quadrante sã agiam 20% .

VI.3 - Observações e dados da estrutura vertical das águas litorâneas.

Na área específica escolhida pela CAGECE para lançamento de efluentes, situada na praia do Pirambu foi feito um perfil detalhado da estrutura vertical das águas, visando a análise do comportamento dos jatos submersos e do estabelecimento dos campos de esgotos. As figuras VI.1 , VI.2 e VI.3 , mostram os perfís verticais típicos das águas no ponto cogiitado para o lançamento dos efluentes. Foi observado que de uma maneira geral a coluna d'água é isotérmica, isohalina e isopícnica.

Outras observações foram efetuadas durante este trabalho, nas áreas do Porto do Mucuripe, Barra do Rio Ceará, Barra do Rio Cocó e Praia do Futuro (figuras VI.4 , VI.5 , VI.6) .

VI.3.1 - Temperatura das águas

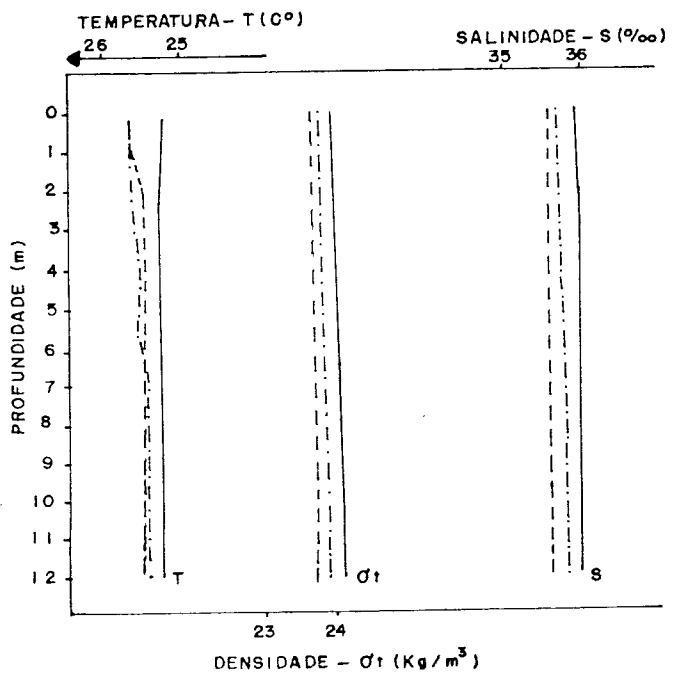
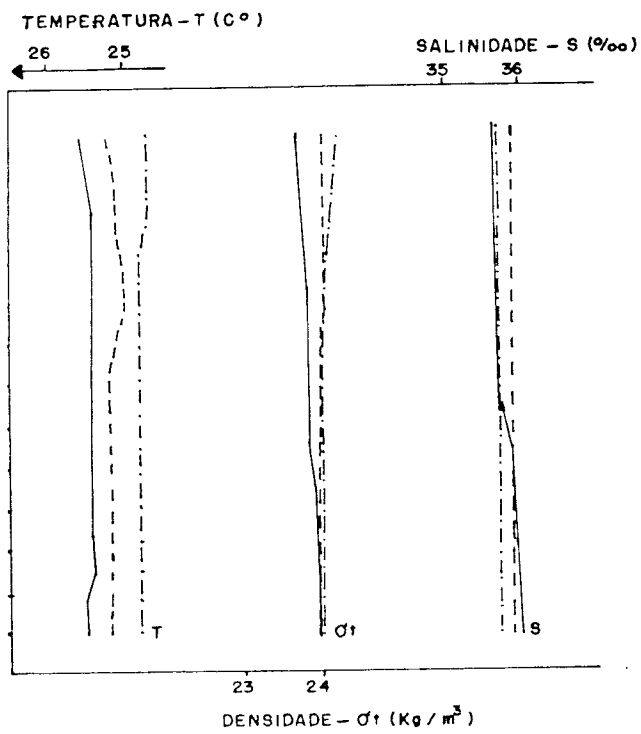
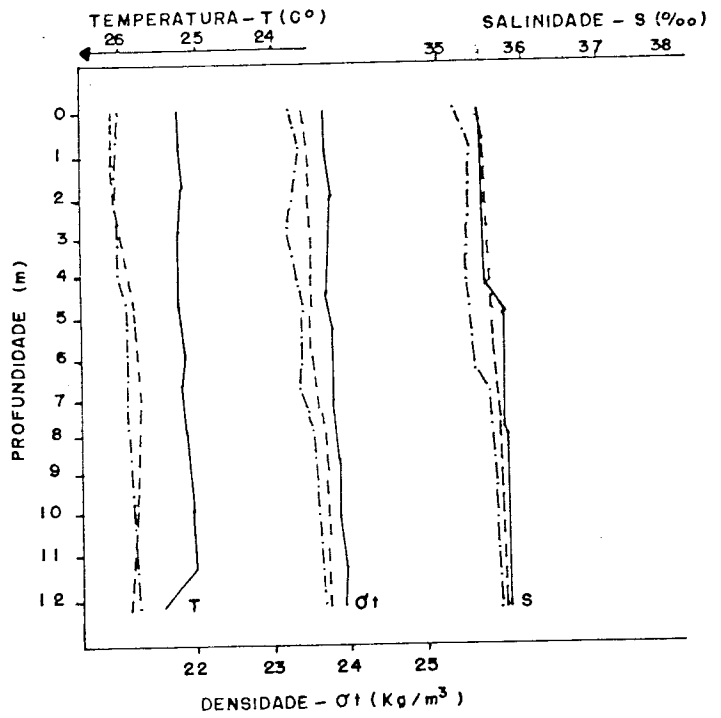
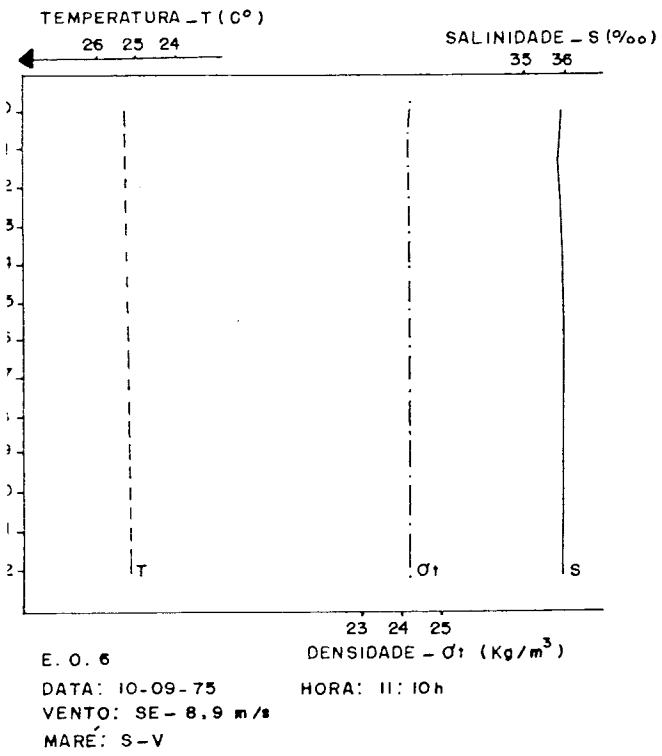
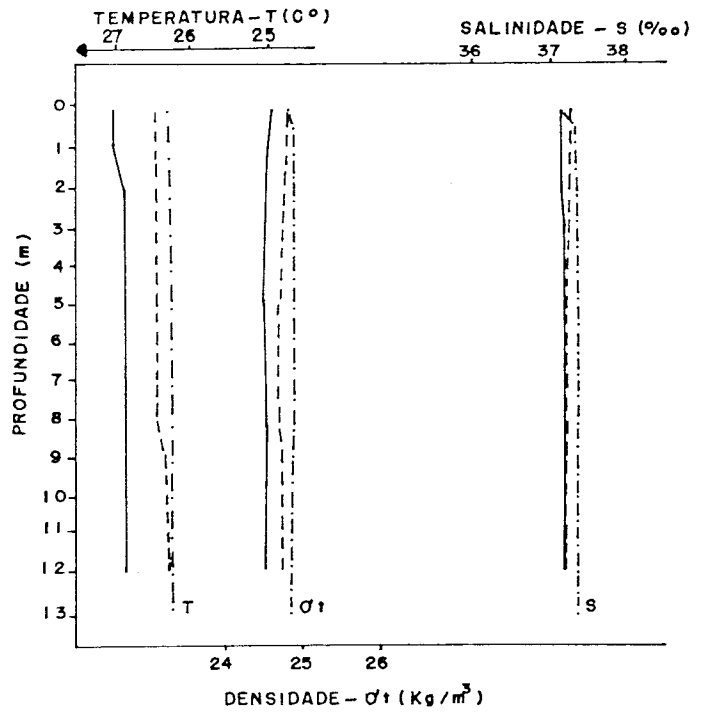
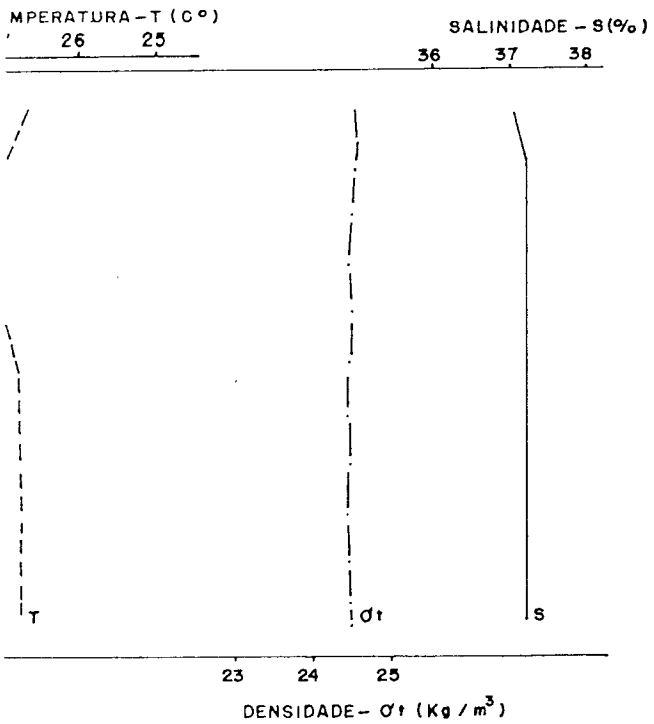


Figura VI.1 - Estrutura vertical das águas litorâneas.

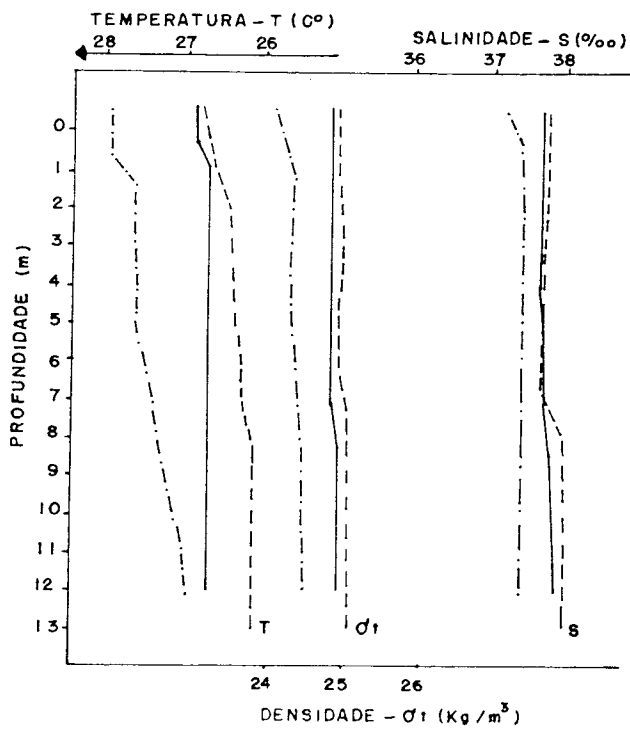


E. O. 6
DATA: 18-11-75 HORA: 08:15h
VENTO: SSE 7.2 m/s
MARE: S

E. O. 6
DATA: 19-11-75
MARE: S

--- 8:15
- - - 11:55
___ 15:55

IV.2



E. O. 6
DATA: 07-01-76
MARE: Q

___ 9:30
- - - 12:30
___ 15:30

Figura VI.3 - Estrutura vertical das águas litorâneas.

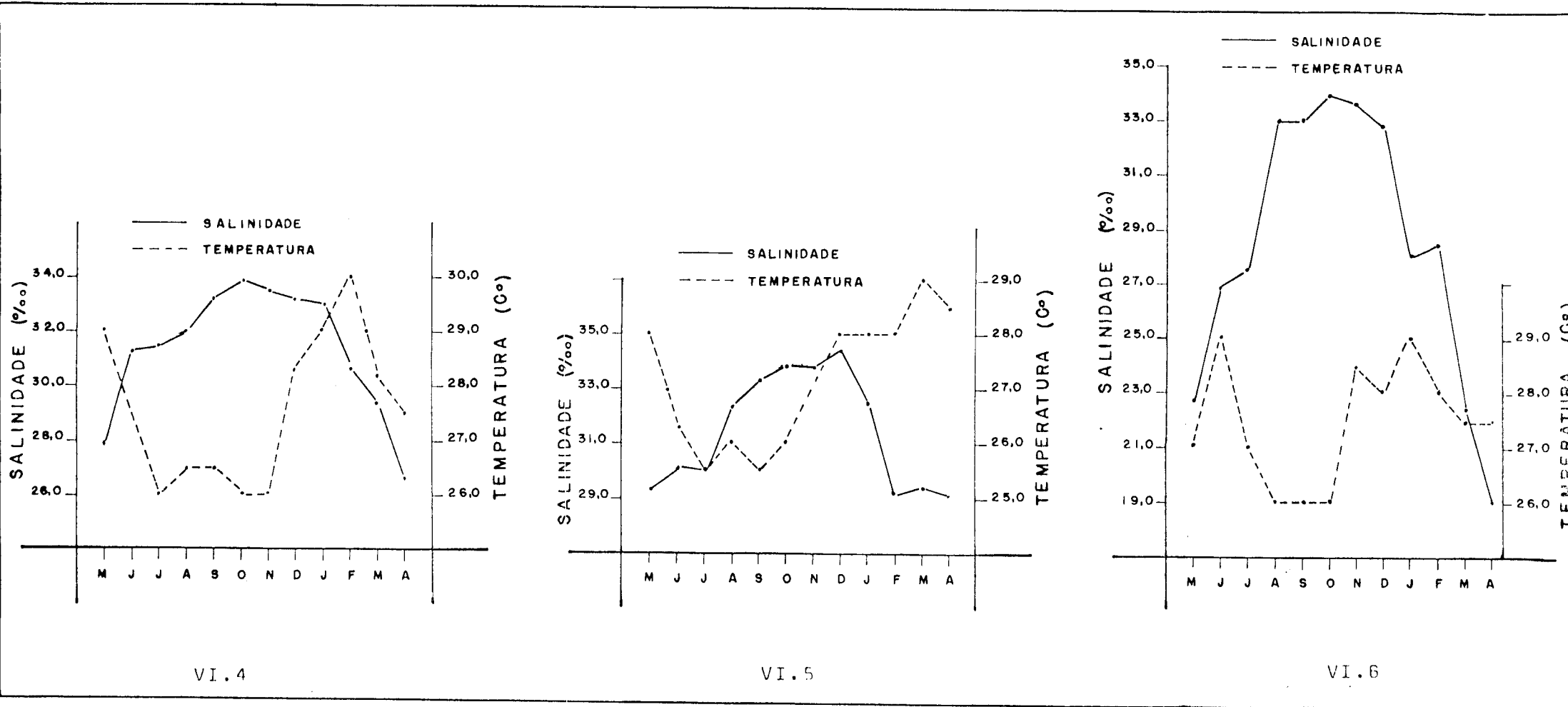


Figura VI.4 - Praias do litoral leste
 Figura VI.5 - Enseada do Mucuripe
 Figura VI.6 - Barra do Rio Ceará

Período - Maio de 79 a Agosto de 80.
 (Salinidade x Temperatura)

A temperatura ao largo da coluna d'água cresce com o aquecimento diurno, podendo na superfície sofrer elevação até 1°C , da manhã até à tarde.

No período de verão nas horas de maior insolação a coluna experimenta pequena estratificação linear crescendo de 1°C , desde o fundo até a superfície. Em setembro a temperatura da água variou de 25 a 26°C desde o fundo até a superfície; em novembro a temperatura variou de 26 a 27°C ao longo da coluna vertical; em janeiro registraram-se temperaturas de 26 a 28°C .

VI.3.2 - Salinidade

No período de verão não há estratificação halina. Em setembro a salinidade nos pontos do emissário variou de 35 a $36^{\circ}/\text{oo}$. Em novembro foram registradas salinidades ao longo da coluna vertical da ordem de $37^{\circ}/\text{oo}$ e em janeiro foram encontrados valores entre 37 e $38^{\circ}/\text{oo}$; estes últimos valores são muito elevados o que conduz a suspeitar-se de erro sistemático nos salinômetros utilizados pela CAGECE/CETESB.

Durante os períodos de observação nota-se que as águas litorâneas compreendidas entre o Porto do Mucuripe e a foz do Rio Ceará não receberam contribuição de água doce capaz de alterar de forma significativa a estrutura halina das águas. Os rios da vertente marítima que desembocam à leste desta área teriam suas águas transportadas pela corrente WNW prevalecente na área.

VI.3.3 - Densidade

As densidades variam de 23,5 a 24,0 kg/m³ em setembro; de 24,0 a 24,5 kg/m³ em novembro e de 24,0 a 25,0 kg/m³ em janeiro; estes últimos índices mostram-se muito elevados devendo-se atribuí-los a descalibragem do salinômetro (Occhipinti, 1975) .

VI.3.4 - Variação sazonal na estrutura vertical

A figura VI.7 mostra um gráfico obtido por Occhipinti, onde apresenta uma apreciável elevação de setembro a novembro e uma elevação mais suave de novembro a janeiro nos valores de temperatura, salinidade e densidade. Os altos valores obtidos durante as últimas campanhas parecem estar relacionados com a descalibragem do sensor do termo-salinômetro usado durante a campanha. Mas no seu relatório Occhipinti deixou patente pelas características da estrutura vertical das águas que os jatos submersos de efluentes descarregados pelos difusores serão boiantes e deverão emergir na superfície do mar em todas as estações do ano.

VI.4 - Correntes

As correntes marítimas diante do Porto de Mucuripe resultam da superposição de uma corrente geral, dirigida de leste para oeste, e das correntes de marés.

A corrente resultante é orientada permanentemente

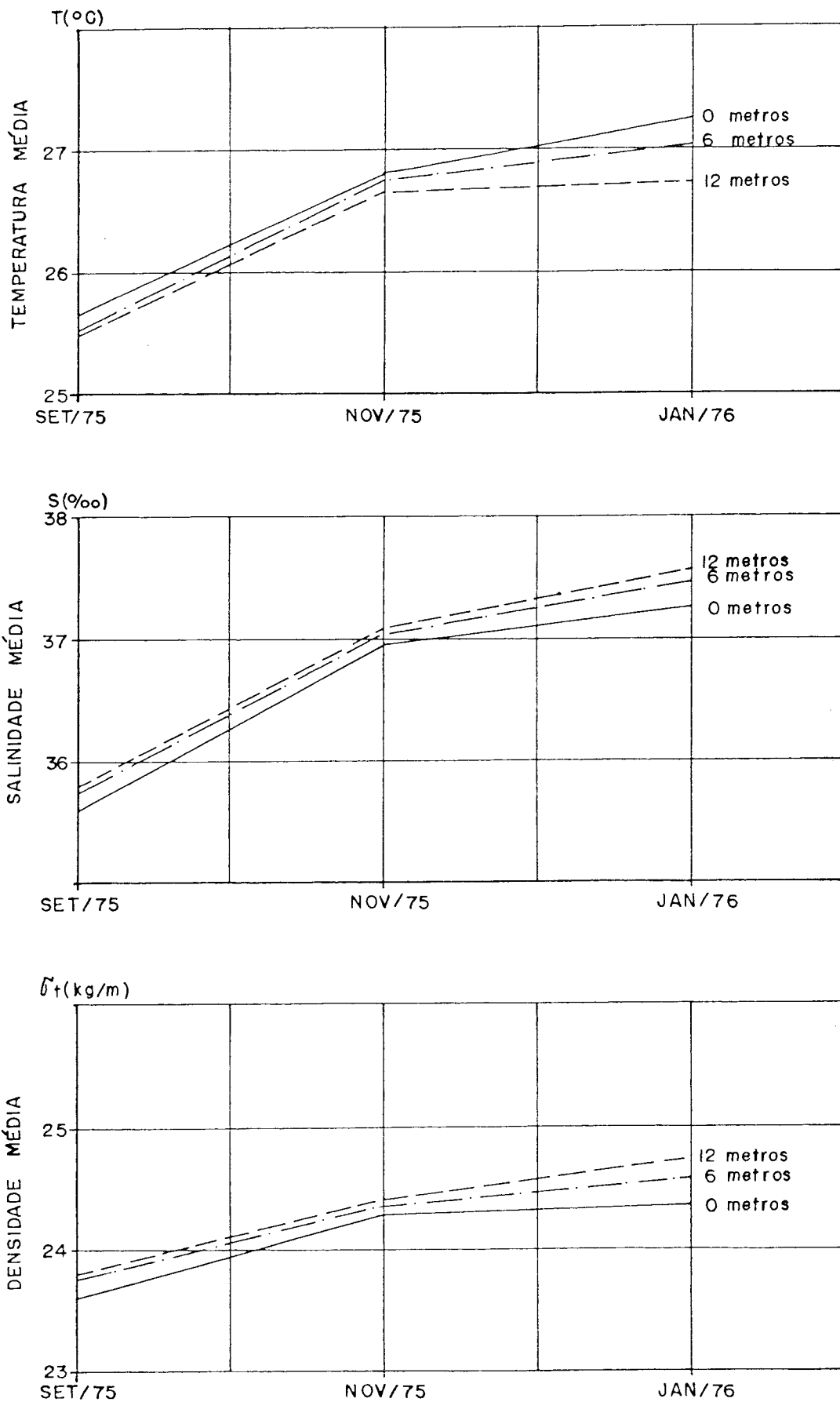


Figura VI.7 - Variação sazonal na estrutura vertical das águas litorâneas de Fortaleza

para oeste, seguindo sensivelmente a costa, sua velocidade mantendo-se praticamente sempre inferior a 1 nó.

Segundo levantamento feito pela PLANIDRO na área de estudos, existe uma corrente permanente na direção geral NW, auxiliada pelo vento dominante de 080° e sofrendo alterações na sua velocidade, devido aos efeitos da maré.

Devido às particularidades da circulação costeira local em que existe por fora do molhe do Porto do Mucuripe uma corrente de direção permanente, afastando-se da costa em rumo aproximado de 300° verdadeiros, a CAGECE, procurou localizar um ponto para o emissário submarino, em que a distância necessária da costa, os efluentes seguissem sempre uma trajetória divergente da costa sob quaisquer condições de ventos, vagas ou marés.

VI.4.1 - Trajetória das correntes superficiais

Como resultado das campanhas de acompanhamento de manchas de traçadores corantes, foram determinadas algumas trajetórias das correntes (figura VI.8) . Evitou-se o método dos derivadores o mais possível, pois em áreas onde prevalece a brisa do mar, como Fortaleza, e a influência quase permanente dos alíseos, as observações de correntes com corpos de deriva são muito influenciadas pelos ventos e portanto sendo considerados não representativos, especialmente para efeito de projeto de emissário submarino.

Na figura VI.8 observa-se que as trajetórias de corrente superficial orientam-se paralelamente a costa, diri

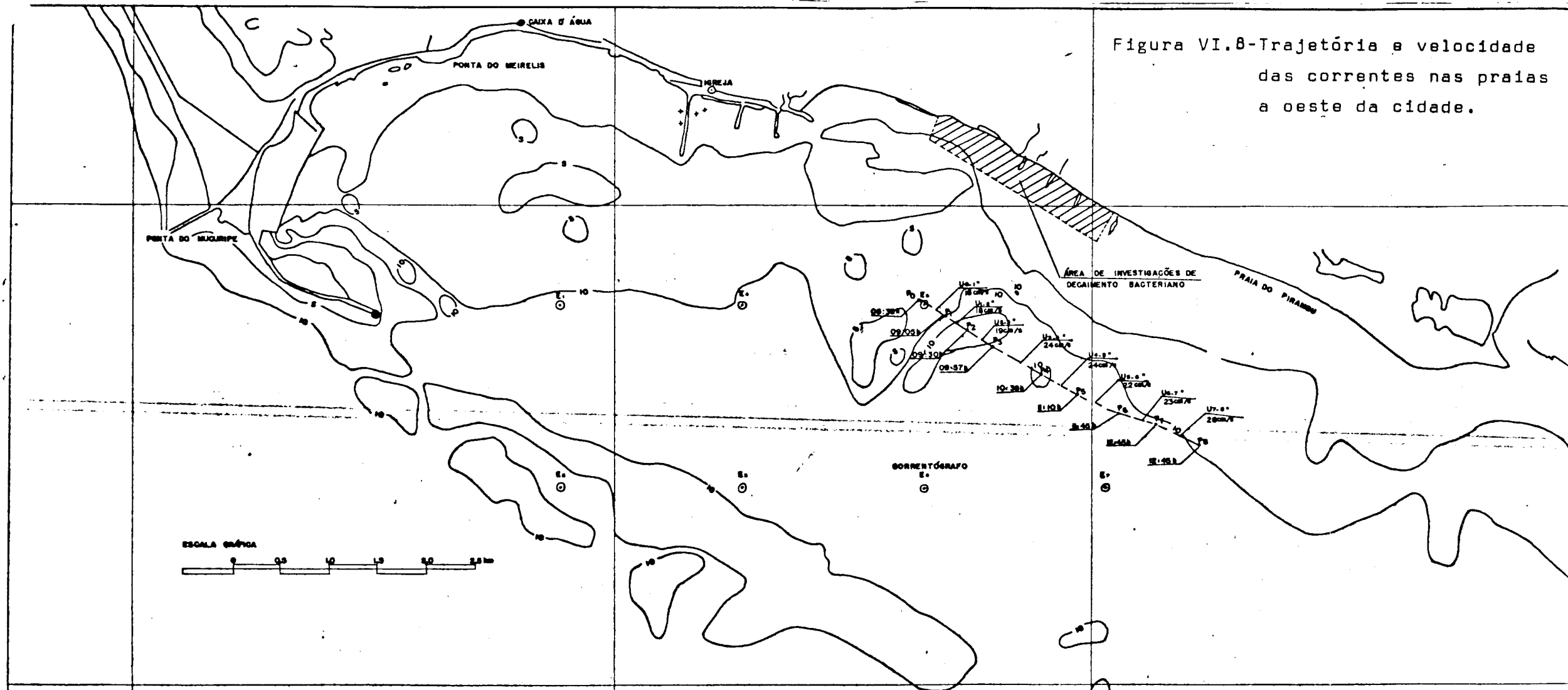
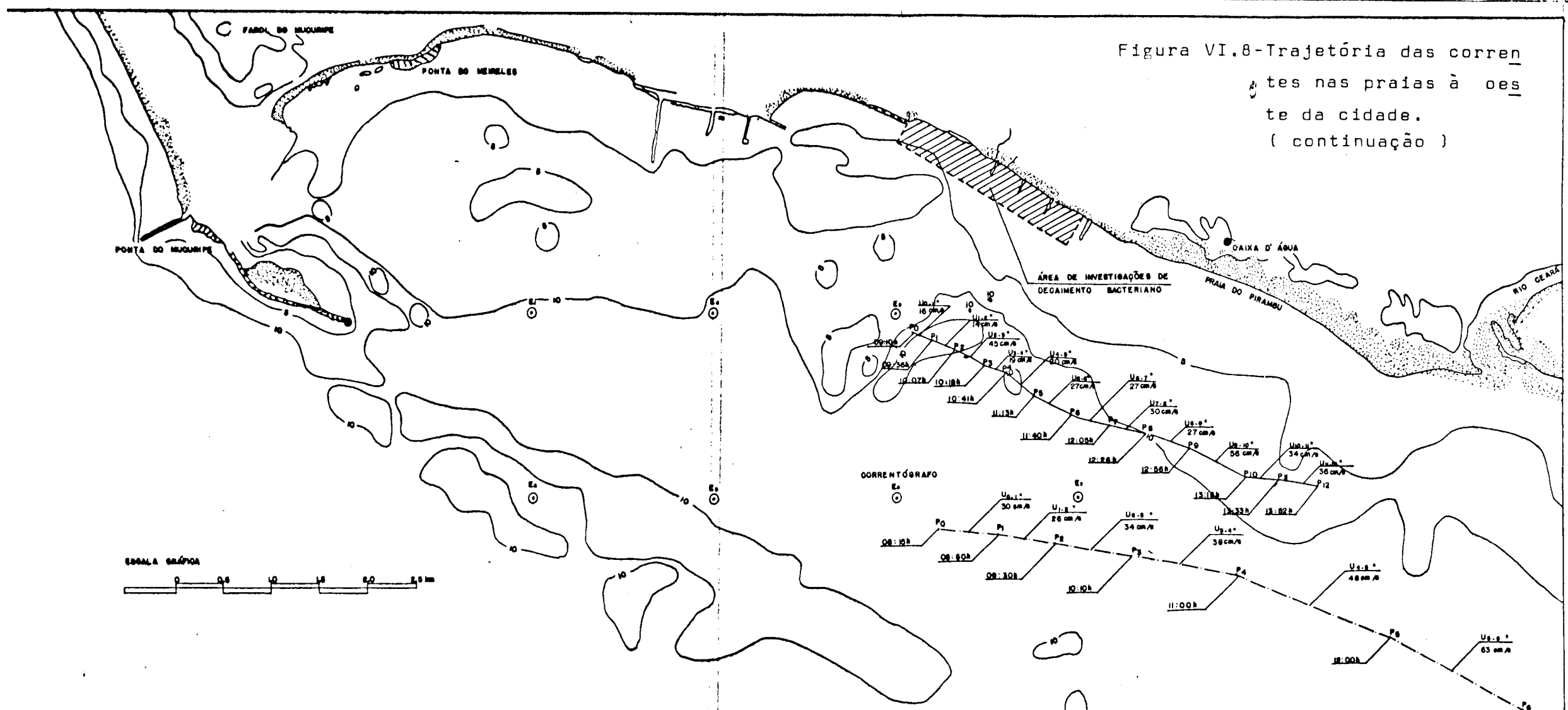


Figura VI.8-Trajetoira e velocidade das correntes nas praias a oeste da cidade.

CAMPANHA	DATA	VELOCIDADE MÉDIA DA CORRENTE (cm/s)	VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO (m/s)	VARIAÇÃO DA MARÉ
2ª	20/1/75	WNW e NW	SE e ESE	Pa - Ba
				OSTANTE

Figura VI.8-Trajetoria das correntes nas praias à oeste da cidade.
(continuação)



gindo-se para W a WNW com velocidade média de 27 cm/s .

Em novembro de 1975 (Occhippinti, 1975) a corrente permaneceu inicialmente paralela a costa, para depois divergir mar a fora, variando de WNW a NW com velocidade média de 22 cm/s . Em janeiro de 1976 , a corrente primeiramente permaneceu paralela a costa, passando a divergir da mesma, passando do rumo W a WNW com velocidade média de 41 cm/s . Em fevereiro de 1978 , 1979 e 1980 esta corrente foi observada pelo autor no rumo WNW com velocidades respectivas de 33 m/s , 38 m/s e 43 m/s .

As figuras de n^os. IX.9 a IX.13 , no capítulo IX deste trabalho expõem o comportamento destas correntes no período de 1946 a 1949 , associado à evolução dos fundos. A corrente geral passa ao largo dirigindo-se para noroeste. Na figura IX.9 há penetração desta corrente na baía, ajudada pelo movimento de difração, além do movimento turbilhonar na cabeça do molhe. Isto apressava a sedimentação incipiente na parte interna do molhe. A figura IX.10 mostra a mesma tendência das correntes procurando penetrar na baía do porto. Em 1948 , figura IX.11 , já há bastante sedimentação ao lado do molhe e as correntes atacam quase paralelas ao molhe distribuindo os sedimentos ao longo dele. As figuras IX.12 e IX.13 , representam o comportamento das correntes para o ano de 1949 , continuando com a mesma influência na redistribuição dos sedimentos na baía do porto. Esta situação só veio melhorar quando se construiu na década de 60 o molhe de retenção na praia do Futuro.

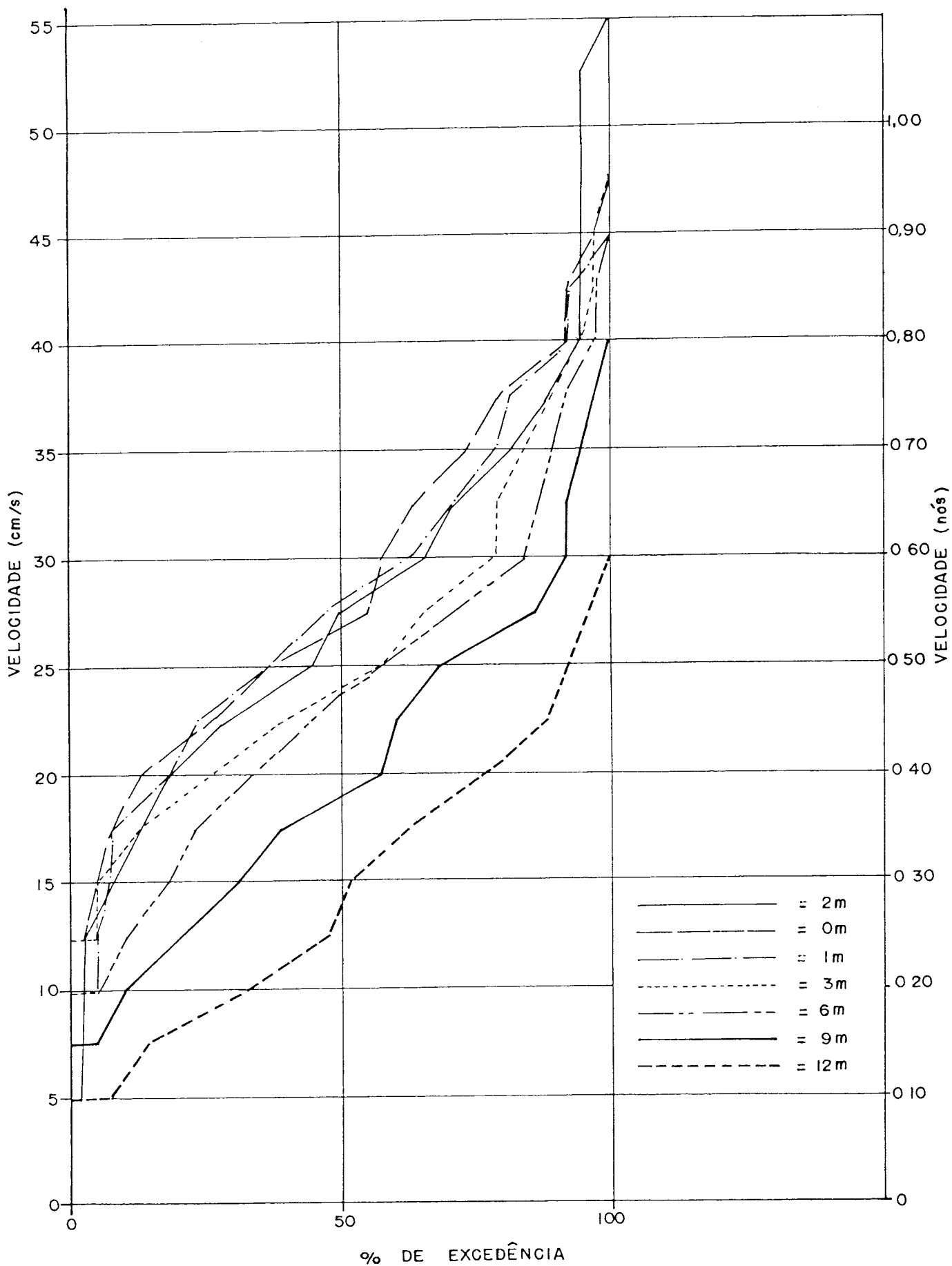


Figura VI.9 - Perfis verticais de corrente

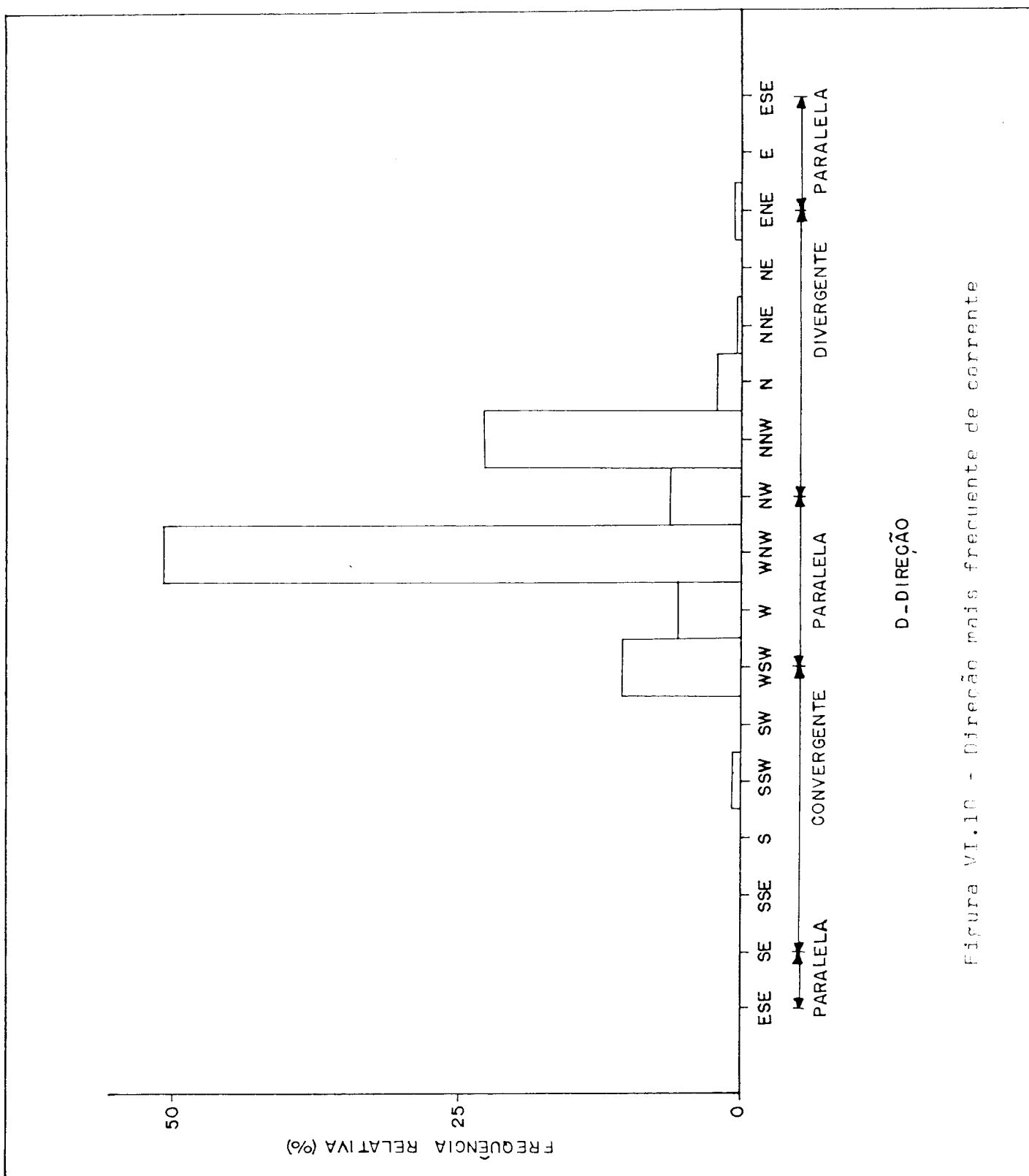
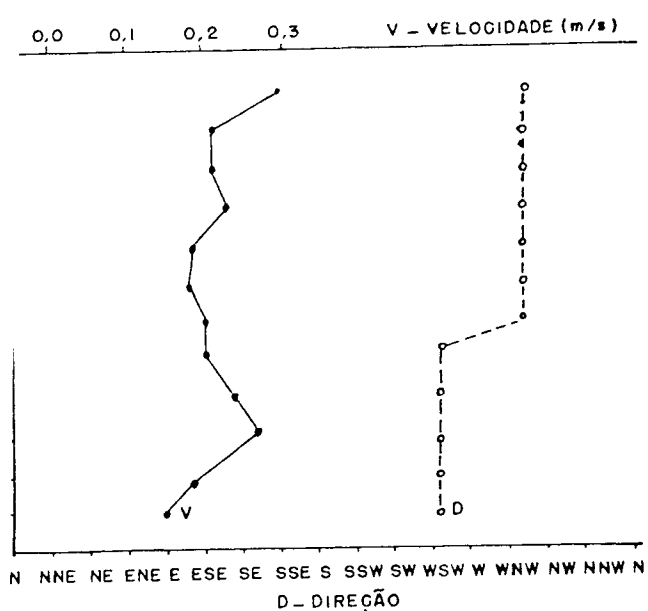
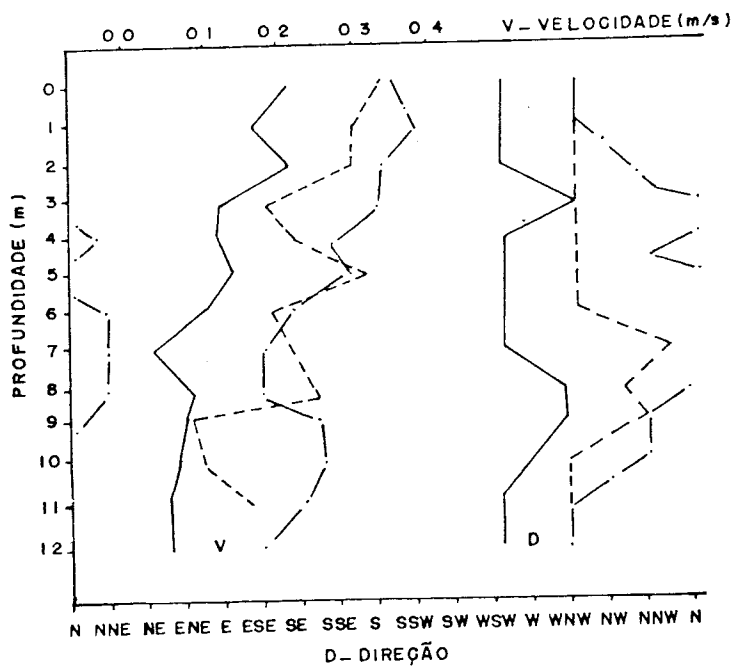


Figura VI.10 - Direção mais frequente de corrente

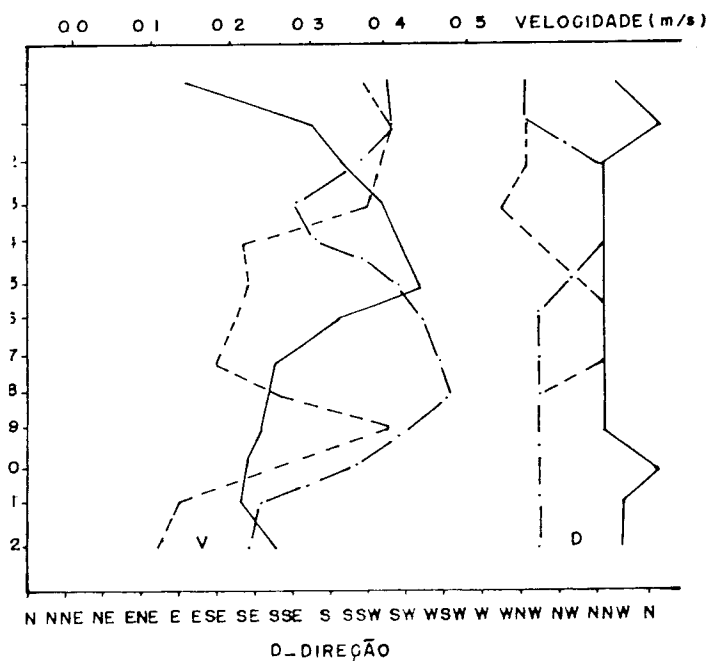


E.O.6
 DATA: 10-09-75 HORA 11:10h
 VENTO: SE 8,9 m/s
 MARÉ: S-V



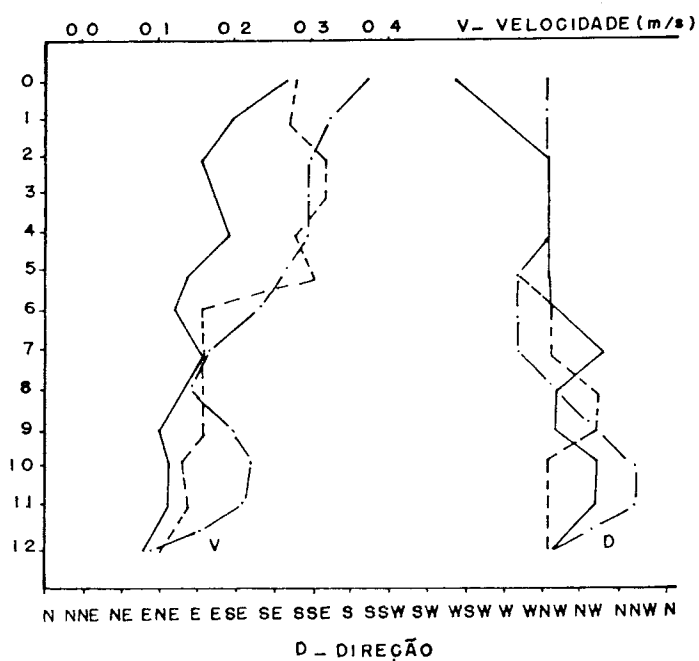
E.6.
 DATA: 11-09-75
 MARÉ: Q

----- 9:30 h
 - - - - - 13:00 h
 _____ 17:00 h



E.6
 DATA: 12-09-75
 MARÉ: Q

----- 8:15 h
 - - - - - 10:05 h
 _____ 11:15 h



E.6
 DATA: 14-09-75
 MARÉ: Q

----- 10:00 h
 - - - - - 13:50 h
 _____ 16:45 h

Figura VI.11 - Velocidade de corrente.

