

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS

LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ESPORÕES MARÍTIMOS

Funcionamento hidráulico de unidades fisiograficamente independentes

Lisboa, Março de 1966



MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

SERVIÇO DE HIDRÁULICA
DIVISÃO DE ESTUÁRIOS E RIOS

Froc. 64/43

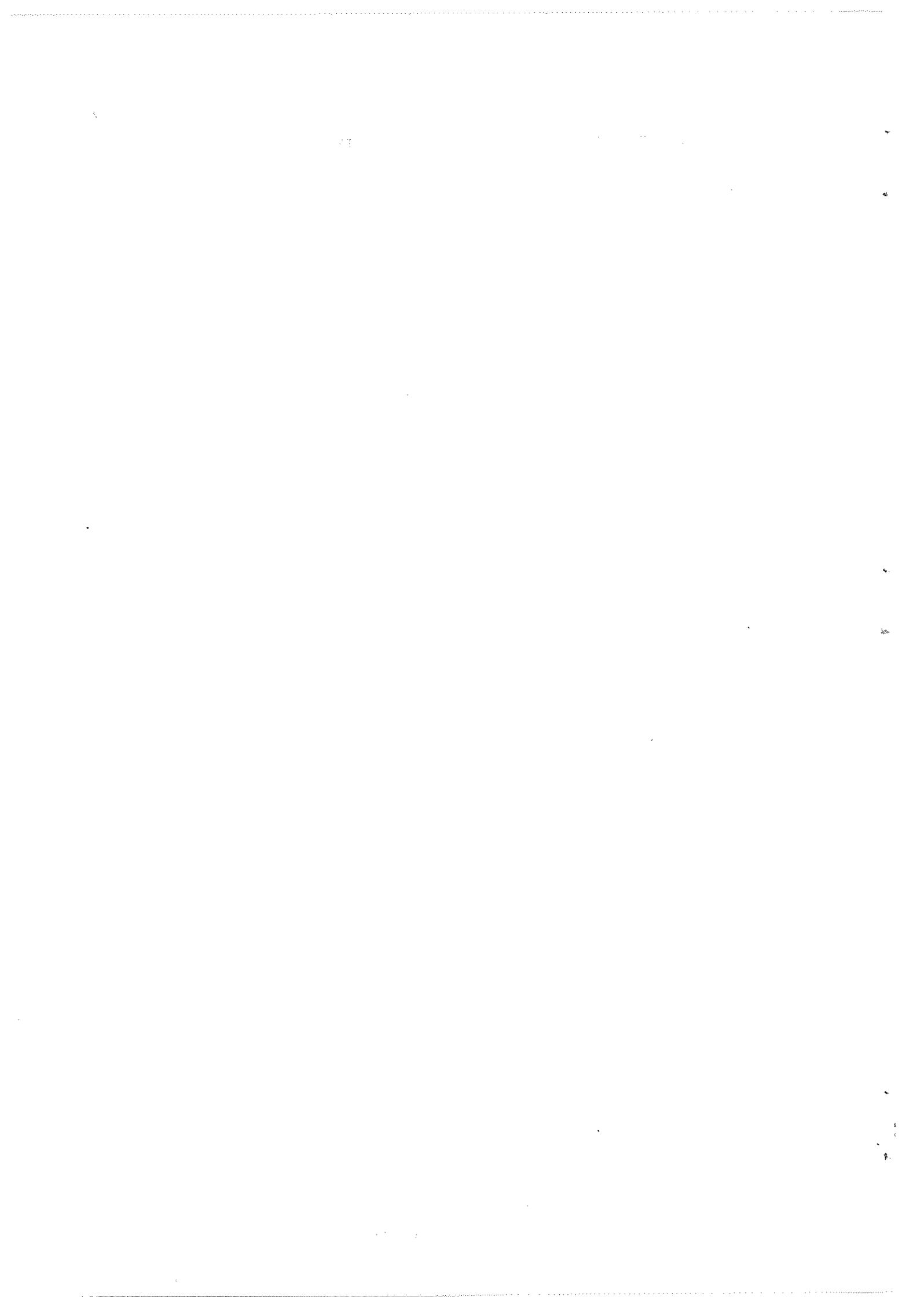
ESPORÕES MARÍTIMOS

Funcionamento hidráulico de unidades fisiograficamente independentes

Júlio Patriarca Barceló

Tese apresentada a concurso para especialista
do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Lisboa, Março de 1966



PREÂMBULO

A necessidade e projecção de estudos sistemáticos sobre o emprego de esporões, como meio de defesa contra a erosão costeira, motivou que, em Julho de 1960, a Direcção deste Laboratório desse início ao processo de estudo 63/1/808, intitulado "Estudo de sistemas de esporões para combater a erosão costeira", inicialmente subsidiado pela OTAN. Este estudo integra-se no plano de estudos de erosão costeira, elaborado pelo Serviço de Hidráulica para a Junta de Investigações do Ultramar, que se encontra em curso na Divisão de Portos e Praias desde 1957. No programa de trabalhos estabelecido para o processo 63/1/808 figura o estudo de esporões no caso de unidades fisiograficamente independentes e, de acordo com a informação nº.223 de Julho de 1964, foi este tema proposto para a presente tese. Necessidades de serviço motivaram que este tema de tese fosse distribuído a um estagiário da Divisão de Estuários e Rios, pelo que a realização do trabalho se processou fora do âmbito da Divisão a que pertence o candidato.

Aos snrs. engenheiros Fernando Abecasis e José Pires Castanho, respectivamente Chefe do Serviço de Hidráulica e Chefe da Divisão de Portos e Praias, embora ocupem uma posição particular, por terem orientado e supervisionado este trabalho, não se pode deixar de agradecer reconhecidamente, para além de outros aspectos, o estímulo que incutiram para a sua realização.

A execução de um estudo desta índole é devida sempre a um trabalho de equipa. Colaboraram no estudo os seguintes funcionários do Serviço de Hidráulica:

- Ajudantes de experimentador snrs. Luis Manuel Caria da Silva, António Ruivo de Sousa, Platino Tomás da Cunha e estagiário para auxiliar de laboratório snr. Torquato dos Santos da Luz.

- Contra-mestre snr. Ildemundo Rosa Martins, modeladores, pedreiros e serventes da Divisão de Portos e Praias e da Divisão de Estuários e Rios.

- Chefe da sala de desenho snr. Rafael del Campo Carroggio; desenhadores snrs. Francisco Santos Pereira, Saúl da Silva Baptista, António Afonso e Fernando Vieira.

As fotografias do estudo experimental e das obras de defesa das praias da Caparica e da Cova do Vapor são da autoria do contra-mestre snr. Martins.

A dactilografia do relatório foi feita pela dactilógrafa snra. D. Maria da Luz Alves Abrantes.

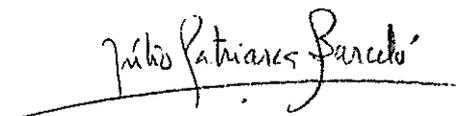
Esta equipa, pelo seu cuidado constante, pelo nível da colaboração prestada e por ter conseguido cumprir integralmente, para além das conhecidas dificuldades de serviço, todo o trabalho que lhe foi distribuído, possibilitou a realização deste estudo e é digna do melhor agradecimento. Pelas funções especiais que desempenharam, assim como pela extraordinária dedicação e interesse por este trabalho, merecem uma menção e um agradecimento especiais os seguintes funcionários do Serviço de Hidráulica: ajudante de experimentador snr. Ruivo de Sousa, contra-mestre snr. Martins, chefe de sala de desenho snr. Carroggio, desenhador snr. António Afonso e pedreiro snr. Francisco Santos.