Na profundidade de 9 metros a corrente de 28 cm/s excede as demais em 90% de tempo e a máxima corrente observada é de 40 cm/s . Junto ao fundo, profundidade de 12 metros, a máxima corrente registrada é de 30 cm/s .

VI.4.5 - Correlação entre correntes, ventos e marés

Em geral as correntes litorâneas são governadas pelas marés e pelos ventos. Nos correlogramas mostrados nas figuras VI.12 , VI.13 e VI.14 , correspondentes à campanhas oceanográficas realizadas pela CETESB em 1975 , constam observações de correntes superficiais realizadas com correntômetro e correntôgrafo, as marés observadas e previstas nas tábuas de marés da DHN e registrados no marégrafo do Mucuripe do DNPVN e os ventos observados no mar ou fornecidos pela FUNCEME .

Podemos observar nestas figuras que a corrente superficial dirige-se permanentemente para o setor W e portanto paralelamente à costa independentemente da fase ou período de maré. Quando os ventos do quadrante E e SE intensificam-se as correntes superficiais por ação das forças tangenciais do vento também são intensificadas.

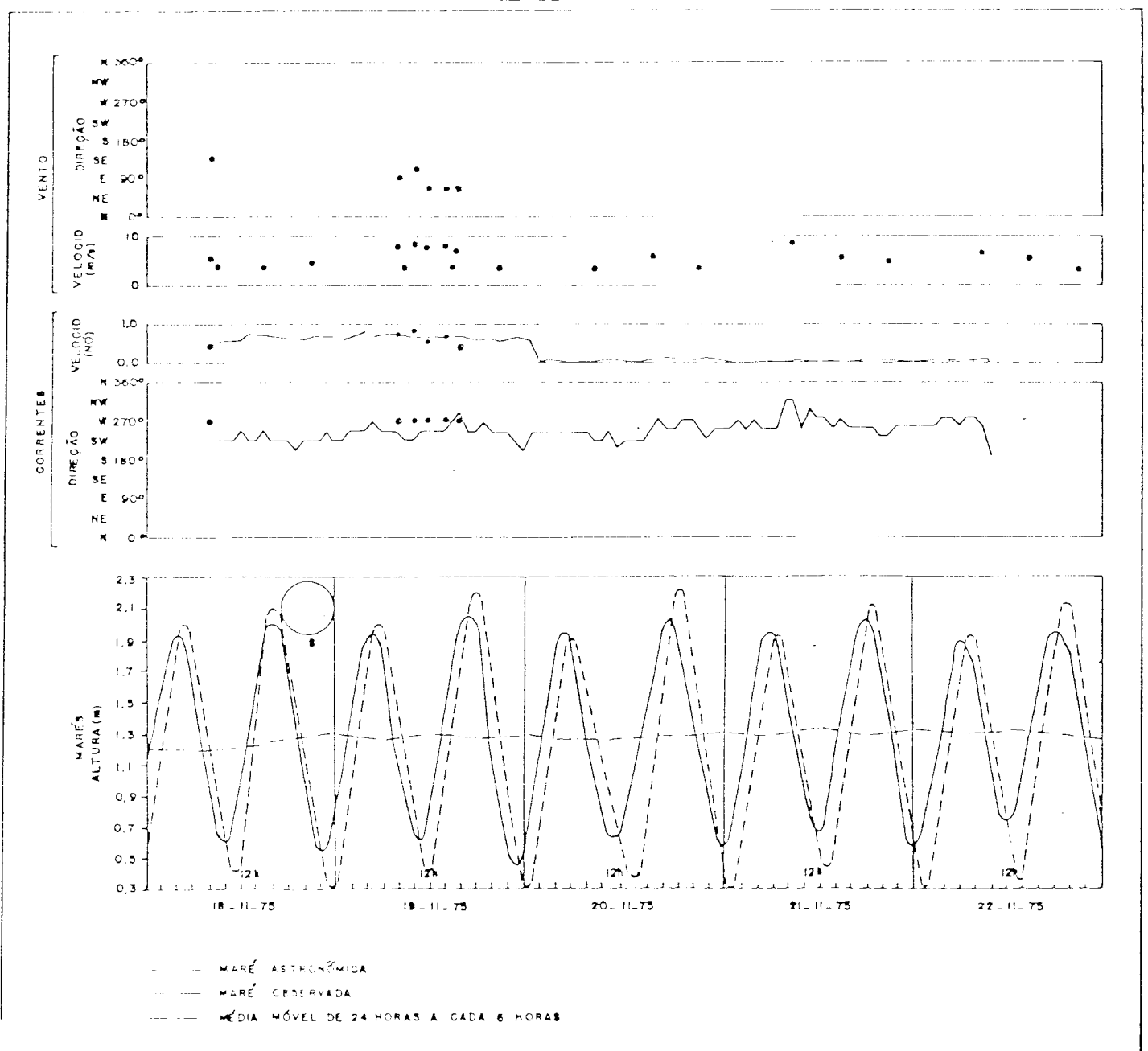


Figura VI.12-Correlogramas mostrando interrelações das correntes, ventos e marés.

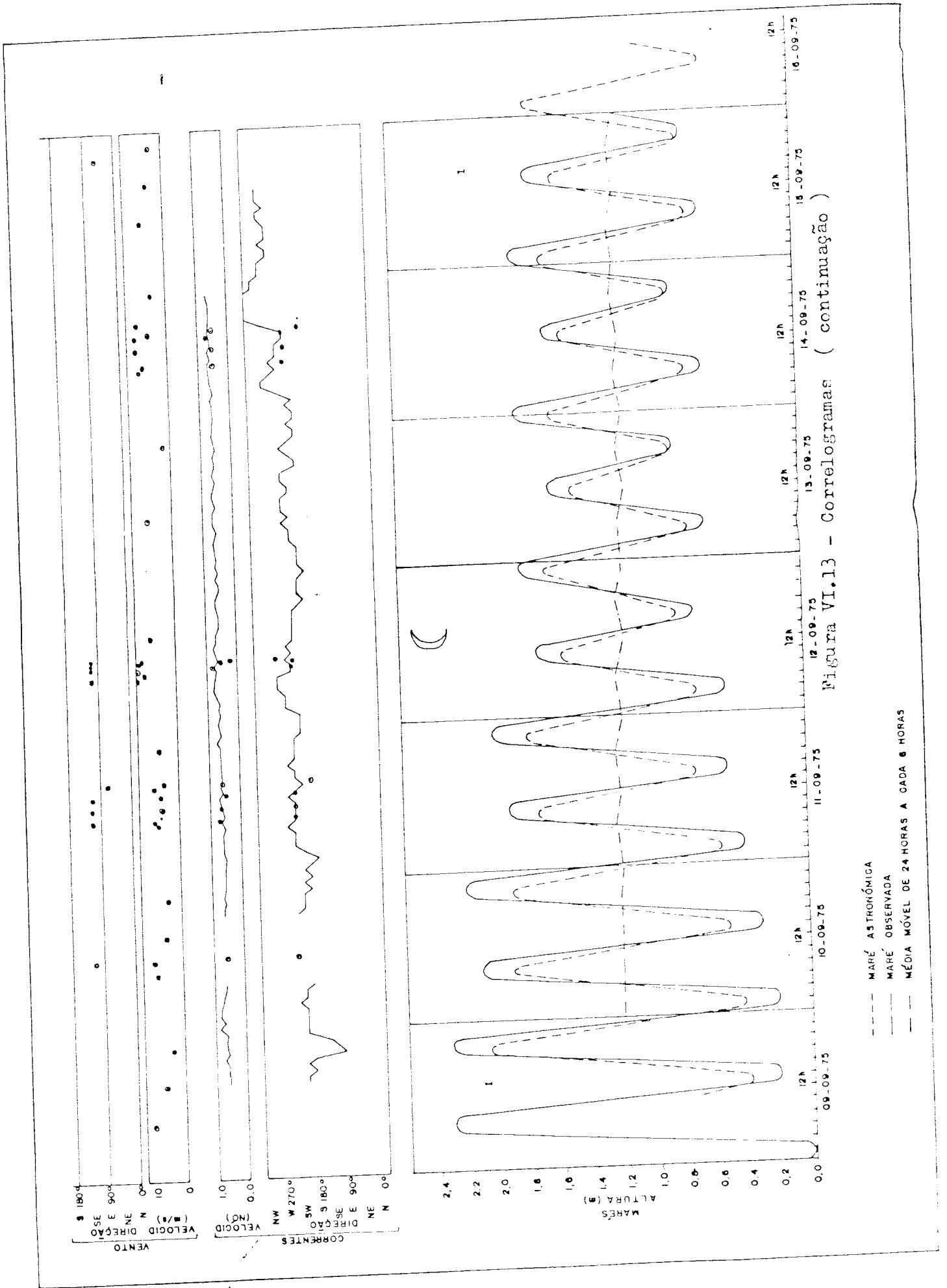


Figura VI.13 - Correlogramas (continuação)

- - - - - MARÉ ASTRONÔMICA
 ——— MARÉ OBSERVADA
 - · - · - MÉDIA MÓVEL DE 24 HORAS A CADA 6 HORAS

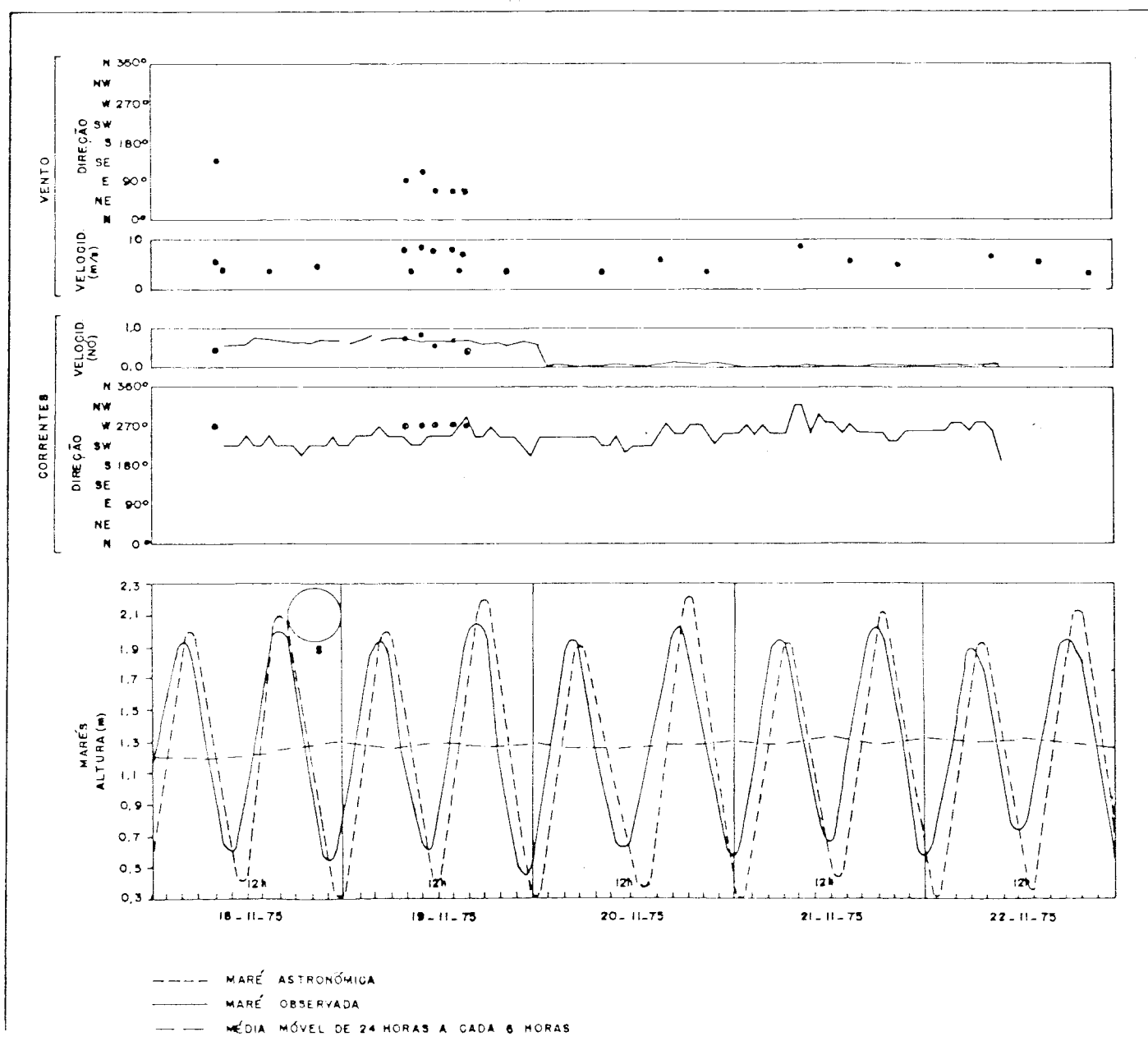


Figura VI.12-Correlogramas mostrando interrelações das correntes, ventos e marés.

VII - CARACTERÍSTICAS TEXTURAIS DOS SEDIMENTOS DO AMBIENTE TRANSICIONAL

As amostras cujos resultados são discutidos neste capítulo, foram coletadas nas áreas situadas em volta da linha de rebentação em maré baixa, linha de maré alta e nos bermas, num total de 144 amostras. A figura VII.1 dá a posição destas amostras sendo que cada número corresponde a três amostras, coletadas nas posições citadas acima.

Para as amostras coletadas ao largo do município de Fortaleza, utilizou-se o N.Hi. Taurus da Marinha do Brasil num total de 136 amostras coletadas. (Figura VII.2) .

Este material foi analisado do ponto de vista textural, importante parâmetro na avaliação do transporte de sedimentos, e apresentou os resultados a seguir especificados.

VII.1 - Sedimentos do litoral correspondente a praia do Futuro e adjacências

Este trecho de litoral inclui sedimentos coletados nas embocaduras dos rios Cocô e Pacoti, nas praias situadas entre eles e no molhe de retenção dos sedimentos.

A tabela VII.1 mostra a predominância total da fração areia sobre a fração cascalho e silte + argila. Fica comprovado mais uma vez que os rios locais não têm aporte de sedimentos nem apresentam espigão hidráulico (a ser discutido no capítulo VIII) que transportem material para plataforma. O material fino é sedimentado nos mangues que margeiam os estuários.

TABELA VII.1 - Parâmetros estatísticos e texturais dos sedimentos da praia do Futuro e adjacências.

Nº AMOSTRA	Md	Mz	Mi	SKi	Kg	CASC.	AR	S + Ag
1 . B	0,65	0,65	0,70	0,02	1,40	3,36	95,52	1,12
1 . P	0,90	1,00	0,53	0,30	1,27	0,00	99,69	0,31
1 . D	1,00	1,08	0,46	0,30	1,32	0,09	99,60	0,31
2 . B	-0,25	-0,30	0,55	-0,06	1,34	11,74	87,51	0,75
2 . P	0,03	0,08	0,38	0,43	1,52	0,44	99,53	0,03
2 . D	1,30	1,26	0,67	-0,13	1,02	0,61	99,35	0,04
3 . B	2,55	2,49	1,33	0,12	1,32	0,00	92,37	7,63
3 . P	1,39	1,41	0,62	0,09	0,99	0,13	98,75	1,12
3 . D	1,43	1,48	0,49	0,18	4,12	0,34	99,65	0,01
4 . B	1,90	1,78	0,69	-0,24	0,90	0,51	97,91	-
4 . P	2,06	1,85	0,74	-0,33	0,78	0,00	98,98	1,02
4 . D	2,26	2,17	0,44	0,26	1,11	-	99,27	0,73
5 . B	0,75	0,76	1,05	-0,06	0,96	6,29	92,89	0,82
5 . P	1,65	1,60	0,65	-0,03	0,93	0,03	98,20	1,72
5 . D	1,36	1,13	0,48	0,06	0,98	0,03	99,63	0,34
6 . B	0,75	0,68	0,89	-0,07	1,18	2,43	96,70	0,87
6 . P	1,13	1,21	0,67	0,14	0,87	0,00	99,77	0,23
6 . D	1,39	1,38	0,45	0,02	1,29	0,12	99,86	0,20
7 . B	1,19	1,30	0,75	0,18	0,93	0,16	98,39	1,45
7 . P	1,03	1,11	0,40	0,29	0,94	-	99,83	0,17
7 . D	1,39	1,33	0,38	-0,11	1,42	0,06	99,88	0,06
8 . B	0,33	0,25	0,59	-0,19	1,25	4,58	94,42	1,00
8 . P	2,03	2,04	0,57	-0,07	1,44	0,00	99,32	0,68
8 . D	2,06	2,10	0,47	-0,04	1,65	0,00	99,75	0,25
9 . B	1,85	2,03	1,10	0,23	0,86	0,63	94,50	4,87
9 . P	1,80	2,24	1,45	0,47	1,12	0,37	85,59	14,04
9 . D	1,55	1,78	0,96	0,37	1,18	0,49	95,23	4,28
10 . B	1,26	1,30	0,54	0,18	1,04	-	99,20	0,80
10 . P	1,33	1,31	0,41	-0,05	0,86	0,00	99,92	0,08
10 . D	1,55	1,52	0,56	0,00	0,83	0,08	99,86	0,06
11 . B	0,48	0,42	0,71	-0,06	1,42	4,23	94,77	1,00
11 . P	0,95	1,01	0,37	0,25	0,95	0,09	99,65	0,26
11 . D	1,23	1,26	0,64	0,07	1,26	0,03	99,33	0,64
12 . B	1,95	1,94	0,59	-0,03	0,90	-	98,91	1,07
12 . P	1,65	1,59	0,56	-0,13	1,03	-	99,71	0,29
12 . D	1,80	1,75	0,51	-0,15	1,08	0,00	99,56	0,44
13 . B	2,00	2,03	0,55	0,13	1,10	0,04	98,08	1,88
13 . P	1,33	1,32	0,57	0,04	1,01	0,08	99,76	0,16
13 . D	1,46	1,47	0,56	0,15	1,71	-	99,67	0,33
14 . B	1,84	1,64	0,87	-0,14	1,39	-	99,81	1,19
14 . P	1,98	1,96	0,55	-0,14	1,30	-	96,62	0,38
14 . D	1,00	1,20	0,66	0,36	0,72	0,08	99,52	0,40
15 . B	2,51	2,52	0,35	0,23	2,40	-	99,15	0,85
15 . P	2,52	2,57	0,24	0,28	5,60	-	99,51	0,49
15 . D	2,52	2,60	0,22	0,37	4,19	-	99,55	0,45
16 . B	2,58	2,51	0,23	-0,54	2,75	-	99,51	0,49
16 . P	2,73	2,65	0,32	-0,09	0,84	-	98,80	1,20
16 . D	2,95	2,96	0,60	0,15	5,48	-	98,56	1,44
17 . B	0,75	0,72	0,72	-0,01	0,53	3,28	96,02	0,70
17 . P	1,20	1,21	0,59	0,11	1,12	0,22	99,61	0,17
17 . D	0,90	0,98	0,59	0,64	1,19	0,28	99,55	0,17

Md - Mediana

Mz - Valor médio

Mi - Desvio padrão = coeficiente de seleção

SKi - Assimetria

Kg - Curtose

CASC. - Cascalho

AR - Areia

S+Ag - Silte + Argila

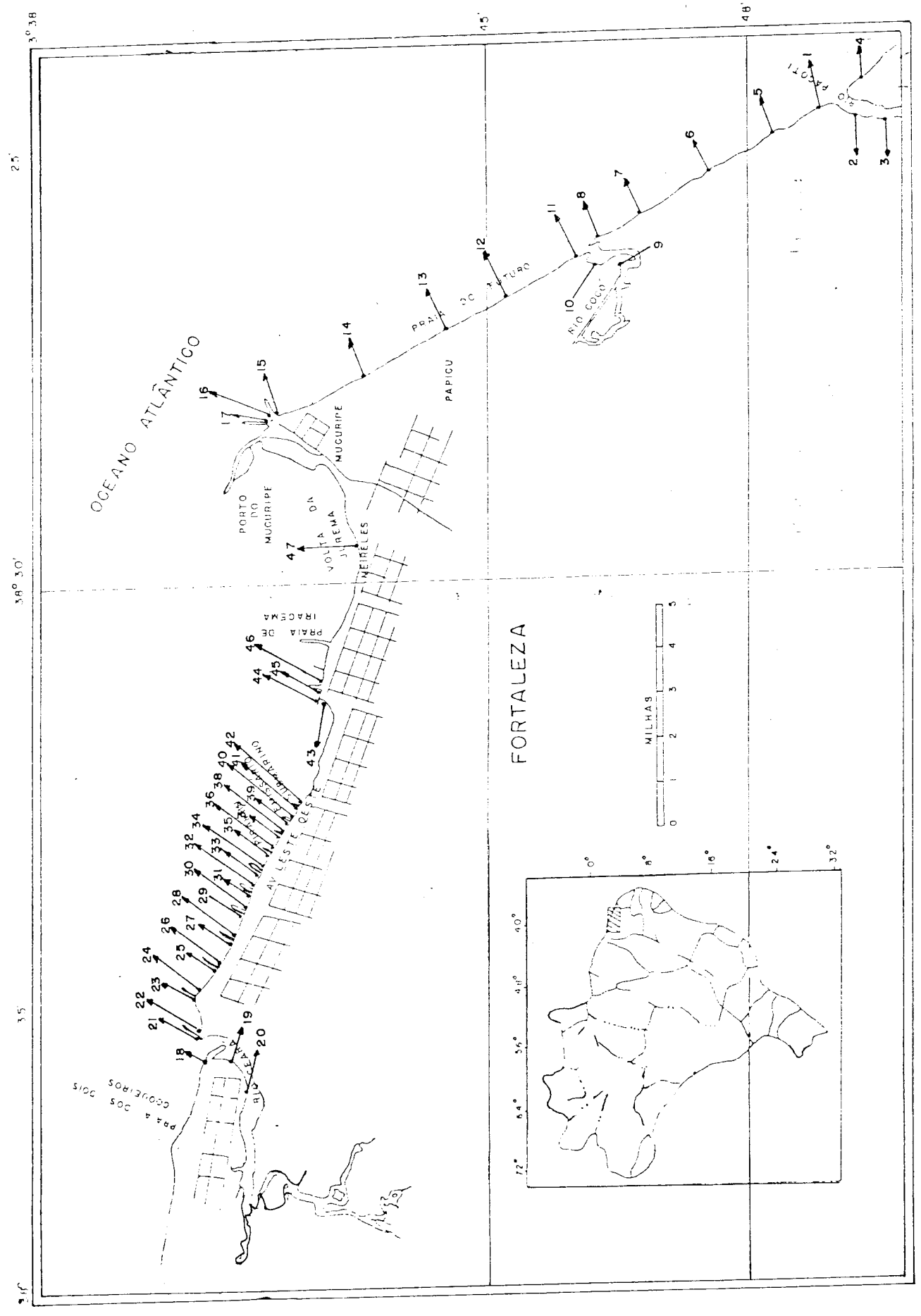


Figura VII.1 - Localização das amostras coletadas nas praias de Fortaleza.

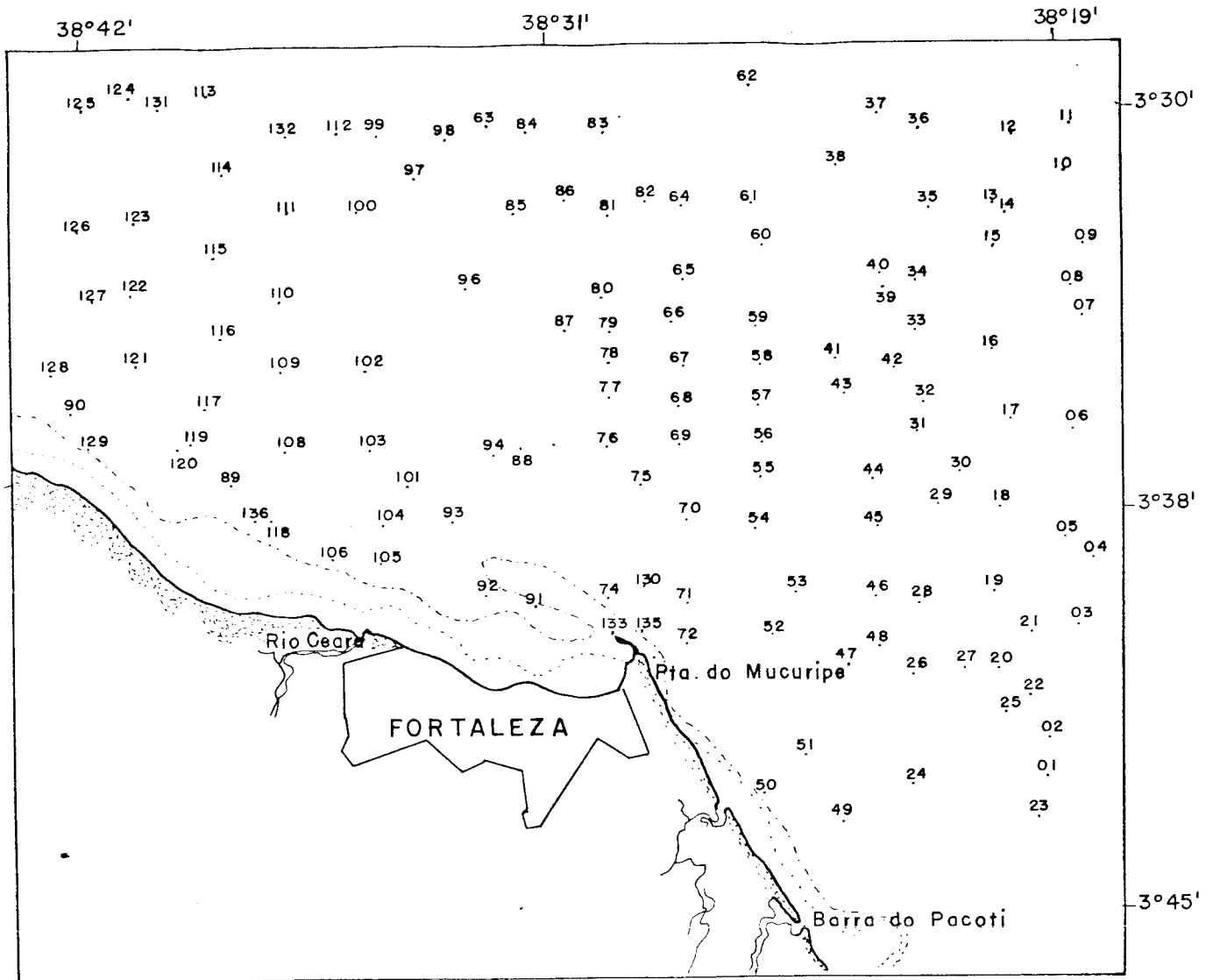


Figura VII.2 - Localização das amostras coletadas ao largo de Fortaleza.

V. 104 n.º 23/95
 BSLCM

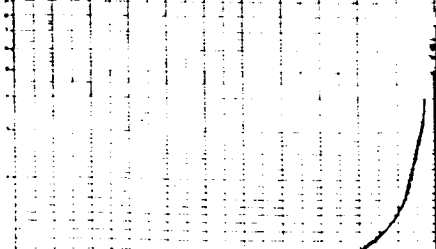
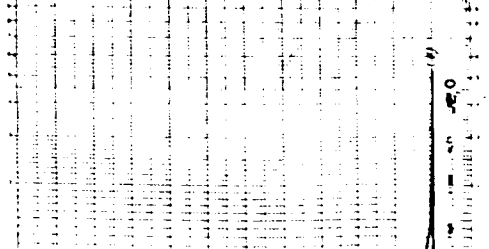
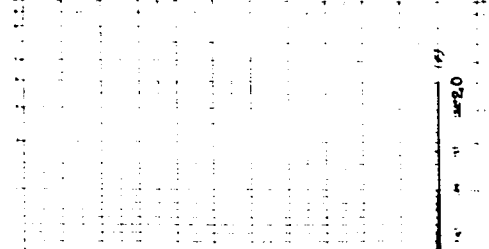
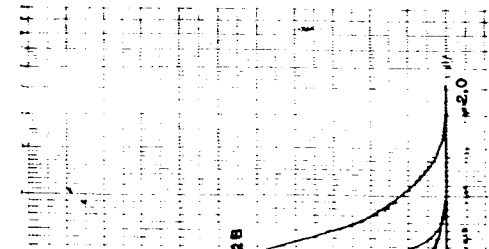
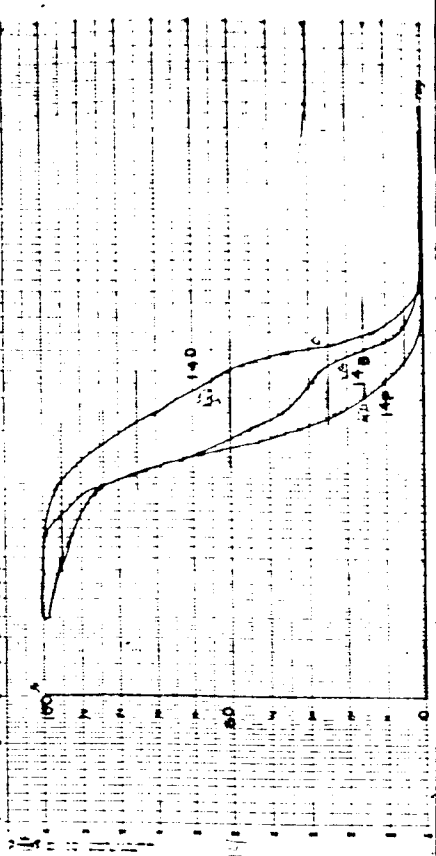
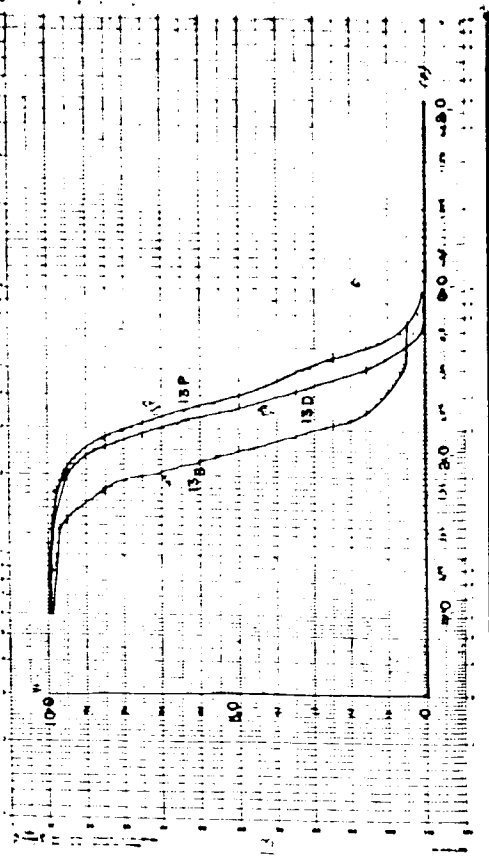
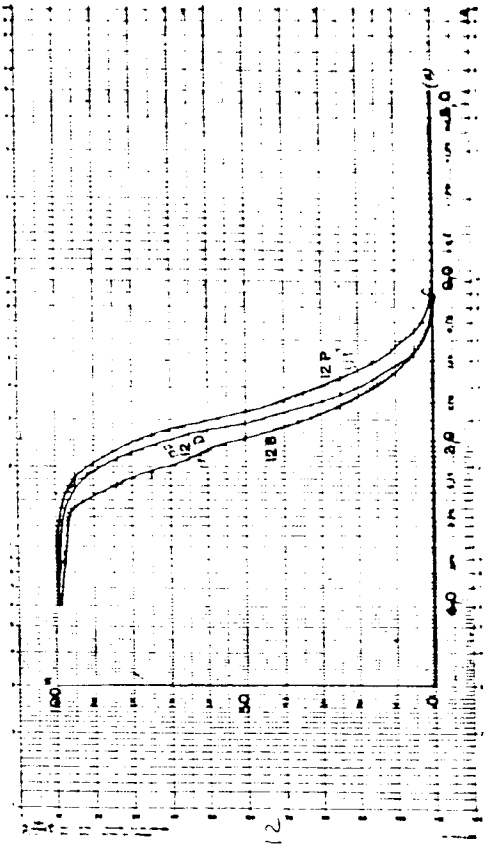
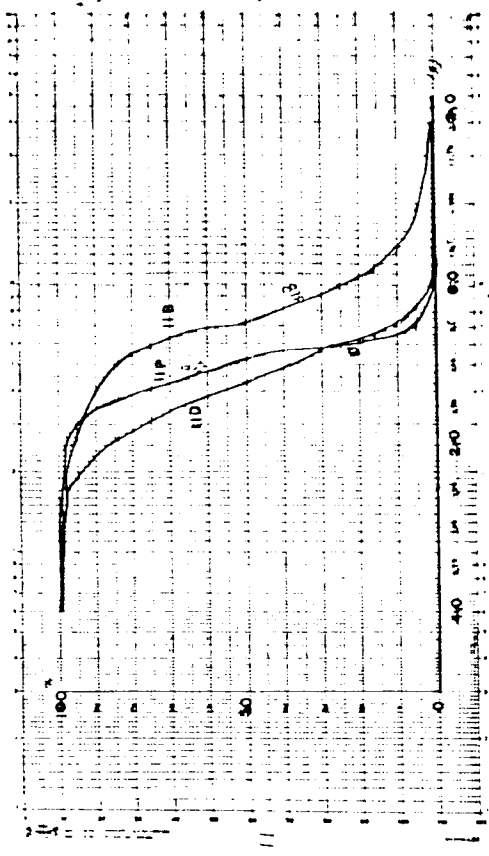
Na figura VII.3 estão as curvas acumuladas representativas deste trecho do litoral. Nota-se uma predominância de areia média nas amostras coletadas nos bermas e linha de maré alta, e areia grossa na zona de maré baixa, representando esta última uma região de maior energia, justamente por ser o local de rebentação de ondas mais frequente. A margem direita tanto do rio Pacoti como do rio Cocó (Curvas 4 e 8 , figura VII.3) apresentam areias de bermas de granulção fina e à linha de rebentação elas se apresentam com granulção média fugindo a característica geral da área, justamente por serem áreas fornecedoras de material para migração de embocaduras e sofrerem retrabalhamento constante. Todas as amostras são unimodais, significando que nesta parte do litoral não há uma alternância marcante no nível de energia.

Na área próxima ao espigão de retenção na praia do Futuro (Curva 15 , figura VII.3) repete-se a mesma situação que acontece a margem direita das embocaduras. O sedimento fino confirma aí, sua acumulação nos locais em que há uma discontinuidade na linha de costa.

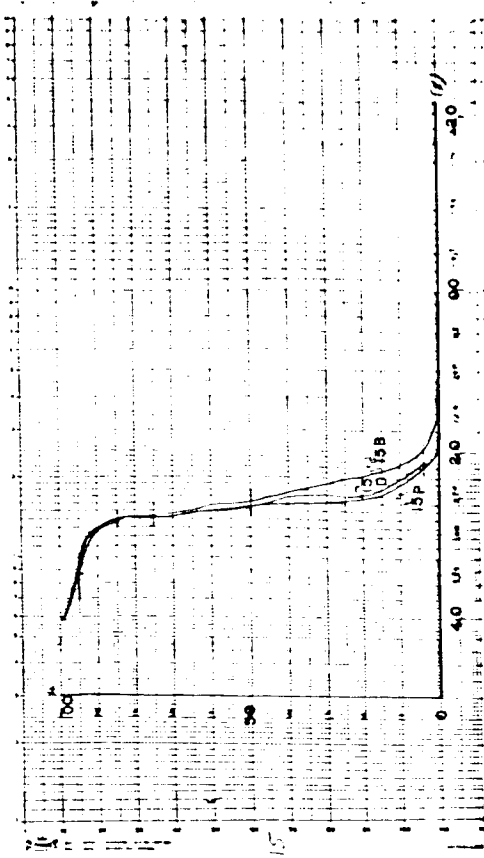
VII.2 - Sedimentos das praias do litoral noroeste

A figura VII.4 mostra as curvas acumuladas dos sedimentos do trecho de litoral compreendido entre a Barra do Ceará e a enseada do Mucuripe, principalmente os acumulados nos lados dos espigões.

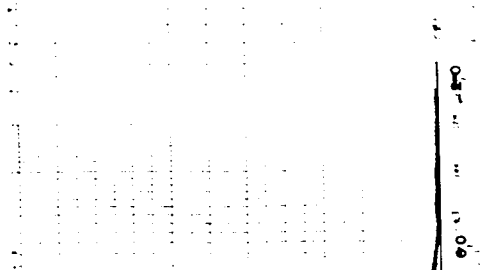
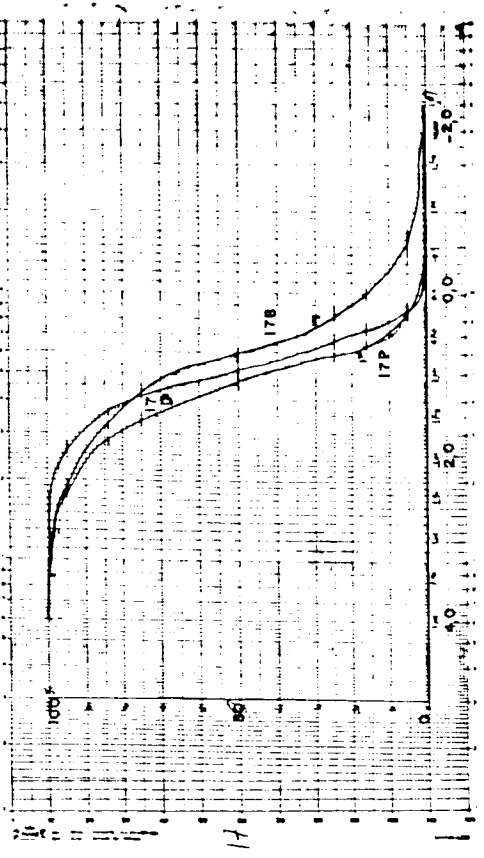
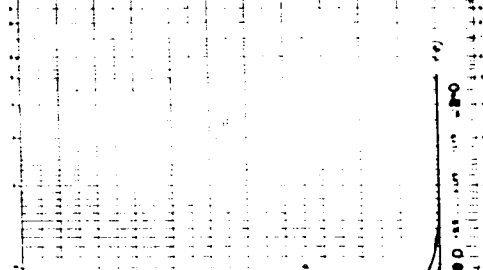
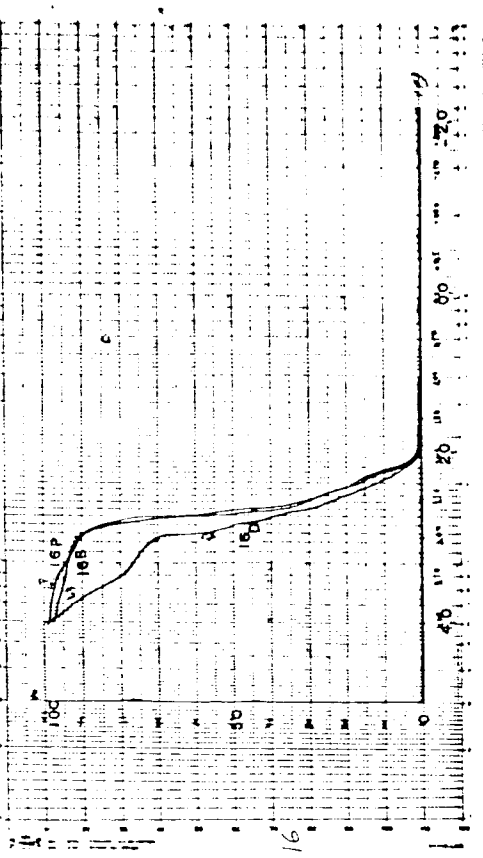
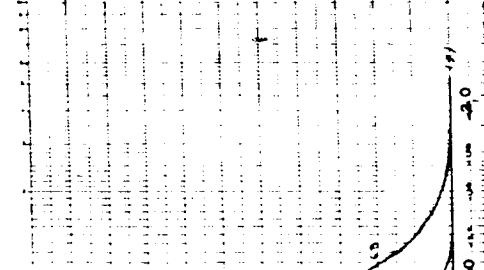
Há muita semelhança entre as amostras representadas pelas curvas 18 e 21 , parecendo que houve de fato uma

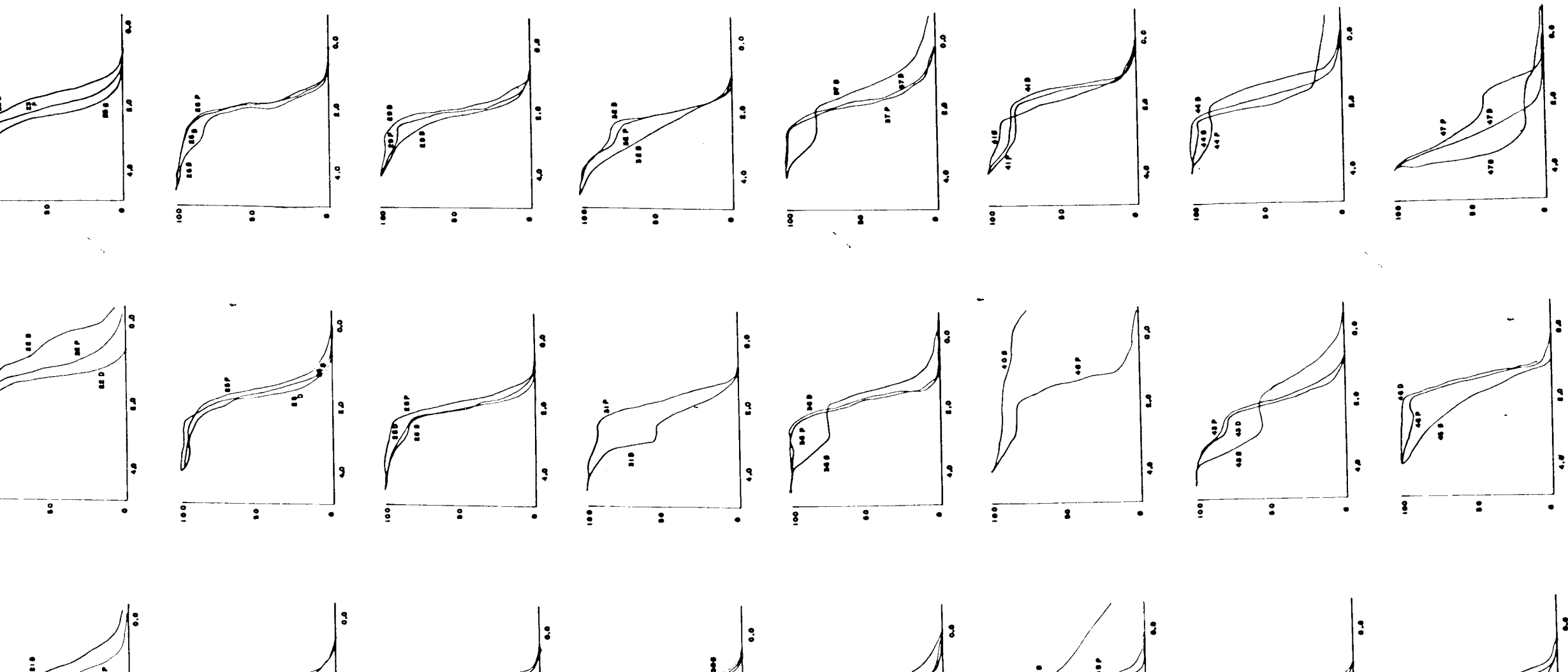


15



16





Figuras 11 - 4 - Curvas acumuladas, representativas dos sedimentos do litoral de Itajaí.

migração e transporte dos sedimentos da margem leste do rio para a oeste.

No restante das amostras há predominância da fração areia média, não acontecendo o fato evidenciado nas praias do lado leste, onde sempre próximo a um espigão havia ocorrência de areia fina. Isto deve estar associado ao fato de haver caminhamento de areias no litoral leste, ao passo que nesta área não há mais caminhamento em virtude dos espigões de retenção. As tabelas VII.2 e VII.3 associam os resultados texturais aos parâmetros estatísticos destes sedimentos que serão discutidos mais adiante.

Somente as amostras coletadas próximo da praia dos Arpoadores apresentam componentes de granulação fina a média. Isto possivelmente está relacionado ao fato da alimentação proveniente das dunas existentes no local.

A maioria das amostras também aqui são unimodais, revelando um nível constante de energia. As amostras 34 e 35 são no entanto bimodais representando esta variação na moda uma variação no tipo de transporte. Aí há transporte eólico em larga escala assim como retrabalhamento pelas ondas locais.

VII.3 - Sedimentos ao largo de Fortaleza

Das 136 amostras coletadas a bordo do Navio Taurus, somente 65 foram analisadas do ponto de vista granulométrico, sendo que as demais foram observadas macroscopicamente.

Isto porque o que se visava neste trabalho era definir os efeitos de arraste dos sedimentos associados à hidro

dinâmica local. As amostras que apresentavam biodetrítos e algas não são representativas para esta finalidade. Além disso as amostras constituídas essencialmente de lama, por sua própria constituição já revelavam o porquê da sedimentação, sem haver necessidade da divisão nas diversas classes de silte e argila.

A tabela VII.4 mostra as amostras escolhidas para análise granulométrica onde se nota a predominância arenosa sobre cascalho e lama no contexto geral da área. Aparecem também biodetrítos à nordeste do molhe do porto e uma nova área siltica argilosa em torno do molhe, onde em épocas anteriores predominava a fração areia grossa. Isto deve-se ao fato de que uma vez retido o caminhamento das areias pelo espigão da praia do Futuro, somente houve transpasse de sedimentos finos em suspensão que depositaram-se naquele local.

A figura VII.5 mostra histogramas dando conta da ocorrência de sedimentos caracteristicamente bimodais nas classes de areia média e areia muito fina. Esta ocorrência da moda muito fina nos sedimentos já é o resultado da construção dos molhes à montante do movimento litorâneo. Portanto as amostras que contêm fração muito fina são mais recentes do ponto de vista deposicional, que as demais.

VII.4 - Parâmetros estatísticos dos sedimentos coletados

O valor modal ou moda representa o diâmetro da partícula de ocorrência mais frequente. É portanto o ponto de frequência mais alta nos histogramas (figura VII.5). As

TABELA VII.4 - Parâmetros estatísticos e texturais dos sedimentos ao largo do município de Fortaleza.

Nº AMOSTRA	LATITUDE	LONGITUDE	Md	Mz	So	SKi	Kg	CASC.	AR	S + Ag
03	03°42'02"	38°17'01"	Bloco de alga calcária							
04	03°40'08"	38°17'01"	0,3	0,4	0,6	0,3	1,54	4,28	93,66	2,06
5	03°39'05"	38°17'18"	3,5	3,0	1,05	0,75	-	3,61	84,83	11,56
12	03°29'05"	38°18'04"	1,5	1,83	1,09	0,59	0,51	0,91	96,66	2,43
20	03°43'25"	38°19'02"	1,4	1,81	0,91	0,5	-	4,44	91,21	4,33
21	03°42'08"	38°18'40"	Areia média biodetrítica							
24	03°46'07"	38°21'04"	1,4	1,73	1,32	0,29	0,44	0,11	98,46	1,43
26	03°43'32"	38°21'03"	1,36	1,25	0,6	0,15	-	0,95	96,95	2,10
28	03°41'04"	38°21'07"	2,2	-	-	-	-	30,25	42,41	27,34
29	03°39'00"	38°20'08"	2,8	-	-	-	-	1,97	92,83	5,20
32	03°36'44"	38°21'01"	Biodetritos							
41	03°35'00"	38°23'05"	1,4	1,83	1,35	0,65	-	0,47	94,26	5,22
42	03°36'21"	38°23'05"	1,75	2,15	1,08	0,32	0,69	-	99,05	0,95
44	03°38'29"	38°22'05"	1,24	1,62	0,61	-0,09	1,44	0,82	97,36	1,82
45	03°39'07"	38°22'07"	0,25	-	-	-	-	23,46	72,68	3,85
46	03°41'17"	38°22'05"	3,2	2,68	1,15	-0,77	-	1,09	89,43	9,48
47	03°43'00"	38°24'02"	1,38	1,54	0,84	0,24	-	0,21	94,81	4,97
48	03°44'05"	38°23'05"	-	-	-	-	-	-	-	-
49	03°47'00"	38°23'06"	3,6	3,57	0,18	-0,035	-	0,49	81,89	17,6
50	03°46'05"	38°25'03"	-0,2	-	-	-	-	36,80	61,44	1,75
51	03°45'00"	38°25'06"	0,7	-	-	-	-	30,44	65,91	3,64
52	03°42'01"	38°25'05"	2,9	2,43	1,31	-0,36	0,82	0,08	99,64	0,26
53	03°41'01"	38°24'09"	0,7	0,8	0,65	0,15	-	12,49	85,67	1,82
54	03°39'05"	38°25'01"	1,1	1,04	0,69	0,01	-	6,28	91,86	1,85
55	03°37'08"	38°25'45"	1,0	1,0	1,41	-0,38	1,47	0,92	97,46	1,61
56	03°37'03"	38°25'04"	1,4	1,68	0,55	-0,15	-	0,38	98,16	1,45
57	03°36'10"	38°24'06"	1,72	2,03	1,45	-0,028	0,84	3,29	96,28	0,42
58	03°35'00"	38°25'09"	Bloco de alga calcária							
59	03°34'00"	38°25'09"	-0,2	0,17	0,99	0,19	-	14,51	82,47	3,02
66	03°34'00"	38°27'07"	1,45	1,68	1,36	0,30	0,62	-	96,93	3,06
67	03°35'01"	38°27'25"	Pouca amostra de halimeda e pequenas conchas e areia média							
68	03°36'47"	38°27'01"	1,3	1,16	0,6	-0,45	1,5	0,84	99,05	0,11
70	03°39'08"	38°27'09"	Lama argilosa cinza escura							
71	03°35'00"	38°23'05"	Fragmentos de conchas							
73	03°42'84"	38°28'07"	Lama argilosa cinza escura							
74	03°41'45"	38°29'32"	1,45	1,86	1,4	0,75	0,75	5,48	91,87	2,65
75	03°38'08"	38°28'04"	Lama siltosa cinza claro							
76	03°37'00"	38°29'00"	3,0	2,5	1,15	-0,55	0,72	0,91	97,52	1,57
79	03°34'30"	38°29'01"	1,5	1,86	1,35	0,55	-	0,11	97,33	2,56
80	03°33'00"	38°29'05"	3,1	2,7	1,12	-0,56	0,64	-	97,72	2,28
87	03°34'08"	38°30'05"	2,8	2,55	1,22	-0,375	-	-	87,04	12,95
88	03°37'00"	38°31'01"	1,40	1,76	0,57	0,01	1,34	0,16	97,84	2,0
91	03°42'01"	38°31'00"	1,66	1,93	0,78	0,425	0,92	0,93	98,29	0,77
92	03°41'01"	38°22'09"	1,75	2,1	1,20	0,51	0,74	1,71	98,22	0,06
93	03°39'09"	38°33'05"	Pouca amostra com cascalho							
94	03°37'00"	38°32'08"	1,85	2,06	1,31	0,31	0,74	4,23	91,60	4,17
96	03°33'06"	38°33'00"	2,5	2,4	1,0	0,0	-	0,60	98,29	1,11
98	03°29'00"	38°33'05"	1,9	2,23	1,09	0,51	0,64	0,07	98,70	1,22
101	03°33'04"	38°34'09"	1,4	1,31	0,51	-0,135	-	0,39	97,71	1,89
102	03°35'01"	38°35'00"	0,2	0,26	1,03	0,13	-	10,23	87,36	2,41
103	03°37'50"	38°35'01"	Conchas grandes em areia fina lamosa							
104	03°39'00"	38°35'01"	3,45	2,91	0,96	-0,65	0,68	0,43	95,76	3,81
105	03°40'50"	38°35'01"	Lama argilosa cinza escura							
106	03°40'03"	38°36'04"	Cascalho diâmetro > 4 mm							
108	03°37'02"	38°37'17"	3,4	3,3	0,45	-0,15	-	-	91,63	8,37
109	03°35'01"	38°37'03"	1,0	0,94	0,71	-0,09	-	7,06	91,18	1,75
110	03°33'00"	38°37'02"	1,2	1,11	0,69	-0,125	1,34	2,00	94,64	3,34
130	03°41'03"	38°29'07"	Lama argilosa cinza escura							
133	03°42'05"	38°29'26"	Lama argilosa cinza escura							
135	03°42'44"	38°28'08"	Lama argilosa cinza escura							
136	03°39'08"	38°38'09"	2,38	2,53	0,5	-0,038	-	0,92	87,38	11,68

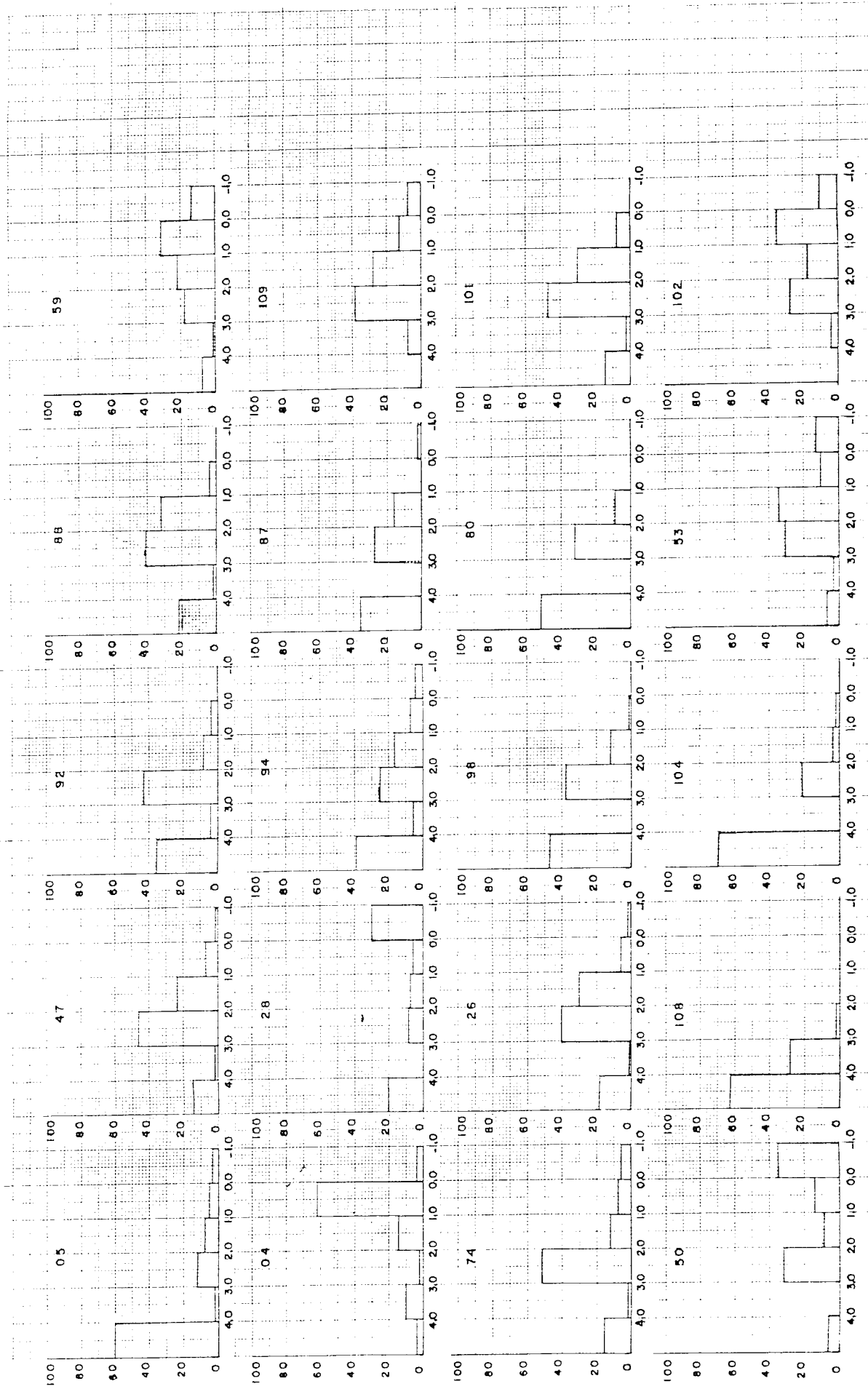


Figura VII.5 - Valores modais representativos dos sedimentos do litoral noroeste de Fortaleza

amostras das praias foram tão uniformes quanto ao aspecto modal que não houve necessidade de traçar curvas de frequência. Apenas as observações visuais nas próprias fichas percentuais preparatórias para obtenção de curvas acumuladas foram suficientes para notar a predominância modal na classe compreendida entre $+1\phi$ e $+2\phi$.

Este valor é muito importante para a gênese do sedimento e estudos de transporte especialmente quando duas ou mais fontes estão contribuindo. Pode-se notar que os valores das amostras são bimodais quando há contribuição do transporte litorâneo e do transporte eólico associados, ou quando a fonte de sedimentos (fragmentos de rochas de praia) interfere para formação de cascalho, ou ainda quando há interrupção no transporte e caminhamento normal de areias modificando os níveis de energia, neste último caso, como acontece atualmente em torno do molhe do Mucuripe.

Os demais parâmetros estatísticos representados pelo tamanho médio dos grãos, seleção, uniformidade, assimetria e curtose serão discutidos a seguir, separadamente. Todos foram obtidos de curvas acumuladas traçadas em papel semi-log.

Folk and Ward, 1957 ; Mason and Folk, 1958 ; Friedman, 1961 e 1962 , disseram que os parâmetros de granulometria, particularmente desvio padrão, assimetria e curtose são critérios úteis na distinção de ambientes tais como rios, praias e dunas. Shepard and Young, 1961 (in Duane, 1964) são de opinião contrária, principalmente em sedimentos terrígenos com quantidade apreciável de biodetritos.

Neste trabalho, a definição deste parâmetros é, no

entanto, muito importante, devido a associação direta com níveis de energia no transporte e deposição de sedimentos.

VII.4.1 - Valor médio e mediana

Somente em sedimentos compostos quase exclusivamente de uma única classe modal a mediana e valor médio são praticamente iguais, como no caso de sedimentos de dunas.

A mediana é o diâmetro correspondente a marca de 50% na curva acumulada, mas não reflete a média geral do tamanho dos grãos por não incluir as extremidades da curva. A melhor medida para avaliar o valor médio dos grãos é o "Graphic Mean" de Folk, 1965, que faz a média aritmética de ϕ_{16} , ϕ_{50} e ϕ_{84} .

A figura VII.6 mostra a distribuição destes valores ao longo das praias da cidade. Apenas confirma os resultados discutidos nos parágrafos anteriores ao referir-se às tabelas VII.1 e VII.2. "As areias finas predominam nas áreas de descontinuidade litorânea no litoral leste, e no litoral noroeste apenas nos locais onde há ocorrência de dunas. A areia grossa predomina nas áreas de maior energia, ou seja nas zonas de rebentação de ondas. O movimento litorâneo no entanto prevalece com o arraste de areia média".

A figura VII.7 mostra a distribuição textural segundo os valores médios das amostras coletadas ao largo da cidade. Estão individualizadas as faixas de biodetritos que são constituídos na maioria de conchas de moluscos e incluímos nesta terminologia para facilitar o traçado da figu

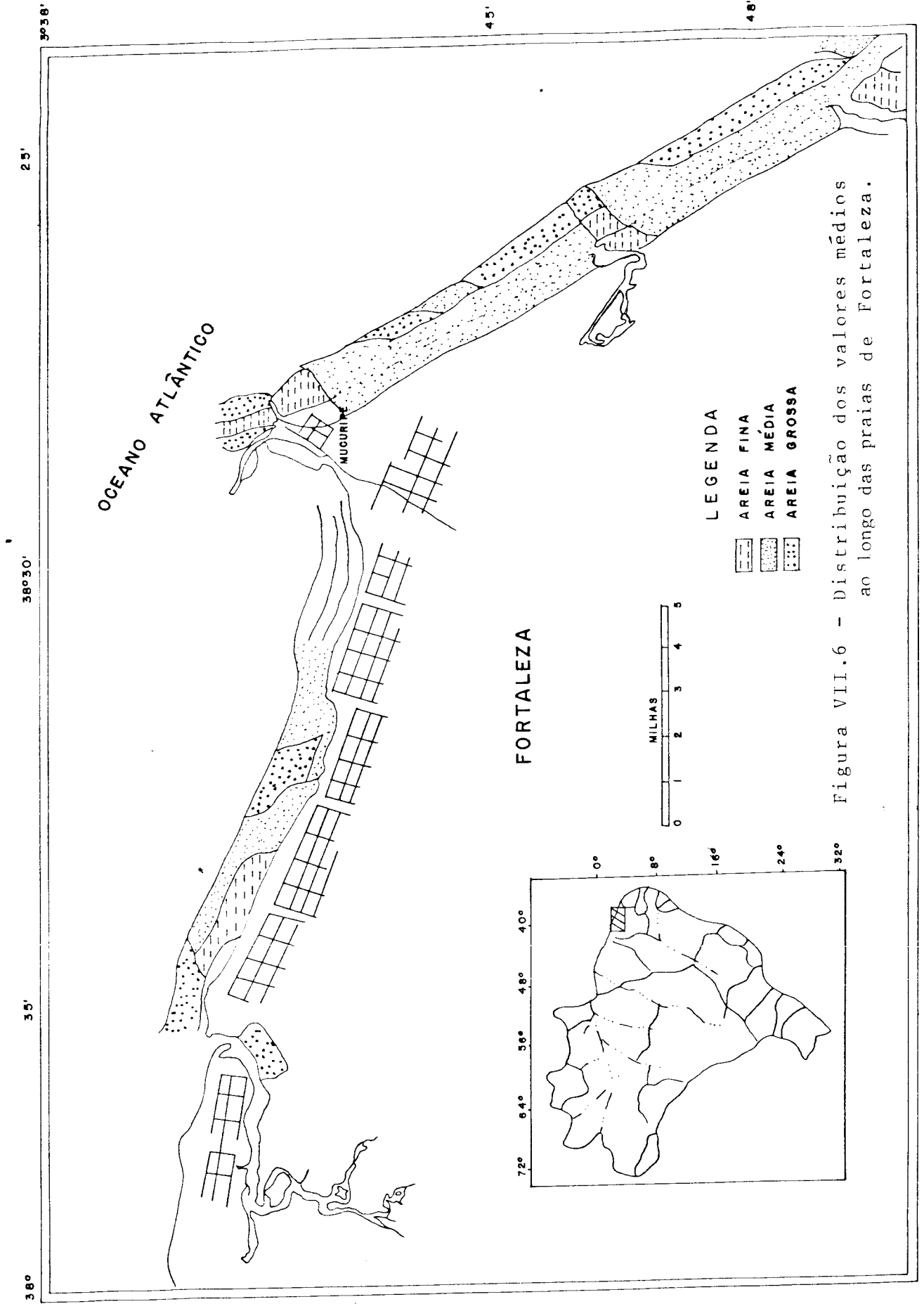


Figura VII.6 - Distribuição dos valores médios ao longo das praias de Fortaleza.

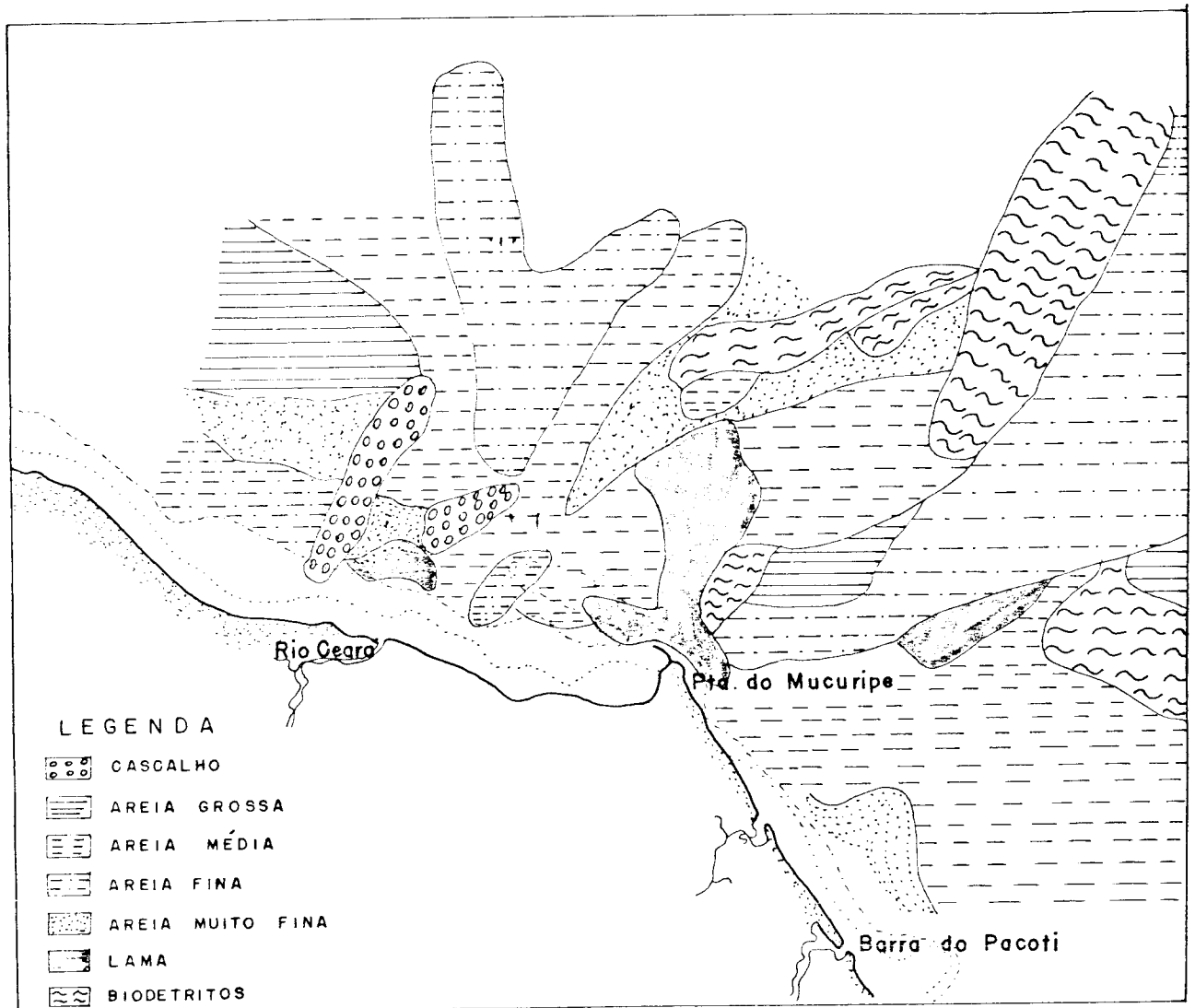


Figura VII.7 - Distribuição dos valores médios ao largo de Fortaleza.

ra, as algas calcárias. A língua de lama formada em torno do molhe do Mucuripe e prosseguindo no rumo oeste acha-se também individualizada. Em frente a enseada do Mucuripe temos a sequência clássica sedimentológica em que os grãos se tornam mais finos a medida que se distanciam da costa, mas na área ao largo do rio Ceará a sequência é inversa. Isto talvez seja devido a ocorrência dos cascalhos e conchas oriundas das rochas de praias submersas.

VII.4.2 - Medidas de uniformidade

Estas medidas tratam do grau de seleção ou uniformidade dos grãos. O coeficiente de seleção de Trask (S_o) foi uma das medidas mais usadas, hoje abandonada por não incluir a seleção nas extremidades das curvas. Considerava os valores em mm. $S_o = \sqrt{M_{25}/M_{75}}$. Uma medida análoga a esta, mas adaptada a escala gráfica é a $QD\phi = \phi_{75} - \phi_{25}/2$. O uso destas medidas para definir uniformidade de grãos só seria conveniente em amostras que predominem em uma mesma classe modal. Em outro caso qualquer elas são totalmente falhas. Por exemplo: uma praia arenosa consistindo essencialmente de areia fina e média, como é o caso da área próxima à embocadura do rio Pacoti, deveria ter o mesmo $QD\phi$ e S_o que um sedimento consistindo de 15% de cascalho e 10% de argila.

Por isto, neste trabalho, adotamos o Desvio Padrão Gráfico de Folk, 1965, que é muito próximo da medida estatística do desvio padrão. É obtida por $M_i = \phi_{84} - \phi_{16}/4 + \phi_{95} - \phi_{5}/6.6$. Esta fórmula inclui 90% da distribuição e é

a melhor medida para esta finalidade. As vezes, neste trabalho, sempre que não foi possível obter os valores de ϕ_5 e ϕ_{95} utilizou-se os valores de $\frac{\phi_{82} - \phi_{16}}{2}$ ou $\frac{\phi_{75} - \phi_{25}}{2}$.

A figura VII.8 mostra a distribuição dos valores de uniformidade nos sedimentos nas praias da cidade.

Nas praias correspondentes a região do litoral leste, a ocorrência de material bem selecionado nas areias de dunas e linha de maré alta intercalado ocasionalmente por areias muito bem selecionadas. Na faixa de rebentação as amostras são moderadamente selecionadas.

Nas praias do litoral noroeste, na altura das praias do Pirambu as dunas são muito bem selecionadas o mesmo acontecendo com os sedimentos da linha de maré alta.

As amostras situadas nos estuários mostram-se pobremente selecionadas a montante dos estuários mas a medida que se aproximam da embocadura tornam-se bem selecionadas a muito bem selecionadas, dando a entender que aí predomina a seleção progressiva.

Russel, 1939, classificou o coeficiente de seleção em dois tipos: um chamado "seleção local" que envolve a seleção das partículas em uma localidade particular de seleção. O outro é a "seleção progressiva" consiste na seleção em direção ao transporte do sedimento. Este último tipo também acontece na praia do Futuro revelando a direção do transporte em direção ao molhe de retenção onde os sedimentos são muito bem selecionados. Os mais importantes fatores envolvidos em ambos os tipos de seleção parecem ser o tamanho, forma e gravidade específica das partículas, e a velocidade,

grau de turbulência e gravidade específica do agente transportador.

A seleção progressiva produz uma diminuição progressiva na granulometria dos sedimentos. Isto pode ser comprovado comparando-se as figuras VII.6 e VII.8 . Por isso é que é sempre conveniente fazer as amostragens na direção do agente transportador, ao invés de aleatoriamente. Esta mudança progressiva tende a ser na granulometria, na forma e na composição mineral dos sedimentos. Duas causas para isto são discutidas. O decréscimo progressivo na competência do agente transportador e queda ocasional das partículas grandes devido a flutuação na competência. No caso da praia do Futuro, a seleção progressiva é devida a última causa, já que as correntes litorâneas tem tendência a aumentar de velocidade até formar as "rip currents" (correntes de concentração, ver capítulo VIII) . Flutuações em competência também devem resultar em um decréscimo progressivo no valor médio, e isto está comprovado na figura VII.6 . Com tais flutuações as partículas maiores só serão movidas ocasionalmente, ao passo que as menores podem ser carreadas até mesmo quando o agente transportador está em competência mínima. Assim as partículas maiores tendem a ficar para trás, dando lugar ao aparecimento da seleção progressiva.

Os sedimentos situados atualmente em torno do molhe do porto, com granulação muito fina e valores de uniformidade muito bem selecionados, possuem também grãos de esfericidade bastante baixa para a fração que representam. Esta relação aí, não é local, ela é também progressiva, mas não devido

ao fato de estarem situados a jusante do transporte (figura VII.9) . Ela é devida a forma das partículas. Quando o transporte é em suspensão, e neste caso o é, já que não há mais caminhamento das areias devido ao espigão de retenção, grãos de esfericidade baixa também vão se concentrar corrente abaixo e no lugar da deposição final.

Em algumas áreas da praia dos Arpoadores e Goiabeiras os sedimentos apresentam-se bem selecionados. Mas aí evidentemente predomina o transporte por rolamento. Os grãos dos sedimentos são bem arredondados, proveniente de retrabalhamento do Grupo Barreiras mostrando inclusive fragmentos de rochas sedimentares, bem esféricos. Os fragmentos esféricos, rolam mais rápido que os achatados e distanciando-se destes selecionam-se melhor.

Ao largo de Fortaleza a seleção local é comum perto dos bancos de algas e biodetritos, onde apresentam-se de moderado a pobremente selecionados.

A uniformidade dos grãos de acordo com o tamanho, forma e gravidade específica também tende a produzir variações na composição mineral dos sedimentos. Não nos foi possível determinar a composição mineralógica em detalhe, por não termos tido condições de utilização de equipamentos (eletroímã) que em tempo hábil para apresentação deste trabalho, nos desse resultados confiáveis. Mas assim mesmo foi dada uma olhada geral nos grãos já depois de separados em bromofórmio. Parece que a medida que a seleção vai aumentando em direção aos sedimentos mais finos há uma concentração maior em minerais pesados menores. A seleção progressiva de acordo com

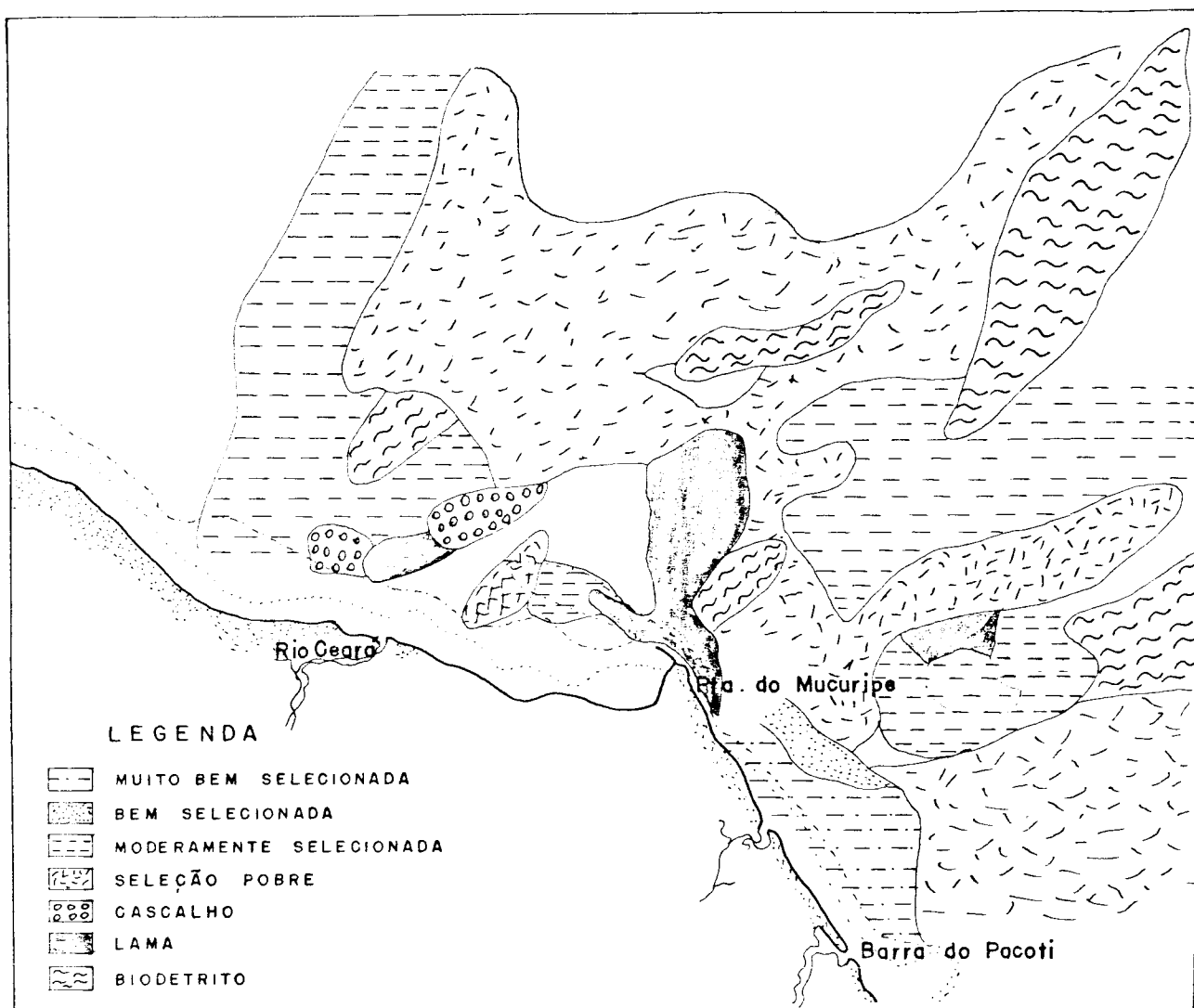


Figura VII.9 - Distribuição dos valores de seleção dos sedimentos ao largo de Fortaleza.

a gravidade específica pode levar a efeitos opostos. Minerais como magnetita e ilmenita, por exemplo, são menores do que os principais constituintes na rocha mãe e também mais pesados. Seleção progressiva de acordo com o tamanho, leva obrigatoriamente a um decréscimo progressivo na ocorrência destes minerais, mas se a seleção for de acordo com o peso específico leva a um progressivo decréscimo.

Existem áreas no porto do Mucuripe com quantidades apreciáveis de hornblenda dominante entre os minerais pesados (ver capítulo IX) . Isto, de alguma forma deve estar relacionado com a afirmação de Pettijohn and Ridge, 1933 , in Russel, 1939 , que as areias transportadas ao longo de praias mostraram um aumento progressivo dos minerais pesados de baixa esfericidade, tais como hornblenda e hypersteno, e um decréscimo correspondente na acumulação dos minerais mais pesados e mais equidimensionais (granada, magnetita e ilmenita).

Friedman, 1962 , comparou em detalhe que o coeficiente de seleção de Trask, 1930 ; Inman, 1952 , e Folk and Ward, 1957 , com o desvio padrão, uma medida de momento. Friedman conclui, após comparar todos os dados que a medida usada por Folk and Ward (a usada neste trabalho) correlaciona mais próximo com o desvio padrão. Duane, 1967 , fez comparações com as medidas estatísticas de Trask, 1930, Inman (1952) , Mason & Folk (1958) e Shepard and Young (1961) e mostrou variações numéricas semelhantes àquelas notadas por Friedman, ou seja, o coeficiente de seleção usado no presente trabalho é o que se aproxima mais da realidade.

VII.4.3 - Medida de assimetria

Esta medida marca exatamente o valor da mediana em relação ao valor médio. O resultado com valor positivo indica que o sedimento tem um acúmulo em excesso na fração fina. Se for negativo significa que a assimetria está relacionada ao excesso da fração grossa.

Uma das fórmulas bastante usadas é o $SK_q \phi = (\phi_{25} + \phi_{75} - 2 Md \phi) / 2$. Sua desvantagem é que mede a assimetria somente na parte central da curva. Inman, 1962, estabeleceu a assimetria gráfica $SKG = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}) / (\phi_{84} - \phi_{16})$. Este valor cobre 68% da curva. Neste trabalho foi usada a fórmula de Folk (inclusive Graphic Skewness) que cobre 90% de curva e é expressa pela fórmula seguinte:

$$SK_1 = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2 \phi_{50}}{2 \cdot (\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{5} + \phi_{95} - 2 \phi_{50}}{2 \cdot (\phi_{95} - \phi_{5})}$$

Quanto mais o valor da assimetria se distancia de Zero, maior o grau de assimetria e dependendo do sinal positivo ou negativo maior excesso em finos ou grossos respectivamente.

A figura VII.10 mostra os valores de assimetria distribuídos ao longo das praias de Fortaleza. Na praia do Futuro predominam os sedimentos simétricos ou assimétricos finos nas áreas de maré alta e dunas, ao passo que na área de rebenetação os sedimentos são assimétricos grosseiros. As frações assimétricas muito finas depositam-se a barlar dos

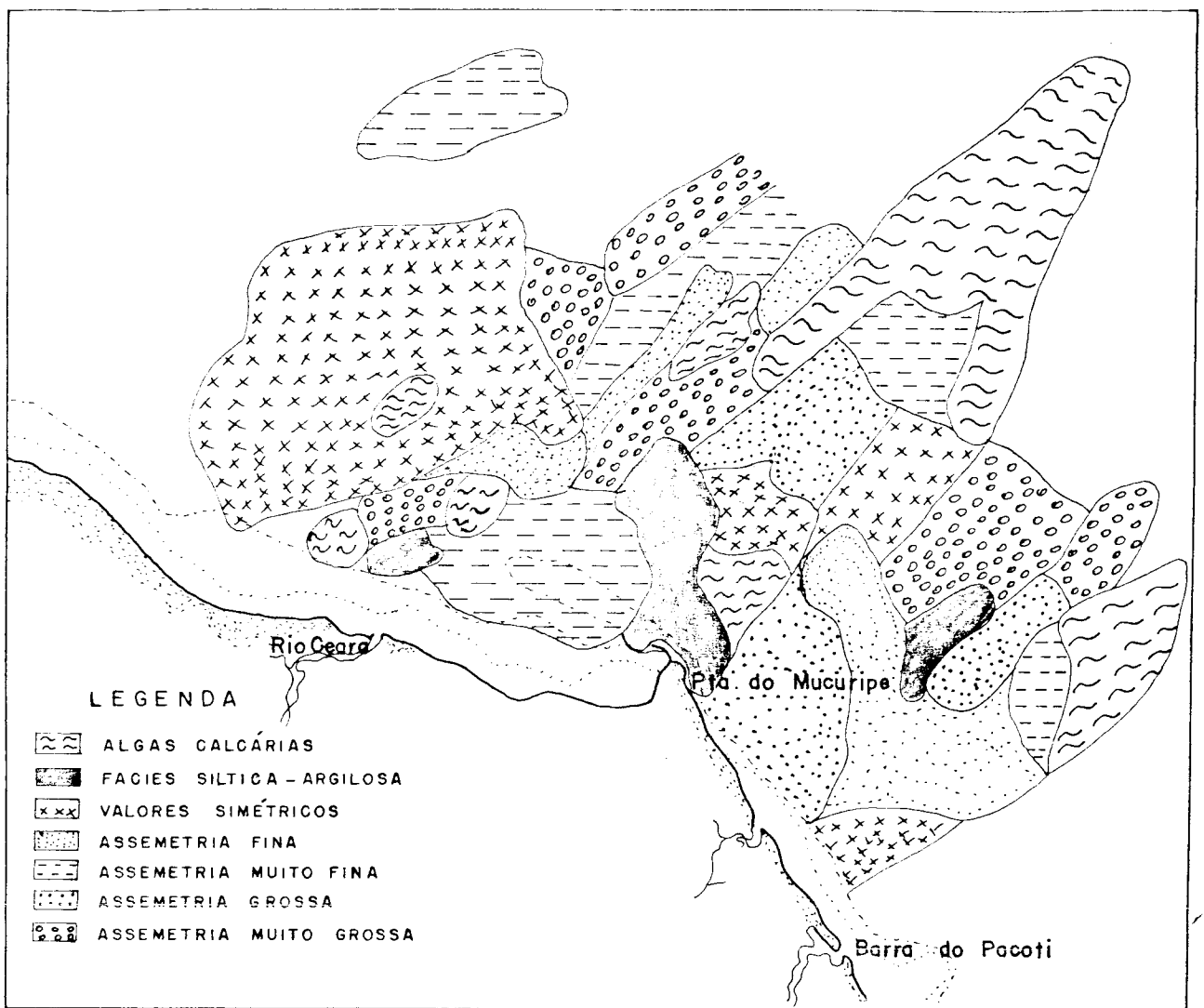


Figura VII.11 - Valores de assimetria ao largo de Fortaleza.

a predominância de sinal positivo ou negativo (tabelas VII.1, 2 e 3) . As diferenças de sinais apenas notificam diferenças locais e ocasionais.

VII.4.4 - Curtose

Este é um parâmetro muito útil na determinação da concentração da uniformidade dos grãos dos sedimentos, ou seja, mede a razão entre a seleção das pontas da curva e porção central. Se a porção central é mais bem selecionada que as pontas a curva é chamada leptocúrtica. Se a seleção nas pontas predomina a curva é achatada e chamada platicúrtica.

A medida de curtose usada neste trabalho é o curtose gráfico:

$$K_g = \frac{\phi 95 - \phi 5}{2.44. (\phi 75 - \phi 25)}$$

Esta fórmula responde a seguinte pergunta: Para uma dada distribuição entre os pontos $\phi 25$ a $\phi 75$ quanto é a deficiência ou excesso da distribuição $\phi 95$ a $\phi 5$?

Curtose, portanto, mede o afastamento da curva normal. Para curvas normais $K_g = 1$. Curvas leptocúrticas tem $K_g > 1$. Exemplo: uma curva que tem $K_g = 2$ tem exatamente duas vezes a distribuição nas pontas da curva do que teria para o intervalo $\phi 25 - \phi 75$, sendo portanto mais pobremente selecionadas nas pontas que na parte central.

As figuras VII.12 e VII.13 mostram os valores de curtose distribuídos ao longo das praias e ao largo de Fortaleza. Os valores encontrados associam-se inteiramente aos

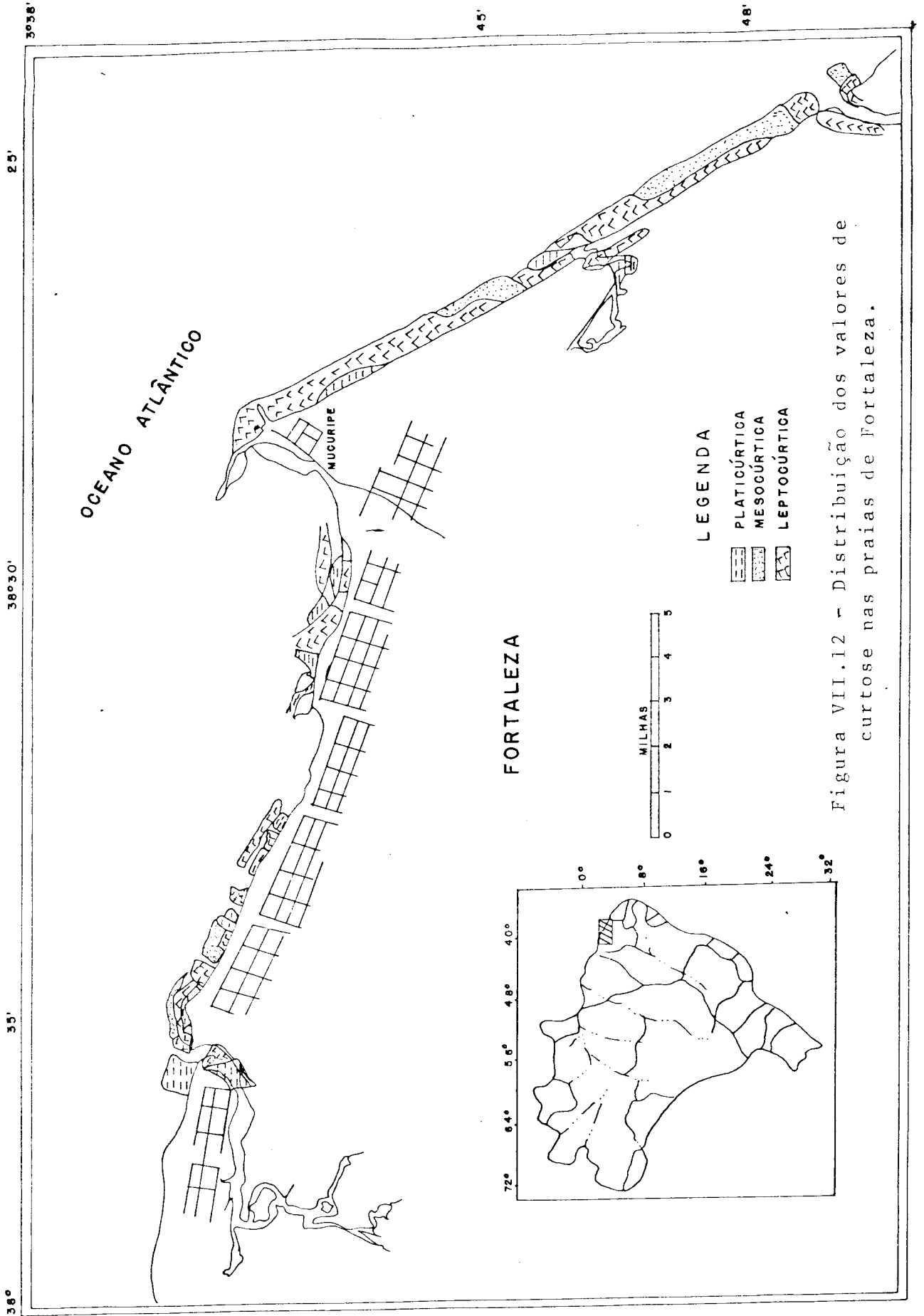


Figura VII.12 - Distribuição dos valores de curtese nas praias de Fortaleza.

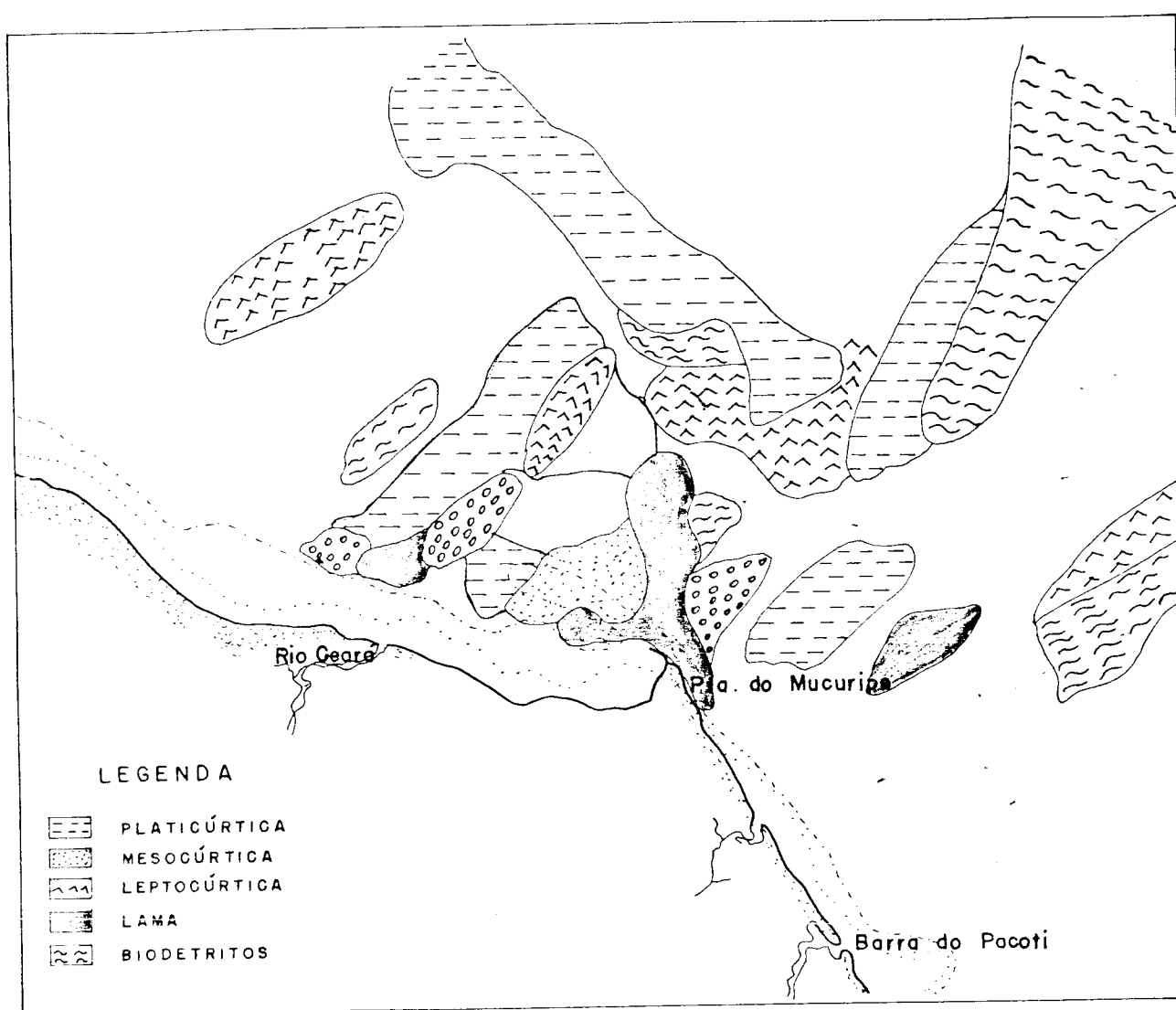


Figura VII.13 - Distribuição dos valores de curtose ao largo de Fortaleza.

valores dos coeficientes de seleção. O ponto mais alto de valores leptocúrticos é exatamente onde há maior concentração em uma só classe modal, perto do espigão de retenção e na faixa próxima a extremidade do molhe do Titã. Em ambos está representada a boa seleção dos grãos dos sedimentos exatamente nas partes centrais da curva. Nas amostras ao largo predominam os valores leptocúrticos. Os valores mesocúrticos em larga escala que ocorrem nas praias podem indicar as áreas de turbulência pelo vento e pelas ondas.