O projecto e construção de aparelhagem, bem como os respectivos processos de aquisição, estiveram a cargo da Divisão de Estudo e Construção de Aparelhagem do LNEC; o projecto do equipamento solicitado para este estudo foi feito pelos snrs. engenheiros Tavares Cardoso, Neves da Silva e Belarmino da Silveira (este último era, à data do projecto do equipamento em que colaborou, tirocinante de engenharia), a quem se agradece toda a colaboração prestada. No projecto do equipamento colaboraram de forma relevante o chefe da sala de desenho snr. Rafael Carroggio e o desenhador snr. Artur Heliodoro dos Santos.

À Fotografia e às Oficinas Gráficas da Divisão de Documentação e Informação do LNEC deixa-se expresso o agradecimento pela boa colaboração dada para a elaboração do relatório.

Aos snrs. engenheiros Manuel Bivar Weinholtz, Eurico Carrondo Tomé e Carlos Manuel Gomes Magalhães, da Direcção dos Serviços Marítimos, agradece-se a contribuição para o esclarecimento dos casos reais de erosão e emprego de esporões analisados neste estudo.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Março de 1966



Júlio Patriarca Barceló
estagiário para especialista

ÍNDICE

INTRODUÇÃO

1 - OBJECTIVO DO ESTUDO	1
2 - CARACTERÍSTICAS DO ESTUDO	2

CAP. I

GENERALIDADES SOBRE ESPORÕES

1 - PRELIMINARES	5
2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS ESPORÕES	7
3 - FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE ESPORÕES	9

CAP. II

ESTUDO EXPERIMENTAL DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE ESPORÕES NO CASO DE UNIDADES FISIOGRÁFICAMENTE INDEPENDENTES

1 - PLANEAMENTO DO ESTUDO	
1.1 - Generalidades	17
1.2 - Plano de trabalhos	18
2 - TECNOLOGIA EXPERIMENTAL	
2.1 - Equipamento	19
2.2 - Dispositivo experimental	26
2.3 - Materiais móveis	33
2.4 - Medições	34
3 - CARACTERÍSTICAS DOS ENSAIOS SISTEMÁTICOS	
3.1 - Preliminares	35
3.2 - 1ª. série de ensaios, Estudo da influência da actuação da onda	37

3.3 - 2ª. série de ensaios. Estudo da influência da distância entre esporões	46
3.4 - 3ª. série de ensaios. Estudo da influência das caracte- rísticas dos esporões	48
3.5 - 4ª. série de ensaios. Ensaio com areia	50
3.6 - 5ª. série de ensaios. Ensaio com baquelite	52
3.7 - 6ª. série de ensaios. Ensaio de um esporão de directriz curvilínea	53
3.8 - 7ª. série de ensaios. Estudo da influência da maré	55
3.9 - Ensaio complementares	56
4 - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMEN- TAIS	
4.1 - Preliminares	59
4.2 - 1ª. série de ensaios. Troço de barlar	64
4.3 - 1ª. série de ensaios. Troço de sotamar	70
4.4 - 2ª. série de ensaios	73
4.5 - 3ª. série de ensaios	73
4.6 - 4ª. série de ensaios	74
4.7 - 5ª. série de ensaios	76
4.8 - 6ª. série de ensaios	78
4.9 - 7ª. série de ensaios	79
4.10 - Ensaio complementares	80
5 - CONCLUSÕES DO ESTUDO EXPERIMENTAL	80

CAP. III

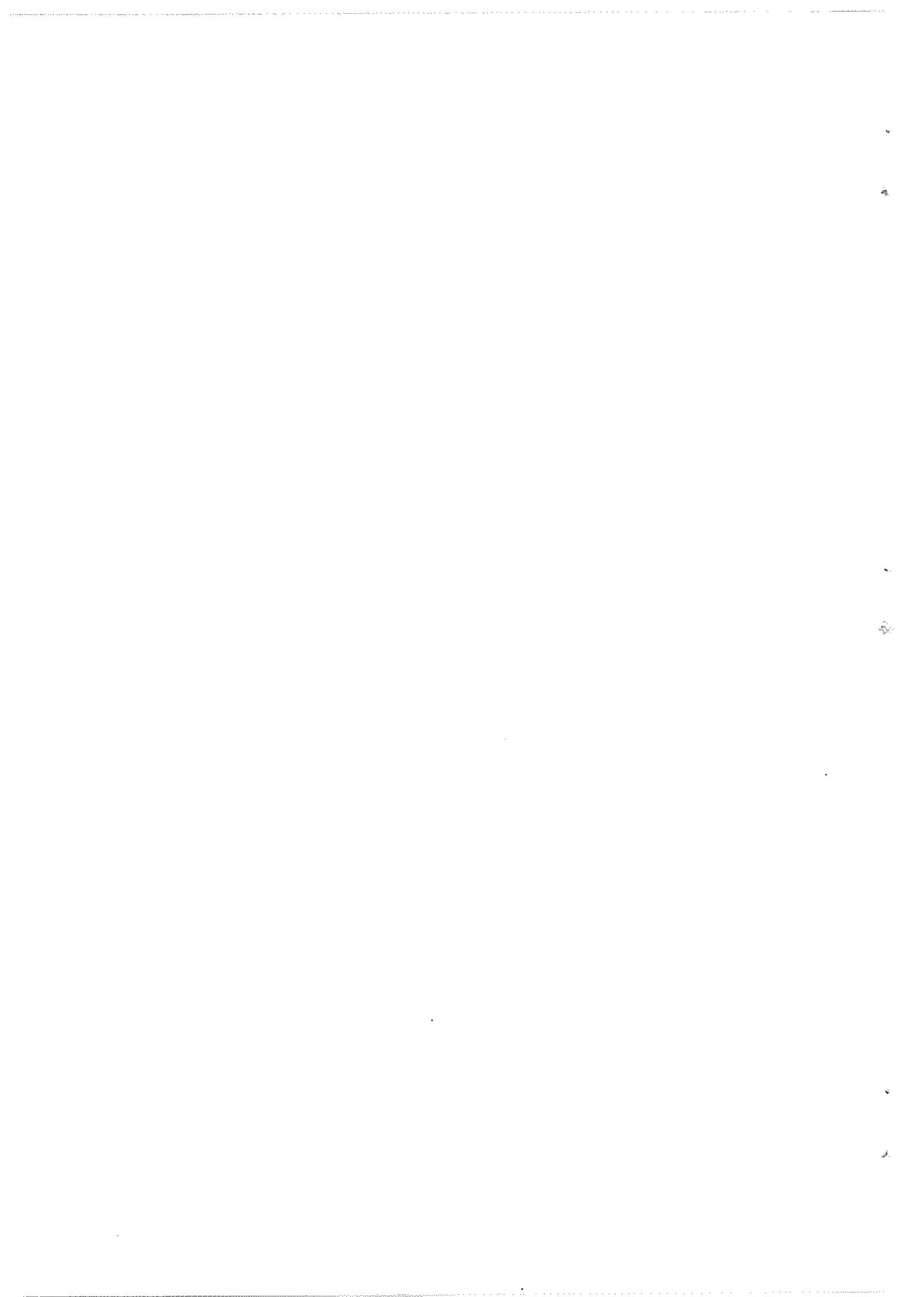
OBSERVAÇÕES NA NATUREZA

1 - GENERALIDADES	87
2 - OBRAS DE DEFESA COSTEIRA DAS PRAIAS DA COVA DO VAPOR E CAFARICA	87
3 - CAMPO DE ESPORÕES DA PRAIA DE ESPINHO	94
4 - ESPORÃO DA PRAIA DO ESTORIL	96
5 - CONCLUSÕES	97