VIII - TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

A avaliação do transporte de sedimentos pode ser feita através de fórmulas teóricas baseadas nas características das ondas tais como altura, período, ângulo de ataque, e na morfologia das linhas batimétricas. As fórmulas de Castanho (1975) e Caldwell adaptam-se perfeitamente a esta finalidade. Não foi tentado neste trabalho o cálculo do transporte global dos sedimentos da área por falta de dados sequenciados e confiáveis.

Portanto, este capítulo trata apenas dos tipos de transporte que ocorrem na costa de Fortaleza sob o ponto de vista qualitativo e do transporte baseado nos dados de erosão e assoreamento discutidos no capítulo IX .

VIII.1 - Tipos de Transporte

Os tipos predominantes de transporte de sedimentos na costa de Fortaleza são o transporte litorâneo e o transporte frontal, sendo o primeiro muito mais intenso que o segundo.

O transporte litorâneo é o transporte paralelo a costa, realizado pelas ondas na zona de rebentação, devido a direção oblíqua de incidência sobre as praias. Desempenha papel importantíssimo na conformação da costa, e como veremos no capítulo IX deste trabalho, foi a principal causa do engordamento e erosão das praias no decorrer das últimas décadas.

O transporte frontal, é devido a incidência perpen

dicular das ondas sobre as praias, levando sedimentos do largo para a praia e vice-versa. Este tipo de transporte ocasiona o engordamento (perfil de verão) ou emagrecimento (perfil de inverno) que em escala anual pode resultar em transporte nulo, desde que o perfil de praia se mantenha em equilíbrio (Pitombeira, 1973) .

Para estes dois tipos de transporte de sedimentos, como vimos, as ondas desempenham papel fundamental de acordo com o seu ângulo de incidência sobre a praia. Quanto aos efeitos das ondas sobre os sedimentos, elas são consideradas como vagas (sea) e ondulações (swell) . Vagas, quando se encontram ainda na zona de geração, chamada fetch, sob a atuação constante dos ventos. Tem, por este motivo grande altura e comprimento de onda pequeno. As ondulações, têm comprimento de onda grande e alturas bem mais baixas, e estão fora da zona de geração.

Quando as cristas das ondas são paralelas à linha da costa, dá-se o ataque frontal, e o acúmulo das águas que atravessam esta linha provoca uma carga contrária com o retorno de águas para o largo, para manter o equilíbrio do volume d'água que passa em um e em outro sentido. Isto é observado principalmente nos meses de janeiro e fevereiro nas praias de Meireles e Iracema. Quanto mais forte o ataque maior possibilidade de retorno intenso das águas carreando material provocando erosão, e dando lugar ao perfil de emagrecimento (perfil de inverno) .

Quando as cristas das ondas tem direção oblíqua à linha de costa, o movimento resultante é paralelo a costa, o

transporte do sedimento é em dente de serra, e as águas apesar de permanecerem acumuladas em movimento de deriva paralelo a costa terão que retornar ao largo de algum modo, já que não poderão ficar permanentemente acumuladas junto à costa. A presença de barras submersas, embocadura de rios, ou mesmo a variação saliente das curvas batimétricas, provocam o retorno das águas, sob forma de correntes de concentração ("rip currents") . O valor máximo de velocidade do transporte litorâneo acontece exatamente no local de formação das correntes de concentração, e, portanto, quanto mais espaçadas forem as correntes de concentração, maiores valores de velocidades são atingidos pelas correntes litorâneas.

A batimetria adjacente a linha de praia é importantíssima no que se refere a rebentação das ondas. A medida que a profundidade vai diminuindo, causa um aumento na altura da onda e diminuição no seu comprimento, até que a onda torna-se instável e rebenta. A rebentação poderá ser progressiva ou mergulhante, dependendo da ação do fundo e do vento. Um perfil de praia suave favorece a rebentação progressiva (Matos, 1978) , e grandes inclinações no gradiente de praia e batimétricas adjacentes, favorece a rebentação mergulhante.

Os fundos marinhos adjacentes as praias também influenciam na direção das ondas causando uma rotação das cristas procurando torná-las paralelas as curvas batimétricas. Isto produz uma diferença de velocidade de propagação em vários elementos da onda, resultando numa deformação que é chamada de refração de ondas.

Outro tipo de deformação de ondas importante no

assoreamento e erosão é a difração de ondas que ocorre no mo
lhe do porto do Mucuripe e que será discutida no capítulo IX .

VIII.2 - Migração das embocaduras dos rios Ceará, Cocó e Pacoti.

A migração de embocaduras de rios são devidas essencialmente ao transporte litorâneo dos sedimentos, que exerce grande influência sobre a conformação, estabilidade e topografia geral da costa. Este transporte se processa na zona situada entre a rebentação e a linha de costa e na zona de espraiamento situada acima da linha de costa. Esta última zona, evidentemente, sofre ação dos ventos que em Fortaleza atuam ajudando diretamente o transporte de sedimentos e migração de embocaduras. O transporte pelas águas é feito por arraste em movimento de dente de serra (zigue-zague) . Se a capacidade das ondas não variar ao longo da costa, e a composição dos sedimentos for aproximadamente uniforme, há um equilíbrio dinâmico que poderá manter a praia em conformação estacionária. Isto acontece, em parte, com a praia do Futuro.

Na zona situada entre a rebentação e a linha de costa, o material é transportado pela corrente longitudinal tanto em suspensão como em arraste sobre o fundo.

VIII.2.1 - Rio Ceará

A embocadura do rio Ceará (figura VIII.1) mostra o comportamento deste transporte litorâneo procurando manter a continuidade da costa, tendendo a fechar a embocadura. Isto está também bem representado na figura VIII.2a , fotografia aérea tirada antes de 1972 , quando o movimento das

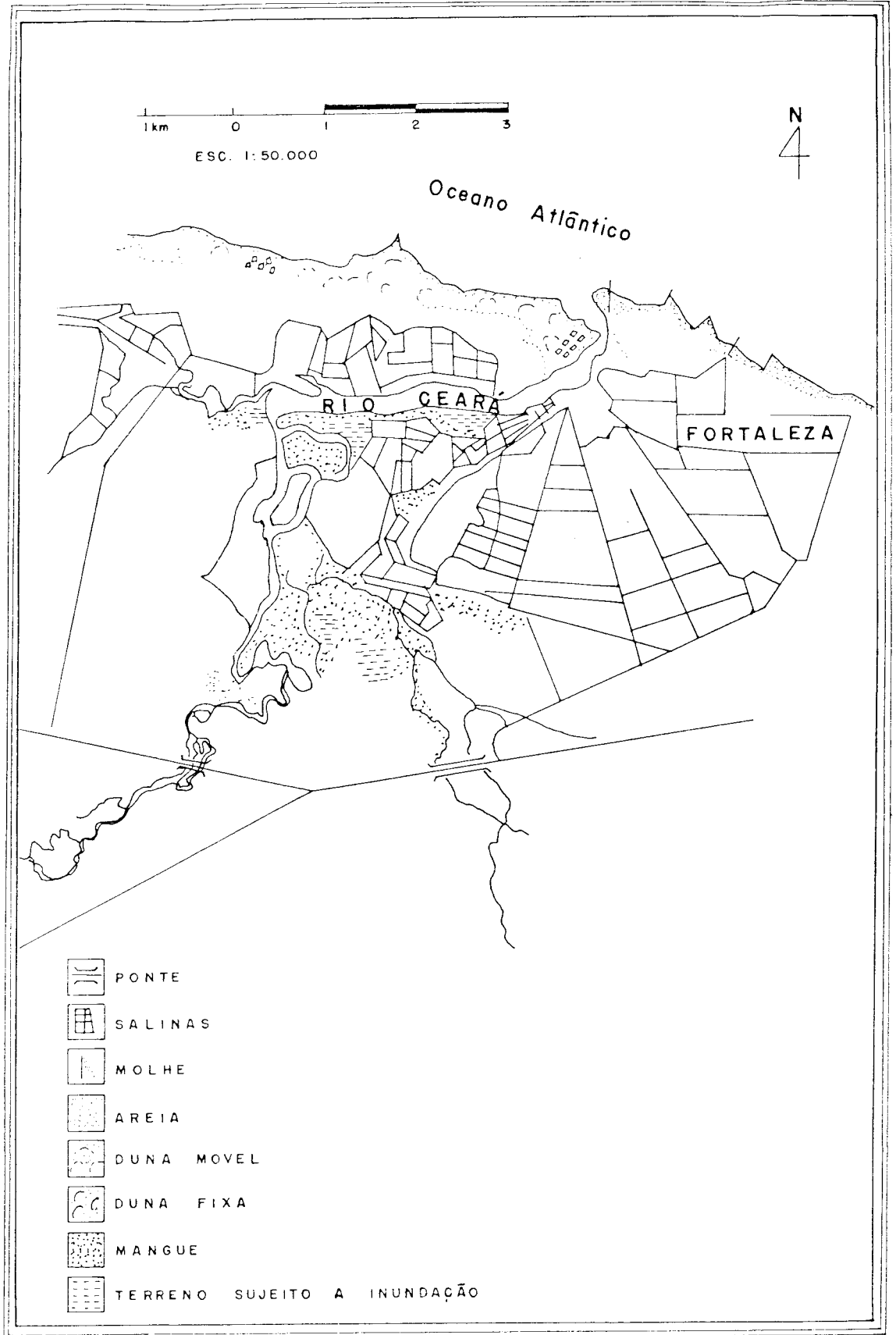


Figura VIII.1 - Migração da Embocadura do Rio Ceará.

areias continuava fechando a embocadura. Nota-se perfeitamente a incidência oblíqua das ondas provocando o movimento longitudinal, e o comportamento do transporte litorâneo que procura manter a continuidade da costa em contraposição ao escoamento fluvial que procura afastar para o largo os sedimentos transportados pelas ondas. Esta situação foi modificada pela implantação de molhes no litoral oeste da cidade. Os sedimentos são retidos a barlamar da embocadura devido ao efeito do espigão hidráulico formado pelo rio, mas uma parte destes sedimentos transpõe a embocadura ajudada pelas barras submersas que agem como ponte de ligação entre as duas margens do rio. Há, portanto, um visível desequilíbrio a sotamar da embocadura entre a capacidade de transporte e o volume de sedimentos que está sendo efetivamente transportado, ocasionando uma erosão a sotamar e o progressivo aumento da margem a barlamar da embocadura. O escoamento fluvial favorece também a erosão da margem a sotamar, resultando a migração dos sedimentos no sentido dominante do transporte litorâneo, causando a migração da embocadura.

A figura VIII.2b , mostra o comportamento da embocadura após a construção dos espigões de proteção a margem direita (oeste) do rio. Devido a presença destes espigões, a migração da embocadura foi contida e a que persiste ainda no sentido de sudeste para noroeste é em pequena escala. A antiga barra apresentada na figura anterior foi rompida pelo escoamento do rio que passou a se comportar como canal bem mais estreito. Começou a haver erosão na margem direita interna do rio e sedimentação na margem esquerda, ou seja, um

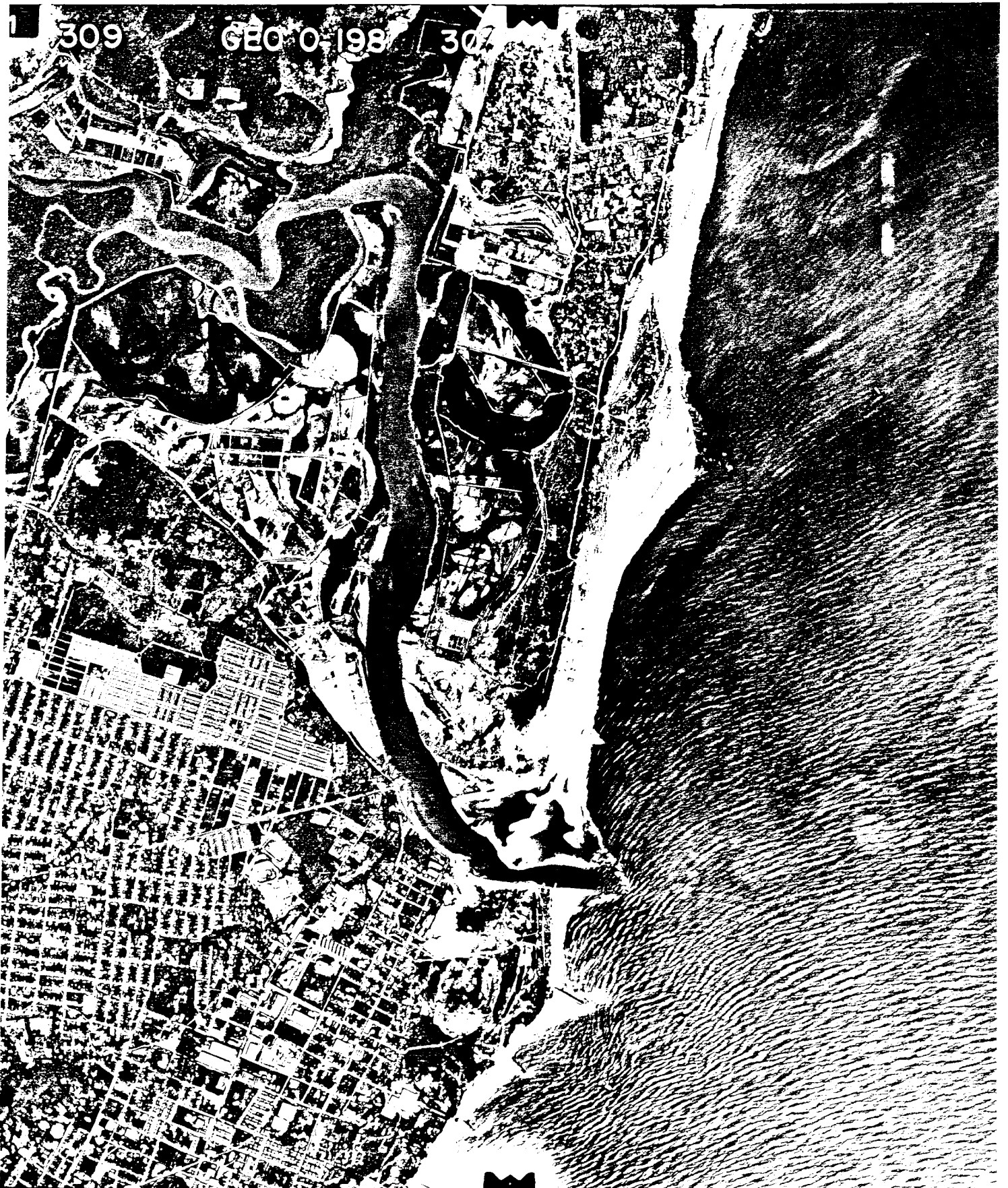


Figura VIII.b - Comportamento da embocadura do rio Ceará depois da construção dos espigões de proteção.

comportamento inteiramente contrário ao que ocorria antes. A migração dos sedimentos para a margem esquerda se deu pela ação do transporte frontal ajudado pela ação das marés. Em frente a embocadura, mas ao largo desta, formou-se uma sequência de barras que atuam como ponte que mantem o transporte litorâneo, porém em pequena escala. Comparando-se ainda as duas figuras (figuras VIII.2a e VIII.2b) observa-se que o escoamento do rio foi facilitado depois da construção do molhe, o que proporcionou o desaparecimento do braço represado no ponto A , hoje já soterrado.

A figura VIII.3 mostra uma sequência de fotografias tiradas a bordo do helicóptero no mês de maio deste ano, mostrando portanto o comportamento atual da embocadura. O canal que comporta o atual leito do rio na embocadura age como espigão hidráulico espalhando os sedimentos para o largo, mas os sedimentos que conseguem o transpasse acumulam-se na margem esquerda interna do estuário. As praias a esquerda do estuário sofrem contínua erosão pelo ataque frontal das ondas.

VIII.2.2 - Rio Cocó

A figura VIII.4 mostra o percurso do rio Cocó, com suas respectivas canalizações que não atingiram sua embocadura. A ação do transporte dominante na embocadura é também de sudeste para noroeste. O transporte litorâneo refletido na figura VIII.5a mostra que o rio está procurando um novo caminho de abertura para o mar. O "spit" de sedimentos que aparece na margem esquerda é o testemunho de migração antiga de



Figura VIII.3 - Migração atual nas embocaduras do Rio Ceará (acima) e Pacotí (embaixo). Veja a formação nítida de canal no Rio Ceará e a formação de barras no Rio Pacotí.

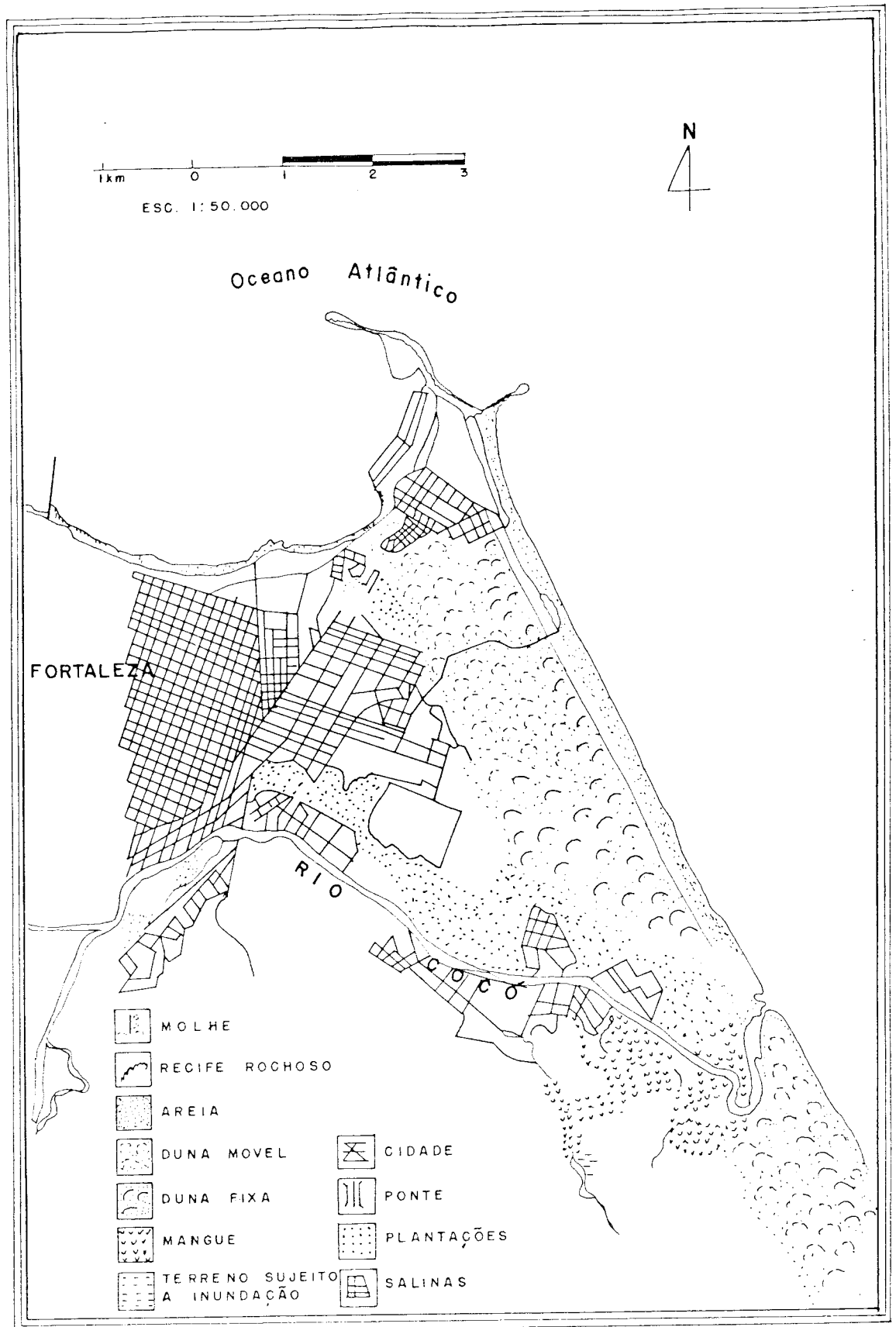


Figura VIII.4 - Migração da Embacadura do Rio Cocó.



Figura VIII.5a - Comportamento da migração da embocadura do Rio Cocó há uma década.

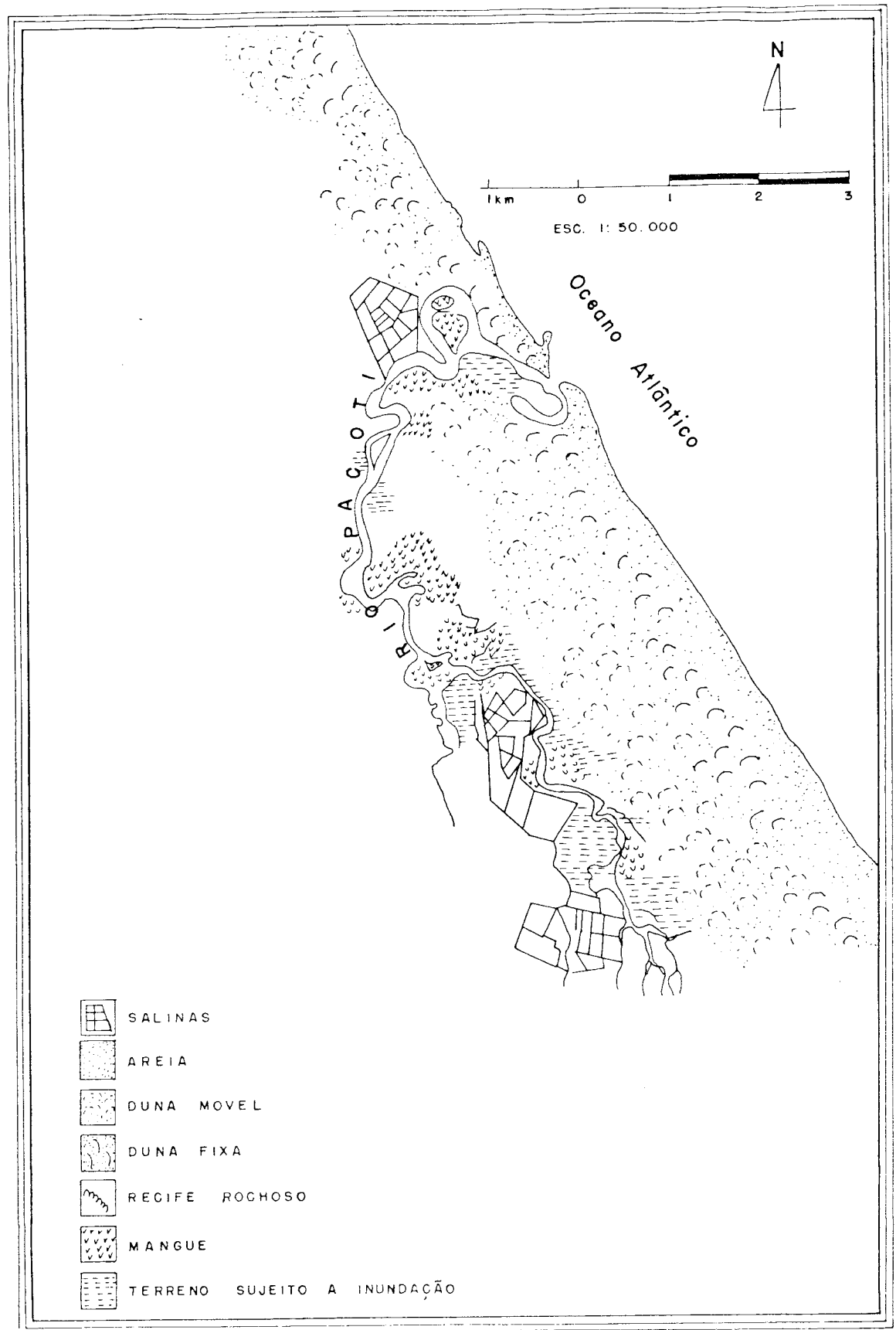


Figura VIII.6 - Migração da Embocadura do Rio Pacoti.

a deposição do sedimento ocasionando a formação de barras frente a embocadura (Castanho, 1956) . Estas barras, na embocadura do Rio Pacoti favorecem a continuação do transporte litorâneo rumo ao Porto do Mucuripe.

A figura VIII.7 apresenta o comportamento atual dos processos de sedimentação e transporte nesta embocadura. Há um processo incipiente de migração.

A embocadura do rio estava anteriormente bem mais a noroeste (esquerda) da atual, o que se evidencia na exposição de um braço morto do rio e um antigo "spit" já fixado pela vegetação costeira. Uma quantidade grande de barras expostas em maré baixa formou-se ao largo da embocadura o que irá facilitar sobremaneira a deposição dos sedimentos ao longo do spit da margem direita do rio. (Figura VIII.8) .

Figura VIII.7 - Comportamento atual da embocadura do Rio Pacoti.



Figura VIII.8 - Comportamento da migração da embocadura do Rio Pacoti há uma década.

IX - SEDIMENTAÇÃO E CONTROLE AMBIENTAL

Os fatores que controlam a sedimentação em ambientes transicionais e costeiros podem ser divididos em controles de ordem primária e controles dependentes. (Duane, 1976). A topografia pre-existente, o quadro climático-hidrológico, a história do nível do mar e o influxo dos sedimentos terrestres constituem os controles de ordem primária. São fatores independentes um do outro e já foram tratados com detalhe em capítulos anteriores. Os controles dependentes são as ondas e correntes resultantes, topografia e batimetria coexistentes (resultantes dos processos de erosão e sedimentação locais), influência de organismos e também química do mar.

A intensidade e distribuição da frequência dos controles primários determinam as principais características de um ambiente transicional como o regime ondulatório, escoamento terrestre e a vegetação. Sabemos que o movimento ondulatório associado a escoamento terrestre e fixação de dunas por vegetação têm influência direta no transporte litorâneo dos sedimentos. Esta influência direta é um resultado da topografia pré e coexistente, ventos, correntes de marés, hidrodinâmica local.

O assoreamento de um porto ou a modificação de morfologia de enseadas são sempre o resultado de uma interrupção no caminhamento de sedimentos transportados no fundo ou em suspensão até o ponto de acumulação. A fonte dos sedimentos relacionados ao assoreamento varia em diferentes locais, podendo ser resultado de ação de rios como é o caso do Porto

da cidade do Recife em Pernambuco, ou resultado do transporte litorâneo em movimento ondulatorio e correntes, como é o caso do Porto de Mucuripe, em Fortaleza. O conhecimento da taxa de transporte destes sedimentos determina o controle ambiental para frequência de dragagens no porto e os trabalhos de recomposição de praia a juzante da interrupção do transporte litorâneo.

IX.1 - Sedimentação e engenharia costeira

O planejamento de obras de engenharia em áreas costeiras deve considerar o material a ser empregado e as forças a que devem sujeitar-se, e sobretudo também as modificações que o material introduzirá nos processos de sedimentação natural que operam na costa. (Palmer, 1976) .

As escalas de tempo de interesse para um estudo essencialmente geológico, diferem daquelas empregadas para engenharia costeira e geologia ambiental. Para o primeiro caso a escala varia de centenas a bilhões de anos enquanto no segundo caso é de segundos a poucas décadas.

Nos capítulos que se seguem serão tratados os problemas de sedimentação, erosão transporte e deposição na área costeira considerando a escala de algumas décadas. Foram desprezadas as partes essencialmente de engenharia costeira como a discussão sobre resistência de materiais, e a parte essencialmente geológica como mudanças das feições geomorfológicas de plataforma pela variação do nível do mar.

A construção do Porto de Mucuripe, a recomposição da Praia de Iracema, os problemas de erosão e sedimentação nas Praias Formosa, do Arpoador, Goiabeiras e Barra do Ceará (figura I.1) , e o comportamento sedimentológico da Praia do Futuro e seus aspectos ligados a geologia ambiental são os principais assuntos dos próximos capítulos.

IX.1.1 - Modelo da evolução sedimentar do Porto do Mucuripe

IX.1.1.1 - Histórico

Com a finalidade de melhorar as condições de embarque e desembarque de passageiros e de movimentação de mercadorias, foi construída em Fortaleza, em 1807 a primeira ponte trapiche, de caráter provisório, por isso mesmo substituída por outra em 1857 munida de guindastes e carretas sobre trilhos (Meyell, 1930) . A simples construção deste trapiche, nas proximidades do atual poço da draga, sobre estacas de madeira provocou o assoreamento da área e em 1870 já não se podia embarcar em maré baixa. Foi tentada então desviar a ação das areias com a construção de uma muralha na Praia do Meireles e fixação de vegetação nas dunas.

Em 1818 o Cel. Paulet apresentou a primeira planta (croquis) do porto (figura IX.1) e vários projetos foram discutidos (Oliveira e Borges, 1866 ; Pimenta Bueno, 1869 ; Charles Neat, 1870 ; Barroso e Foster, 1866) , sendo que este último foi quem teve a primeira idéia da implantação do porto na Ponta do Mucuripe.

Em 1874 Sir John Hawkshaw fez levantamentos hidrográficos e sondagens geológicas, o que resultou em um projeto (figura IX.4) que constava de um quebra-mar de pedra, argamassado com cimento com 670 m de extensão., disposto em dois alinhamentos retos: o primeiro com 480 m seguia a linha dos recifes quase paralelo a costa, e o segundo partindo do seu extremo tinha rumo E-W , paralelo a praia e com extensão de 190 m a 450 m da costa e ligado a terra por um via duto curvo de ferro. Aprovado o plano com as devidas altera

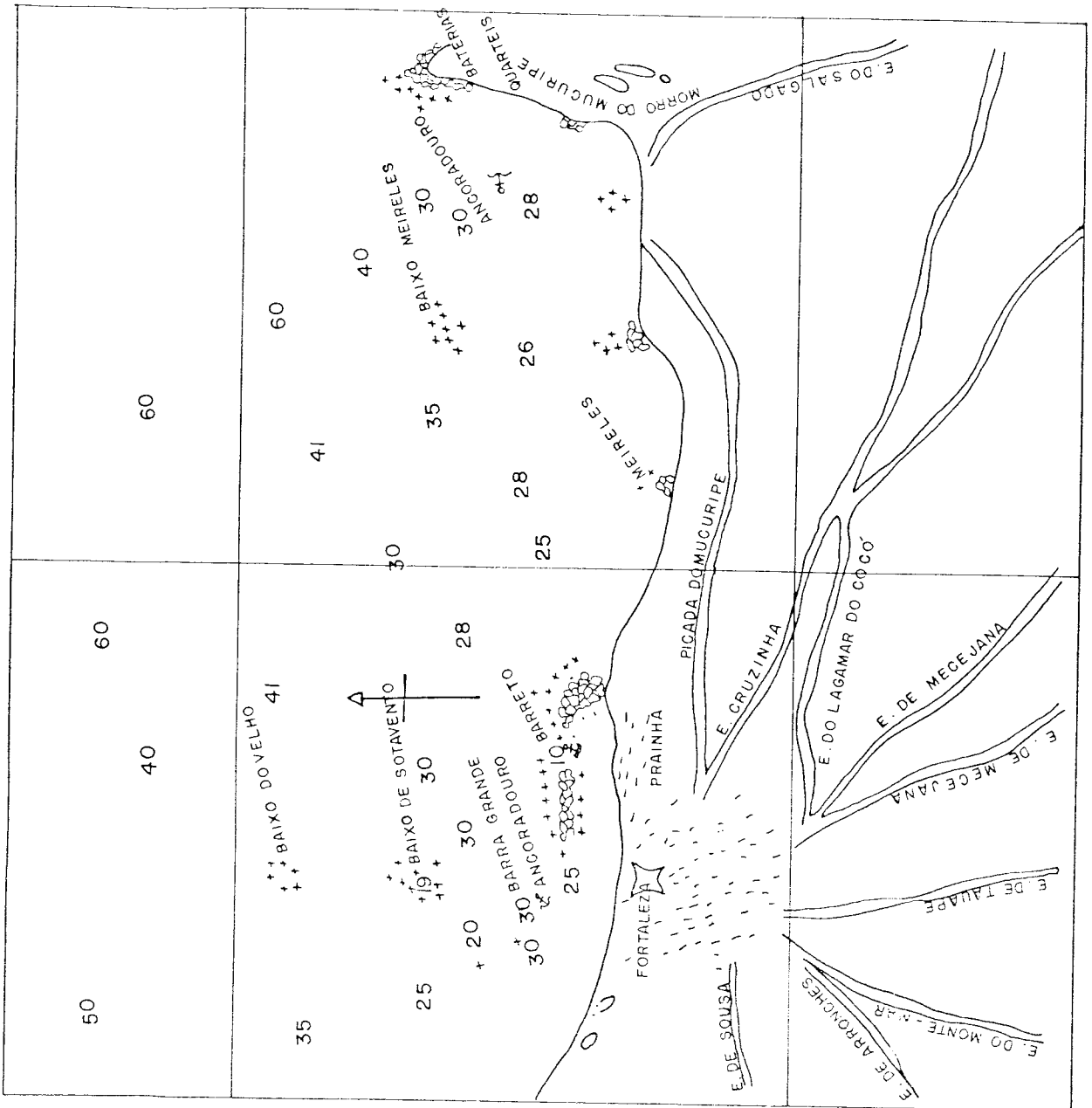


Figura IX.1 - Planta croquis da área do Porto do Mucuripe datada de 1810.

ções proposto por Honorio Bicalho foi criada em Londres a companhia "The Ceará Harbour Corporation Limited". A medida que a construção da muralha era efetuada um forte assoreamento ia se processando, chegando a formar uma restinga ao longo do lado leste da muralha enquanto que um banco de areia enchia quase completamente a bacia. Em 1899 esta muralha tinha 350 m, e fez recuar a linha de baixa mar, antes a 130 m da avenida para 530 da mesma, isto é, 400 metros para o mar. Tentou-se amenizar estes processos de sedimentação por construção de diques através da muralha. Alfredo Lisboa, 1889, J. Bruce, 1891, Saboia e Silva, 1896 propuseram várias modificações na construção da obra, sendo que o último propôs um prolongamento do quebra-mar rumo a WSW fazendo um ângulo de $22^{\circ}30'$ com a direção da vaga na extremidade da muralha. Em 1908 a Comissão Bandeira procedeu minuciosos estudos na área desde a Barra do Ceará até a ponta do Mucuripe. Foram os estudos mais completos até então efetuados (Meyll, 1930). Ele delimitou três faixas de transporte de sedimentos na área correspondente as profundidades de 3 a 5 m, 6 a 8 m e 10 m, e concluiu pela edificação de várias obras que dirigissem para o canal de acesso grande parte das correntes que corriam dispersas por sobre os recifes, e protegessem a entrada do porto da vaga que normalmente vem da direção $N57^{\circ}E$, e promoveu a fixação das dunas do Mucuripe. Os projetos da Comissão Bandeira eram muito caros e não conciliava com o pequeno desenvolvimento econômico do Estado àquela época. Em 1920 o Engenheiro Lucas Bicalho Inspetor Federal dos Portos, propôs uma solução mais viável economicamente. O projeto constava de

um molhe quebra-mar em fundos de 8 a 9 metros com 470 m de comprimento e 55 m de largura ligado a terra por um viaduto em concreto armado a 360 m da muralha Hawkshaw e com 800 m de extensão. A firma Norton Griffitts, contratada para execução das obras chegou a fazer apenas 255 m de ponte com estrado em cimento armado e 70 metros de estocada. Em 1926 o Comandante Álvaro Vasconcelos propôs a construção de uma bacia no interior do quebra mar Hawkshaw. A Inspetoria dos Portos aceitou a sugestão, elaborando no entanto, um projeto que melhor satisfizesse as necessidades da navegação (ampliou os cais) . Finalmente ficou o Porto de Fortaleza constituído de dois piers estreitos sobre estacas metálicas, distantes entre si cerca de 400 m e protegidos a oeste pelo quebra-mar Hawkshaw.

Como se pode notar todos esses projetos partiram do princípio de que havia uma linha de recifes a 100 metros de distância da praia com rumo WNW em uma profundidade média de 3 metros. Estes recifes, constituíam abrigo parcial impedindo que a vaga em maré baixa se propagasse livremente até o porto, e poderiam ser alteados até o nível de preamar o que melhoraria as condições de abrigo da área. Inicialmente com a mesma idéia de quebra-mar isolado da terra estavam Pimenta Bueno, Paulo de Oliveira, Teixeira Coimbra, Klingelhofer, e com a idéia de ligarem o quebra-mar a terra, Charles Neat e Hawkshaw. Os projetos subsequentes apresentados também não se completaram por dificuldades técnicas e/ou financeiras, e em 1930 passou-se a considerar em definitivo a idéia da construção do porto na ponta do Mucuripe.

O plano geral para o Porto do Mucuripe consistia na construção de um cais com 1.550 m de extensão colocado paralelamente ao litoral a 250 m da linha de baixa-mar, e uma série de 4 molhes paralelos de 120 metros de largura, afastados de 200 metros, constituindo portanto 4 docas em que os navios poderiam atracar de um e outro lado de cada molhe. O último molhe seria protegido por um quebra-mar de pedras logadas de cerca de 1.500 m de extensão partindo da cota +5 da ponta rochosa do Mucuripe com a direção NW até a profundidade de -9 m . Os últimos 125 m seriam construídos em curva de 300 m de raio, sendo o seu cabeço disposto em forma de martelo para dificultar o efeito de contorno das ondas pelo porto.

O projeto foi bastante discutido e em 1938 foi definitivamente aprovado constando dos seguintes itens: a) Um quebra-mar inteiramente constituído de enrocamentos, com 1.400 m de comprimento, até a profundidade -10 m; b) Um cais constituído sob tubulações de concreto armado, com um comprimento de 420 m e um cais de atracação para petroleiros, localizado ao longo da parede interna do quebra-mar.

A construção do porto de Mucuripe foi realizada no período 1940-45 . Durante a construção surgiu o problema de erosão na praia de Iracema, e assim que terminou a construção dois problemas fundamentais surgiram: a) o quebra-mar principal foi rapidamente assoreado, e o cais dos petroleiros não teve condições de funcionamento; b) o cais principal estava mal protegido das ondas de nordeste.

Passou-se então a considerar a idéia de estudos em modelo reduzido em laboratório para testar alternativas para prolongamento do molhe. O primeiro estudo foi realizado na França em 1953 , com a finalidade de proteger o porto contra a penetração das areias e de diminuir a agitação das águas no seu interior, principalmente diante do cais principal. Os estudos foram realizados no Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique de Grenoble, o que resultou na implantação de um espigão de retenção das areias na praia do Futuro e o prolongamento do molhe original. Isto, associado as dragagens periódicas efetuadas na enseada e bacia de evolução, amenizaram as dificuldades. Em 1968 , o INPH , órgão de pesquisas criado em 1959 pelo extinto DNPVN atual PORTOBRÁS, realizou seu primeiro estudo em modelo para recuperação da praia de Iracema. Este modelo foi aproveitado para em 1971 dar soluções definidas quanto a implantação do novo cais petroleiro. Em 1974 , já havendo transpasse de sedimentos no espigão da Praia do Futuro, foram realizados estudos em canal de ondas, para o seu prolongamento. Em julho de 1980 iniciaram-se os trabalhos de tubulação do pier petroleiro e as dragagens de 2 milhões e quinhentos mil metros cúbicos de sedimentos que deverão ser aproveitados na recomposição da Praia de Iracema. O cais pesqueiro situado na extremidade leste do cais vem funcionando normalmente desde janeiro último.

IX.1.2.1 - Evolução dos fundos

A figura IX.1 , que exhibe a planta croquis da área do porto em 1918 evidencia a linha de recifes perto da Praia que servia de ancoradouro e local para onde todas as idéias de construção de um porto convergiram, na tentativa de construir uma muralha sobre estes recifes.

Segundo planta levantada em 1825 pelo capitão Imperial do cordo de engenheiros João Bloem (figura IX.2) verifica-se que as profundidades na enseada eram bem menores com um banco de areia estendendo-se na praia até os recifes de Meireles. Ao norte dos recifes também havia uma região bastante rasa, constituída de areias depositadas sobre recifes soterrados mais ao largo. A isôbata de 4 metros limitando o banco do Meireles achava-se afastada 630 metros do litoral.

Estas profundidades persistiam ainda no ano de 1832 , quando o Tenente de Marinha Joaquim Lucio dos Santos fez uma planta do porto (figura IX.3) onde a isôbata de 1 metro afastava-se 550 metros do litoral.

Em 1875 , Sir Hawkshaw fez os levantamentos hidrográficos-batimétricos e começou a construção do porto de Fortaleza. O assoreamento foi rápido em torno da muralha Hawkshaw (figura IX.4) a praia estendeu-se em direção ao mar, diminuindo as profundidades locais. Comparando estas duas últimas figuras verifica-se que no ponto H que estava a 2 metros de profundidade, hoje existe um bairro muito populoso, e na figura IX.4 , a Fortaleza de Nossa Senhora da Assunção que deu o nome a cidade, achava-se a 160 metros da linha de maré alta,

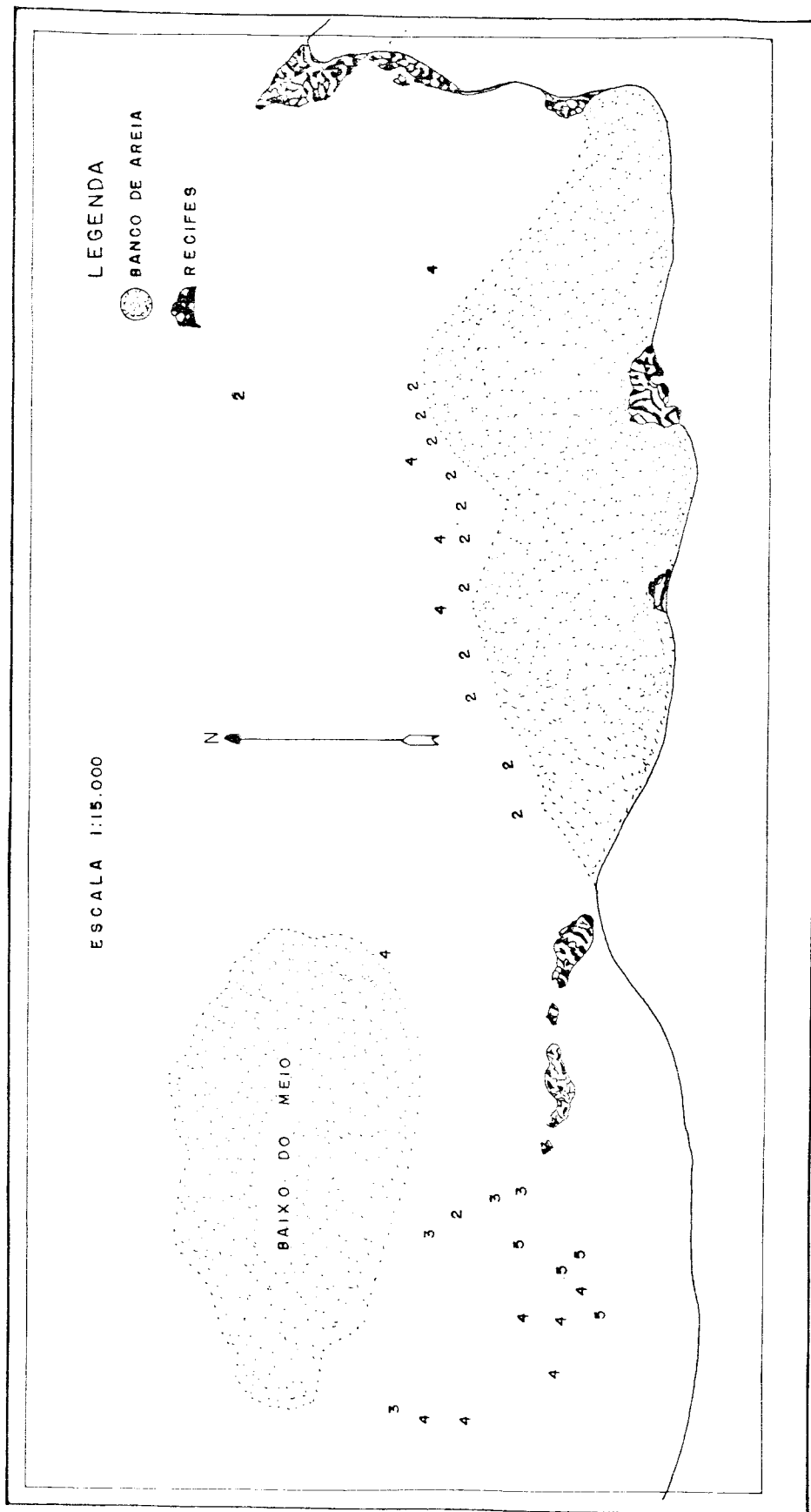


Figura IX.2-Levantamentos batimétricos realizados por Boen, 1826.

Fonte: INPH

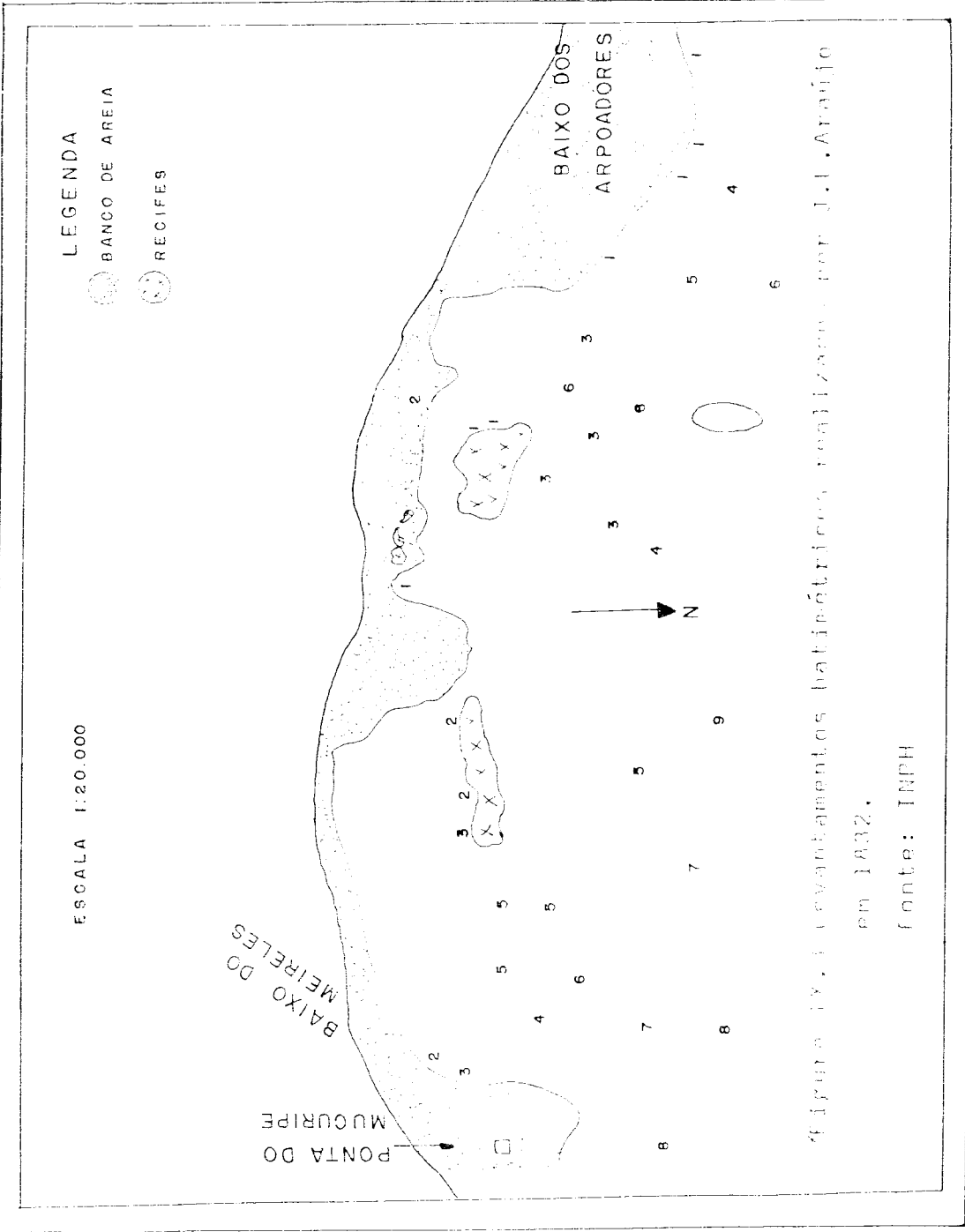


Figura IX. Levantamentos batimétricos realizados por J. J. Araújo em 1932.
 fonte: INPH

e segundo Meyell, 1930 , as águas batiam ao pé da muralha de Fortaleza em 1812 .

A figura IX.5 realizada pela Comissão Bandeira em 1909 comparada com a apresentada pelos Engenheiros Porto Carreiro e Paulo Carreiro em 1929 (figura IX.6a) apresenta diferenças bem marcantes. As profundidades aumentaram na enseada do Mucuripe e diminuíram em frente ao núcleo litorâneo central da cidade, fazendo com que o litoral fosse progressivamente aumentando para o mar. A comparação destas duas últimas figuras observa-se as seguintes diferenças para o afastamento da linha de zero metro das curvas de 5 a 10 metros.

Isóbatas	Distância à linha zero (metros)		Avanço para terra (metros)
	1929	1909	
- 5	185	256	71
- 6	265	720	455
- 7	480	1.120	640
- 8	830	1.664	834
- 9	1.330	2.024	694
-10	1.590	2.336	764

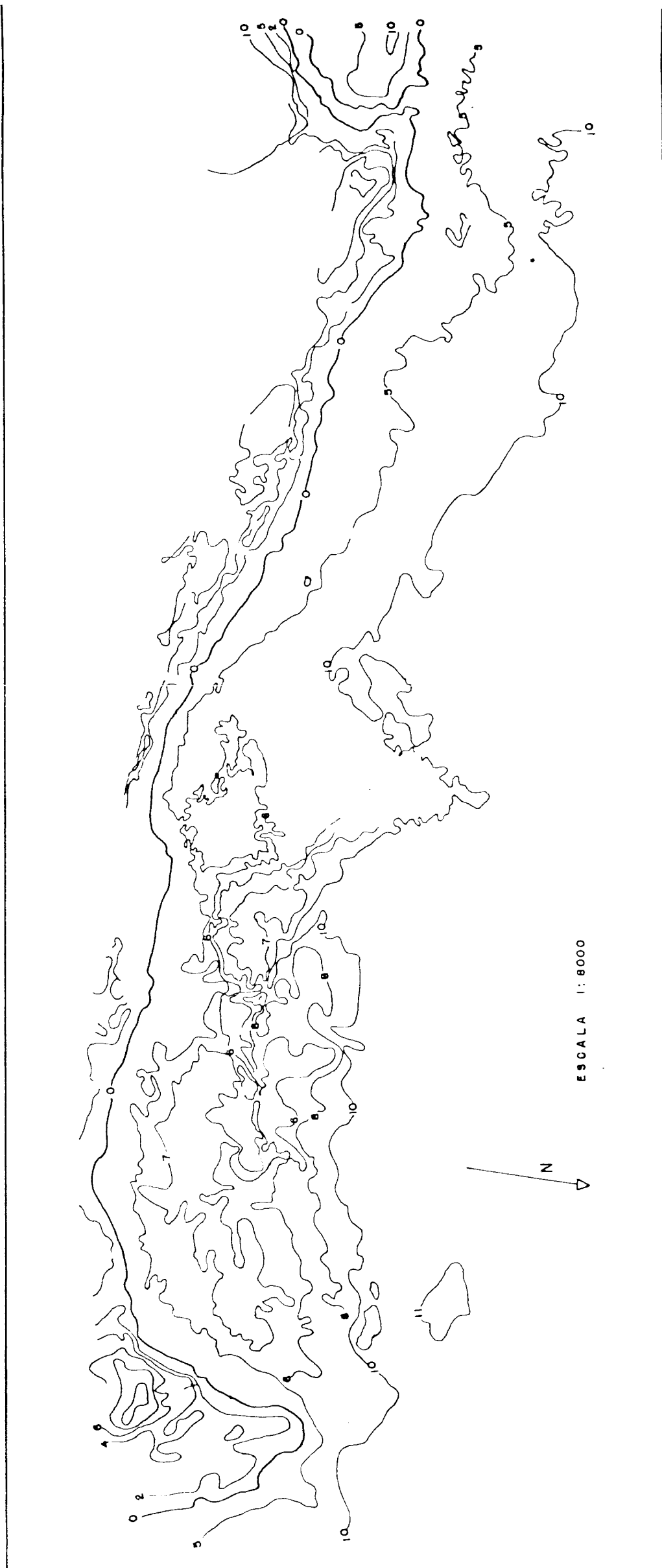


Figura IX.5-Levantamento topográfico e batimétricos realizados pela Comissão Bandeira em 1909.
Fonte: INPH

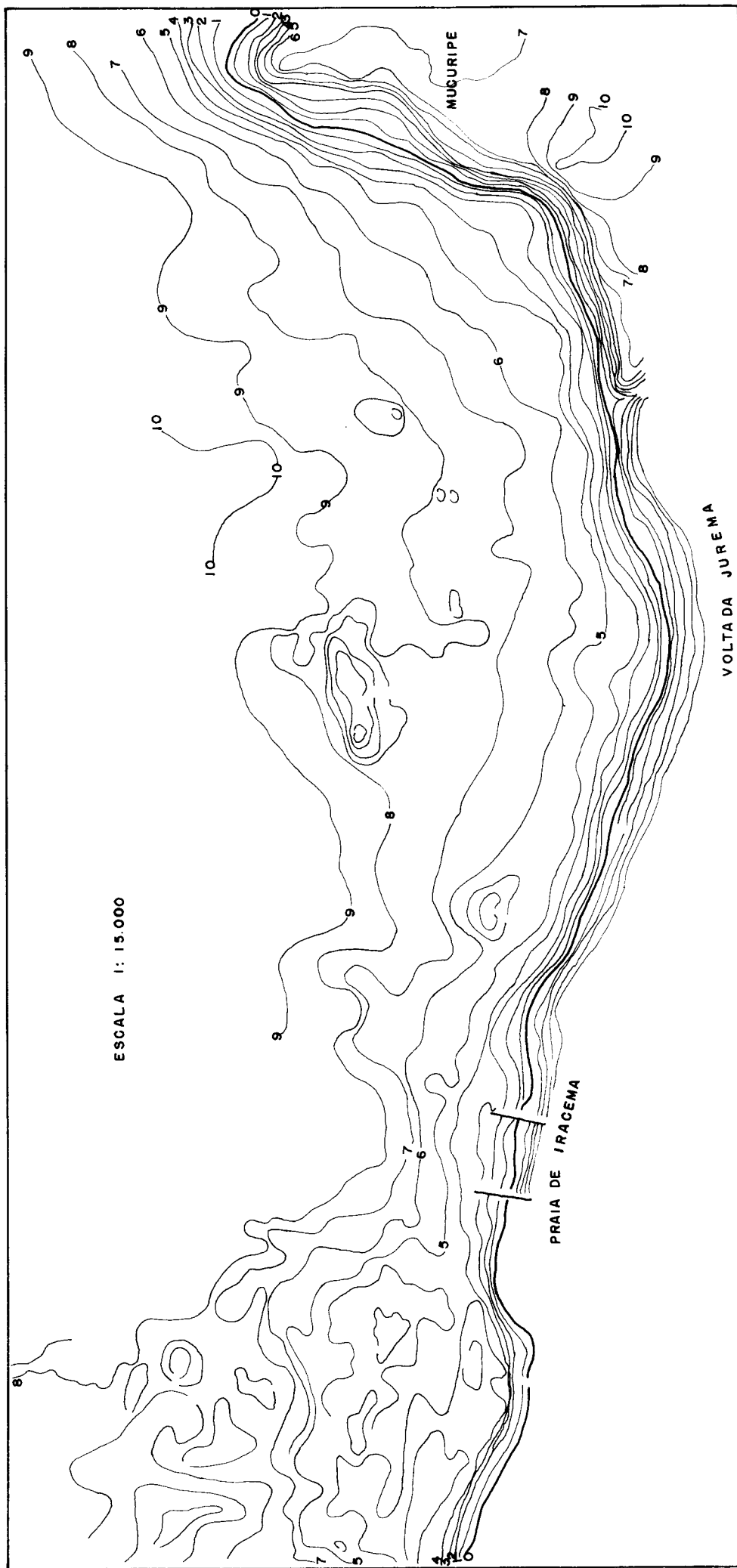


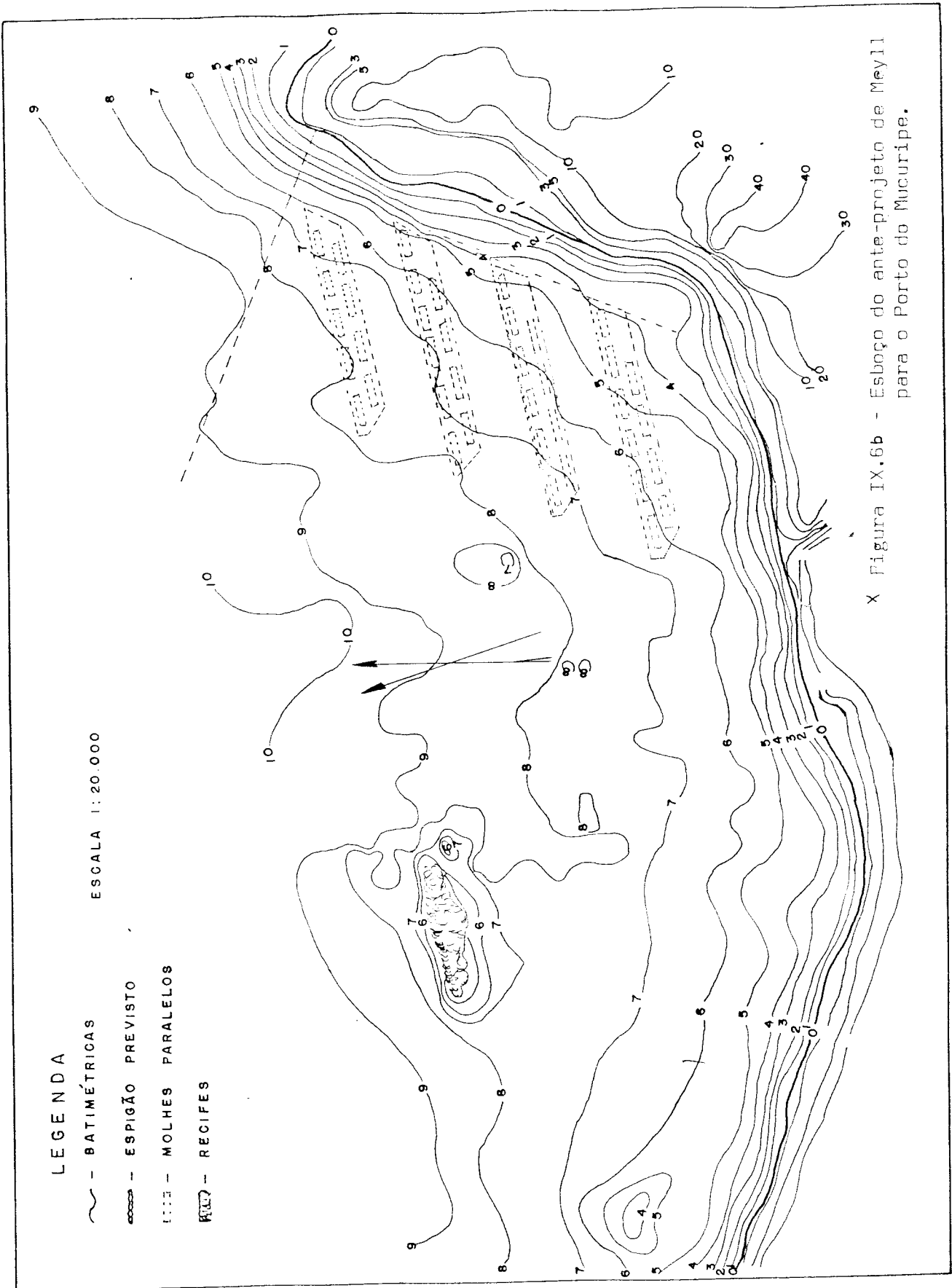
Figura IX.6a-Levantamentos topo-batimétricos realizados pela Comissão Bandeira em 1929.

Fonte: INPH

Analisando este quadro de situações isobatimétricas pode-se ver claramente a tendência de aprofundamento natural da enseada. Tudo isto indica que as areias carreadas pelo vento das dunas para a praia assumiam transporte litorâneo indo começar a depositar-se na praia de Iracema. Os fundos da enseada sofriam apenas erosão intensa e os sedimentos erodidos da ponta de Mucuripe também seguiam o transporte litorâneo em faixas de pequena profundidade.

A figura IX.6b mostra o plano geral da construção do porto do Mucuripe.

A situação modificou-se bastante a partir da construção do porto do Mucuripe em 1940 . A figura IX.7 compara as isóbatas de zero a 5 m de 1931 (antes da construção do quebra-mar) com as de 1940-46 (período de construção das obras no porto) . Seguindo-se a evolução destas linhas nota-se que há uma progradação dos sedimentos no sentido de formação de uma praia na parte interior do quebra-mar e da própria enseada. Em 1946 , uma Comissão de Estudos Complementares do Porto elaborou a carta batimétrica da área exposta na figura IX.8 . As linhas batimétricas de 6 , 7 e 8 metros dentro da enseada acham-se bem mais afastadas que nas figuras anteriormente analisadas e a praia de Iracema já se encontra protegida parcialmente por quebra-mares longitudinais atestando o comportamento sedimentológico diferente assumido por toda enseada depois da construção do porto. As figuras IX.9 , IX.10 , IX.11 , IX.12 e IX.13 mostram a evolução dos fundos junto ao molhe do Mucuripe no período de 1947 a 1951 e no ano de 1956 , isto é depois de terminadas as obras do



X Figura IX.6b - Esboço do ante-projeto de Meyll para o Porto do Mucuripe.

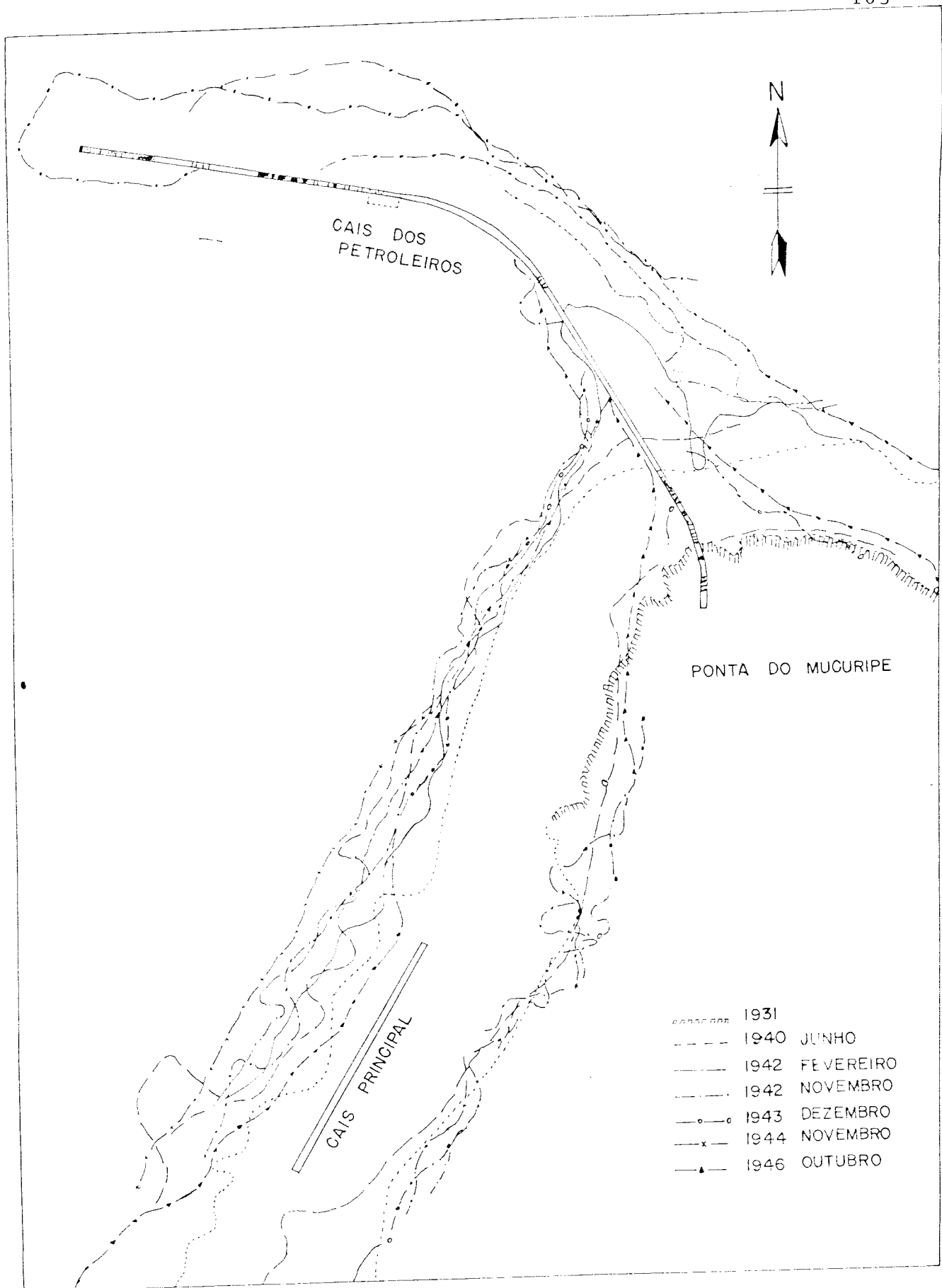


Figura IX.7-Evolução das isobatas de 0 e 5m.

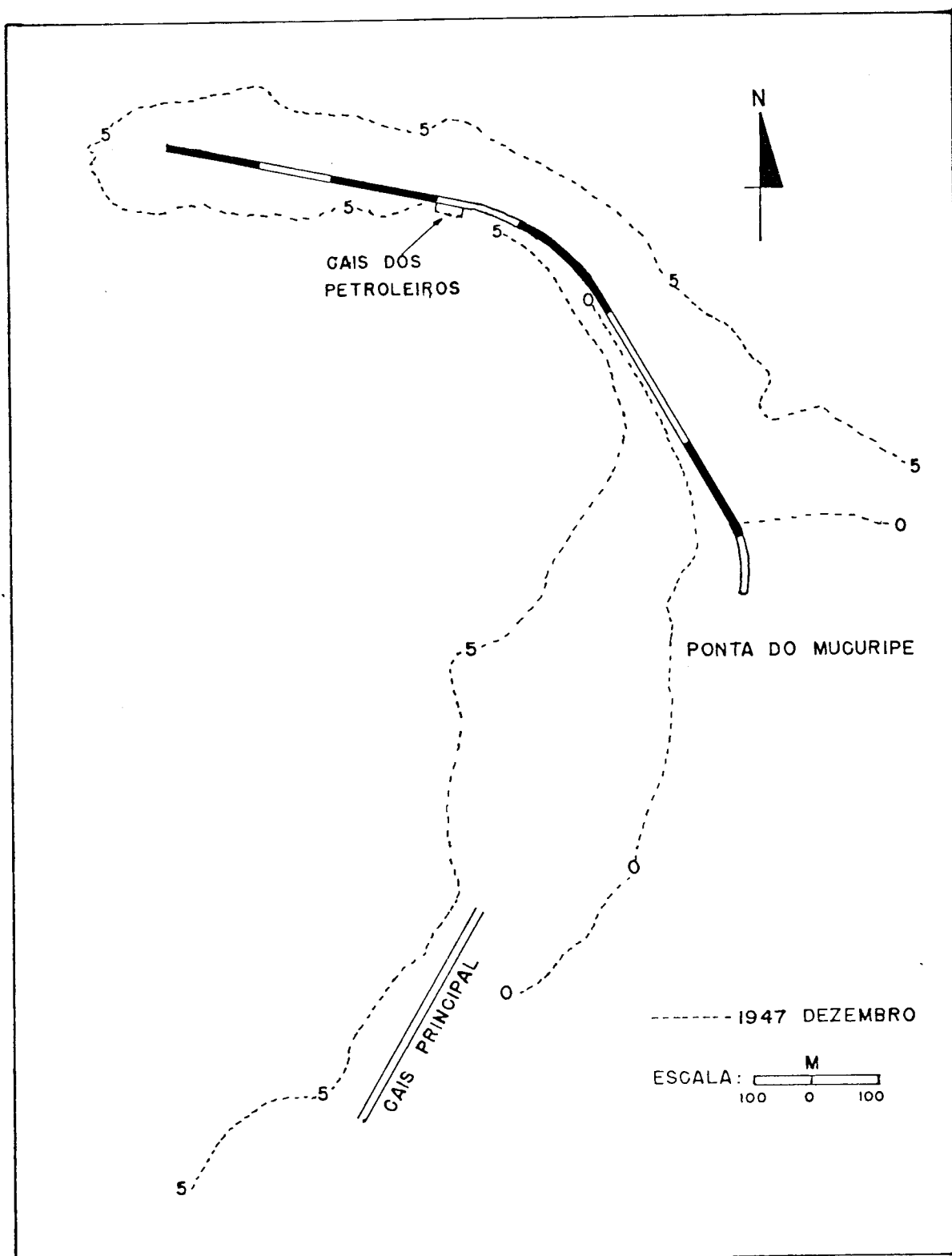


Figura IX.9-Linhas isobatimétricas de 0m e 5m em 1947.

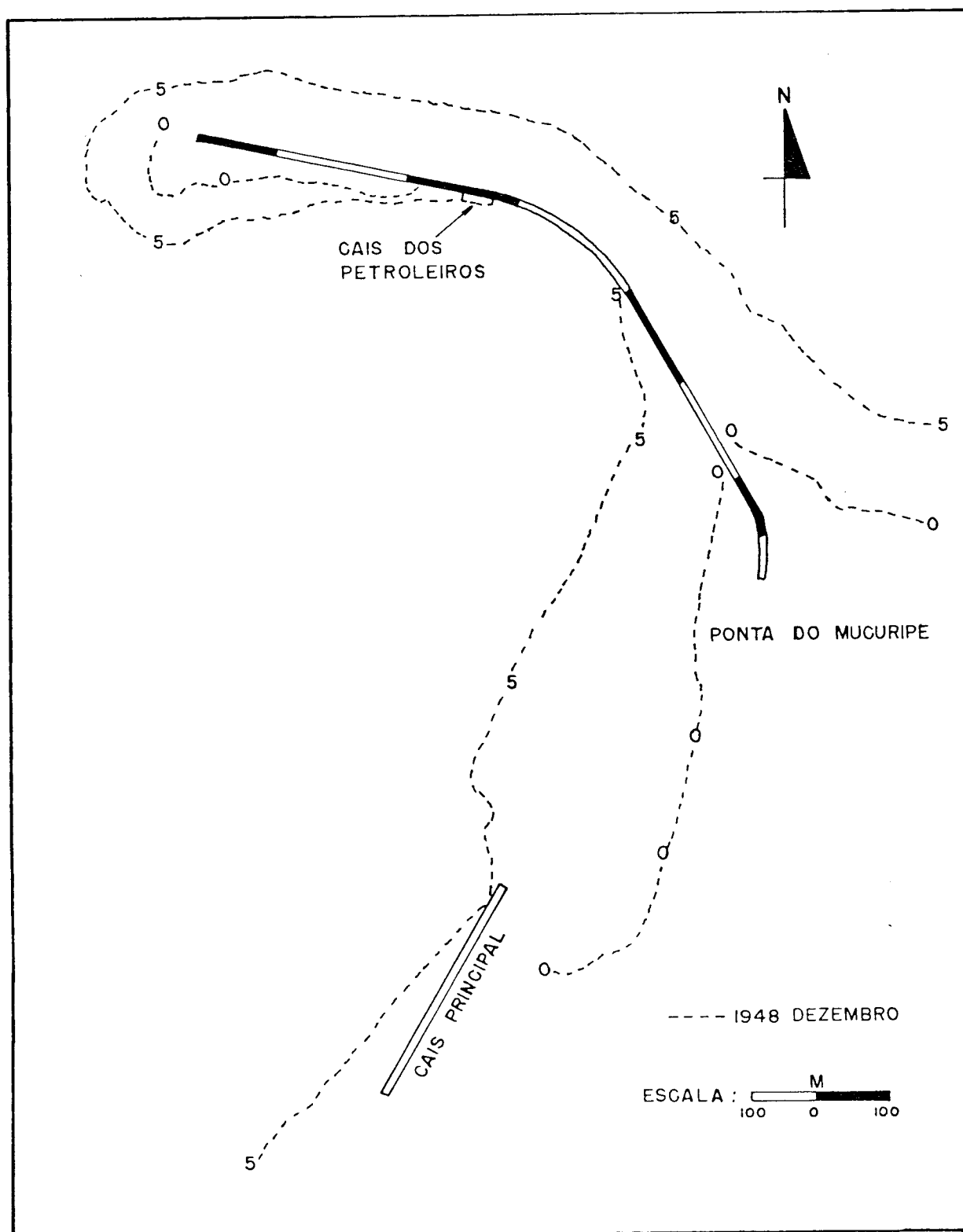


Figura IX.10-Linhas isobatimétricas de 0m e 5m em 1948.

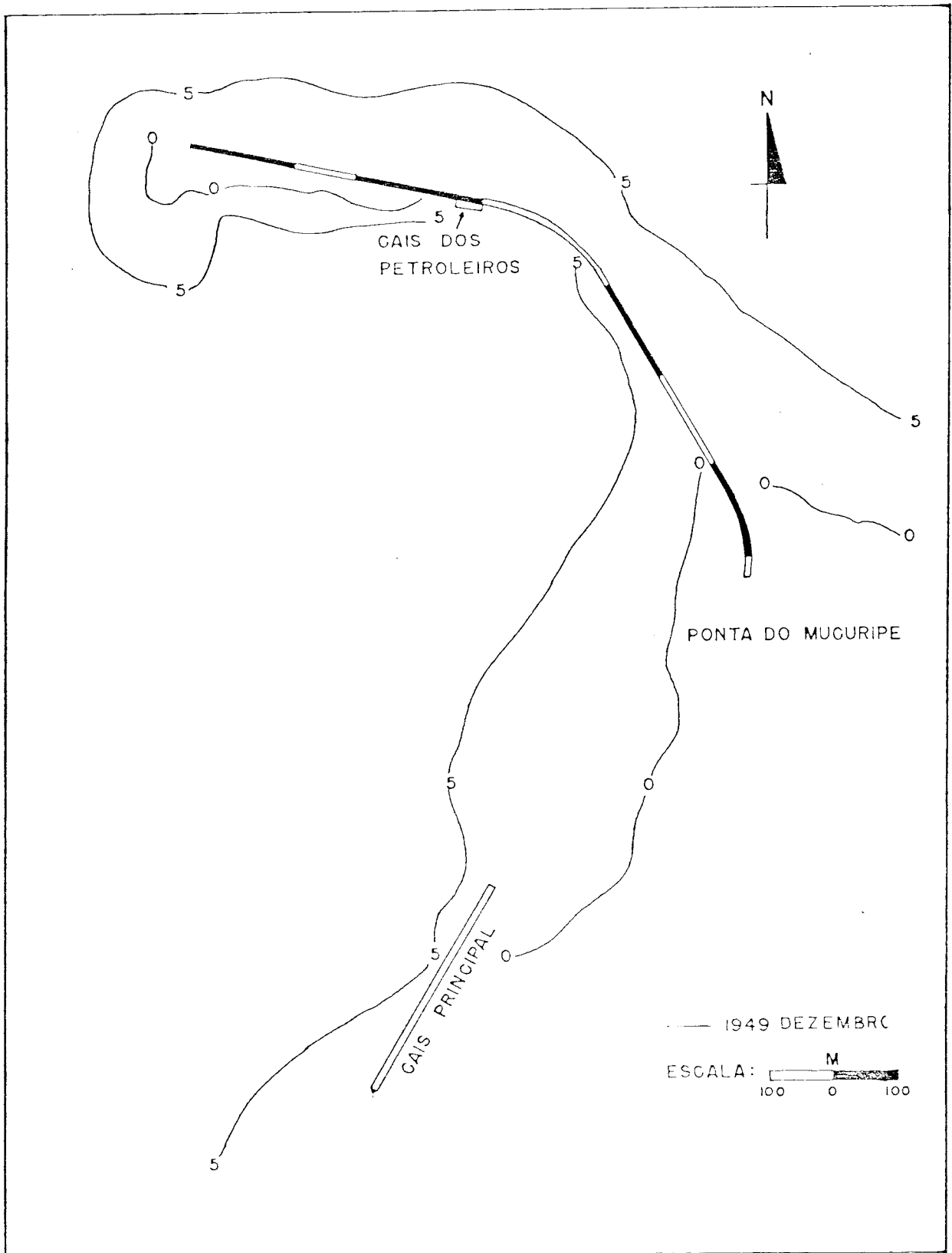


Figura IX.II-Linhas isobatimétricas de 0m e 5m em 1949.

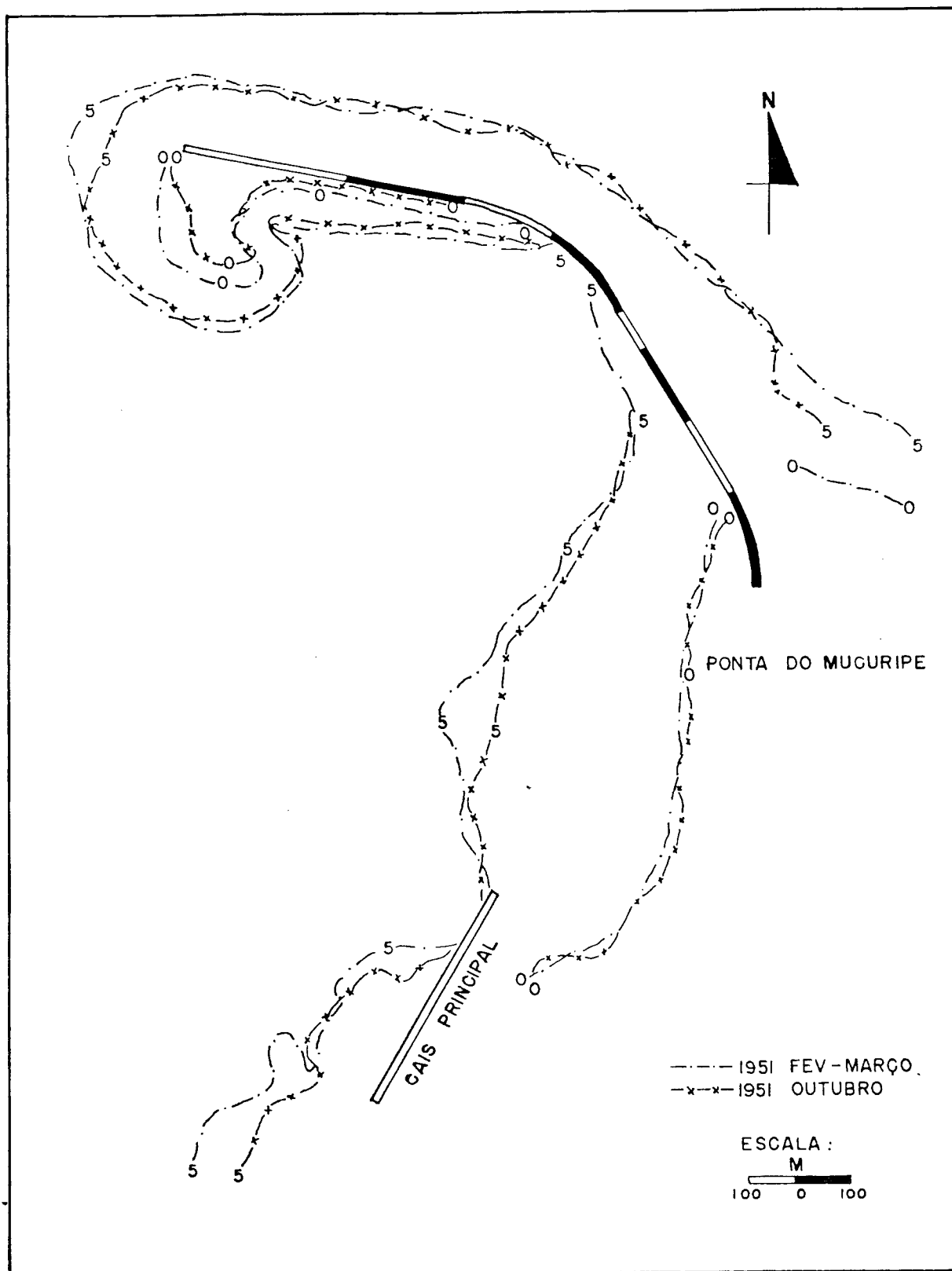


Figura IX.12-Comportamento das isobatiétricas de 0m e 5m em duas épocas do ano de 1951.

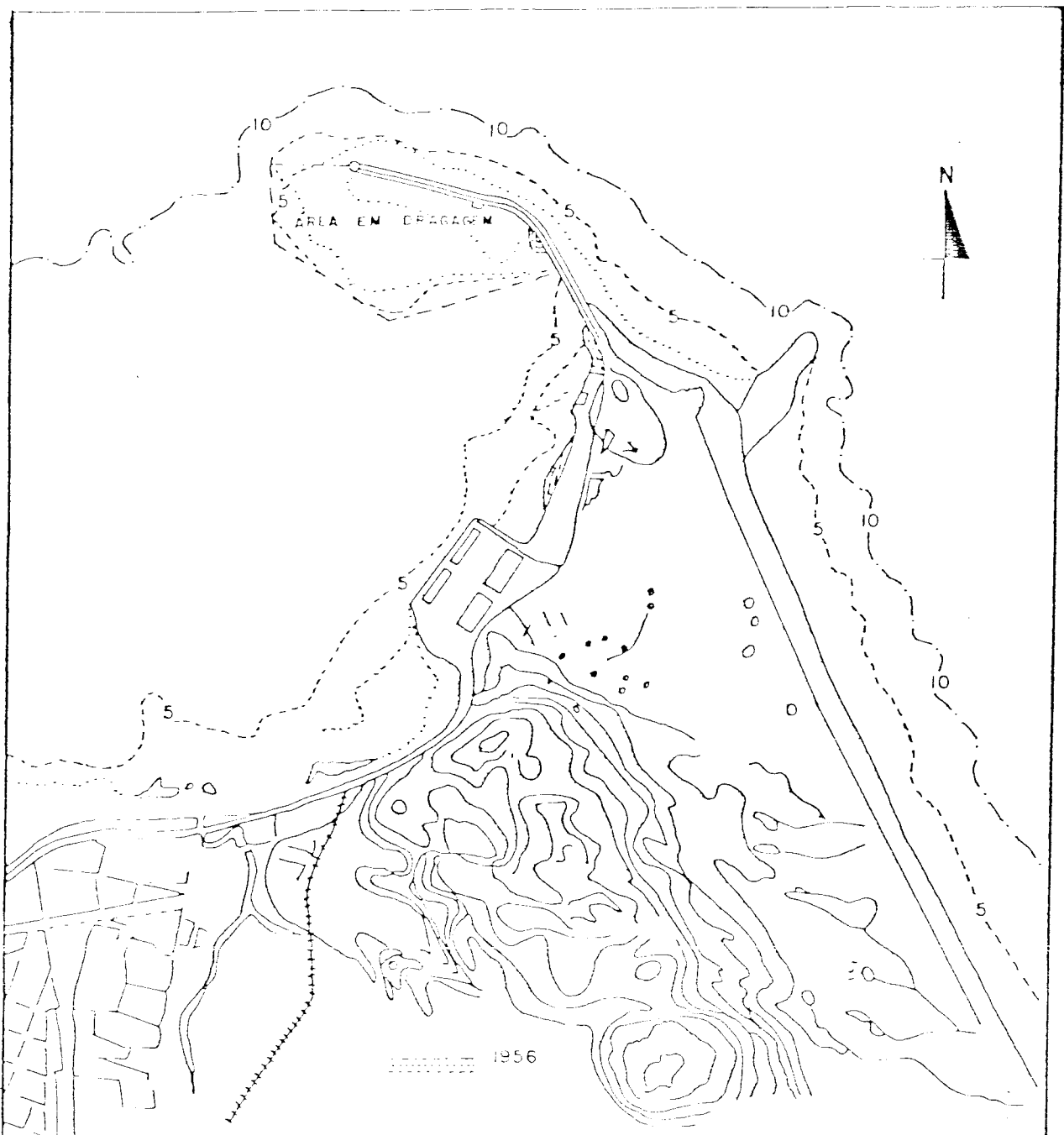
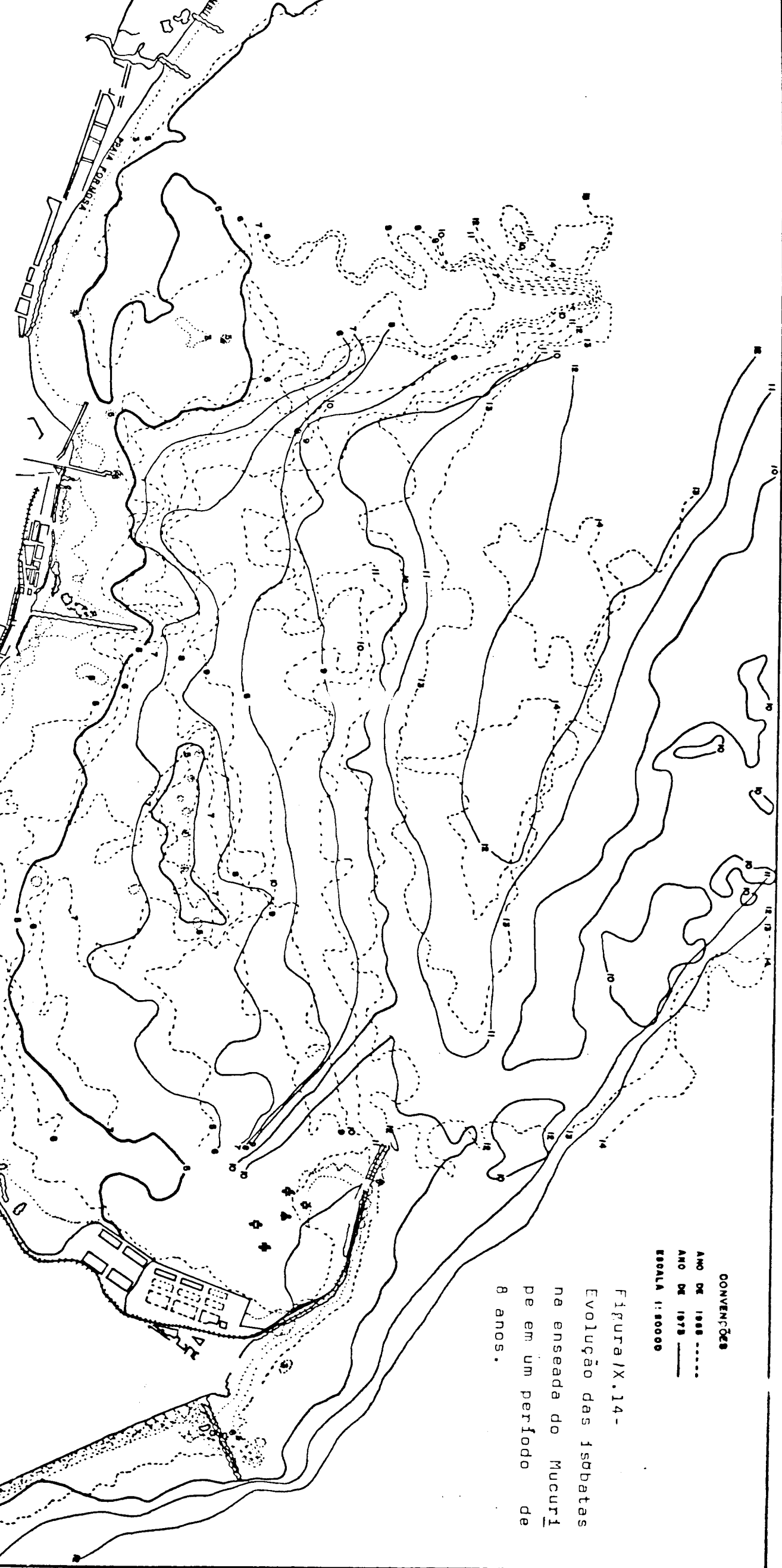


Figura IX.13-Traçado das linhas isobatimétricas no ano de 1956.

porto. Pode-se constatar claramente que uma quantidade progressiva de sedimentos passou pela extremidade do molhe. Uma verdadeira praia foi criada na parte interna do molhe onde inicialmente havia sido localizado o cais petroleiro. Esses levantamentos sistematizados de 1947 a 1951 permitiram calcular o volume anual de sedimentos movimentados. Já que a maior parte da areia transportada depositava-se perto da extremidade do quebramar o cálculo do transporte sólido anual era, em média, de cerca de 200.000 m³ .

A figura IX.14 compara as isóbatas de 1965 com as de 1970 . Podemos notar erosão progressiva nas batimétricas em frente ao cais com redistribuição de sedimentos ocasionando áreas de assoreamento locais. O caminhamento de areias vindo da praia do Futuro, assoreava o braço interno do molhe e a bacia de evolução.

As figuras IX.15 e IX.16 mostram a evolução da praia formada na parte interna do molhe atual. Com o caminhamento das areias (figura IX.15) e com apenas o remanejamento dos sedimentos (figura IX.16) .

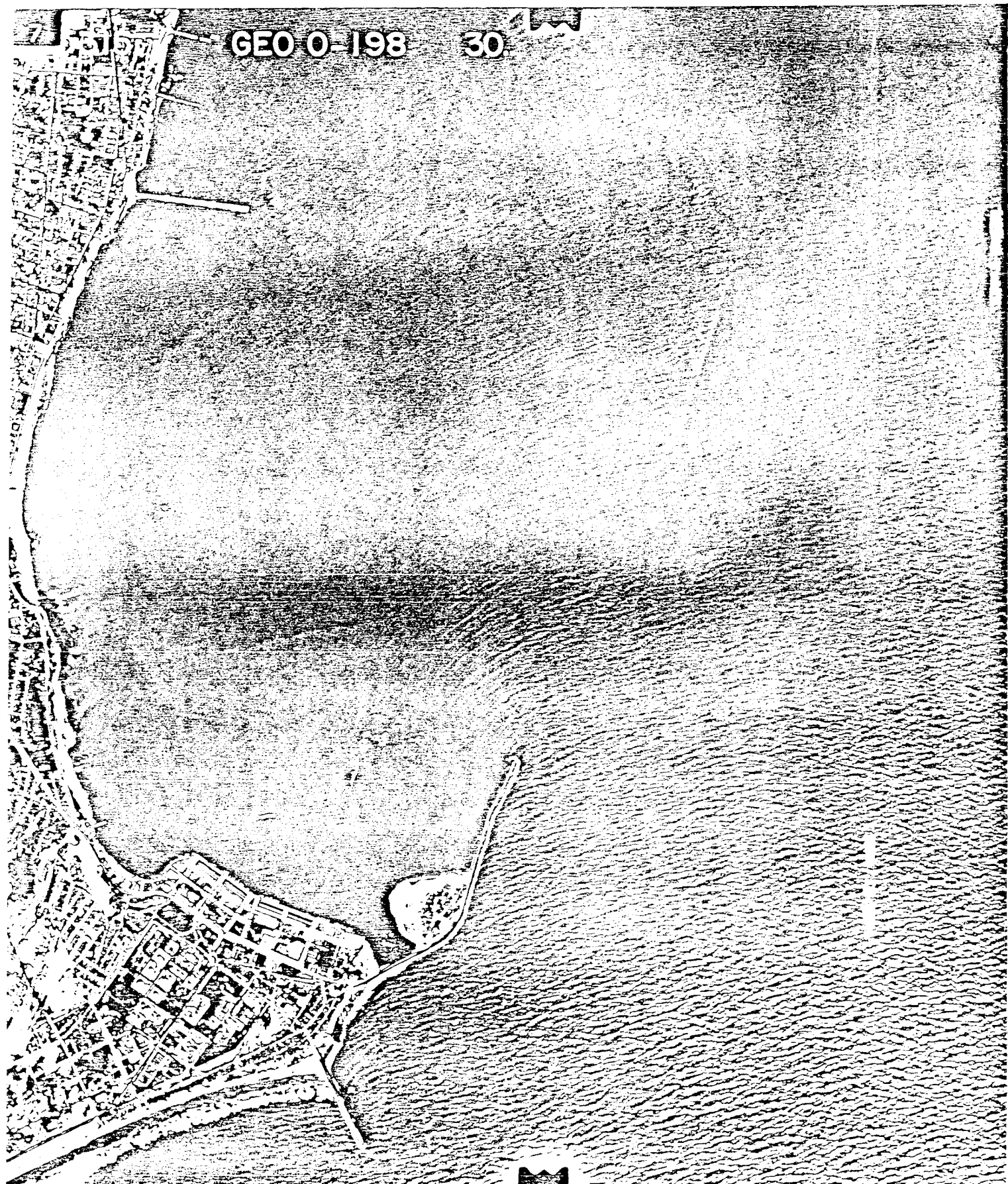


CONVENÇÕES
ANO DE 1968 - - - - -
ANO DE 1978 ———
ESCALA 1:50000

Figura/X.14-
Evolução das isobatas
na enseada do Mucuri
pe em um período de
8 anos.