CAP. IV
CONSIDERAÇÕES SUMÁRIAS SOBRE
CAUDAL SÓLIDO LITORAL

1 - GENERALIDADES	99
2 - CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS	100
3 - ESTUDO EXPERIMENTAL	103
4 - OBSERVAÇÕES NA NATUREZA	108
5 - CONCLUSÕES	112

CONCLUSÕES FINAIS



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. I.1 - Esporão marítimo (primeiro esporão construído na Cova do Vapor)	5
Fig. I.2 - Funcionamento hidráulico de esporões segundo Larras	6
Fig. I.3 - Características estruturais de esporões de enrocamento e de betão	8
Fig. I.4 - Características estruturais de esporões de madeira e metálicos	8
Fig. I.5 - Tipos especiais de esporões	9
Fig. I.6 - Campo de esporões - Ilha de Luanda (Maio de 1963)	9
Fig. I.7 - Actuação da onda (Cova do Vapor)	10
Fig. I.8 - Definição de parâmetros (Teoria de Pelnard-Considère)	13
Fig. I.9 - Curvas de enchimento de esporões (Teoria de Pelnard-Considère).....	14
Fig.II.1 - Tanque de ensaios	19
Fig.II.2 - Gerador de ondas	19
Fig.II.3 - Gráfico de calibragem do gerador de ondas	20
Fig.II.4 - Registos de ondas	21
Fig.II.5 - Distribuição dos desvios das alturas registadas em relação ao valor médio	22
Fig.II.6 - Registo de trem de ondas	23
Fig.II.7 - Dispositivo de alimentação e esgoto do sistema de reprodução de maré	24
Fig.II.8 - Dispositivo de controle do sistema de reprodução de maré	24
Fig.II.9 - Ensaio-piloto (actuação da onda)	26
Fig.II.10- Ensaio-piloto (pormenor da actuação da onda)	26
Fig.II.11- Esquema da mecânica da rebentação oblíqua	27

Fig.II.12 - Gráfico de evolução da praia junto ao esporão cen <u>tr</u> al (ensaio-piloto)	28
Fig.II.13 - Ensaio-piloto (situação final)	29
Fig.II.14 - Ensaio-piloto (situação final)	29
Fig.II.15 - Perfis transversais de modelos reduzidos de espo <u>r</u> ões	31
Fig.II.16 - Situação inicial (1ª.série de ensaios)	37
Fig.II.17 - Actuação da onda (1ª.série de ensaios)	38
Fig.II.18 - Situação final (1ª.série de ensaios)	40
Fig.II.19 - Esquema da curva de evolução da praia	41
Fig.II.20 - Gráfico-tipo de evolução de perfis transversais ..	42
Fig.II.21 - Esquema da formação de singularidades junto ao pa <u>r</u> amento dos esporões	44
Fig.II.22 - Transposição da extremidade do esporão pelo mate <u>r</u> ial móvel (1ª.série de ensaios)	45
Fig.II.23 - Características granulométricas da pedra-pomes..	46
Fig.II.24 - Dispositivo de ensaio e actuação da onda (4ª.série)	50
Fig.II.25 - Pormenor da actuação da onda junto ao esporão central (4ª.série)	50
Fig.II.26 - Dispositivo de ensaio e actuação da onda (5ª.série)	52
Fig.II.27 - Pormenor da actuação da onda junto ao esporão central (5ª.série)	52
Fig.II.28 - Dispositivo de ensaio e actuação da onda (6ª.série)	53
Fig.II.29 - Pormenor da actuação da onda junto ao esporão central, no troço de barlar (6ª.série)	54
Fig.II.30 - Pormenor da actuação da onda junto ao esporão central, no troço de sotamar (6ª.série)	54
Fig.II.31 - Situação final, Pormenor da transposição do mate <u>r</u> ial móvel pela extremidade do esporão (6ª.série)	55
Fig.II.32 - Dispositivo de ensaio e actuação da onda (7ª.série)	56
Fig.II.33 - Dispositivo de ensaio e actuação da onda (Ensaio 81- - 2ª.fase)	57
Fig.II.34 - Transporte de serradura em torno do esporão cen <u>tr</u> al	58

Fig.II.35 - Registo de vaga em modelo	59
Fig.II.36 - Evolução da praia no perfil P5 (1ª. e 6ª.séries - - troço de sotamar)	78
Fig.II.37 - Gráfico-tipo dos resultados experimentais	80
Fig.II.38 - Curvas-tipo de evolução nos casos de transporte por arrastamento e arrastamento com suspensão..	82
Fig.II.39 - Condições críticas de início de suspensão	83
Fig.II.40 - Gráfico esquemático da variação de $\frac{\sqrt{\Omega a}}{D}$ e $t \sqrt{\frac{g}{D}}$ em função de $H_0^2 C_0$	84
Fig.II.41 - Esquema da perspectiva do campo de esporões da ilha de Luanda	85
Fig.III.1 - Construção do esporão E3 (Cova do Vapor)	88
Fig.III.2 - Estrutura do esporão de madeira (fase de ruína) (Cova do Vapor -Caparica)	88
Fig.III.3 - Dique da costa da Caparica (Agosto de 1962)	89
Fig.III.4 - Reforço do dique da Costa da Caparica (Janeiro de 1965)	89
Fig.III.5 - Evolução de um perfil transversal na Caparica ...	90
Fig.III.6 - Destruições de Fevereiro de 1964 na Caparica ...	90
Fig.III.7 - Obras de emergência para defesa da Caparica (Fe vereiro de 1965)	90
Fig.III.8 - Esporão E2 e defesa frontal. Cova do Vapor, No vembro de 1962	91
Fig.III.9 - Esporões E1 e E3 vistos de E2, Cova do Vapor, Fevereiro de 1965	91
Fig.III.10- Evolução de perfis transversais na Cova do Vapor	92
Fig.III.11- Actuação da onda na zona do esporão E1 (Cova do Vapor)	93
Fig.III.12- Pormenor da construção do esporão E2 (Cova do Vapor)	94
Fig.III.13- Vista parcial do campo de esporões de Espinho	95

Fig.III.14 - Vista da defesa frontal com inflector de jacto (Espinho)	95
Fig.III.15 - Destruições nos esporões da praia de Espinho ...	96
Fig.III.16 - Vista da zona de enchimento de um esporão na praia de Espinho	96
Fig.III.17 - Vista do esporão do Estoril	97
Fig.IV.1 - Definição esquemática da zona onde se processa o transporte por arrastamento	101
Fig.IV.2 - Esquema da actuação da onda	107
Fig.IV.3 - Determinações experimentais do valor do caudal só lido	108

ANEXOS

- 1 - Tanque de ensaios - corte transversal.
- 2 - Registo maregráfico (reduzido).
- 3 - Aspectos do equipamento solicitado para o estudo.
- 4 - Planta da situação final do ensaio-piloto.
- 5 - Planta do dispositivo de ensaio.
- 6 - Características granulométricas dos materiais móveis.
- 7 - Planta de evolução do ensaio 7.
- 8 - Evolução de perfis transversais (1ª série de ensaios).
- 9 - Planta da situação final do ensaio 7.
- 10- Plantas da situação final dos ensaios 52 e 59.
- 11- Plantas da situação final dos ensaios 62 e 63.
- 12- Plantas da situação final dos ensaios 54 e 55.
- 13- Plantas da situação final dos ensaios 68 e 74.
- 14- Planta da situação final do ensaio 42.