Figura IX.15 - Caminhamento de areias na parte interna do molhe do Mucuripe, antes da construção do espigão de retenção na praia do Futuro.



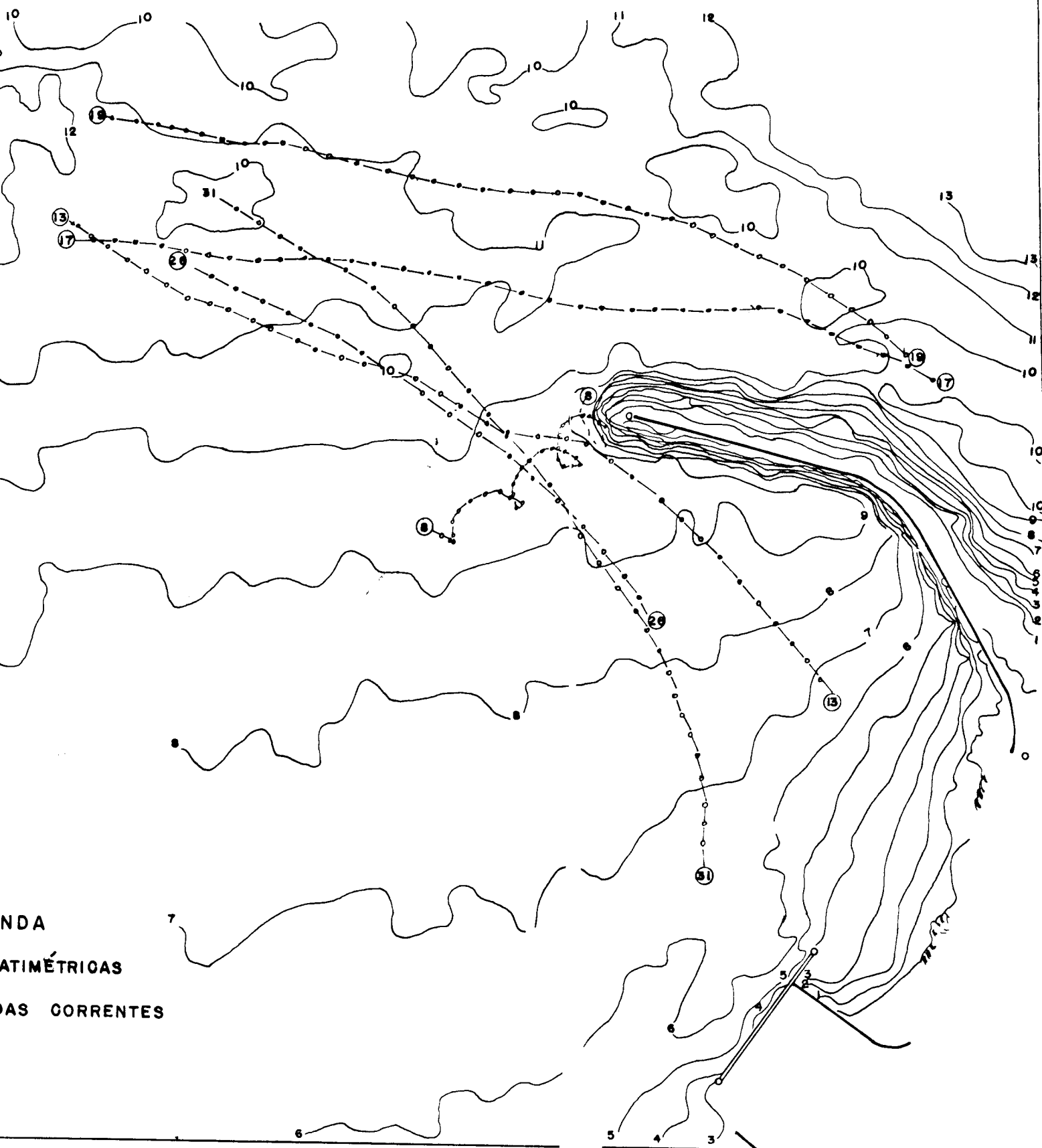
ra IX.16 - Redistribuição do material depositado na parte interna do molhe
depois da implantação do espigão de retenção na praia do Futuro

IX.1.1.3 - Condições hidrodinâmicas-sedimentológicas

Os ventos, um dos fatores preponderantes na propagação das ondas, e já discutidos no item III.2 deste trabalho (figura III.8) têm predominância de ESE . As vagas que vêm do largo tomam a direção dos ventos que lhes dão origem e deveriam portanto tomar o rumo WNW . Antes da construção do molhe estas ondas sofriam um retardamento ao encontrar a ponta do Mucuripe e dirigiam-se para a praia de Iracema com direção N35°E . Depois da construção do molhe os processos de difração causaram uma direção diferente. Esses processos de difração serão discutidos no item IX.1.1.4 que trata da praia de Iracema. As correntes tanto de enchente como vazante sofrem uma ação constante do vento e se direcionam sempre do Mucuripe para oeste. As correntes até a construção do porto portanto dirigiam-se geralmente para o largo e não entravam propriamente na enseada do Mucuripe.

A Comissão de Estudos Complementares do Porto do Mucuripe fez um estudo de correntes e assoreamento logo após a conclusão do porto. As figuras IX.17 , IX.18 , IX.19 e IX.20 , mostram a área do porto nos primeiros anos após a construção do molhe. Baseado nos dados da figura IX.17 , chegou-se a conclusão que a parte interna do molhe sofreu um assoreamento de 58.150 m³ e um aprofundamento de 11.434 m³ resultando portanto 46.716 m³ de assoreamento. Nota-se claramente na sequência das figuras o engordamento progressivo da praia em torno do molhe. Observando-se em detalhe nas figuras IX.18 e IX.19 , nota-se um recobrimento parcial dos afloramentos de

Figura IX.17 - Comportamento das correntes no ano de 1946 .



ANDA
ATIMÉTRICAS
AS CORRENTES

arenitos ferruginosos das praias. Nas figuras IX.20 e IX.21 nota-se o descobrimento destes bancos com o avanço da linha zero sobre a praia. Isto é um caso semelhante ao que acontece hoje com a Praia dos Dois Coqueiros como veremos adiante. É bem patente que o comportamento das correntes mudou bastante depois da construção do porto. Todas têm uma tendência a penetrar na enseada.

Os aspectos de sedimentação tiveram como elemento básico inicial as areias do fundo do mar que revolvidas pelas ondas, lançados às praias, e depois de secas levadas pelos ventos para formação de dunas e cômoros de areia. Sem fixação pela vegetação elas seguem o caminhar pela praia. Dependendo da direção do vento uma parte desta areia pode ser lançada novamente ao mar. Em 1946 (Portugal, 1946), quando ainda não existiam edifícios na orla nem retenção das areias o transporte de sedimento era bem maior que o atual. A vaga ao rebentar na praia provoca um levantamento de areia que a agitação marítima mantém em suspensão e a corrente de maré transporta para o rumo W . A corrente litorânea nesta área chegava a ser maior que 1 m/s , e transportava um volume considerável de sedimento. Hoje em dia muito sedimento é transportado na praia pelos ventos. Se os ventos sopram ENE as areias são lançadas sobre a terra, se sopram ESE são lançadas ao longo da praia, provocando assoreamento e engordamento. Se o vento diminui de intensidade, mas sopra sobre a costa a vaga incide frontalmente no litoral e predominam as erosões na praia com solapamentos. Estas vagas, de direção nordeste deveriam ser as responsáveis pelo antigo aprofun



LEGENDA

- ~ CURVAS BATIMÉTRICAS
- o-o- DIREÇÃO DAS CORRENTES

damento da enseada. Hoje nota-se que no mês de janeiro e fevereiro quando o vento não é muito intenso é quando há maior erosão nas praias, exatamente devido a direção das ondas. No período de abril a novembro, embora os ventos sejam mais intensos eles de certo modo se contrapõem às vagas que chegam ao litoral da cidade, amortecendo-as, evitando a formação de ressacas.

Com a construção do molhe do Mucuripe e conseqüente assoreamento da bacia de evolução e erosão nas praias dispostas a oeste do porto, foram tentados ensaios de laboratório. Inicialmente foram testados os prolongamentos de 150 , 300 , 600 e 700 m . Os fenômenos de assoreamento no entanto, permaneceram os mesmos. Isto se processava, porque as forças litorâneas eram as mesmas, em uma área de pouca declividade e ausência de fossas.

Em um modelo reduzido cuja escala horizontal 1:300 a vertical 1:100 foi estudada a possibilidade de interromper a translação das areias perto da extremidade do quebra-mar. Foram executados dois trechos do quebra-mar um de 150 m em direção N15°W e outro de 225 m com direção N15°E . Esta solução embora pudesse reter o caminhamento das areias por um certo tempo, não era aconselhável por provocar agitação na bacia e erosão nas praias a oeste.

Foram feitas comparações sucessivas posicionando os espigões pelo lado de fora do molhe (figura IX.22) , para identificar a posição mais eficaz. Dos três espigões o que se revelou mais eficaz foi o espigão III , que com um comprimento de 200 m , poderia acumular 1.000.000 m³ , ou seja, o transporte litorâneo em 5 anos.

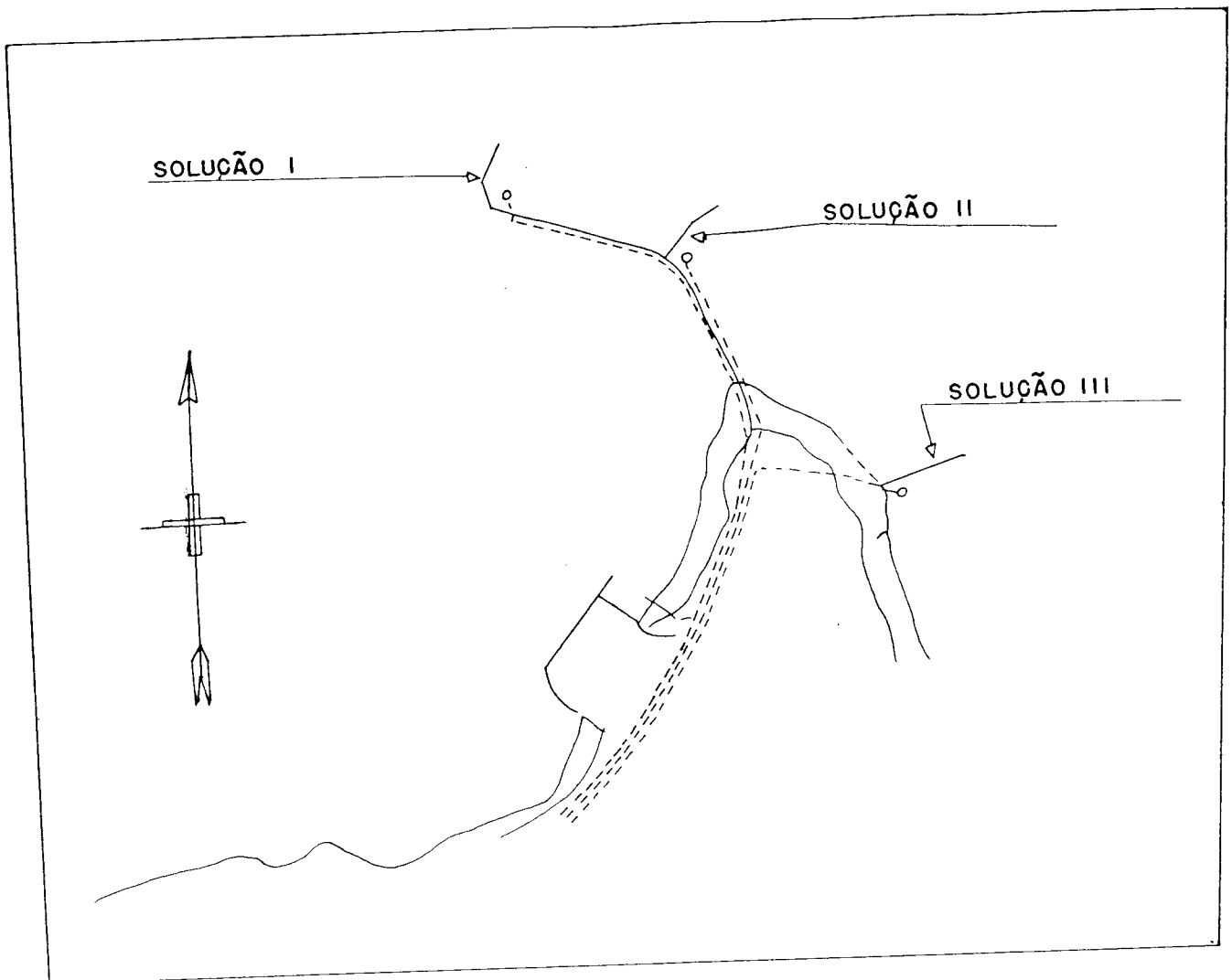


Figura IX.22 - Posições alternativas para o molhe de retenção de sedimentos, estudados em modelo reduzido.

Destes estudos, chegou-se a conclusão de que dois tipos de soluções poderiam resolver o problema do assoreamento do porto: a) Interromper o mais eficazmente possível o movimento litorâneo dos sedimentos por meio de implantação de espigão a leste da Ponta de Mucuripe; b) Fazer com que os sedimentos transitem para oeste em processo artificial de recalque hidráulico. Foi escolhida a primeira hipótese. O problema de erosão da praia de Iracema seria resolvido independentemente do problema de assoreamento, por alimentação artificial das praias e de defesa da costa.

Portanto foi executada a construção de um espigão enraizado a montante do quebra-mar, que de fato reteve as areias como podemos notar na figura IX.14 . Em uma primeira fase de trabalhos este espigão poderia atingir um comprimento de 300 a 400 m , para retenção dos sedimentos durante 10 a 20 anos, e seria eventualmente prolongado.

Ao atingir a época estipulada pelos ensaios de laboratório, começou a haver transpasse das areias, sendo necessário portanto o alongamento do espigão. Àquela época, 1974 , este transpasse de sedimentos se fez sentir pela migração da embocadura do Rio Maceiozinho na praia do Meireles (Moraes e Pitombeira, 1974) . Em 1974 a embocadura deste rio sofreu um processo migratório no sentido leste-oeste, havendo modificação completa da conformação da costa naquela área e na batimetria da praia adjacente (figura IX.23) . Logo depois do aumento na extensão do espigão, o que provocou novamente a retenção dos sedimentos a migração do Rio Maceiozinho passou a ser oeste-leste. Observa-se que após a

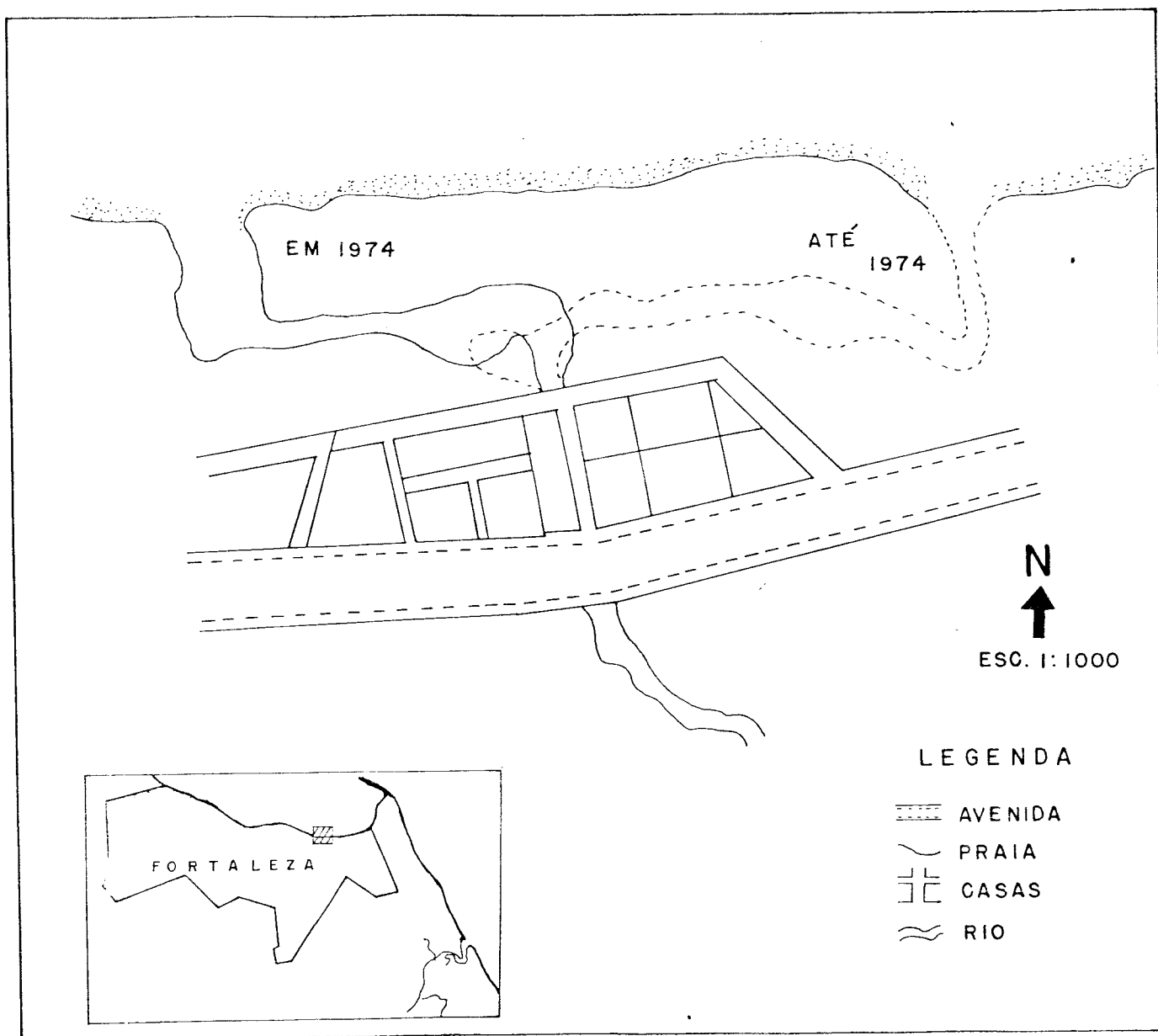


Figura IX.23 - Migração da embocadura do rio maceiozinho segundo Morais & Pitombeira, 1974.

implantação do espigão de retenção da Praia do Futuro os sedimentos acumulados na parte interna do molhe do Mucuripe assumiram uma forma abaulada, provocado pelo remanejamento das areias já depositadas no local e pelo afluxo de material em suspensão (figura IX.24) .

O prolongamento do molhe do Mucuripe em 400 a 450 metros resolveu em parte a agitação das águas no porto. Este prolongamento ficou orientado em direção ao alto mar relativamente a direção do trecho final da obra existente, para que se conservasse o mesmo canal de navegação. Para o prolongamento das obras seria necessária a criação eventual de uma fossa na proximidade imediata da extremidade do lado exterior do molhe, e dragagens definitivas no interior do porto.

Em 1973 houve uma consulta ao INPH sobre o estudo em modelo reduzido para melhor localização do terminal petrolero que foi soterrado à época da construção do molhe do porto. Depois de procedidos os estudos sobre agitação (figuras IX.25 , IX.26 , IX.27 e IX.28) . Estas figuras mostram as análises da agitação levando em conta as direções predominantes das ondas de leste atuando 67% em períodos de 7,8 seg; as de direção nordeste têm período de 8,4 seg e atuam 20% . Foram testadas as agitações com e sem o prolongamento do molhe.

Foi decidida a construção do pier na extremidade oeste do cais perpendicular a este. Com esta construção, a batimétrica de 10 metros sofreu um deslocamento em direção ao largo, revelando assoreamento na zona de atracação de petroleiros, mas o restante do canal de acesso permaneceu normal.

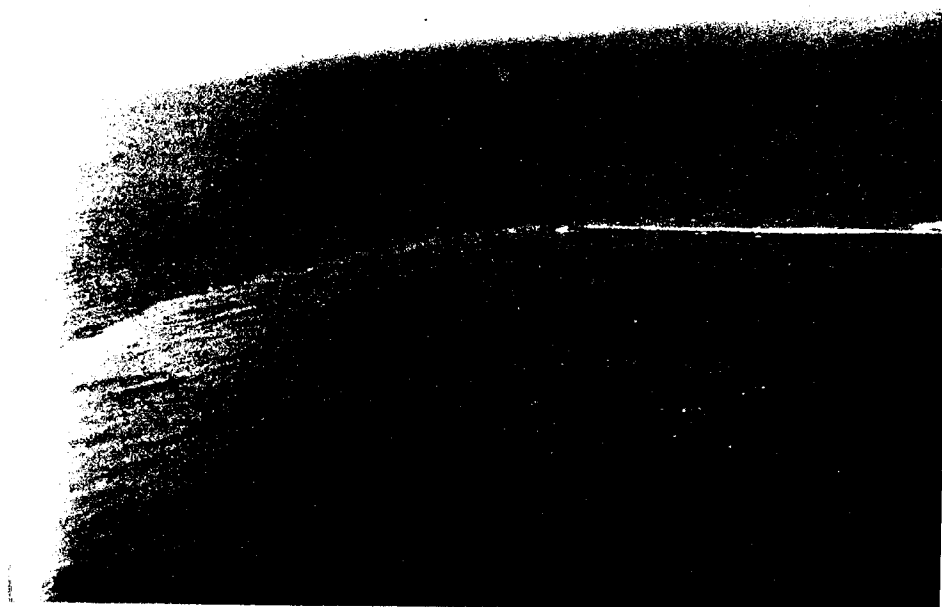


Figura IX.24 - Sequência fotográfica mostrando o afluxo atual
de sedimentos em suspensão para a bacia do
Porto.

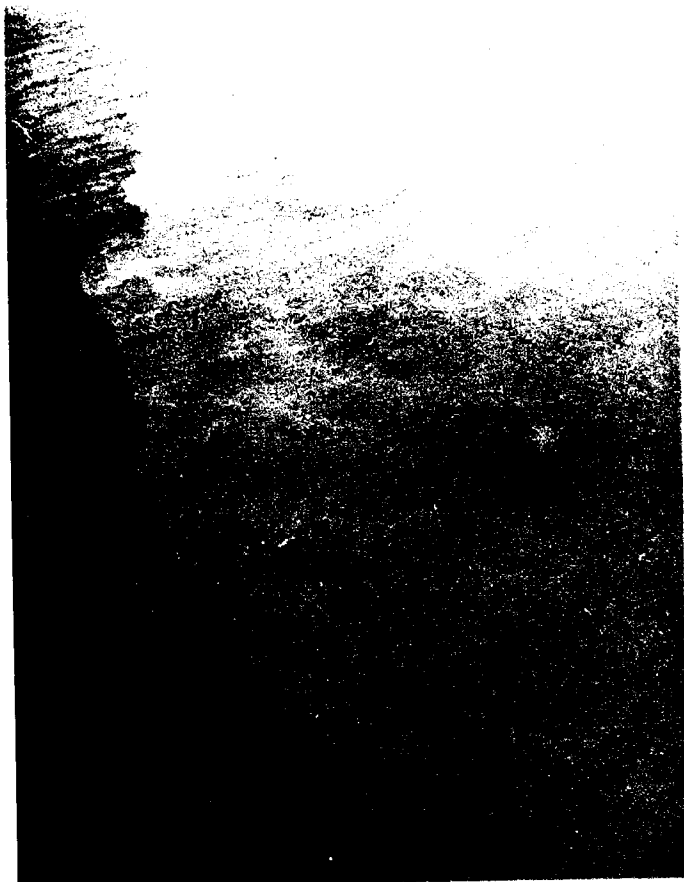
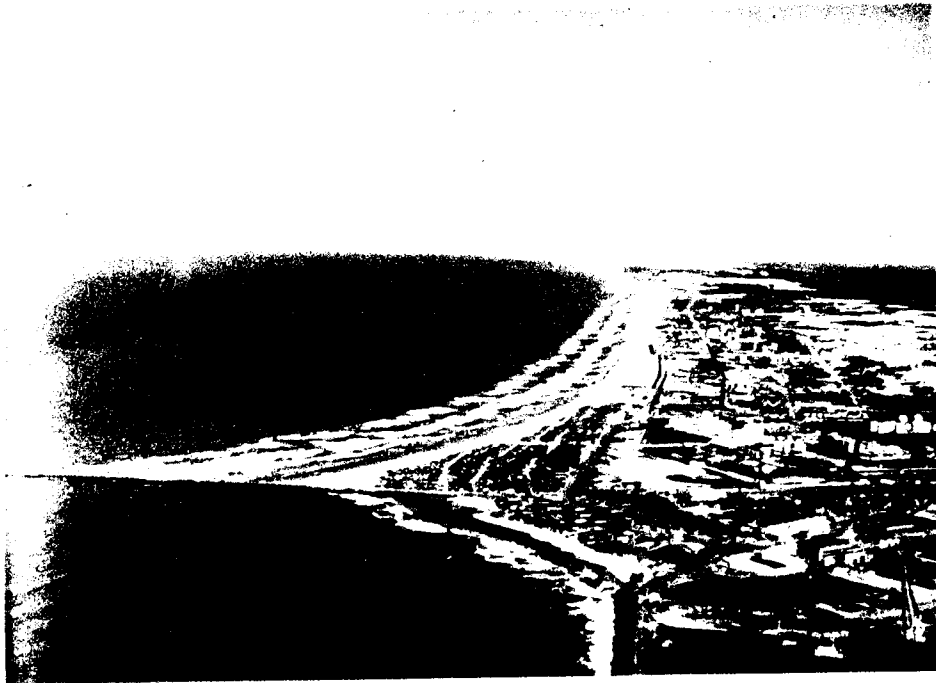


Figura IX.24 - Sequência fotográfica mostrando o afluxo atual
(continuação) de sedimentos em suspensão para a bacia do
Porto.

IX.1.2 - Modelo dos processos de erosão/sedimentação na Praia de Iracema

A implantação definitiva do Porto do Mucuripe em 1945, a conseqüente sedimentação no lado interno do molhe associado aos processos de difração na ponta do molhe, e o cessar do caminhamento de areias ao longo do litoral fronteiro à cidade de Fortaleza, motivaram a erosão progressiva do litoral para atingir uma nova posição de equilíbrio. Estes processos de erosão já haviam começado pela fixação das dunas e extensão das edificações impedindo que as areias fossem lançadas ao mar pelo vento de sudeste.

O quebra-mar do Mucuripe mudou a direção das ondas incidentes provocando assoreamento, como já vimos anteriormente, além de favorecer a erosão nas praias a oeste da cidade, devido ao fenômeno de difração de ondas. Este fenômeno é um processo de expansão lateral de energia (Pitombeira, 1976), aparecendo uma extensão lateral das cristas, que originam ondas de iguais períodos e comprimentos porém com alturas e energias menores por unidade de comprimento de crista. Portanto, ao incidir no molhe do Mucuripe as ondas que se propagavam em mar aberto criaram outras apresentando cristas curvas, com direção de propagação compreendida angularmente entre a direção de ataque da onda incidente e a direção de locação do molhe.

O valor da amplitude ou da altura de uma onda difratada pode ser determinada por processos gráficos (Irribaren, 1954) ou por equação simples (Pitombeira, 1976). Assim

o comprimento da onda difratada é igual ao da onda incidente, e a altura daquela é dada pela equação

$$H = \frac{1}{4 \pi \sqrt{R/L}} \left[\frac{1}{\text{sen} \left(\frac{\theta + \theta_0}{2} \right)} + \frac{1}{\text{sen} \left(\frac{\theta_0 - \theta}{2} \right)} \right] \cdot H_0$$

H = altura da onda difratada

H₀ = altura da onda incidente

L = comprimento da onda

θ = ângulo formado pela direção da onda difratada e o alinhamento do molhe

θ₀ = ângulo formado pela direção de propagação da onda incidente e o alinhamento do molhe

R = distância horizontal entre o cabeço do molhe e o ponto considerado na crista da onda difratada

O processo gráfico de Irribarren foi aplicado no caso de difração no Mucuripe para determinação do valor da amplitude de onda difratada em profundidades diferentes, e em quatro situações diferentes. Com isto pode-se avaliar a agitação das águas ao longo da enseada, variando a direção das ondas, e a extensão do molhe.

O primeiro gráfico foi desenhado considerando-se um plano de ondas de direção nordeste (considerada a direção mais desfavorável) com amplitude máxima exterior de 3,50 m e com período de 10 seg. Obtem-se diretamente da figura IX.25, o valor médio da amplitude da onda difratada que

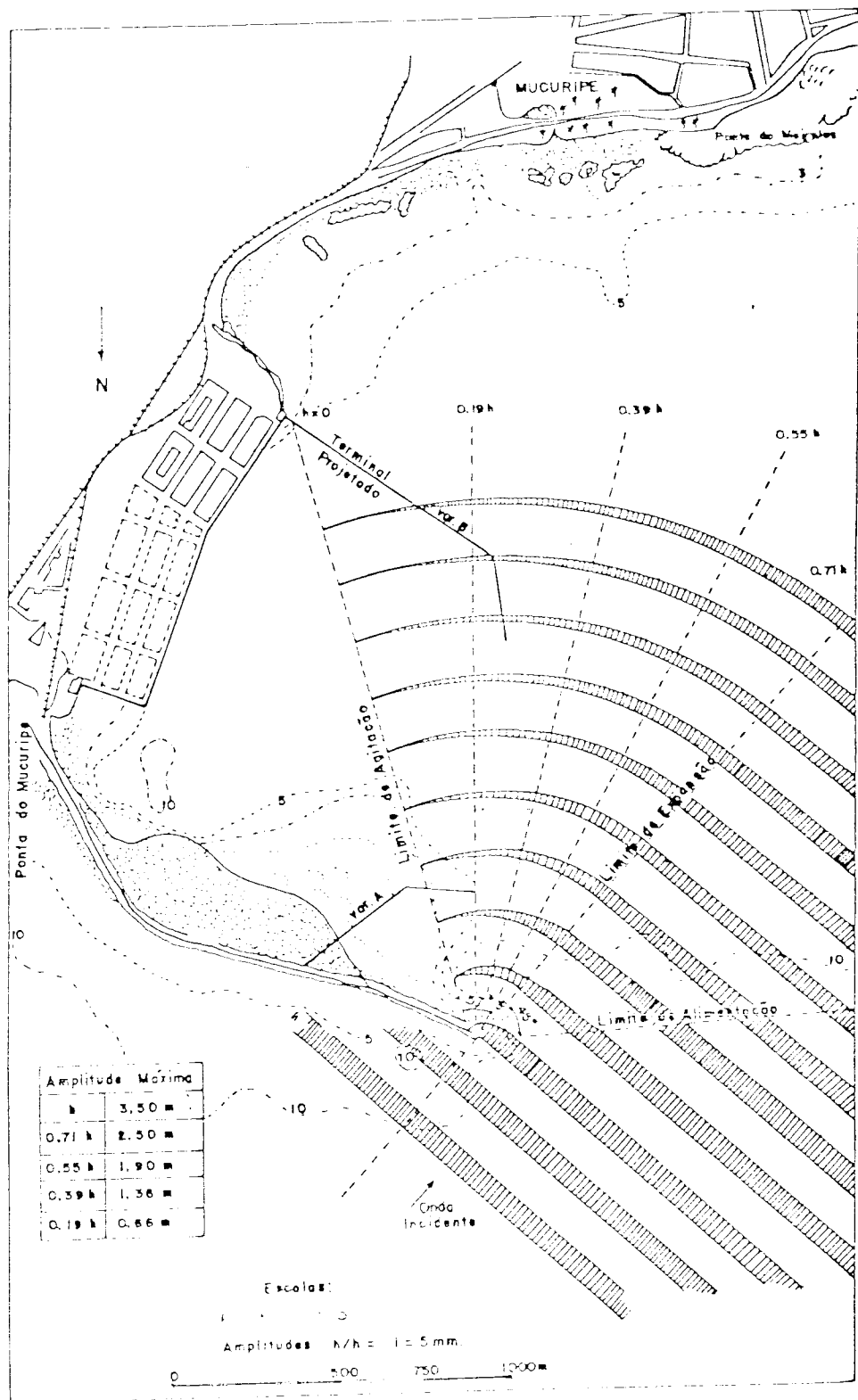


Figura IX.25-Agitação na enseada do Mucuripe con- siderando um plano de onda de inci- dência NE

atinge o terminal petroleiro em um valor da ordem de 1 metro. A figura IX.26 , com o plano de ondas na direção leste, mostra que a amplitude de onda difratada no terminal será 0,50m. Fazendo-se um prolongamento no molhe do Mucuripe de aproximadamente 350 metros vamos ter também duas situações dependendo da incidência do plano de ondas (figuras IX.27 e IX.28) . Mantendo-se o mesmo alinhamento do molhe, obtem-se um valor máximo de onda de 0,50 próximo ao terminal, no caso da onda de nordeste, e uma onda praticamente nula para os casos de ondas de leste e sudeste. Portanto, o prolongamento do molhe foi conveniente para a construção do terminal petroleiro, mas era necessário tomar medidas de proteção para a praia de Iracema. As figuras IX.29 e IX.30 mostram a situação atual da praia de Iracema com relação a área adjacente.

Analisando-se a figura IX.31 , pode-se entender como os processos de difração podem influenciar no transporte de sedimentos e por conseguinte na erosão de praias como a de Iracema. Considerando-se um trecho de praia L atacado pelas ondas e pelo movimento litorâneo, observa-se que ele sofrerá a erosão de uma certa quantidade de areia que passará para o trecho M ; ao mesmo tempo a onda que incide sobre o trecho anterior, K , sendo maior que a de M , transportará daí para L uma quantidade menor, acusando-se pois um deficit em L , significando uma erosão: simultaneamente a onda que atinge o trecho J , menor que a de K , irá suprir este deficitariamente. E assim sucessivamente. Para oeste, escapando à zona influenciada pela sombra, voltam a ser iguais as ondas que atacam dois trechos consecutivos, e em consequência desaparecem as erosões.

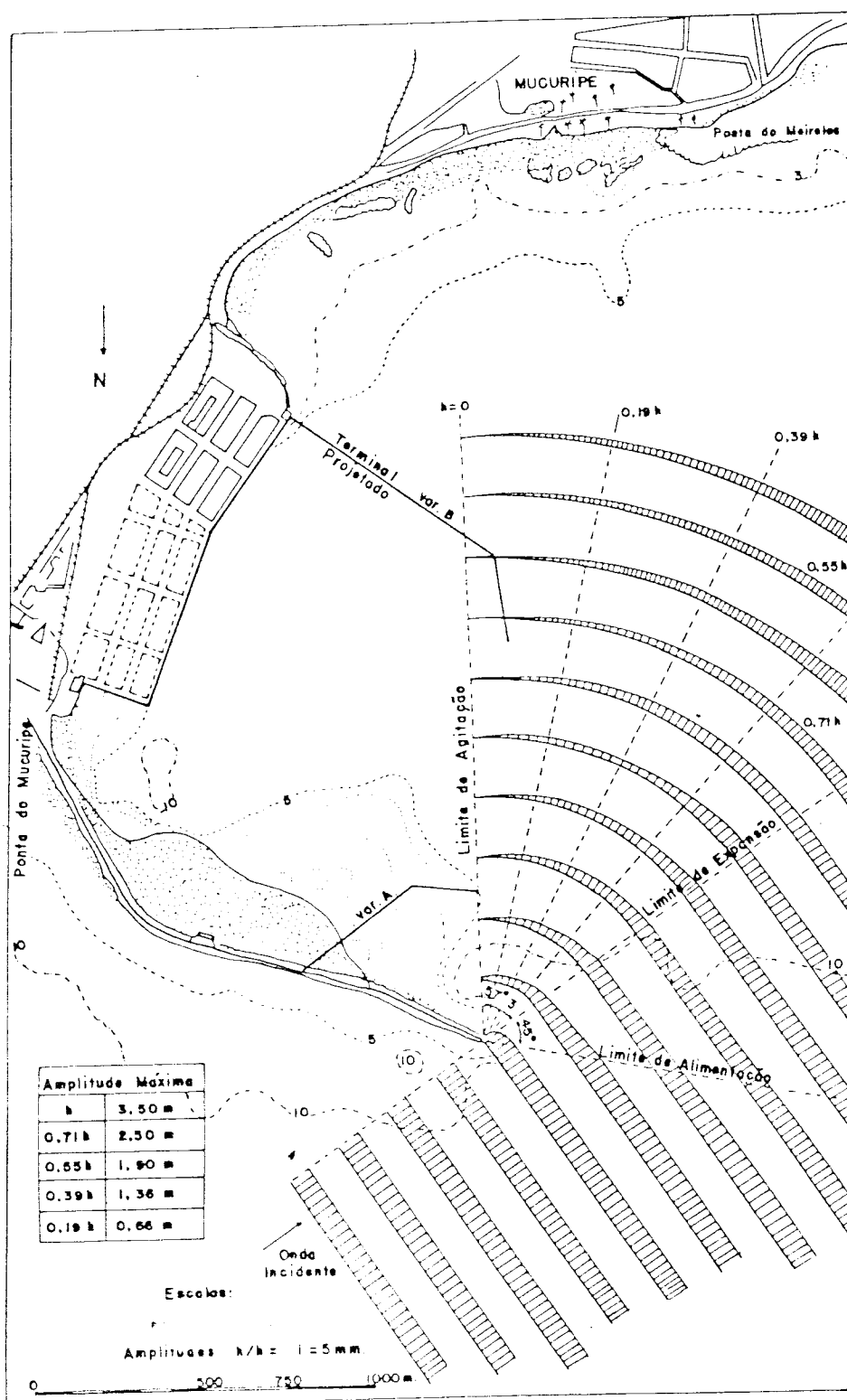


Figura IX.26-Agitação na enseada do Mucuripe considerando um plano de incidência Leste

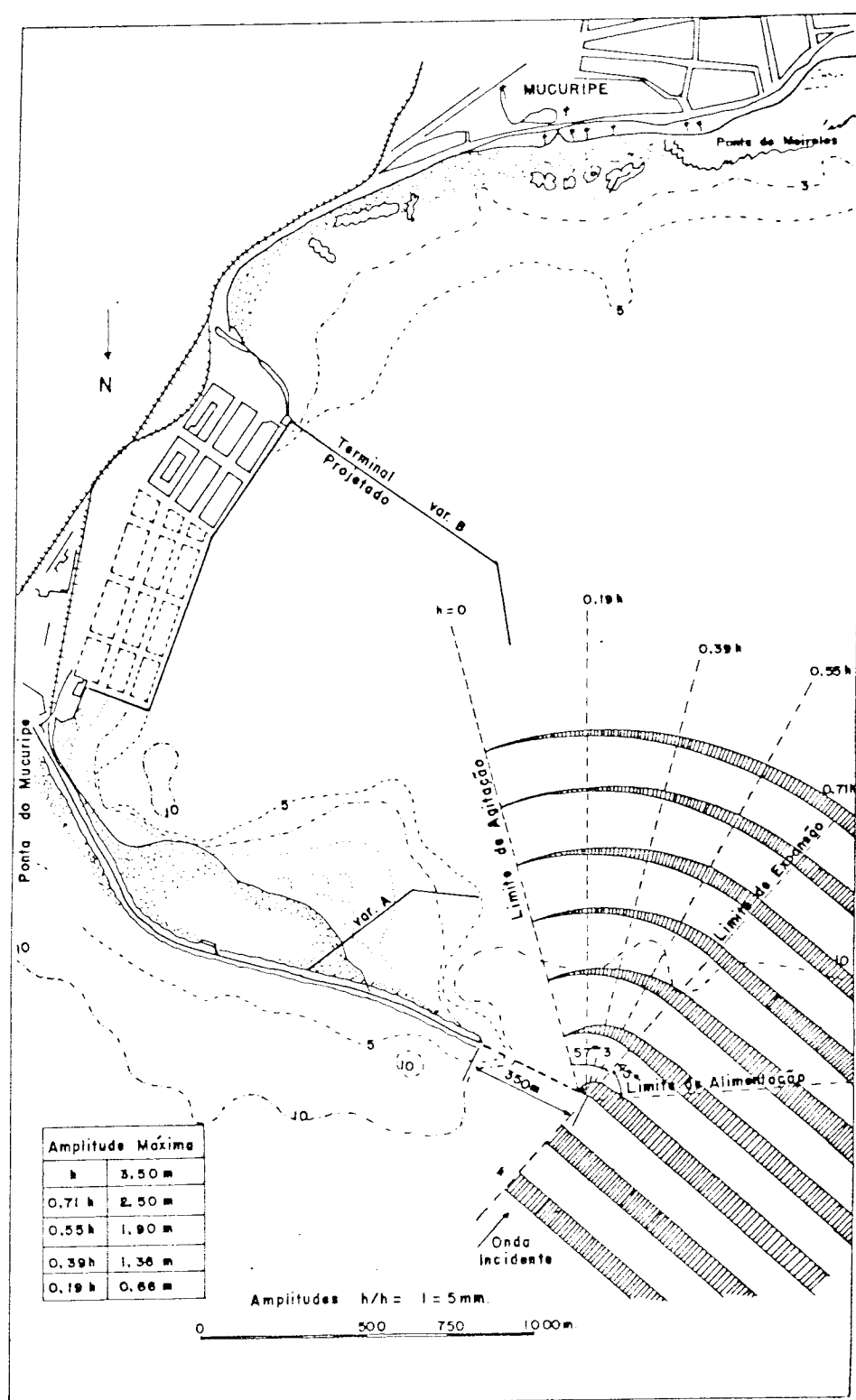


Figura IX.27-Agitação no porto considerando-se uma extensão de 350m no molhe e incidência de ondas nordeste.

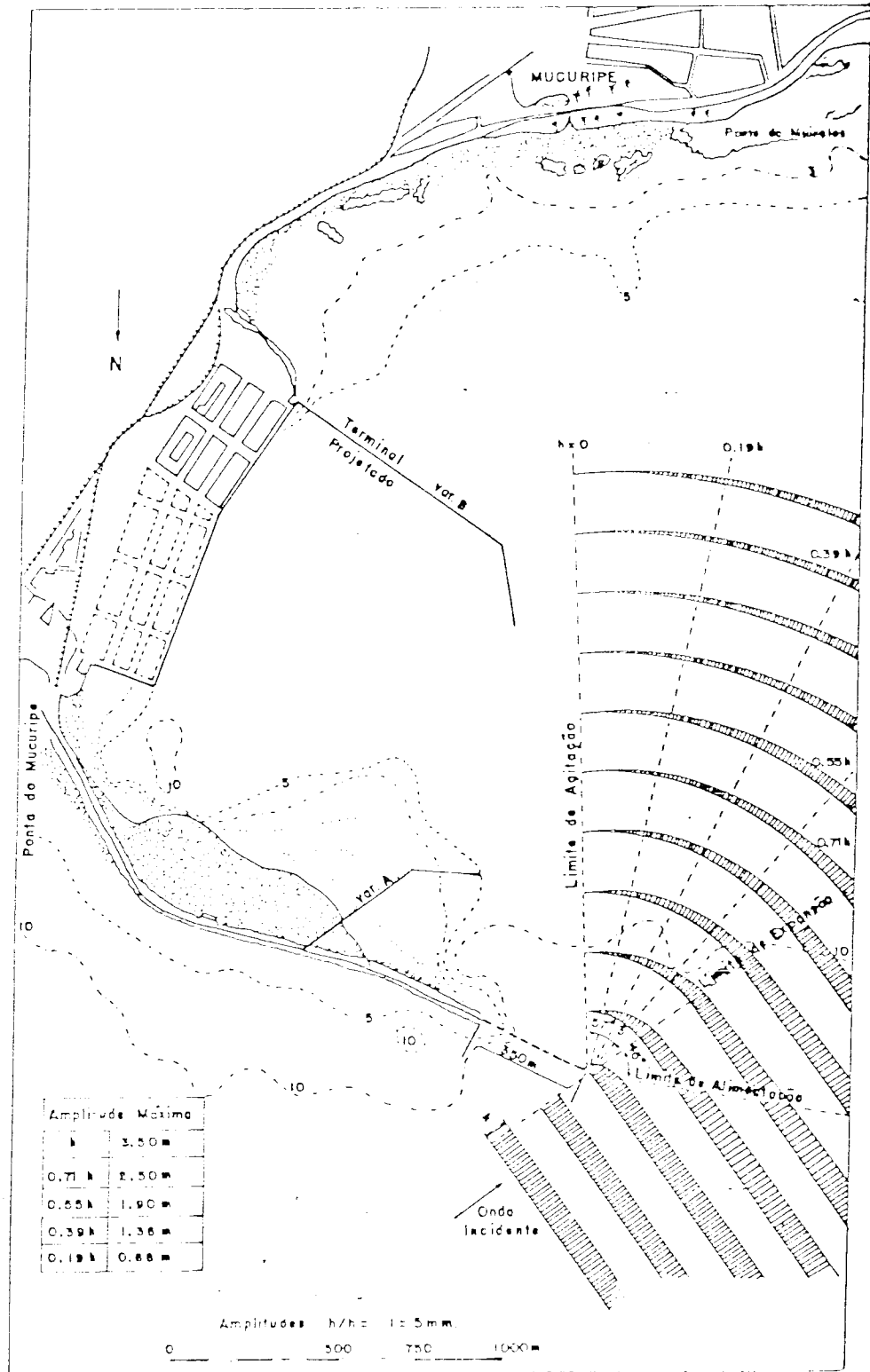


Figura IX.26-Agitação no porto, considerando-se uma extensão de 350m no molle e incidência de ondas de leste.