- 15 - Planta da situação final do ensaio 81 (1ª.fase).
- 16 - Planta da situação final do ensaio 81 (2ª.fase).
- 17 - Valores de $H_0^2 C_0$ e $\frac{H_0}{L_0}$ em função das características da onda.
- 18 - Quadro da simbologia adoptada na representação dos resultados experimentais.
- 19 - Ensaios com pedra-pomes. (1ª, 2ª e 3ª séries. Troço de barlar. Obliquidade: 20°).
- 20 - Ensaios com pedra-pomes (1ª, 2ª e 3ª séries. Troço de barlar. Obliquidade : 10°).
- 21 - Ensaios com pedra-pomes (1ª, 2ª e 3ª séries. Troço de barlar. Obliquidade: 5°).
- 22 - Ensaios com pedra-pomes (1ª.série. Troço de barlar). Relações entre os parâmetros característicos da evolução da praia e $H_0^2 C_0$.
- 23 - Curvas de $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ e $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ em função de $\frac{H_0}{L_0}$.
- 24 - Curvas de $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ e $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ em função de $H_0^2 C_0$ (escala linear).
- 25 - Ensaios com pedra-pomes. (1ª.série. Troço de sotamar. Obliquidade: 20°).
- 26 - Ensaios com pedra-pomes. (1ª.série. Troço de sotamar. Obliquidade: 10°).
- 27 - Ensaios com pedra-pomes. (1ª.série. Troço de sotamar. Obliquidade: 5°).
- 28 - Ensaios com areia (4ª.série).
- 29 - Ensaios com baquelite (5ª.série).
- 30 - Ensaios com pedra-pomes (6ª.série. Troço de barlar).
- 31 - Ensaios com reprodução de maré. (7ª.série. Obliquidade: 20°)

- 32 - Planta hidrográfica das barras do Porto de Lisboa, 1929.
- 33 - Planta hidrográfica das barras do Porto de Lisboa, 1960.
- 34 - Planta hidrográfica das praias da Cova do Vapor e da Costa da Caparica. (Levantamento de 25 a 28 de Março de 1963.DSM).
- 35 - Fotografia aérea da Cova do Vapor.
- 36 - Perfis transversais-tipo de esporões.
- 37 - Características da ondulação ao largo do porto da Figueira da Foz. (1954-1960).
- 38 - Plantas hidrográficas do campo de esporões de Espinho.
- 39 - Plantas hidrográficas da praia do Estoril.
- 40 - Plano de ondulação na zona das barras do Porto de Lisboa.

- 41 - Elementos do estudo experimental das relações entre Q_{lit} e as características da onda.
- 42 - Elementos referentes a determinações do caudal sólido na natureza, (Confronto com os valores experimentais).

ESPORÕES MARÍTIMOS

Funcionamento hidráulico de unidades fisiograficamente independentes

SUMÁRIO

O presente trabalho baseia-se num estudo experimental sobre o funcionamento hidráulico de esporões marítimos no caso em que estes limitam troços de praia que se comportam, na sua evolução, como unidades fisiograficamente independentes. Pretende-se, com este estudo, contribuir para o conhecimento do mecanismo de evolução de praias em que são construídos campos de esporões, com vista ao projecto de dispositivos funcionais deste tipo de defesa costeira. Acessoriamente, tirando do partido dos esporões como meio de medição do caudal sólido litoral, fazem-se algumas considerações sobre as relações existentes entre o transporte litoral e as características da onda actuante.

O relatório é constituído pelas seguintes partes: a Introdução, em que se define o objectivo do estudo e as suas características; o Capítulo I, em que se apresentam noções gerais sobre esporões; o Capítulo II, em que se dá conhecimento do estudo experimental realizado, definindo o seu planeamento, a tecnologia experimental, as características dos ensaios realizados, a interpretação dos resultados obtidos e as conclusões; o Capítulo III, que diz respeito a casos reais de emprego de esporões, em que, após umas generalidades, se apresentam as principais características das obras de defesa da Cova do Vapor - Costa da Caparica, do campo de esporões da praia de Espinho e do esporão da praia do Estoril, finalizando com algumas conclusões; o Capítulo IV em que se apresentam considerações sumárias sobre caudal sólido litoral, as quais compreendem algumas generalidades, considerações teóricas, resultados experimentais, observações na natureza e conclusões; finalmente, as Conclusões Finais, onde se agrupam todas as considerações do estudo que se julgam de primordial interesse.

111 figuras

1 quadro

115 páginas

22

23

24

25

26

27

SIMBOLOGIA

- q - caudal sólido litoral (teoria de R. Pelnard-Considère).
- O - origem dos eixos coordenados.
- X, Y - eixos coordenados.
- x, y - coordenadas cartesianas.
- S_0 - superfície de acumulação por unidade de tempo.
- a - superfície de acumulação por unidade de tempo que corresponde à unidade angular.
- t - tempo de actuação da onda.
- h - profundidade de água.
- α_0 - obliquidade da onda à profundidade da base de talude da praia.
- x_k - valor da altura das ondas nas diferentes sondas (avaliação dos erros na determinação da altura das ondas).
- p_k - frequência do valor x_k .
- m - média das alturas de onda determinadas nas diferentes sondas.
- σ - desvio quadrático médio.
- R - Número de Reynolds.
- ν - viscosidade cinemática da água.
- ρ - massa específica da água.
- γ - peso específico da água.
- g - aceleração da gravidade.

- T - período da onda.
 L - comprimento de onda à profundidade h .
 H - altura da onda à profundidade h .
 C - celeridade da onda à profundidade h .
 L_0 - comprimento de onda em profundidade infinita.
 H_0 - altura da onda em profundidade infinita.
 C_0 - celeridade da onda em profundidade infinita.
 b - distância entre ortogonais à profundidade h .
 b_0 - distância entre ortogonais em profundidade infinita.
 n - fracção da potência total que é transmitida na propagação da onda.
- D - distância entre eixos dos esporões do dispositivo de ensaio.
 l_a - distância referente ao avanço da praia.
 l_r - distância referente à erosão da praia.
 Ω_a - superfície de enchimento da praia.
 d_A - distância, medida a partir do esporão de retenção, a que se situa o ponto de evolução nula da praia.
 d_r - distância, medida a partir do esporão de retenção, a que se situa o ponto de maior erosão da praia.
 t_e - tempo de estabilização da praia.
 c - comprimento eficaz do esporão.
 w - parâmetro angular característico da evolução da praia.
- γ_s - peso específico dos grãos do material móvel saturado.
 d_m - diâmetro mediano dos grãos do material móvel.

- Q_{lit} - caudal sólido litoral.
- β - coeficiente de atrito a considerar no movimento dos grãos do material móvel.
- dw - elemento de volume do material móvel.
- dl - dimensão dos grãos no sentido do deslocamento.
- v - velocidade de um elemento de volume dw .
- Ω - área da secção transversal onde se processa o movimento do material móvel.
- $d\Omega$ - elemento da área Ω .
- l - grandeza linear característica do movimento do material sólido.
- P_{tr} - potência transmitida pela onda.
- W_{tr} - energia transmitida pela onda.
- η - fracção da potência transmitida que origina o transporte longitudinal.
- π_1 - parâmetro adimensional.
- K, k - constantes de proporcionalidade.
-
- ZH - zero hidrográfico.
- NM - nível médio da água.
- PM - nível da preia-mar.
- BM - nível da baixa-mar.

OBSERVAÇÕES

— Para identificação dos esporões, quer no caso do dispositivo de ensaio, quer nas obras observadas, foi utilizada a letra E com diversos índices.

— Na aplicação de Análise Dimensional feita no Cap. IV foram utilizados, por não haver possibilidade de confusão, os símbolos α e β para os expoentes das expressões dimensionais das variáveis, o símbolo n para o número de grandezas dimensionalmente independentes, o símbolo r para o número de grandezas que intervêm no fenómeno mecânico, bem como os símbolos FLT para as grandezas fundamentais.



INTRODUÇÃO

1 - OBJECTIVO DO ESTUDO

No domínio da Hidráulica Marítima tem fundamental importância a acção erosiva dos agentes naturais sobre praias arenosas; como meio de evitar a erosão devida à acção directa do mar, adoptam-se correntemente estruturas de retenção dos materiais móveis, transversais à praia, designadas por esporões.

A principal finalidade a atingir neste estudo é o conhecimento das características de evolução de praias localizadas entre esporões que impeçam completamente o caminhamento dos materiais aluvionares, designadas por unidades fisiograficamente independentes, com vista ao estudo do funcionamento hidráulico de campos de esporões, sistemas de defesa costeira constituídos por várias estruturas deste tipo dispostas com determinado espaçamento ao longo de uma praia. Como complemento deste estudo serão feitas algumas considerações sobre caudal sólido litoral, sobre o funcionamento de esporões na natureza e sobre a aplicação da teoria de R. Felnard-Considère respeitante ao funcionamento de esporões em praias em que há um caudal sólido de alimentação.

Pretende-se contribuir, com este estudo, para o projecto de campos de esporões funcionais, os quais constituem, em geral, obras de defesa de capital importância e avultado custo.

O tema deste trabalho foi escolhido tendo em atenção os actuais conhecimentos sobre esporões e as necessidades práticas. As directrizes do estudo foram definidas a partir da publicação "Deficiencies in Research on Gravity Surface Waves" [1], de 1961, em que se preconiza o estudo de determinadas questões, cujo conhecimento se torna necessário ao projecto de esporões funcionais. Esta publicação cita os esporões como uma das estruturas mais largamente usadas em obras

marítimas na costa dos E.U.A., embora seja aquela em relação à qual menos se conhece. O número de ensaios laboratoriais e reais efectuados até agora com vista ao conhecimento do funcionamento de esporões é muito limitado. Os aspectos cujo estudo é preconizado na publicação anterior são:

a) - Efeito de esporões no transporte litoral, com a consideração de estruturas permeáveis e impermeáveis, com diferentes comprimentos.

b) - Efeito de esporões na erosão da linha costeira a sotamar.

c) - Efeito de esporões na estabilização das linhas de costa de enseadas.

d) - Utilização de esporões compridos no parcelamento duma linha costeira.

O tema do presente estudo diz respeito, fundamentalmente, à alínea d), mas as suas conclusões podem ter aplicação nas alíneas b) e c).

2 - CARACTERÍSTICAS DO ESTUDO

Trata-se, fundamentalmente, de um estudo macroscópico de pesquisa básica realizado a partir de ensaios sistemáticos em modelo reduzido. Considera-se este trabalho como um estudo macroscópico em virtude de se ter em vista o conhecimento das características de evolução de praias localizadas entre esporões, consideradas no seu conjunto, sob a acção de ondas definidas pelos parâmetros que se consideram usualmente na prática, contrariamente a um estudo de pormenor, em que se consideraria o fenómeno ao nível da mecânica dos grãos do material móvel e de aspectos mais pormenorizados da estrutura da onda actuante, o que implicaria, em geral, ensaios em canal com técnicas experimentais mais aperfeiçoadas.

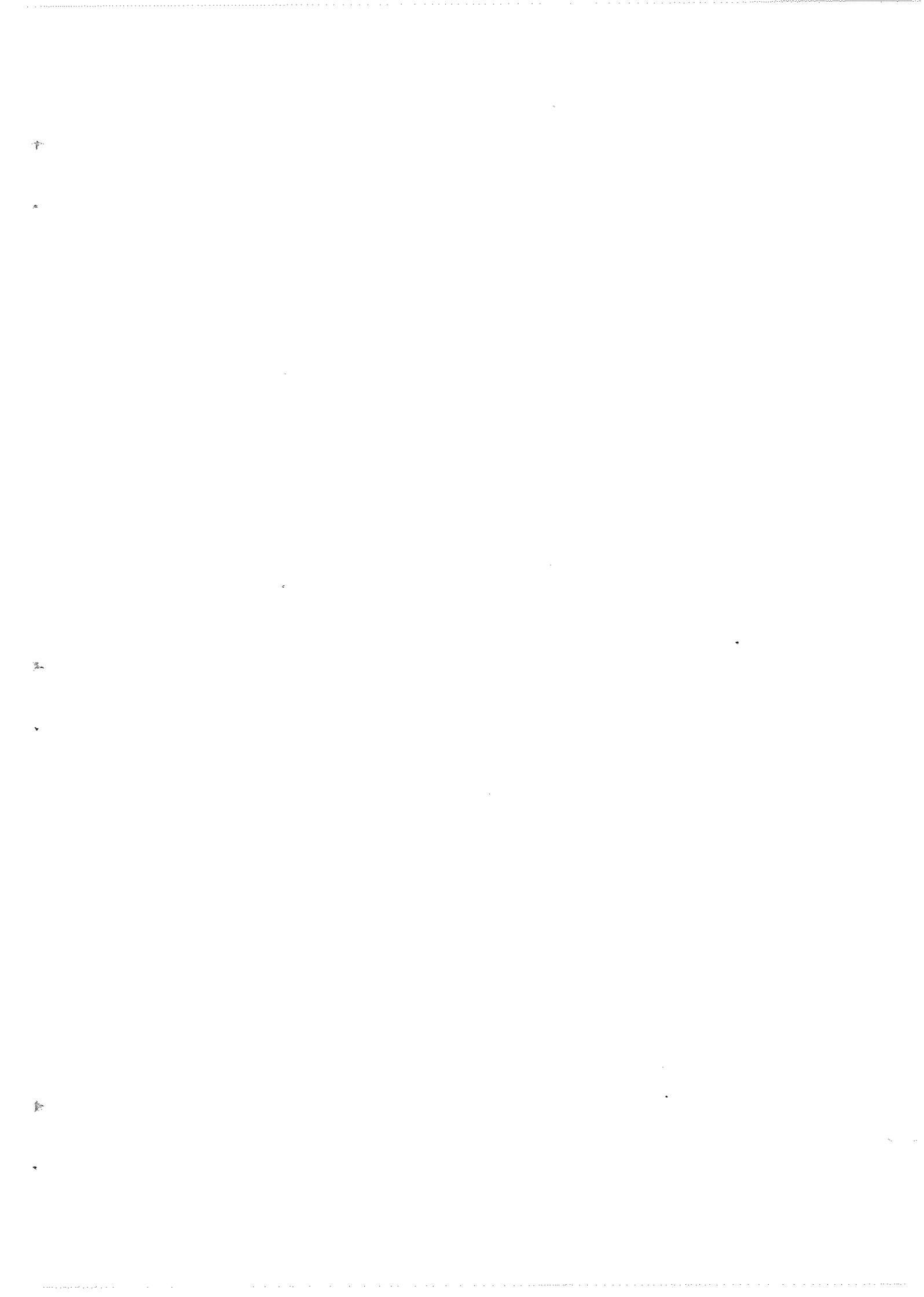
A índole do presente trabalho, bem como as limitações de tempo e meios, motivaram que o estudo seja, na realidade, muito simples e apresentado de forma muito sucinta.