Como emergência, a fim de evitar consequências mais graves para o litoral de Fortaleza, foi adotado um sistema de defesa constituído de diques longitudinais de enrocamento. Esses enrocamentos tais como os da praia dos Diários-Iracema e Praia Formosa foram pouco a pouco se abatendo e tendendo à destruição.

A evolução dos fundos no trecho da praia de Iracema se faz notar claramente ao comparar a planta de 1920 (figura IX.32) , com a de 1946 (figura IX.8) , onde constata-se que 128.000 m³ de terras desapareceram. Comparando-se as isobatas levantadas em 1920 com as de 1956 (figura IX.32) nota-se que a linha zero de 1920 está afastada da de 1956 cerca de 10 metros e no litoral do espigão projetado é onde elas estão mais separadas atestando que a erosão castigou de fato, em maior escala a Praia de Iracema. O movimento das ondas nesta região não provocou necessariamente um transporte litorâneo, mas sim do tipo frontal, carreando o material da curva de nível de +6 m e espalhando-se nas imediações submersas. Isto é possível de verificar tendo em conta que as isobatas mais profundas não apresentam evidências de erosão forte. Talvez a erosão no fundo da enseada tenha sido compensada pelo próprio material erodido da praia.

A construção do molhe de retenção na praia do Futuro melhorou os problemas de assoreamento no porto, mas agravou os de erosão na praia de Iracema. Desde então passou-se a idealizar uma maneira de proteger com mais eficácia aquela área. Pensou-se inicialmente na construção de um quebra-mar longitudinal e submerso já que não havia mais alimentação da

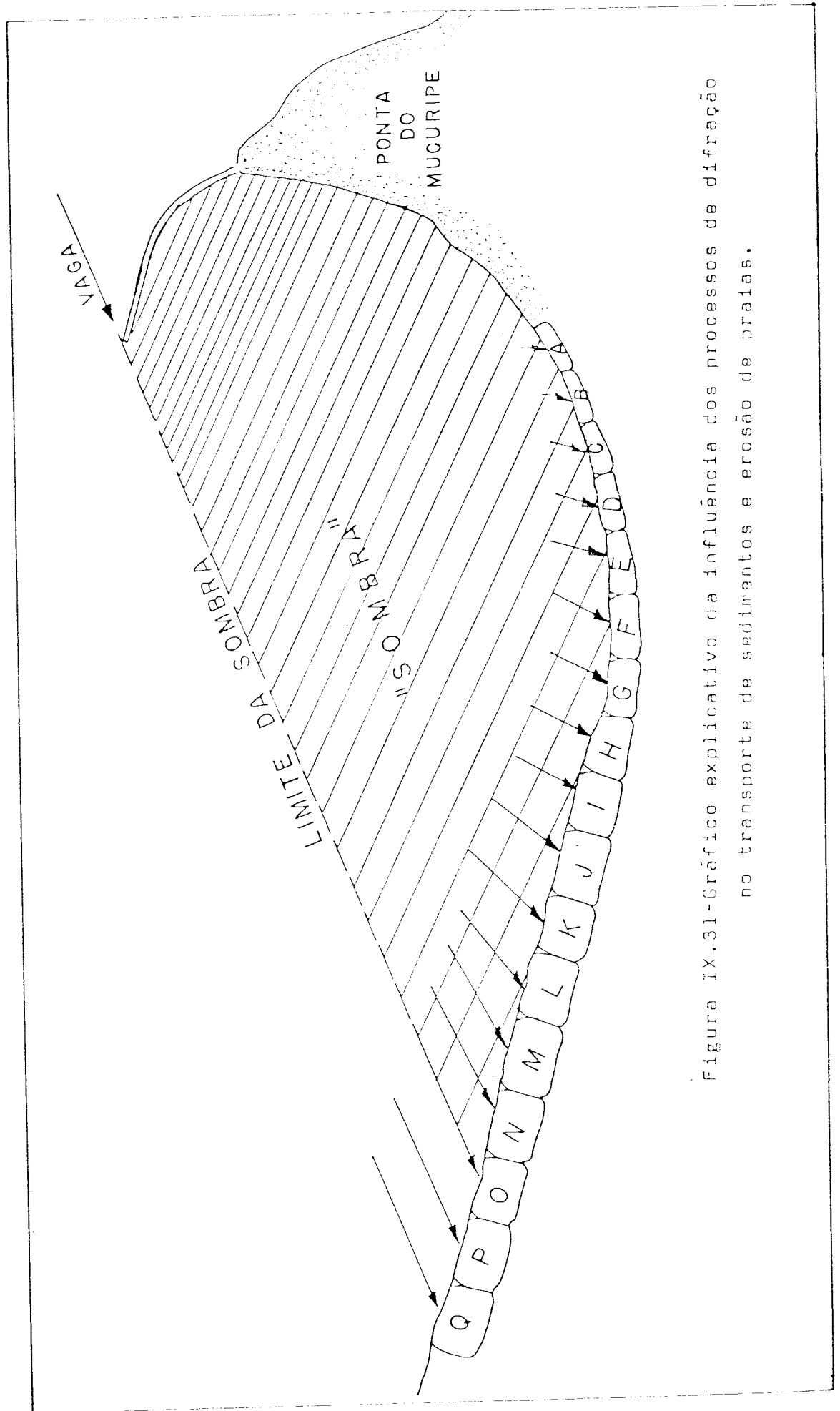


Figura IX.31-Gráfico explicativo da influência dos processos de difração no transporte de sedimentos e erosão de praias.

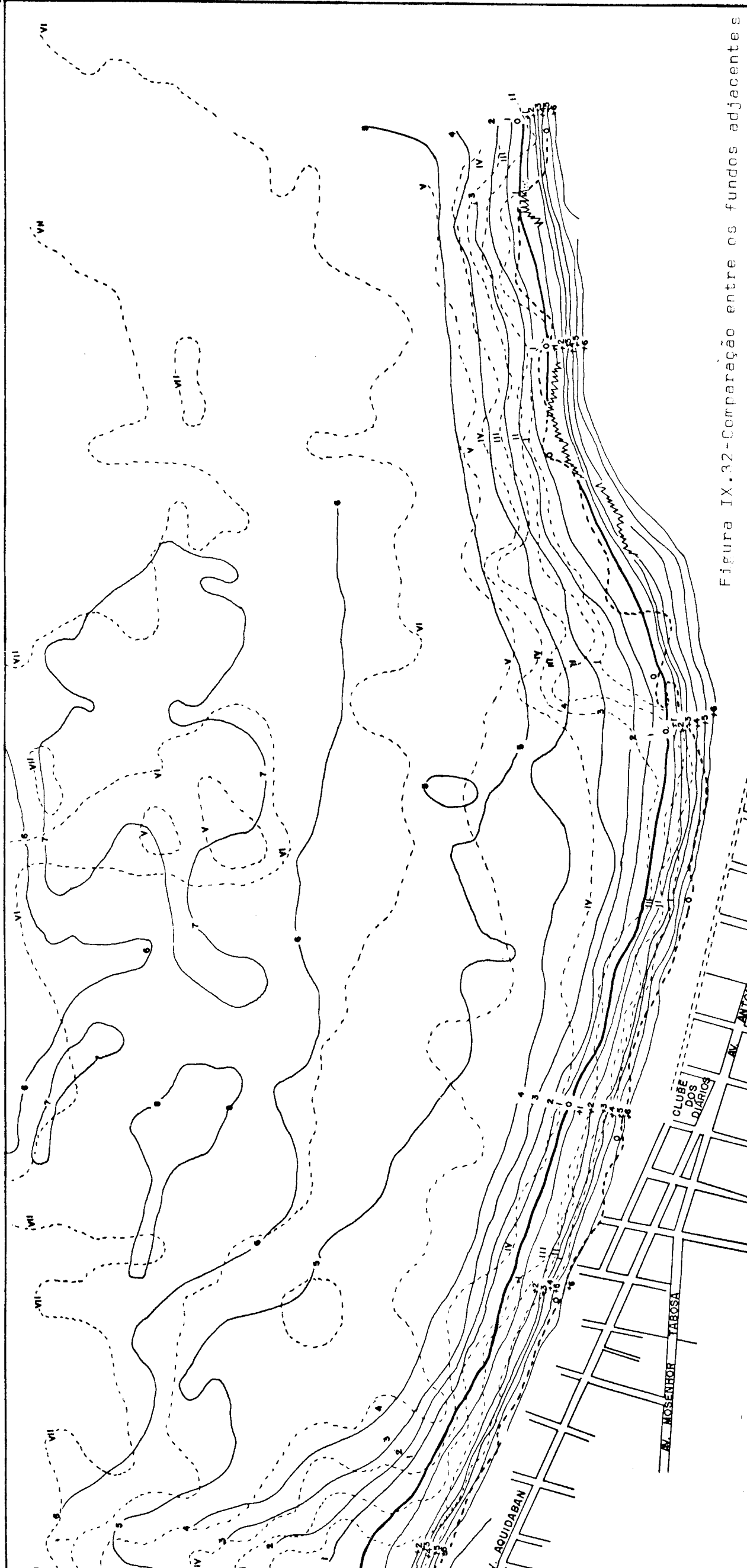
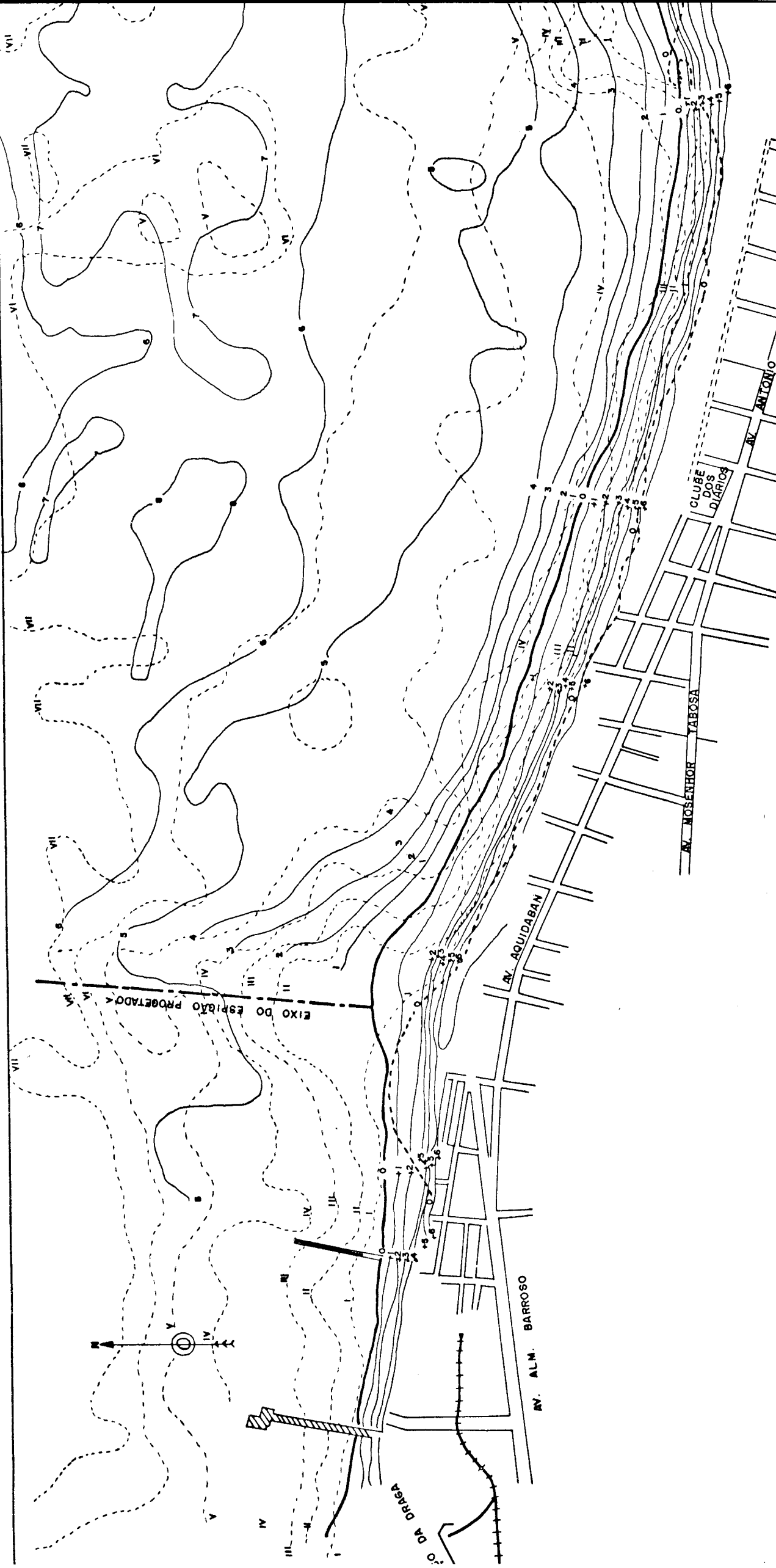


Figura IX.32-Comparação entre os fundos adjacentes

Xerox



praia uma vez que estava em funcionamento o molhe de retenção da Praia do Futuro.

Foram então levados em consideração alguns ensaios em modelo reduzido no INPH . A escala do modelo era de 1:600 (horizontal) e 1:100 (vertical) . O modelo possuía uma área de 15 x 19 m limitado por um muro impermeável de 0,60 m de altura (figura IX.33) . A representação das curvas de nível foi realizada com vergalhões de metal de diâmetro 3/16" . Junto aos limites do modelo foram colocados filtros artificiais e praias de pedra a fim de evitar a reflexão das ondas sobre o fenômeno estudado. A reprodução das ondas foi feita por meio de um gerador de ondas formado por diversas pás cuja mudança de direção se faz manualmente, acoplado a um motor e conjunto redutor de velocidade, responsável pela variação dos períodos. O material de fundo foi a acetato de celulose, cuja granulometria é de 0,8 mm , densidade 1,28 t/m³ e não se decompõe na presença d'água. Para representação esquemática do caminhamento das areias de leste para oeste foram testados vários ensaios, tentando-se corrigir com a mudança na direção, período e amplitude das ondas, além da alimentação.

As figuras IX.34 e IX.35 , mostram alguns testes destes ensaios, onde se nota a erosão progressiva nas praias. Depois de todos os ensaios chegou-se a conclusão de que com o regime de costas da região, a proteção só poderia ser realizada com quebra-mares aflorantes ou então espigões.

Optou-se pela construção do espigão perpendicular a praia de Iracema, já que não havia mais alimentação natural

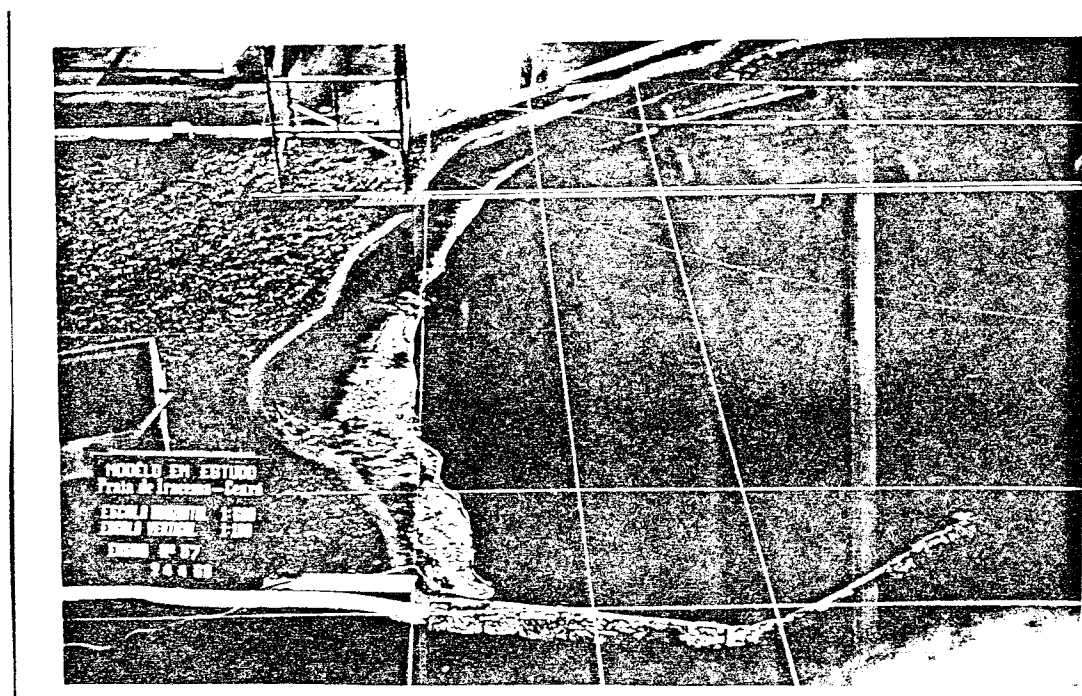
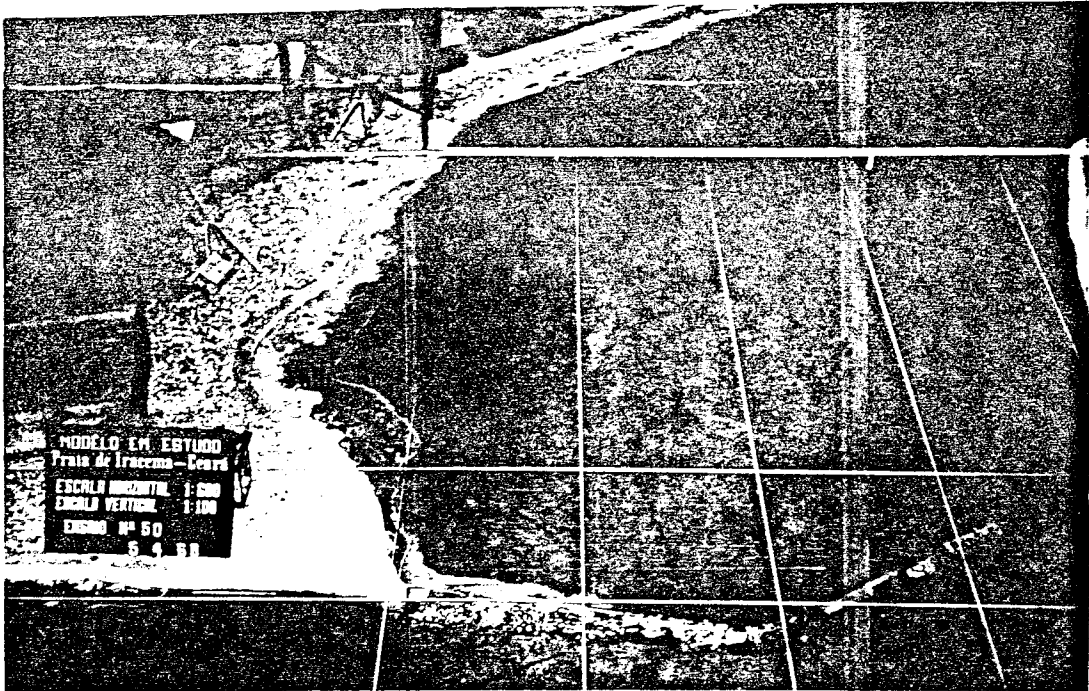


Figura IX.33 - Fotografias do modelo reduzido da enseada do Mucuripe, para estudos de recuperação da praia de Iracema, efetuados no INPH .

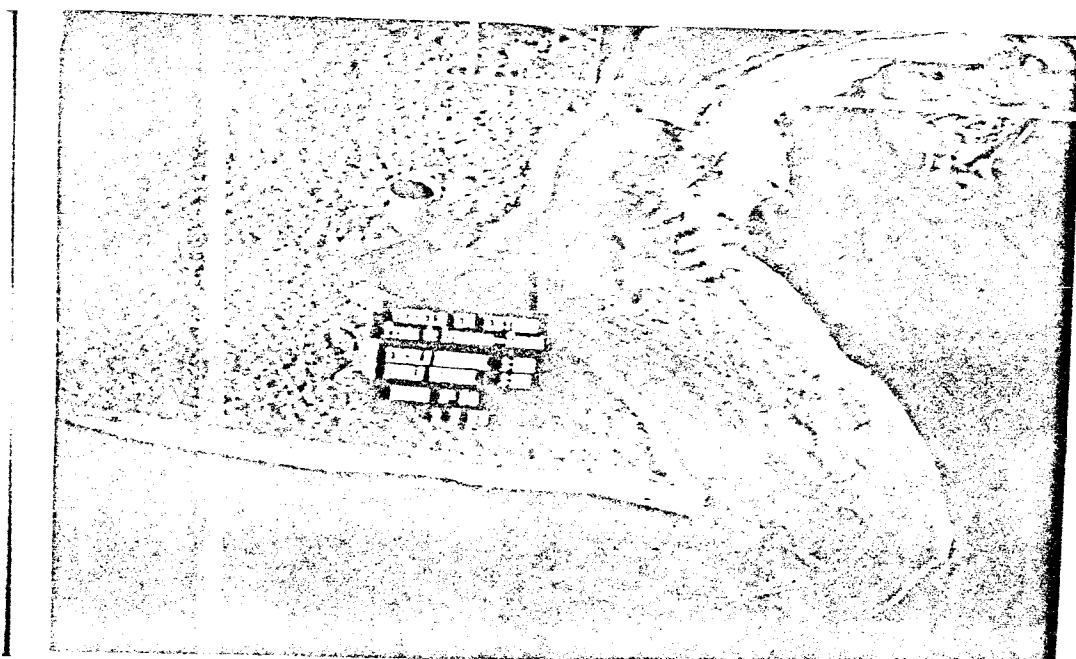
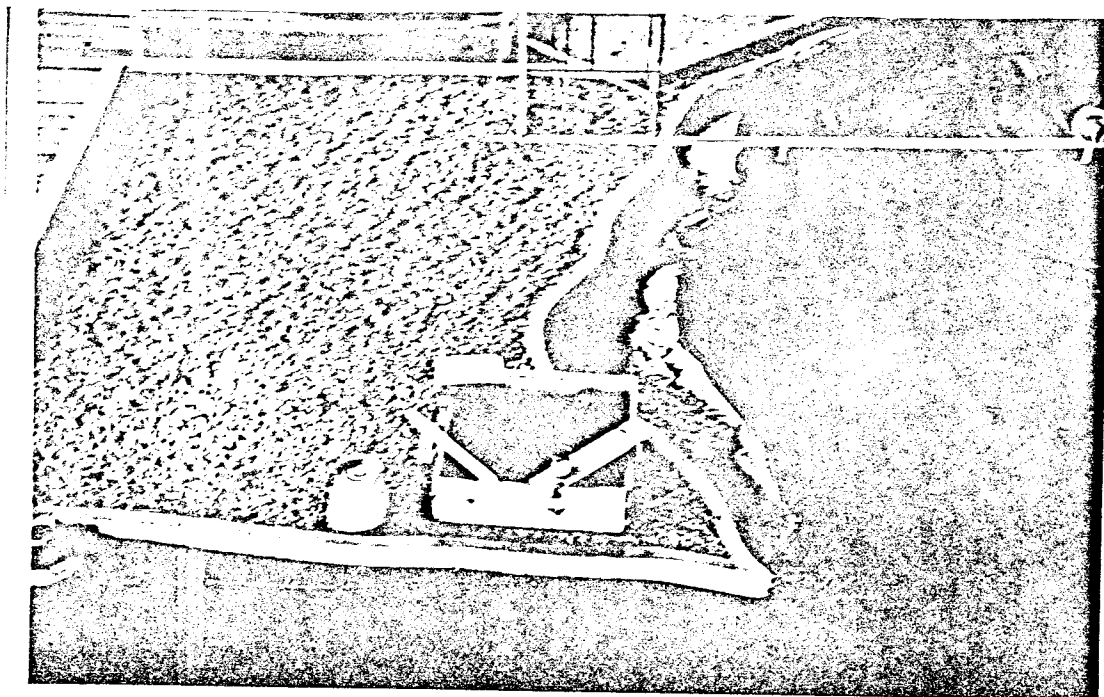


Figura IX.34 - Caminhamento do acetato de celulose ao longo da enseada, antes da colocação do espigão.

A figura IX.36 , segundo Portugal, 1946 , dá uma idéia de como a praia Formosa foi duramente castigada pelas erosões. Atualmente pode-se constatar por fotografias aéreas (figura IX.37) que o uso de diques longitudinais de enrocamento utilizados para defesa de praia tiveram o inconveniente de fazer com que desaparecessem o estirâncio defronte ao mesmo, com excessão dos locais onde afloram os arenitos.

Entre as praias do Pirambu e Arpoador ocorrem duas que alimentam as praias mais a oeste. O transporte pelos ventos do quadrante leste também é grande, acumulando sedimentos no enraizamento do lado leste dos espigões (figura IX.37.A).

Em definição simples, erosão significa perda de material na praia. Uma linha de praia pode ser considerada em equilíbrio quando a quantidade de sedimentos que é levada da praia é equivalente a quantidade dos sedimentos que chegam a mesma praia. Já vimos que interrupções ao caminhamento das areias, tais como os espigões do Mucuripe e Iracema, provocam erosão a juzante dos mesmos. A recessão das praias no entanto decresce a medida que as distâncias do espigão aumentam. Há uma substituição do material erodido a juzante pelo que é erodido à montante. A maneira básica de calcular os dados de erosão em praias é pela comparação dos mapas em diversas épocas, sobrevôos e principalmente em locais onde há aparecimento de "spits" e cabos. (Carr, 1965 ; Caldwell, 1966 ; Kraft and Caukl, 1973) . Isto entretanto subestima o transporte de sedimentos porque não considera a profundidade, nem mesmo os sedimentos em suspensão. Mas assim mesmo, mede a razão pela qual os sedimentos têm sido distribuídos,



Figura IX.37.A - Espigões implantados no litoral oeste da cidade para fazer face a erosão pronunciada que expôs níveis de rochas sedimentares. (Veja situação anterior na página seguinte).

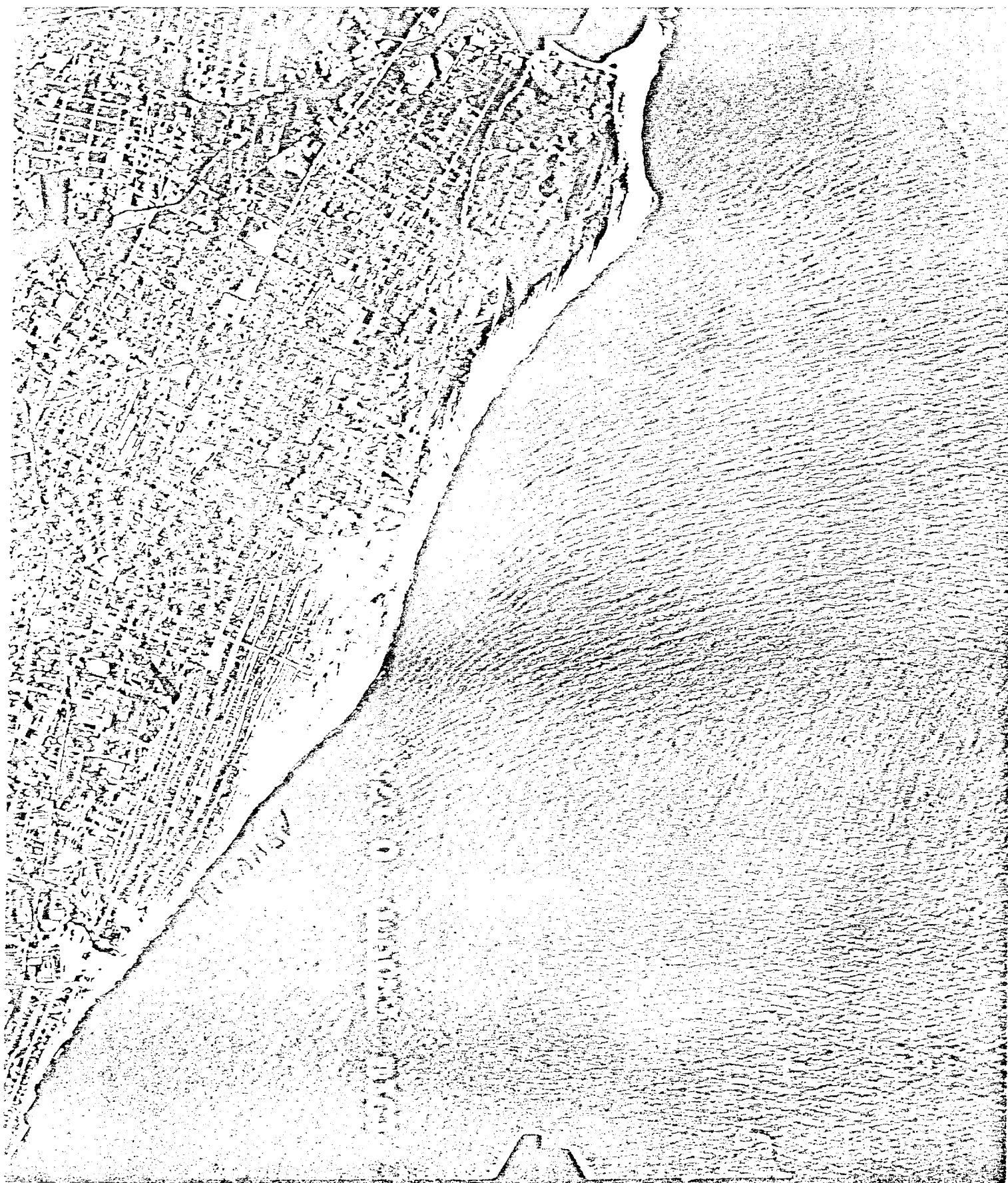


Figura IX.37.A (Continuação) - Área do litoral oeste 15 anos antes de sofrer processos intensivos de erosão mostrados na foto anterior. Nota-se a presença de dunas e cordões litorâneos e ausência total de rochas de praia emersas.

que no caso, é o dado que interessa mais.

Um método simples, mas preciso, de determinar o volume de massas irregulares é por meio de uma fórmula prismoidal.

$$V = \frac{H}{6} (S_T + 4 S_m + S_B)$$

Onde V é o volume; H é a altura da seção; S_T e S_B são áreas transversais no topo e na base respectivamente e S_M na seção média. Vários autores empregaram esta fórmula (Shepard, 1950 ; Sonu, 1968 ; Sonu & Van Beck, 1971 ; Bajorunas & Duane, 1974) . Chegaram todos a conclusão que durante tempestades e ressacas os sedimentos são removidos mar a fora e quando as condições são mais calmas as ondas trazem as areias de volta para as praias. Isto foi comprovado em laboratório por Recter, 1974 e Scott, 1974 ; e detalhadamente baseados em estudos de campo por Shepard, 1950 ; Yasso, 1965 ; Ingle, 1966 ; Ippen, 1966 ; Sonu & Van Beck, 1971 ; e Hayes, 1971 .

A figura IX.38 , segundo Duane, 1976 , procura estabelecer o ciclo natural dos sedimentos em uma zona costeira. Como pode-se observar desta figura as fontes são vistas tanto como distribuidoras (isto é, elas contribuem com material para a costa) ou cíclicas (isto é, fazem a reciclagem do material originalmente recebido da fonte de distribuição) . Áreas de erosão são pela sua própria natureza fontes cíclicas. Áreas de armazenamento são subambientes da zona costeira onde os sedimentos são temporariamente acumulados e posteriormente retornam ao sistema. Curto prazo é arbitra

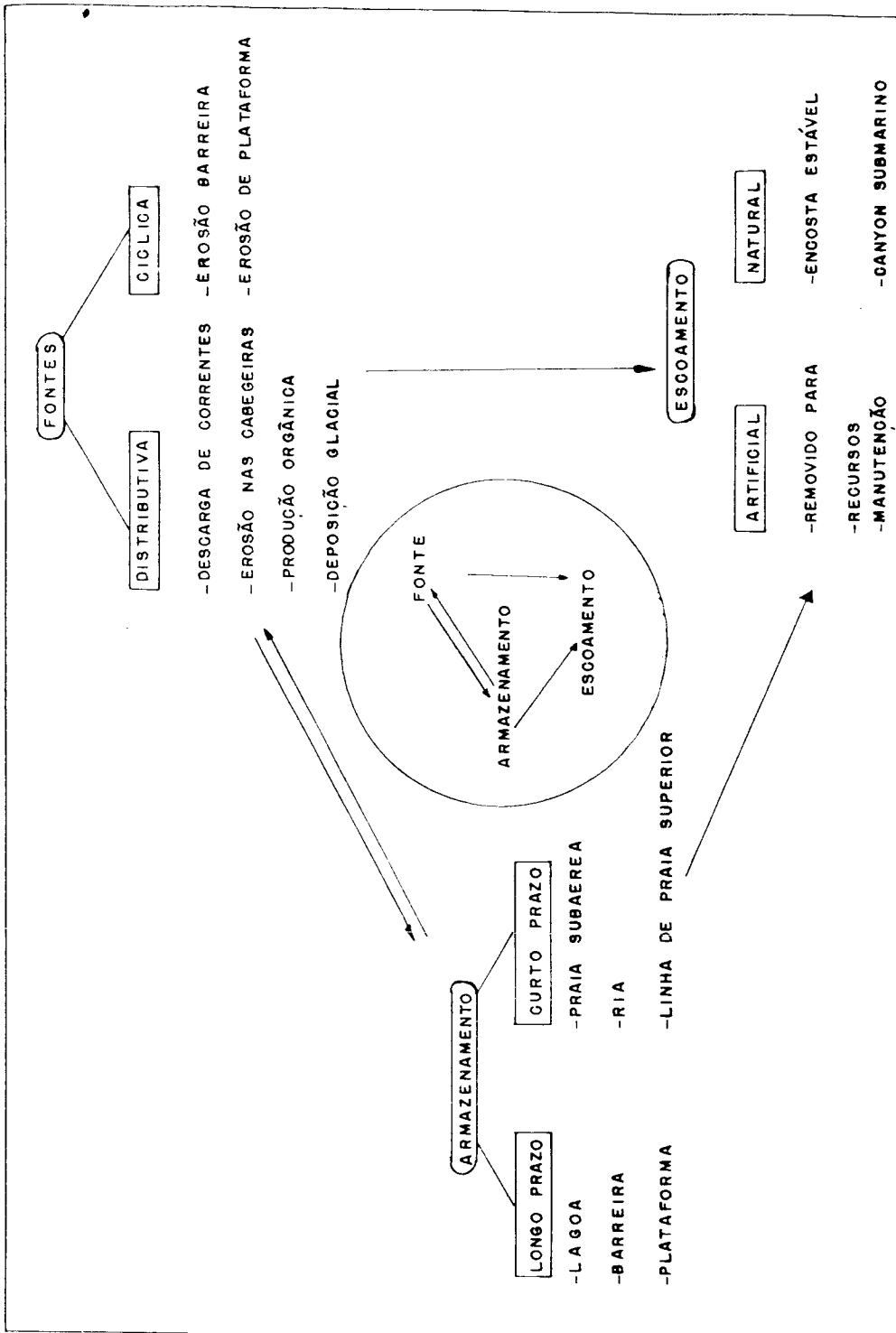


Figura IX.38 - Ciclo natural dos sedimentos em zona costeira, segundo Duane, 1976 .

riamente definido como acumulação para anos ou décadas, ao passo que longo prazo considera séculos. "Sink", é o lugar final de deposição para material proveniente da fonte ou área temporária de acumulação.

Dentro deste contexto de determinação de locais temporários de acumulação, zona de remoção de sedimentos, erosão e deposição foram lançados os espigões nas praias a oeste da praia de Iracema.

A figura IX.39, mostra o comportamento dos fundos adjacentes à praia, logo após a construção dos espigões, na Praia Formosa. Pode-se notar que a linha zero desaparece quase completamente junto ao quebra-mar longitudinal de enrocamento, sendo esta uma das principais desvantagens deste tipo de proteção (o desaparecimento do estirâncio).

Pode-se também notar que o transporte litorâneo foi minimizado, ocorrendo em maior escala o transporte frontal, o que está revelado no comportamento da isobata de 2 metros que toma a forma de uma língua de areia em direção ao mar, em frente ao enrocamento. Há uma larga faixa de sedimentos circundados pela isobata de 6 metros em frente a extensão do enrocamento, o que interpretamos como se fosse uma área de armazenamento transitório do material em transporte frontal. Circundando a extremidade do quebra-mar Hawkshaw vemos que houve o assoreamento esperado.

A figura IX.40, mostra os primeiros quatro espigões que foram implantados neste trecho de praia correspondente à praia do Pirambu. A linha zero que praticamente havia desaparecido na figura anterior, reaparece bem definida



ESCALA GRAFICA
 0 100
 METROS

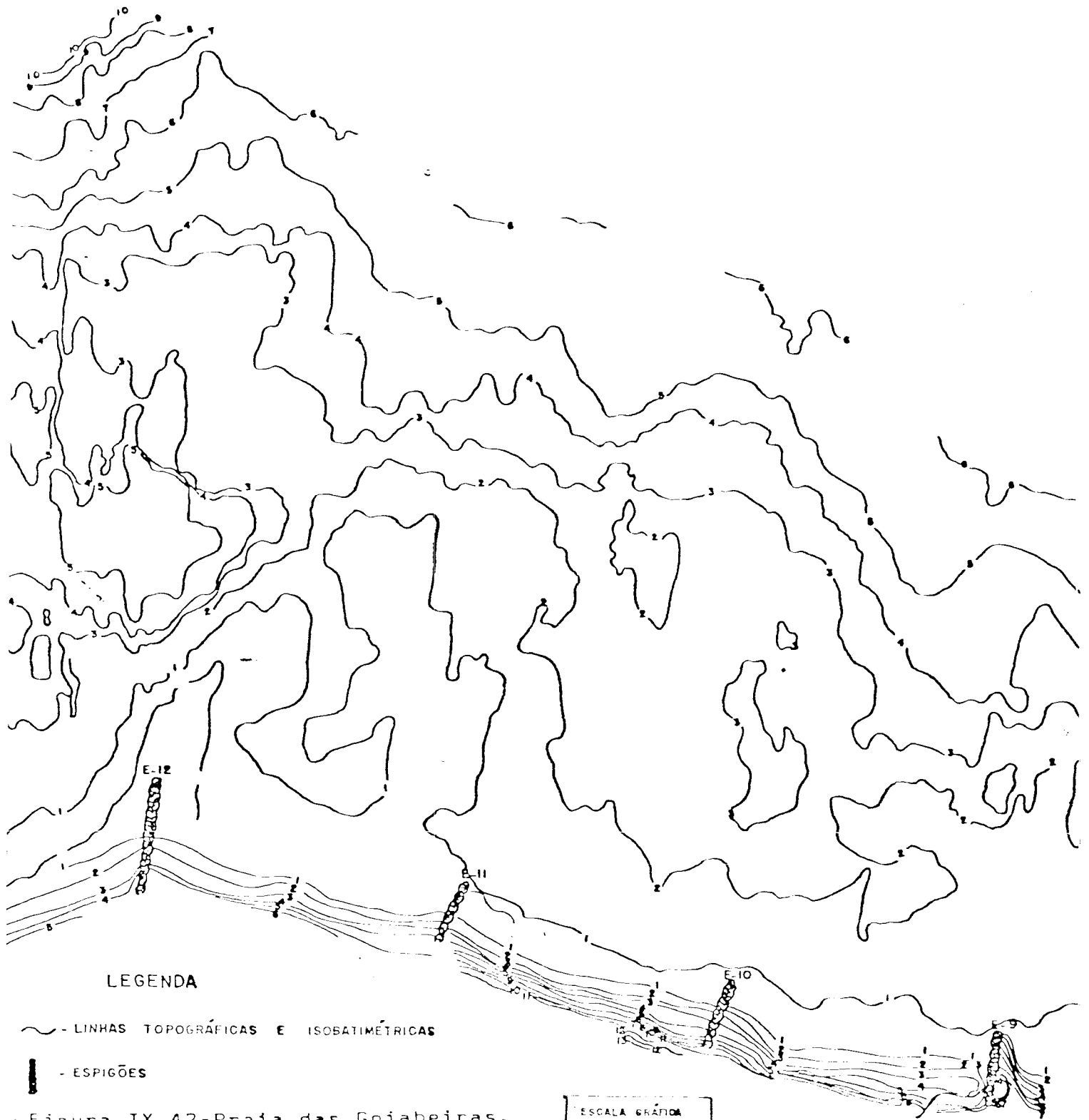
LEGENDA

- ~ LINHAS TOPOGRÁFICAS E ISOBATIMÉTRICAS
- ⊥ - ESPIGÕES

AV. LESTE OESTE

AV. LESTE OESTE

QUEBRA-MAR HAWKSHAW



LEGENDA

- LINHAS TOPOGRÁFICAS E ISOBATIMÉTRICAS
- ESPIGÕES

Figura IX.42-Praia das Goiabeiras.

ESCALA GRÁFICA
0 100
METROS

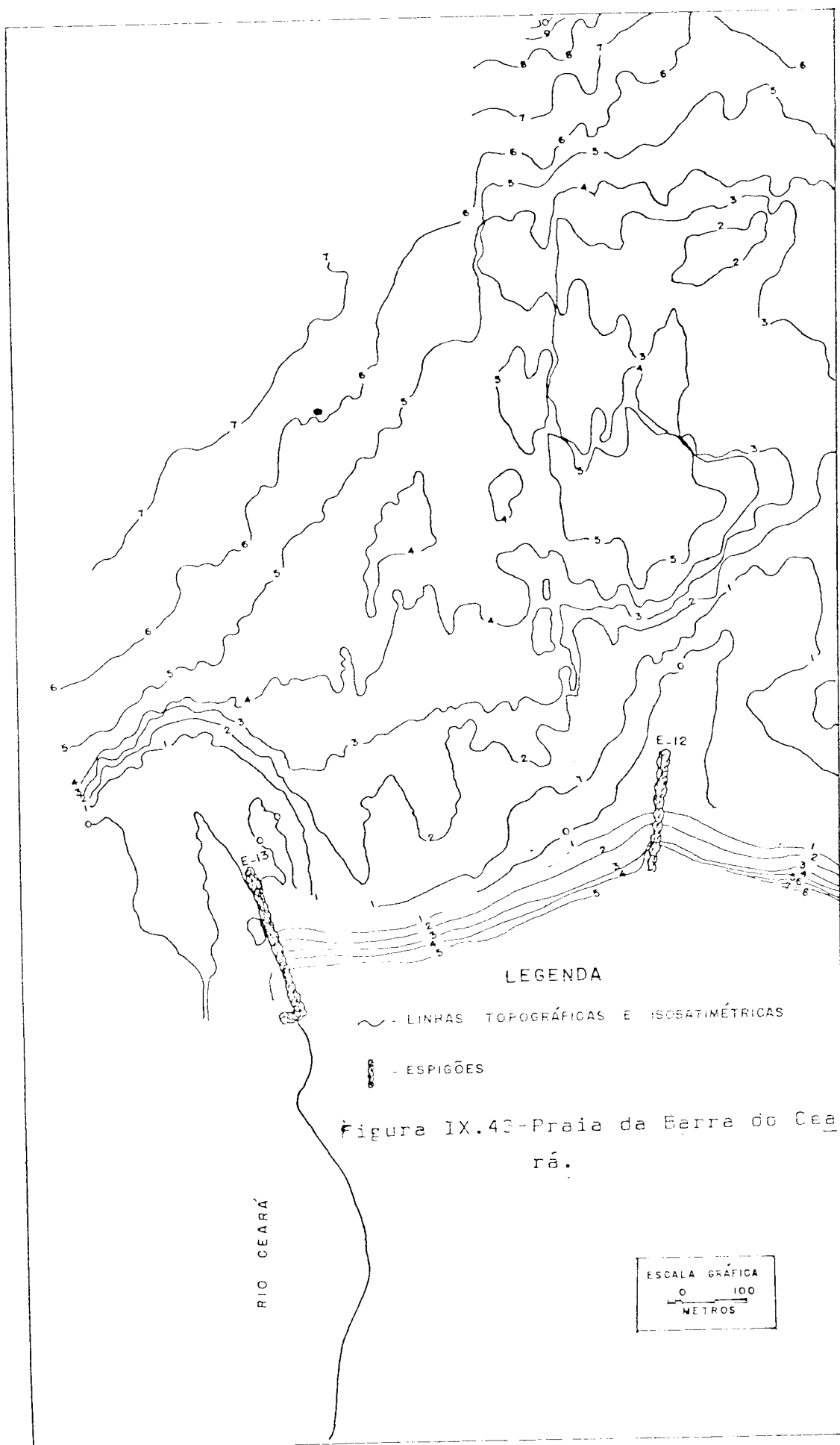


Figura IX.43 - Praia da Barra do Ceará.



Figura IX.44 - Arenitos expostos por erosão na Praia dos Dois Coqueiros. Notar sistema de fraturas perpendiculares e deslocamento sobre planos paralelos.

posição frontal às ondas de SE e leste, e pelo aporte dos rios locais está longe de atingir um equilíbrio hidrodinâmico sedimentológico. Pelo contrário haverá sempre uma tendência a engordar a praia junto ao espigão o que necessitará futuramente uma extensão do mesmo quando começar a haver o transpasse dos sedimentos.

Pseudomonas sp. Mota e Ribeiro, 1975 , fez um levantamento geral da poluição orgânica das praias de Fortaleza, levando em consideração a análise de 110 amostras d'água para determinação de colimetria total, fecal e *estreptococcus fecalis*. A SUDEC mantém atualmente a população da cidade informada das áreas de maior balneabilidade, e é, em Fortaleza, quem dispõe de dados mais atualizados referentes a qualidade das águas das praias, e através de seus relatórios semanais tem recomendado as áreas de balneabilidade. Destes estudos, constata-se que as praias mais recomendáveis para os banhistas são as localizadas no lado da Praia do Futuro, até o Rio Pacoti, e as praias situadas a oeste da Barra do Ceará. Pontos de alta poluição, próximos a esgotos, galerias e riachos, portanto impróprios a balneabilidade, são o Poço da Draga, Praias do Kartodromo e adjacências, praia situada entre os espigões E₂ e E₃ . Também com índices de alta poluição estão as praias do Hotel Esplanada, Comercial Clube, e a Praia do Arpoador, todas de frequência não recomendável.