Como estudo de pesquisa básica este trabalho compreendeu:

- pesquisa bibliográfica;

- planeamento do estudo;
- estudo experimental em modelo reduzido;
- análise de casos reais.

Não se fez, para a parte fundamental do trabalho, uma teorização dos fenómenos em causa em virtude, principalmente, da dificuldade de matematizar o caso em estudo.



CAP. I

GENERALIDADES SOBRE ESPORÕES

1 - PRELIMINARES

Do conjunto de situações que a natureza impõe ao homem destaca-se, no domínio da Hidráulica Marítima, o fenómeno da erosão costeira; quer por acções naturais a longo prazo, quer pela acção das próprias obras, sempre que se quebra o equilíbrio de uma zona costeira de materiais móveis têm lugar movimentos aluvionares que podem originar graves prejuízos; as situações que podem ocorrer são várias, podendo distinguir-se aqueles casos que dizem respeito a erosão propriamente dita e os que se caracterizam por inconvenientes provenientes da deposição de materiais móveis.

Entre as soluções preconizadas para impedir a erosão costeira fi

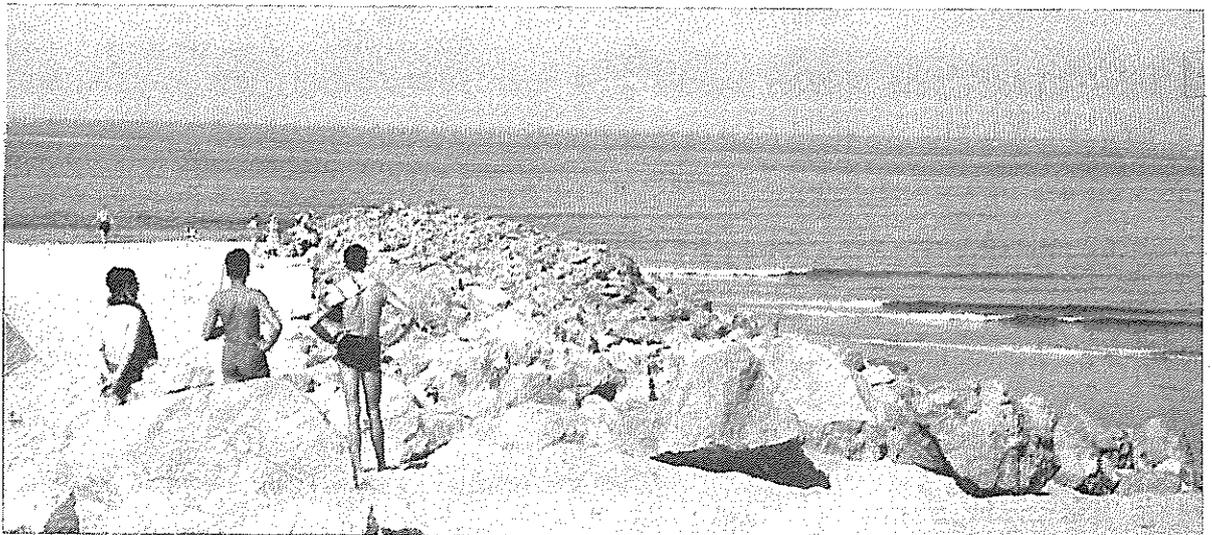


Fig.I.1 - Esporão marítimo (primeiro esporão construído na Cova do Vapor)

gurem os esporões. Um esporão é uma estrutura costeira^(*) transversal à linha da costa em que enraíza, que tem por função a retenção de materiais aluvionares em movimento.

Os esporões apresentam, fundamentalmente, dois aspectos a considerar: o seu funcionamento hidráulico e a sua estrutura.

O funcionamento hidráulico depende da acção dos agentes naturais, das características do esporão e das características do material móvel. Os agentes naturais que condicionam o funcionamento hidráulico dos esporões são as ondas, as marés e as correntes marítimas; a acção das ondas dá-se quando estas atingem a linha de rebentação obliquamente, originando um transporte longitudinal de materiais, o qual se processa devido à energia libertada pela onda na rebentação; a acção da maré faz-se sentir quer pela variação de nível, quer pela existência de correntes; a acção das correntes oceânicas tem, em geral, me



Fig.I.2 - Funcionamento hidráulico de esporões segundo Larras

nos interesse, pois estas correntes manifestam-se, em regra, em zonas afastadas da costa. As características do esporão que condicionam o funcionamento hidráulico são a sua implantação e a sua estrutura, esta última no que respeita ao seu poder reflector e permeabilidade. As características do material móvel determinam, em certa medida, a forma como se dá o transporte, isto é, por arrastamento pelo

(*) - Existem esporões fluviais, que não são, evidentemente, considerados neste estudo. O seu funcionamento hidráulico é, em relação aos esporões marítimos, bastante diferente, pois o principal agente actuante, nos esporões fluviais, são as correntes.

fundo ou em suspensão, o que origina, segundo Larras [9], funcionamentos diferentes para a mesma onda actuante. (ver fig.I.2). No entanto, em geral, é o esquema que diz respeito ao transporte por arrastamento que se verifica na natureza, isto é, com uma zona de enchimento a barlamar e uma zona de erosão a sotamar.

A estrutura, embora esteja relacionada com o funcionamento hidráulico, é principalmente subordinada aos condicionamentos construtivos e de estabilidade; no aspecto construtivo interessa que a estrutura seja tal que implique uma execução económica; no aspecto respeitante à estabilidade a estrutura deve ser dimensionada com vista a suportar os esforços desenvolvidos pela acção da onda. O tipo de estrutura de um esporão é, também, muitas vezes adoptado tendo em atenção condicionamentos urbanísticos e arquitecturais.

2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS ESPORÕES

Em relação às suas características mais gerais os esporões podem ser:

- compridos ou curtos, sendo o comprimento um elemento condicionante do comportamento hidráulico;

- permeáveis ou impermeáveis, na medida em que a estrutura é tal que permite a passagem de parte do material sólido, ou o retem completamente.

- altos ou baixos, sendo a cota de coroamento determinante da transposição ou não transposição de materiais por cima da obra, funcionando os esporões muito baixos como permeáveis;

- fixos ou ajustáveis; com efeito, os esporões são, em geral, obras fixas, mas há casos em que são ajustados ao estado de evolução das praias.