O oceano tem grande capacidade de depurar os efluentes dos esgotos através dos processos de diluição, dispersão, oxidação, transporte e assimilação. O lançamento dos efluentes nas praias, no entanto polui o meio ambiente. Por isso a idéia mais coerente seria a da construção de um emissário submarino que recebendo o material do terminal oceânico lançasse ao mar, distante da costa. Como o oceano dilui, dispersa, oxida, transporta e assimila o esgoto inativando seus microorganismos, estaria encontrada uma solução para este tipo de poluição em Fortaleza.

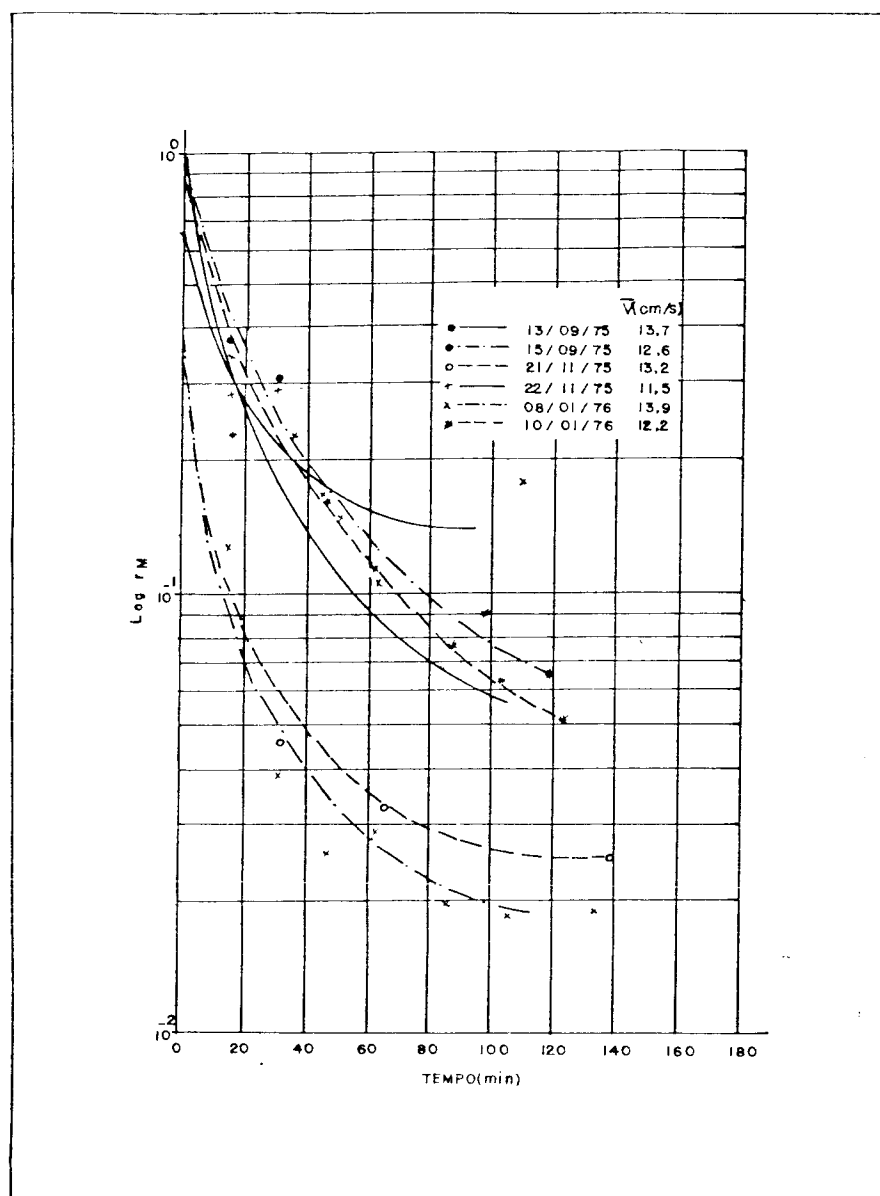


Figura IX.49 - Decaimento bacteriano

O movimento de navios no porto, a manutenção de embarcações nos estaleiros, a operação de descarga dos navios favorecem a acumulação dos derivados de petróleo nos sedimentos e nas águas adjacentes ao porto e nas proximidades do quebra-mar Hawkshaw. Além disso há o transporte eólico dos componentes voláteis e refinados do petróleo e ainda a poluição química proveniente dos postos de gasolina e manutenção de veículos localizadas na orla marítima.

A poluição por produtos químicos na enseada do Mucuripe está expressa na figura IX.50, modificada de Perdigão, 1979, que mostra respectivamente as porcentagens em óleos e graxas, concentrações de sólidos totais e distribuição da matéria orgânica nos sedimentos da bacia do porto do Mucuripe.

Os valores bastante elevados estão situados acima dos padrões internacionais que segundo Chen & Lu, 1974, são os seguintes:

Componentes químicos	Concentração (% em peso seco)
Sólidos voláteis totais	6,00
Demanda química de oxigênio	5,00
Óleos e lubrificantes	0,15

A matéria orgânica e carbono orgânico resultantes da acumulação dos derivados de petróleo na água e sedimentos servem de alimento aos microorganismos provenientes dos esgotos, causando proliferação de bactérias. Estas bactérias atacando o petróleo disperso causa a perda dos componentes de baixo peso molecular e ocasiona a formação de bolas de alca

trão que são praticamente indestrutíveis, resultando na sua sedimentação ao largo ou na praia. O óleo pode ainda produzir escassez de oxigênio para os peixes e reduzir a síntese clorofiliana das plantas marinhas.

A maioria dos esgotos de praias em Fortaleza apresenta matéria putrescível em quantidade suficiente para produzir efeitos nocivos. É o que foi constatado pela descoloração do azul de metileno colocado nas águas. Sabe-se que o azul de metileno em presença de oxigênio conserva a cor, e se a cor permanece inalterada por 10 dias o esgoto está normal. No caso dos esgotos testados a descoloração foi imediata.

X - UTILIZAÇÃO ECONÔMICA DOS MATERIAIS DO AMBIENTE TRANSICIONAL E SEDIMENTOS SUPERFICIAIS SUBMERSOS

X.1 - As algas calcárias e biodetritos

As algas calcárias, discutidas no capítulo IV deste trabalho devido ao seu teor em Ca e Mg e da composição dos seus elementos traços podem ser empregadas como fertilizantes, no aproveitamento mais adequado de solos ácidos.

A plataforma continental em frente a Fortaleza desde a profundidade de 15 metros possui ocorrência do maerl que por seu alto conteúdo em CaCO_3 e baixo teor de Mg é de primeira qualidade para fabricação do cimento.

Milliman & Amaral, 1975, supondo uma espessura média de 5 metros ao longo de toda costa do nordeste, estimaram uma reserva de 2×10^{11} toneladas. Considerando que estas algas têm mais de 75% de carbonato de cálcio (Coutinho & Moraes, 1970) esta reserva é cerca de 50 vezes as reservas de carbonato estimadas para o continente pelo DNPM. (in Coutinho, 1976).

Para sua exploração e exploração implicações de ordem ambientais devem ser consideradas. Esta facies carbonática é o habitat natural das lagostas, principal produto de exportação do Ceará. Portanto, torna-se praticamente proibitivo a exploração destas algas até que sejam definidos seus parâmetros ecológicos, tais como o índice de regeneração, já que ainda não se sabe se a exploração intensiva, eliminando a capa superficial viva dos depósitos, torna precárias suas

condições de sobrevivência. Além disto, a exploração deste tipo de algas bentônicas muito próxima a costa pode modificar o sistema de refração de ondas, pois como vimos no capítulo VIII, durante a refração as ondas procuram se adaptar as linhas batimétricas, modificando o modelo de rebentação local. Talvez por este motivo Kempf, 1972, sugeriu que a exploração de algas calcárias poderia ser efetuada entre as isôbatas de 20 e 30 metros, segundo ele, sem nenhuma influência sobre o equilíbrio do meio ambiente ou a pesca.

Em 1977, a produção de calcário explorado na parte continental do Brasil alcançou cerca de $1,9 \times 10^6$ ton. e isto representa aproximadamente 0,5% das reservas conhecidas em terra. Segundo Castro, 1973, as reservas de carbonato provenientes de organismos vivos e águas rasas no Brasil são da ordem de $3,5 \times 10^7$ tons. No Ceará e ao largo de Fortaleza as conchas de moluscos, principais componentes dos biodetrítos, ocorrem em manchas esparsas constituindo o chamado fácies organogênica de Kempf, Coutinho e Moraes, 1968.

As reservas de carbonato de cálcio no continente, no Estado do Ceará, tanto na forma de calcário como de dolomita acham-se distribuídas por todo o estado e a quase totalidade do produto é consumida em empresas locais. A Cia. Cearense de Cimento Portland, em Sobral, com uma capacidade instalada de 90.000 ton/ano de cimento, representa um consumo de calcário da ordem de 14.400 ton/ano (DNPM, 1978). Está havendo demanda em larga escala, o que aumentará mais ainda com a instalação do porto de minérios em Itaqui. Além disto outra fábrica de cimento no sul do estado na cidade de Barbalha,

dobrará o consumo de calcário atual. No Ceará ainda existem também quatro empresas no setor de fabricação de corretivo do solo com capacidade instalada de 160 ton/8 horas-dia. Outras empresas utilizam o calcário no setor de hidrosolúvel (Quimindústria S.A.), no setor de azulejos, no setor de carbonato de cálcio moído e tintas. As reservas referidas pelo DNPM em 1978 , de calcário e dolomita eram de 122.631.000 tons.

As reservas inferidas com possibilidades de aumento de acordo com a grande quantidade de pedido de pesquisas que chegam ao DNPM, garantem por si sô o consumo no estado, e não nos parece necessário a curto prazo a preocupação com a exploração dos fundos marinhos adjacentes.

Para a pesquisa e exploração dos fundos marinhos no que concerne a algas calcárias e moluscos é necessário atentar para os seguintes pontos:

a) Definir a espessura e distribuição espacial dos bancos, através da varredura acústica lateral e perfilagem com o PDR 3,K KHz . Isto ainda não foi feito em detalhe nem em Fortaleza, nem em áreas adjacentes.

b) Avaliar o efeito de turbidez das águas durante as dragagens para saber se uma vez dificultada a penetração da luz haveria descalcificação de organismos marinhos.

c) Este sedimento posto em suspensão e redepositado em forma de lama calcária sobre o substrato duro, poderia formar lama calcária, impedindo o crescimento de larvas asfixiando algumas espécies (Coutinho, 1976) .

d) Necessário se faz um estudo de regeneração dos

fundos calcários. Mergulhando-se na profundidade de 20 metros, uma área aproximada de 200 m² deverá ser destruída e acompanhar periodicamente sua regeneração. Segundo Cabioch, 1970, foi calculado que a idade de crescimento destas algas é de 5 a 6 anos. O LABOMAR com estudo de cultivos de algas em tanques tem condições de checar dados, reproduzindo-se o ambiente em laboratório, principalmente em definir que mudanças nas populações bentônicas podem ser diagnosticadas.

e) Torna-se inteiramente proibitiva a exploração das algas calcárias sobre o substrato duro expostas na figura IV.20). Este banco situa-se a nordeste da ponta do Mucuripe. Uma vez destruído, mesmo sabendo-se do aspecto "recomendável" devido aos processos de regeneração, pode causar mudanças bruscas na batimetria muito próximo ao porto. É bom lembrar que o sistema de ondas discutidos no capítulo VI deste trabalho é nos quadrantes leste e sudeste e sazonalmente ocorrem ondas de nordeste. Com a mudança no tipo de fundo pode haver refração de ondas, procurando adaptar suas cristas as novas linhas batimétricas e com isto afetar de algum modo o porto do Mucuripe.

X.2 - Sedimentos superficiais submersos (abióticos)

A fácies terrígena da plataforma continental por ser a que recebeu durante o quaternário, o aporte de sedimentos diretamente dos continentes é, sem dúvida, muito propícia a acumulação de minerais pesados e outros tipos de materiais.

Os minerais pesados são encontrados principalmente próximos ao litoral, favorecidos pelo retrabalhamento do Grupo Barreiras, concentrando-se muitas vezes nas praias e cordões litorâneos. Segundo Oliveira e Leonardos (in Santana, 1975) as reservas totais de minerais pesados no litoral ultrapassam $1,3 \times 10^6$ ton, incluindo entre os principais, ilmenita, rutilo e zircão.

Neste trabalho foi coletada e separada ao bromofórmio grande quantidade de frações, mas em virtude de não dispormos no LABOMAR ou Departamento de Geociências de um eletroímã, e o existente no Departamento de Física, encontra-se sempre quebrado quando solicitado, não nos foi possível fazer a determinação em tempo hábil. Fica portanto para outra oportunidade uma avaliação de minerais pesados nas zonas transitórias de Fortaleza.

As areias, argilas e cascalhos existentes na plataforma têm muita aplicação em materiais de construção. No Havai (Ocean Industry, 1973) e na Holanda quase todo material destinado a construção provem de áreas rasas de plataformas. No Havai praticamente este tipo de material inexistente no "continente". A Holanda desenvolveu tecnologias para extrair areias de profundidades de água até 70 metros (Jordan, 1976).

No Moscow Mining Institute para cada tipo de fazimento é desenvolvido um tipo de dragagem adequado (Livishits, 1973) .

Amaral (1972) , afirma que os materiais de construção representados por areia e cascalho como os mais importantes recursos minerais da margem continental brasileira depois do petróleo e a pesca e observa que considerando-se uma espessura média de 5 metros de areia e cascalho com menos de 20% de siltitos e argilas a reserva estimada é mais de 4×10^{11} tons , portanto mais de 2.000 vezes as reservas conhecidas em terra no Brasil.

Considerando-se o mesmo ponto de vista em relação ao Estado do Ceará avaliou-se, neste trabalho, $1,9 \times 10^3$ tons , para a fácies terrígena. As reservas de material de construção no Estado do Ceará poderá por muito tempo suprir as necessidades tendo em vista que existe apenas um polo consumidor por excelência que é Fortaleza, não havendo portanto necessidade de dragagens em frente a Fortaleza, nem muito menos das areias de dunas que vêm fazendo atualmente.

Ao largo do município de Fortaleza sobressaindo-se de uma profundidade de 2.000 m para 300 m , está Guyot do Ceará, onde foram dragados pelo Projeto REMAC sedimentos consolidados ricos em carapaças de foraminíferos e rochas sedimentares fosfatadas com teores de até 18,4% de P_2O_5 (Guazeli & Costa, 1978) . Essas concentrações são maiores que na plataforma continental adjacente onde a fosforita se aglutina em partículas do tamanho de areia sempre na parte externa da plataforma em virtude da ressurgência de nutrientes ao longo do talude continental. As águas mais frias encontrando

águas superiores mais quentes provocam a precipitação do fósforo. As dragagens no Guyot do Ceará continuaram a bordo do N.Oc. Almirante Câmara da Marinha no Cruzeiro platôs marginais do nordeste em 1976 , e o teor em fosfato das crostas de calcários e calcisiltitos coletados chegou a 30% (Guazzelli, Costa e Kowsmann, 1977) .

A Operação Geomar XVII programada para este ano com gerência científica do LABOMAR e condução dos trabalhos a cargo do autor deste trabalho tem como objetivo um reconhecimento mais detalhado de toda área ao largo do município de Fortaleza e Estado do Ceará.

X.3 - Algas bentônicas não calcárias

O LABOMAR já inventariou mais de 200 espécies de algas bentônicas marinhas no nordeste através de cuidadoso estudo sistemático de mais de 15 anos (Vieira & Correia, 1968 ; 1970) .

Ultimamente um mapeamento dos bancos de algas foi efetuado para a costa do Ceará em convênio SUDENE/UFC/LABOMAR .

Na flora ficológica marinha do nordeste mais da metade das espécies conhecidas pertence a classe Rhodophyceae, constituindo-se por este motivo a mais importante para a região sob o ponto de vista econômico.

Atualmente as algas são exportadas "in natura" , depois de secas são comercializadas, ou são utilizadas basicamente na fabricação de agar-agar. Ainda não estão sendo explorados os bancos para o fim de exportação e industrialização,

em virtude da quantidade enorme de algas atiradas as praias, que suprem perfeitamente a demanda atual.

É necessário que se faça estudo detalhado de captura, processo de corte, para que as algas não sejam utilizadas de maneira predatória.

As espécies *Gelidium crinale* (Turner) Lamouroux; *Pterocladia pinnata* (Hudson) ; *Gracillaria cearensis*; *Gracillariopsis sjoettedii* ; *Hypnea musciformis* , entre outras são as mais utilizadas como gelatinosas.

A atividade antibiótica destas algas foi testada através de 30 espécies (Vieira e Noronha, 1971) das quais 20 mostraram atividade antibacteriana, quando testadas com *Escherichia coli* , *Proteus vulgaris* , e *Staphylococcus aureus* .

Estas algas ocorrem em bancos na fácies terrígena de plataforma e situam-se na maioria das vezes ao largo da embocadura dos rios e em áreas de ocorrências de substrato duro. Até mesmo nos espigões de proteção das praias do litoral oeste está havendo cultivo natural de várias espécies que aí proliferam pela fixação do pólen das algas que são jogadas na praia pelas ondas. Algumas destas espécies estão sendo testadas na fabricação de ração para aves.

X.4 - Rochas alcalinas

O Morro do Caruru próximo a foz do Rio Pacoti, constituído de rochas já discutidas no capítulo IV deste trabalho serve de celeiro natural para fornecimento de material de construção em Fortaleza.

XI - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Vários foram os aspectos abordados neste trabalho, dentro do contexto abrangente de geologia ambiental costeira.

Alguns destes aspectos estão perfeitamente interligados, enquanto outros, tais como algas calcárias, assumem características individualizadas.

Entre os assuntos tratados salienta-se o aspecto ligado a geologia ambiental relacionada ao planejamento geológico urbano, com os efeitos de erosão e sedimentação nas praias e porto do Mucuripe, como consequência da mobilização dos sedimentos costeiros, de onde se depreende as seguintes conclusões:

1) A enseada do Mucuripe foi criada por erosão da ação continuada das ondas, cujas evidências são as rochas de praia isoladas que ocorrem nas isóbatas de 5 metros. Estas rochas de praia são encontradas nada mais são do que sedimentos terciários consolidados e cimentados pelo óxido de ferro e/ou carbonato de cálcio oriundo da própria água do mar.

2) Os sedimentos provenientes desta erosão foram re trabalhados e redistribuídos formando extensos bancos arenosos no litoral que persistiram ainda no século passado, o que é evidenciado pela figura IX.2 que mostra um banco de areia estendendo-se até os recifes do Meireles, com a isóbata de 4 metros distanciando-se 650 metros da praia. A figura IX.3 também comprova estas pequenas profundidades da

enseada com a isóbata de 1 metro distanciando 550 metros do litoral.

3) Depois de atingir um perfil aproximado de equilíbrio, o movimento ondulatorio, encarregou-se de transportar sedimentos da praia do Futuro e da própria ponta do Mucuripe (àquela época ainda consistindo de material rochoso consolidado) para as praias situadas a oeste do atual porto, ou seja, para a praia de Iracema.

4) As praias de Iracema e adjacências continuaram com perfil progressivo de engordamento até 1945 , alimentadas pelos sedimentos que continuavam a ser erodidos no atual bairro do Mucuripe. Em 1870 a Fortaleza de Nossa Senhora da Assunção que deu nome à cidade achava-se a 160 metros da linha de maré alta (figura IX.4) ao passo que em 1812 as águas batiam na sua calçada. Em 1930 estava a 600 metros de distância, dando uma média de progradação de 6 m/ano.

5) A enseada do Mucuripe sofreu então àquela época processo contínuo de aprofundamento (comparar figuras IX.5 com a IX.6a) . As profundidades aumentaram na enseada e diminuíram ao núcleo litoral central da cidade, fazendo com que aquele local fosse progressivamente aumentando para o mar.

6) A construção do molhe do Mucuripe em 1940-45 provocou um movimento de difração das ondas que trouxe modifica

ções marcantes na conformação da linha de costa. Houve ero
são nas praias de Iracema e adjacências, provocando também o
aumento das profundidades naquela área. Por outro lado asso
reou a bacia do porto, estabelecendo um quadro sedimentolôgi
co inverso ao que atuava antes.

7) A construção do espigão na praia do Futuro trouxe
efeitos benéficos no que se refere ao assoreamento da bacia
do porto, uma vez que impediu o acesso de areias à enseada.

8) Qualquer transpasse de sedimentos que por ventura
vier a ocorrer no molhe do Mucuripe será imediatamente refle
tido na migração da embocadura do rio Maceiozinho, junto a
estátua de Iracema, na Avenida Beira Mar. Este é um diagnós
tico relevante , para se definir épocas de dragagens e/ou
prolongamento do espigão da praia do Futuro.

9) O prolongamento do molhe do porto associado a
construção do espigão de recuperação da praia de Iracema, de
sencadearam processos de erosão nas praias situadas no lito
ral oeste da cidade, tendo sido necessária a construção de
uma bateria de 11 espigões para amenizar este processo.

10) As praias do litoral oeste estão praticamente
estabilizadas, havendo no entanto, necessidade do reparo ime
diato nas extremidades e mesmo ao longo do corpo dos espigões
que estão danificados pela ação das ondas.

11) Há um constante retrabalhamento dos sedimentos nestas praias e uma tendência a acumulação dos mesmos a bar lamar dos espigões.

12) Destas praias somente a dos Arpoadores está sen do alimentada, não devido ao transporte litorâneo, e sim ao transporte eólico com material proveniente das dunas borde jantes.

13) Não há necessidade ainda de implantar um espi gão na praia dos Arpoadores conforme recomendação do INPH . Há alimentação suficiente na praia para compensar as peque nas erosões atuantes.

14) O transporte predominante dos sedimentos no li toral de Fortaleza é o transporte litorâneo com direção no roeste.

15) O transporte litorâneo é suplantado pelo trans porte frontal, somente na praia das Goiabeiras e adjacências, processando-se o movimento das areias sobre os recifes sub mersos.

16) O transporte frontal é também muito ativo nos meses de janeiro e fevereiro quando as ondas incidentes de nordeste causam ressacas, motivo de erosão nas praias dos Diários-Iracema.

17) A avaliação quantitativa do transporte em sus pensão não foi feita, por não haver tempo suficiente para isso. As observações visuais através de vôo em helicóptero confirmaram as direções das correntes litorâneas.

Recomenda-se que seja iniciado pelo LABOMAR um estudo completo de material em suspensão para definir em ter mos quantitativos a movimentação dos sedimentos ao largo.

18) O sistema de ondas definido em Fortaleza ainda é falho e não confiável. Por isto, nos impediu de fazer até mesmo o cálculo teórico na costa, baseados em dados adicio nais da "Sea and Swell Charts of the Ocean" da Marinha Ame ricana. Recomenda-se a implantação de um sistema de medido res de ondas ao longo da costa para definir com detalhes seus parâmetros e características.

19) A Praia do Futuro, apresentou as variações anuais em topografia e batimetria expostas nas figuras IX.48 e IX.49 , e daí foram obtidos os seguintes dados:

Erosão em	1977-78 :	633.268 m ³
Assoreamento em	1977-78 :	544.407 m ³
Erosão em	1978-79 :	317.229 m ³
Assoreamento em	1978-79 :	919.239 m ³

20) A migração da embocadura do Rio Ceará que se fa zia regularmente, ou seja, seguindo os processos inerentes à embocaduras explicados no capítulo VIII , mudou totalmente após a construção do quebra-mar na sua margem leste.

Um novo canal de escoamento do rio foi formado (compare as figuras VIII.2a e VIII.2b) . Uma barra submersa formou-se ao largo servindo no momento como ponte para a continuidade do transporte litorâneo atual parcialmente.

As correntes de maré e o escoamento do rio forçaram a passagem deste novo canal e a restinga formada pela migração antiga daquela embocadura deslocou-se indo sedimentar-se na margem direita interna do estuário.

Esta situação foi criada pelo transporte dos sedimentos já existentes no "spit" existente antes do quebra-mar. Não é de se esperar que continue havendo migração e conseqüente alimentação da praia dos Dois Coqueiros. A erosão tenderá a diminuir e haverá sedimentação em pequena escala.

21) Vários ciclos de migração foram determinados na embocadura do rio Cocô. Como as praias adjacentes estão sujeitas ao intenso movimento litorâneo de sedimentos, os ciclos continuarão a se processar.

22) O rio Pacoti sofreu intensos ciclos de migração na sua embocadura, justamente por ser o rio situado mais ã montante do transporte litorâneo, não havendo nenhum obstáculo natural ou artificial que possa impedir pelo menos parcialmente este transporte.

No momento está em fase inicial uma nova migração, e duas restingas coexistem em margens opostas. Uma delas a de oeste, abriga um braço morto do rio, e foi rapidamente colonizada pela vegetação.

23) O fundo impenetrável das sondagens a percussão foi definido como sendo rochas sedimentares muito consolidadas. O embasamento está a 25 metros de profundidade, revelado nos perfis sísmicos pelas superfícies irregulares de reflexão.

24) Nos sedimentos atuais da bacia do porto do Mucuripe predomina a fácies siltica-argilosa. Isto porque o molhe da praia do Futuro impediu o caminhamento das areias. Há portanto sedimentação somente de material fino carregado em suspensão, que pelo movimento de difração depositam-se tanto no lado direito como esquerdo do molhe. (Compare a figura VII.6 com VII.7) .

25) Não há necessidade de utilização das areias de dunas para recuperação da praia de Iracema, como sugerido no relatório Neyirpic. Estas já sofrem verdadeira agressão por parte das construtoras locais.

26) A praia de Iracema e as outras situadas a oeste dela podem ser recuperadas dragando-se sedimentos da bacia de evolução do porto e dos localizados na margem interna da extremidade do molhe. De acordo com as perfurações expostas na figura IV.9 , o tipo de material adapta-se perfeitamente à esta finalidade.

27) Não é aconselhável a utilização das rochas de praias para servir de base de edificação de qualquer obra

31) As algas calcárias situadas próximas a embocadura do rio Cocô e a nordeste da ponta do molhe do porto, não devem ser exploradas comercialmente. A sua captura poderá influenciar no regime de ondas, que modificando a direção de suas cristas por refração podem modificar seus parâmetros de finidores e causar algum dano na área do porto.

32) As algas calcárias ao largo do município situadas na plataforma continental externa deverão ser definidas primeiramente do ponto de vista de regeneração, para depois se pensar na sua exploração econômica.

33) Já que esses fundos de algas calcárias são o habitat natural das lagostas, para uma exploração a curto prazo, é recomendável dar preferência a exploração de fundos organogênicos constituídos por fragmentos de conchas de moluscos. Estes possuem inclusive um conteúdo maior de calcário puro.

34) É recomendável um reconhecimento da ocorrência de minerais pesados das zonas transicionais, assim como da plataforma continental, para conhecimento de viabilidade econômica. Este estudo poderia ser feito pelo LABOMAR/Departamento de Geociências.

35) A localização do emissário submarino foi bem planejada o que é evidenciado pelas figuras de decaimento bacteriano que afastam a possibilidade das zonas de balneabilidade serem atingidas por poluição oriunda do emissário.

36) A poluição bacteriológica que atualmente ocorre é gerada pelos escoamentos que ainda atingem diretamente al gumas praias.

37) A poluição química é proveniente do movimento de carga e descarga de navios no porto, reparo de embarca ções, e pela presença de postos de manutenção de veículos na orla marítima.

38) É recomendável um estudo das espécies de algas diatomáceas das lagoas costeiras para definir um modelo de evolução destas lagoas. O LABOMAR possui técnicos especiali zados no assunto e poderia participar dos levantamentos.

39) A corrente geral de direção paralela a praia do Futuro dirige-se para o largo não havendo mais penetração como ocorria nas décadas de 40 e 50 . O molhe da Praia do Fu turo evitou sua entrada na enseada.

40) Os nutrientes trazidos pelos rios favorecem a acumulação de algas ao largo, mas o forte embate das ondas poderá anular este efeito, fazendo desaparecer as algas, pro duzindo erosão e remanejando os sedimentos trazidos pelo transporte litorâneo. É o que acontece no rio Cocó.

41) A variação dos ventos de SE para NE é sazonal, originada pelo deslocamento do equador térmico para o sul do equador geográfico. No inverno predominam os ventos alíseos

de sudeste, com o deslocamento do equador térmico para o norte.

Isto implica também na mudança de direção dos movimentos ondulatórios e das correntes que atingem o litoral de Fortaleza, que se tornam por este motivo, também sazonais.

42 - A máxima insolação é registrada nos períodos de menor nebulosidade. Isto causa uma variação maior de temperatura nas rochas intermitentemente expostas, causando fadiga das mesmas e conseqüente fraturamento e erosão, com maior frequência no período que vai de junho a dezembro. Esse é um dos motivos porque não houve erosão muito intensa na praia dos Dois Coqueiros neste primeiro semestre.

43 - A evaporação e evapotranspiração nos meses mostrados na figura III.5 , também implicam em um rebaixamento dos níveis d'água expostos nas figuras IV.3 , IV.4 e IV.5 .

44 - Em épocas de pluviosidade mais alta a erosão se faz sentir também em larga escala. Na praia dos Dois Coqueiros que sofre erosão predominantemente marinha, é atingida por erosões pluviais em épocas chuvosas, sendo necessária a recomposição do litoral por materiais provenientes das áreas adjacentes para estabilização das encostas.

45 - No período de verão não há estratificação halina e o material em suspensão independe da salinidade estando ligado apenas ao posicionamento dos espigões e contribuição fluvial.

46 - O tipo de vegetação com predominância de mangues nos estuários dão a estes, condições de acumulação em larga escala de sedimentos finos. As gramíneas e demais vegetação rasteira facilitam a fixação das dunas que no momento sofrem verdadeira agressão pelas construtoras.

47 - De acordo com os perfis de velocidade de corrente, há um aumento do fundo para a superfície o que facilita os jatos submersos boiarem e favorecem com isto o decaimento bacteriano por misturação oceânica.

48 - A variação da amplitude da maré em 6 anos (tabelas IV.2 e IV.3) indicam que o perfil de praia foi modificado pela erosão atuante, tornando-se de gradiente mais suave, dando lugar a predominância da rebentação progressiva.

49 - A evidência da contribuição marinha na evolução sedimentar de subsuperfície da bacia do porto, está na ocorrência de moluscos nas figuras IV.8 , IV.9 e IV.10 .

50 - A rocha alterada que aparece no furo exposto na figura IV.7 , parece constar da superfície alterada de rochas plutônicas que afloram na área adjacente (biotita-granito) , que desta forma ocorreria também bem próximas à linha de costa.

51 - A plataforma continental rasa está frequentemente expondo afloramentos de rochas terciárias consolidadas,

o que facilita o aparecimento das algas que proliferam em substrato duro.

52 - A ocorrência de valores bimodais nos sedimentos de praia significa a ação simultânea de dois agentes transportadores, no caso, as ondas e os ventos.

53 - O valor médio dos grãos dos sedimentos está na dependência direta dos níveis de energia. Há sempre concentração de sedimentos mais grossos na zona de rebentação.

54 - A seleção progressiva das areias na praia do Futuro revela o sentido do transporte litorâneo. Exibem os valores de muito bem selecionadas exatamente a barlar do molhe de retenção (figura VII.8) .

55 - A ocorrência de hornblenda na bacia do porto comprova a seleção progressiva de minerais pesados de baixa esfericidade segundo o transporte litorâneo.

56 - Há uma associação perfeita entre os valores de curtose e seleção dos sedimentos. O ponto mais alto de valores leptocúrticos é exatamente onde há maior concentração em uma só classe modal.

57 - Os valores mesocúrticos que predominam nas praias podem indicar as áreas de turbulência pelos ventos e pelas ondas.

58 - A praia do Futuro não atingiu o equilíbrio hidrodinâmico-sedimentológico, e a tendência é acumular cada vez mais sedimentos a barlamar do espigão de retenção.

- IPPEN, A.T. - 1966 - Estuary and Coastline Hydrodynamics .
McGraw Hill Book Company, 744 pp., illus., Cambridge.
- IRRIBARREN, C.R. - 1954 - Obras Marítimas , oleajes y diques .
Editorial Dossat, 312 pp. illus., Madrid.
- JACQUOTTE, R. - 1962 - Etude des fonds de maerl en Medi-
terrannée. Rec. Trav. Sta. Mar. Endoume , Bull. 26
(41) : 141 - 236 .
- JOURDAN, D.S. - 1970 - Dredging sand at 230 feet. Ocean
Industry . 5 (11) : 56 - 57 .
- KEGEL, W. - 1957 - Contribuição ao estudo da bacia costeira
do Rio Grande do Norte. Bol. 170 DNPM/DCM , Rio de
Janeiro, 32 pp. illus.
- KEMPF, M. - 1972 - Shelf off Alagoas and Sergipe (North-
eastern Brazil) . 5 Station list and notes on
benthic bionomy. Trab. Oceanogr. Univ. Fed. Pernambu-
buco , 13 : 7 - 28 .
- KEMPF, M. - 1974 - Perspectives d'exploitation des fonds de
maerl du plateau continental du NE du Brésil. II
Coll. Inter. Explot. Océans , Bordeaux, France, 2 :
1 - 17 .
- KEMPF, M. ; COUTINHO, P.N. & MORAIS, J.M. - 1968 - Platafor-
ma continental do Norte e Nordeste do Brasil. Nota
preliminar sobre a natureza do fundo. D.G. 26 ,
D.H.N. (XI) : 579 - 600 , 4 figs.
- KRAFT, J.C. & CAULK, R.L. - 1973 - The evolution of Lewes
Harbor. Trans. 71 , Del. Acad. Sci. Newark pp.79-125.
- KUMAR, N. & BRYAN, G.M. - 1973 - Western extension of fractu-
re zone in the Equatorial Atlantic. Abstracts with

- Programs . G.S.A. Annual Meeting . 5 (7) : 702 - 703.
- LIRA, L. - 1975 - Geologia do canal de Santa Cruz e praia submarina adjacente à ilha de Itamaracá - Pernambuco. Tese de mestrado , 107 pp. ilustr., Porto Alegre.
- LIVSHITS, L. - 1973 - USSR's seafloor mining experiments. Ocean Industry , 8 (4) página 240 .
- MABESOONE, J.M. & COUTINHO, P.N. - 1970 - Littoral and shallow marine geology of northern and northeastern Brazil. Trabalhos Oceanográficos , Univ. Fed. Pe. , Recife, 12 : 1 - 214 .
- MABESOONE, J.M. ; KEMPF, M. & COUTINHO, P.N. - 1972 - Characterization of surface sediments on the northern and eastern Brazilian shelf. Trab. Oceanogr. Univ. Fed. Pe. , Recife, 13 : 41 - 48 .
- MABESOONE, J.M. & TINOCO, I.M. - 1967 - Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil) . 2 - Geology. Trab. Oceanogr. Univ. Fed. Pe. , Recife, 7/8 : 151 - 186 .
- MASON, C.G. & FOLK, R.L. - 1958 - Differentiation of beach, dune and aeolian flat environment by size analysis, Mustang Island, Texas. Jour. Sedimentary Petrology 28 : 211 - 226 , illus.
- MATOS, M.O.M. - 1978 - Transporte dos sedimentos na costa do Estado do Ceará. 41 pp. ilustr. Tese de Graduação UFC .
- MELO, U., SUMMERHAYES, C.P. & ELLIS, J.P. - 1975 - Upper continental margin sedimentation off Brazil. Part IV Salvador to Vitória. Contr. Sedimentol. , Stuttgart, 4 : 78-116.

- MEYLL, A. HOR - 1930 - Porto de Fortaleza - Memória justificativa do ante-projeto de melhoramento de Porto na Enseada de Mucuripe. Rel. 88 pp. 15 figs. + 37 fotos, Fortaleza.
- MILLINAN, J.D. - 1974 - Marine carbonates. Springer - Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 375 p.
- MILLINAN, J.D. - 1975 - Upper continental margin sedimentation off Brazil. Part 1 Background. Contr. Sedimentol., Stuttgart, 4 : 151 - 175 .
- MILLINAN, J.D. - 1978 - Role of Calcareous Algas in Atlantic Continental margin Sedimentation. Contribution number 3666 of the W.H.O.I., Collected Reprints, 232 - 247 , 7 figs.
- MILLINAN, J.D. & AMARAL, C.A.B. - 1975 - Economic Potential of Brazilian Continental Margin. Contrib. Nº 3462 , Woods Hole Oceanogr. Inst. Mass .
- MIURA, K. & BARBOSA, J.C. - 1972 - Geologia da Plataforma Continental do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte. An XXIII Cong. Bras. Geologia , Belém, 3 : 57 - 65 , 13 figs.
- MORAIS, J.O. - 1968 - Contribuição ao estudo dos Beach-Rocks do nordeste do Brasil. Trabs. Oceanogr. Univ. Fed. Pe., Recife, 9 (11) : 79 - 94 , 2 figs.
- MORAIS, J.O. - 1969 - Aspectos correlativos de geologia litoral e submarina. Arq. Ciên. Mar , Fortaleza, 9 (2) : 127 - 131 , 5 figs.
- MORAIS, J.O. - 1971 - Contribuição ao estudo de sedimentação do Porto do Mucuripe. XXVI Congresso Brasileiro de

- Geologia, Resumo das Comunicações , boletim especial nº 1 , São Paulo, 20 pp., ilus.
- MORAIS, J.O. - 1972 - Processo de Assoreamento do Porto do Mucuripe. Arq. Ciên. Mar , Fortaleza, 12 (2) : 139 - 149 , 8 figs.
- MORAIS, J.O. & NORONHA, M.C.C. - 1972 - Aspectos da poluição marinha em frente ao município de Fortaleza. Arq. Ciên. Mar , Fortaleza, 12 (2) : 109 - 115 , 1 fig.
- MORAIS, J.O. & PITOMBEIRA, E.S. - 1974 - Processos migratórios na embocadura do Rio Maceiozinho (Fortaleza - Ceará - Brasil) . Bol. Ciên. Mar , Fortaleza, (27) : 1 - 9 , 4 figs.
- MORAIS, J.O. & SOUSA, J.V. - 1971 - Transporte e Sedimentação de dunas no município de Fortaleza (Ceará - Brasil) . Estudos Sedimentológicos , Natal, 1 (1) : 73 - 81 , 6 figs.
- MOTA, F.S.B. & RIBEIRO FILHO, H. - 1975 - Condições de Poluição e classificação das praias de Fortaleza, Ceará. Trabalho apresentado no VII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro. XEROX de algumas páginas.
- OCCHIPINTI, A.G. - 1975, - Sistema de coleta, transporte e disposição final dos esgotos de Fortaleza. Relatório R.2 - 12 capítulos + anexos, Fortaleza.
- OCEAN INDUSTRY - 1973 - System for mining ocean bottom sand. Ocean Industry , v. 8 , nº 10 , p. 63 .
- OLIVEIRA, A.I. & LEONARDOS, O.H. - 1943 - Geologia do Brasil . Min. Agricultura, Ser. Inform. Agrícola, 813 p., Rio de Janeiro.

- OLIVEIRA, J.C. & MEDEIROS, M.F. - 1975 - Projeto Diatomito/Argila . Vol. 1 , DNPM , Recife, 175 pp. + Tabs. + Figs.
- OLIVEIRA, P.E. & RAMOS, J.R.A. - 1956 - Geologia das quadricula de Recife e Pontas de Pedra. D.N.P.M., Div. Geol. Min., Bol. 151 : 60 pp.
- OTTMANN, F. - 1960 - Une hypôthèse sur l'origine des "arrecifes" du Nordeste Brésilien, C.R. somm. Soc. Geol. France , 1960 : 175 - 176 .
- PALMA, J.J.C. - 1979 - Geomorfologia da Plataforma Continental Norte Brasileira. PROJETO REMAC Vol. 7 : 53 - 88 , 15 figs.
- PALMER, H.D. - 1976 - Sedimentation and Ocean Engineering : Structures, in Marine Sediment Transport and Environmental Management . Chapter 22 : 519 - 534 , 12 figs., New York.
- PITOMBEIRA, E.S. - 1973 - Cálculo do Transporte litorâneo de Sedimentos da costa do Rio Grande do Sul - Tramandaí. Inst. Pesq. Hidraul., Porto Alegre, 96 pp. ilus. Tese de Mestrado .
- PITOMBEIRA, E.S. - 1976 - Deformação das ondas por difração no molhe do Porto do Mucuripe (Fortaleza - Ceará - Brasil) . Arq. Ciên. Mar , Fortaleza, 16 (1) : 55 - 58 , 7 figs.
- PONTE, F.C. & ASMUS, H.E. - 1976 - The Brazilian Marginal Basins : Current State of Knowledge. An. Acad. Bras. Ciên. 48 (Suplemento) .
- PORTUGAL, H.F. - 1946 - Comissão de Estudos Complementares do

- Porto de Mucuripe - RELATÓRIO - (Cópia Xerox de 18 páginas) .
- RECTOR, R.L. - 1954 - Laboratory Studies of Equilibrium Profiles of Beaches. TM 41 , US ARMY CORPS OF ENGINEERS. Beach Erosion Board Washington, D.C., 38 pp.
- RUSSEL, R.D. - 1939 - Effects of transportation on sedimentary particles. In : Recent Marine Sediments . Am Assoc. Petroleum Geologist , Tulsa, 32 - 47 .
- SANTANA, C.I. - 1979 - Recursos minerais do mar - Memorias del seminário sobre ecología bentónica y sedimentación de la plataforma continental del Atlântico Sur - Montevideo, 361 - 381 , 18 figs.
- SCOTT, T. - 1954 - Sand movements by waves. TM. 48 , US Navy Corps of Engineers , Beach Erosion Board, Washington, D.C.
- SHEPARD, F. P. - (1950) - Longshore Bars and Longshore Troughs . TM 15 , US Army Corps of Engineers , Beach Erosion Board, Washington, D.C., 32 pp.
- SONU, C.J. - (1968) - Dynamic behavior of subaerial beach sediment on the Outer Banks, North Carolina. EOS Trans. AGU : 49 - 190 .
- SONU, C.J. & VANBEEK, J.L. - 1971 - Systematic beach changes on the Outer Banks, North Carolina. J. Geol., 79 : 416 - 425 .
- SOUZA, J.F. - 1973 - Perfil analítico da diatomita. DNPM Bol. (11) . Rio de Janeiro, 27 pp.
- SUMMERHAYES, C.P. ; COUTINHO, P.N. ; FRANÇA, A.M.C. & ELLIS, J.P. - 1975 - Upper continental margin sedimentation

- off Brazil Part. 3 Salvador to Fortaleza Northeastern Brazil. Contr. Sedimentol., Stuttgart, 4 : 44 - 78 .
- TRICART, J. - 1959 - Problèmes géomorphologiques du littoral oriental du Brésil. Cahiers Océanogr., 11 : 276 - 308 .
- VANDOROS, P. & OLIVEIRA, M.A.F. - 1968 - Sobre o Fonólito de Mecejana, Ceará. An Acad. Brasil. Ciên. Rio de Janeiro, 40 (2) : 203 - 206 , 1 fig.
- VICALVI, M.A. & MILLIMAN, J.O. - 1977 - Calcium carbonate sedimentation on Continental Shelf off Southern Brazil, with special reference to benthic foraminifera. In : FROST, S.A. et alii, eds. Reefs and related carbonates ecology and sedimentology. Tulsa, Okla., The Am. ASSOC. Petrol. Geol., p. 313 - 28 (Studies in Geology N. 4) .
- VIEIRA, F.P. & FERREIRA, M.M. - 1968 - Algas marinhas de interesse industrial para o nordeste brasileiro. Bol. Est. Biol. Mar. Univ. Fed. Ceará , 20, 9 pp. Fortaleza.
- VIEIRA, F.P. & FERREIRA, M.M. - 1968 - Segunda contribuição ao Inventário das Algas Marinhas Bentônicas do Nordeste Brasileiro. Arq. Est. Biol. Mar. Univ. Fed. Ceará , Fortaleza, 8 (1) : 75 - 82 , 1 fig.
- VIEIRA, F.P. & NORONHA, M.C.C. - 1971 - Atividade antibiótica de algumas algas marinhas do Estado do Ceará. Arq. Ciên. Mar , Fortaleza, 11 (2) : 91 - 93 .
- VONOGRAOV, A. P. - 1953 - The elementary chemical composition of marine organisms. Sears Found. Mar. Res., Mem. II , 647 p .
- VON ANDEL, T. H. & LABOREL, J. - 1964 - Recent high relative

sea level near Recife, Brazil. Science, 145 :
580 - 581 .

YASSO, W.E. - 1965 - Fluorescent tracer particle determina
tion of the size velocity relation for foreshore
transport, Sandy Hook, N.Y. J. Sediment. Petrol.
35 : 989 - 993 , 5 figs.

XV - LISTA DE ABREVIACOES

AUMEF - Autarquia da Regio Metropolitana de Fortaleza.

CAGECE - Companhia de água e Esgotos do Ceará.

C.B.D. - Companhia Brasileira de Dragagem.

C.B.G. - Companhia Brasileira de Geofísica.

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

DGM - Departamento de Geologia e Mineralogia.

DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegao.

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Scas.

DNPM - Departamento Nacional da Produo Mineral.

DNPVN - Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis.

DOCAS - Companhia Docas do Ceará.

DG/UFC - Departamento de Geologia/Universidade Federal do Ceará.

EMURF - Empresa de Urbanizao de Fortaleza.

FUNCEME - Fundao Cearense de Meteorologia.

HIDROCEAN - Companhia de Fabricao de Equipamentos.

INCRA - Instituto Nacional de Colonizao e Reforma Agrária.

INPH - Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias.

LABOMAR - Laboratório de Ciências do Mar.

PETROBRÁS - Petróleo Brasileiro S/A.

PHD - G.C. - Pedro Humberto Demos - Geotécnica e Constru
ções Ltda.

PROTEGIA - Projetos Técnicos Geológicos S/A.

REMAC - Programa de Reconhecimento Global da Margem Conti
nental Brasileira.

SUDEC - Superintendência do Desenvolvimento do Estado do
Ceará.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste.

UFC - Universidade Federal do Ceará.