Relativamente aos principais materiais utilizados na construção de esporões citam-se a pedra, a madeira, o betão e o aço; há, ainda, casos de aplicação de betuminosos como revestimento de núcleos de areia. Os esporões de uso mais corrente são os de enrocamento, que apresentam a vantagem de serem os de mais simples execução, com a

utilização, em geral, de enrocamento natural. Nos esporões de betão empregam-se, na maioria dos casos, blocos pré-fabricados, por vezes



Fig.I.3 - Características estruturais de esporões de enrocamento e de betão utilizados, também, em estruturas mixtas de betão e enrocamento. Os esporões de madeira são, usualmente, constituídos por cortinas de estacas travadas por cintas e suportadas por estacas, sendo com fre-

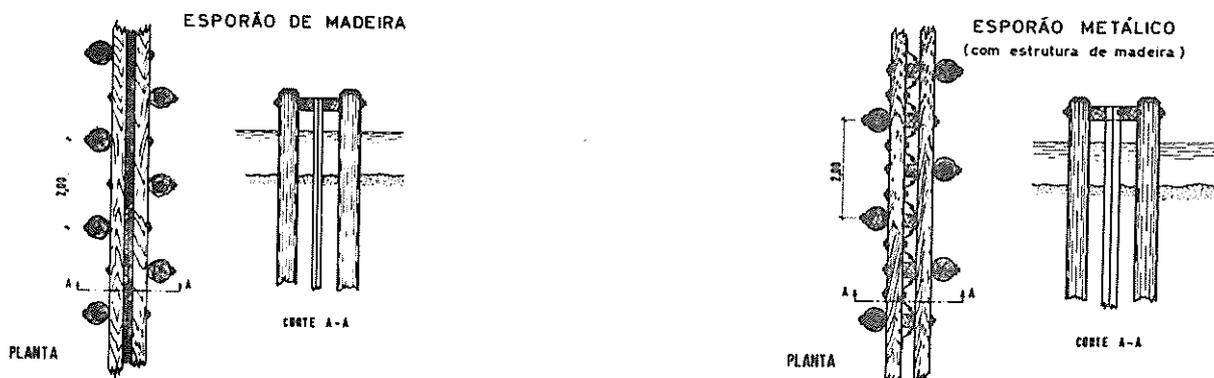


Fig.I.4 - Características estruturais de esporões de madeira e metálicos

quência estruturas permeáveis. Nas estruturas metálicas usam-se os perfis correntemente utilizados nas estacas-pranchas, em geral integrados numa estrutura de madeira.

A escolha do tipo de esporão dependerá, em princípio, dos seguintes factores: evolução fisiográfica das praias, características das marés, ondulação e correntes; características das fundações; disponibilidades e custos dos materiais de construção; despesas de conservação e utilização dada à zona em causa.

Como tipos especiais de esporões podem citar-se esporões em T, L ou Z, cuja finalidade é serem evitadas as erosões susceptíveis de se verificarem a sotamar, que podem pôr em risco o enraizamento da es

trutura; também, com o mesmo fim, se empregam esporões com paredão ou esporão auxiliar a sotamar. (ver figura I.5).

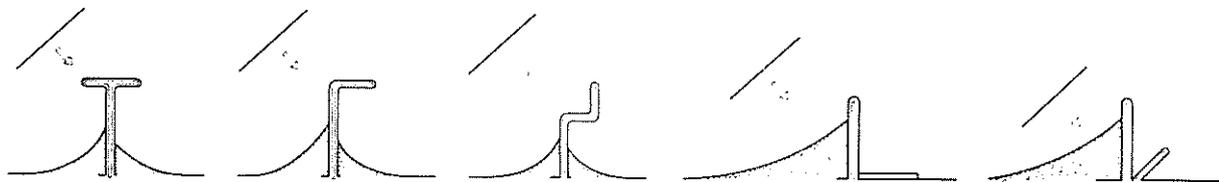


Fig.I.5 - Tipos especiais de esporões

3 - FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE ESPORÕES

A aplicação de uma defesa com base no emprego de esporões é eficiente quando existe um transporte longitudinal apreciável, associado em geral à existência de uma actuação oblíqua da onda sobre a costa; para ondulação com rumos bastante variáveis não é de esperar gran



Fig.I.6 - Campo de esporões - Ilha de Luanda(Maio de 1963)

de eficácia para um esporão. Os esporões podem ser utilizados isoladamente ou em grupo; neste último caso utiliza-se um determinado número de esporões com espaçamento adequado, tipo de defesa que se designa por campo de esporões. A acção dos esporões pode ser uma completa retenção dos materiais móveis ou uma retenção parcial, considerando-se os esporões deste último caso como esporões retardadores.

O estudo de esporões depende fundamentalmente da mecânica do transporte aluvionar, o qual é devido a acções de natureza marítima e eólica. As situações que determinam o movimento de materiais móveis ao longo das costas são várias e podem distinguir-se:

- a actuação oblíqua das ondas sobre as praias;
- o desequilíbrio proveniente da acção modeladora dos agentes naturais a longo prazo;
- a construção de obras, com alteração brusca do regime aluvionar;
- a modificação do regime dos rios, que constituem uma das fontes de materiais aluvionares, podendo estas modificações serem devidas à execução de obras de correcção torrencial, à construção de aproveitamentos hidráulicos ou, ainda, a alterações da própria fisiografia dos cursos de água.

A mecânica dos movimentos de materiais móveis em praias oceânicas não é, ainda, bem conhecida, não somente no que respeita ao pro-



Fig.I.7 -Actuação da onda(Cova do Vapor)

cesso de evolução das praias, como no respeitante às próprias causas que originam os fenómenos. A falta de estudos completos sobre este assunto, tão complexo em virtude do grande número de parâmetros em causa e das suas características aleatórias, não permite co-

nhecer satisfatoriamente as causas e o mecanismo do transporte aluvionar. Neste trabalho admite-se que a acção do vento é importante na formação ou destruição de dunas e nos movimentos que se processam nas zonas mais afastadas da água, mas na zona da praia actuada pelo mar considera-se este como único agente actuante; os movimentos de materiais que se verificam na zona de rebentação e espraiamento das ondas, que só a estas são devidos, são suficientemente importantes e conhecidos para justificar a importância da acção do mar nos movimentos aluvionares.

Um dos tipos de transporte de materiais móveis em praias arenosas^(*) é o transporte longitudinal, por vezes associado a movimentos transversais; estes movimentos de materiais ao longo da praia são devidos às correntes longitudinais provenientes da rebentação das ondas que actuam obliquamente.

O transporte de materiais móveis depende, em princípio, dos seguintes parâmetros:

- características da praia: inclinação, peso específico e características granulométricas do material;
- características da onda: altura, período (ou grandezas derivadas do período) e obliquidade de actuação na praia.

Considera-se que a influência da maré no transporte litoral se manifesta, em geral, pela alteração das características da actuação da onda devida à variação de nível; no entanto, não se exclui a importância das correntes longitudinais devidas à maré que podem ocorrer em determinadas situações.

Os problemas em que intervem o transporte aluvionar dizem respeito, fundamentalmente, a dois tipos de formações costeiras: praias e restingas. As condições de alimentação são, em princípio, de três tipos:

- inexistência de caudal sólido^(**) de alimentação, caso em que o mecanismo de actuação do esporão depende unicamente do material existente na zona em causa;
- existência de um caudal sólido de alimentação, igual ao débito de material transportado pela onda, que origina uma situação de equilíbrio dinâmico;
- existência de um caudal sólido de alimentação inferior àquele que é originado pela acção da onda.

Estes três tipos de alimentação correspondem a diferentes situações, que serão respectivamente:

(*) - Consideram-se fundamentalmente as praias constituídas por areias; não se considera o caso de praias constituídas por materiais grosseiros, do tipo das praias de cascalho.

(**) - Definir-se-á no cap. IV o caudal sólido como um volume de areias transportado numa unidade de tempo através duma dada secção.

- unidades fisiograficamente independentes localizadas entre limites bem definidos (normalmente formações rochosas ou obras) que podem corresponder a praias naturais ou artificiais;

- zonas arenosas extensas, localizadas nas proximidades de fontes naturais de alimentação; é, em geral, o caso das praias de grande desenvolvimento e das restingas;

- zonas arenosas em erosão, que é, ainda, o caso de praias ou restingas.

O emprego de esporões tem interesse nas primeiras quando existe uma praia natural que entra em erosão, por acção a longo prazo dos agentes naturais, ou quando se forma uma praia artificial; no segundo caso, a aplicação de esporões faz-se quando se pretende alargar uma determinada zona da praia, ou quando há o risco de se iniciar um processo de erosão; finalmente, no último caso, o emprego de esporões visa a defesa contra a erosão declarada a que está sujeita de determinada zona.

Em qualquer dos casos anteriores podem atingir-se três objectivos com a utilização de esporões: obtenção de praias para utilização balnear, criação de praias que defendem as zonas marginais pela retenção que determinam para a onda e protecção contra o assoreamento de determinadas zonas. O efeito da retenção de materiais pelos esporões tem, portanto, aplicação prática, quer em casos de erosão de praias, quer em casos de prevenção contra assoreamentos.

O funcionamento hidráulico de esporões no caso de praias em regime de equilíbrio dinâmico, em que há um caudal sólido de alimentação constante, foi estudado analiticamente por R. Pelnard-Considère [2], que estabeleceu a expressão analítica da curva de enchimento de um esporão a partir da integração de equações diferenciais deduzidas com base em hipóteses verificadas experimentalmente. A hipótese básica considerada, que exprime o resultado de observações efectuadas em modelo, admite que, para pequenos ângulos de incidência da onda sobre a praia, o transporte litoral é proporcional ao ângulo de incidência. Considere-se uma praia com o perfil transversal esquematizado na figu-

ra I.8 e com o sistema de eixos indicado na mesma figura, em que o eixo das abscissas (\overline{OX}) coincide com a praia inicial e o eixo das orde-

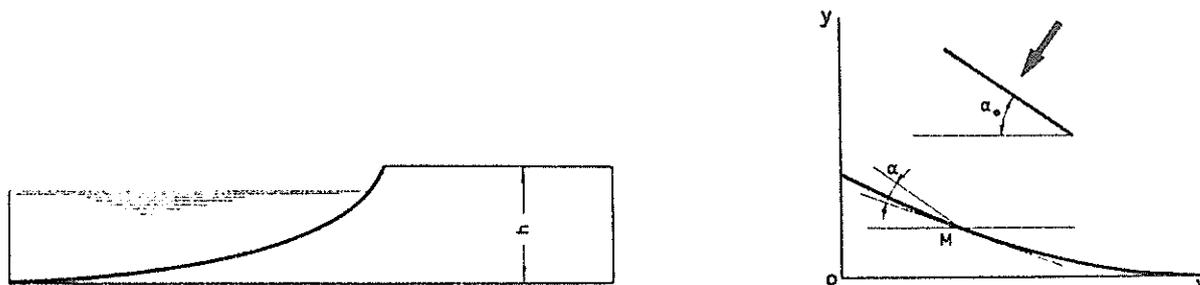


Fig. I.8 - Definição de parâmetros (Teoria de Pelnard-Considère)

nadas (\overline{OY}) com o eixo do esporão; para pequenas obliquidades (ângulos inferiores a 25°) podem tomar-se os valores do arco pelos da sua tangente e o caudal sólido será dado, em cada ponto, por:

$$q = K \left(\operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{\partial y}{\partial x} \right) \quad (1)$$

\underline{K} depende da capacidade de transporte da onda. O valor $S_0 = \frac{K \operatorname{tg} \alpha_0}{h}$ é a superfície de acumulação por unidade de tempo que corresponde à incidência α_0 , isto é, a superfície que ocuparia, com espessura uniforme \underline{h} , o caminhamento de base q_0 ; fazendo $\frac{K}{h} = a$ vem $a = \frac{S_0}{\operatorname{tg} \alpha_0}$; o valor \underline{a} será a superfície de acumulação por unidade de tempo que corresponde à unidade angular. Diferenciando a expressão de q e considerando os volumes retidos pelo esporão deduz-se a seguinte equação diferencial de segunda ordem às derivadas parciais:

$$a \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial y}{\partial t} \quad (2)$$

A integração desta equação, que é do tipo da equação do calor, conduz a diferentes soluções de acordo com as condições aos limites que forem consideradas; para o funcionamento de esporões interessam as

duas soluções que se apresentam seguidamente. A primeira solução, que diz respeito ao esquema 1 da figura I.9, tem um integral do tipo:

$$y = \frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{\sqrt{\pi}} \left[\sqrt{4at} e^{-\frac{x^2}{4at}} - x\sqrt{\pi} \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{x}{\sqrt{4at}}}^{\infty} e^{-q^2} dq \right] \quad (3)$$

Esta solução permite conhecer a família de curvas representativa da evolução da praia no caso do caminhamento do material ser totalmente impedido pela obra; neste caso o débito de material ao longo do esporão e no seu extremo será nulo e as condições aos limites serão:

- $t = 0$, praia segundo \overline{OX} , $y = 0$
- $x = 0$, praia paralela às cristas, $\frac{\partial y}{\partial x} = \operatorname{tg} \alpha_0$

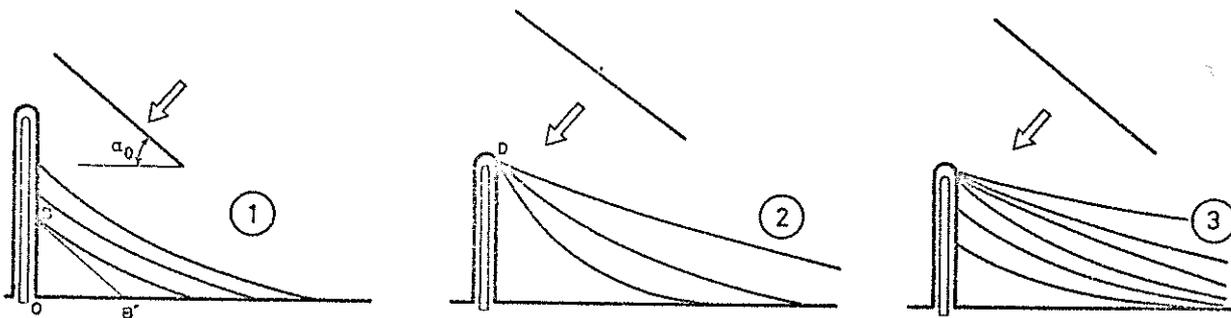


Fig. I.9 - Curvas de enchimento de esporões (Teoria de Pelnard-Considère)

A segunda categoria de soluções, esquema 2 da figura I.9, conjuga outro tipo de integral da equação (2) e novas condições aos limites com outro processo de enchimento; a nova condição é que a praia passa obrigatoriamente pelo ponto D do esporão, formando as curvas sucessivas uma família cuja equação é:

$$y = y_0 \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{x}{\sqrt{4at}}}^{\infty} e^{-q^2} dq \quad (4)$$

As condições aos limites são:

- praia inicial segundo \overline{OX}
- $x = 0$ $y = y_0 = \text{constante}$

Quanto ao caso real, esquema 3 da figura I.9, que corresponde ao emprego de um esporão numa praia em que há um caminamento de base q_0 , tem-se inicialmente um processo de enchimento caracterizado por curvas do primeiro tipo, seguindo-se um enchimento segundo curvas do segundo tipo, a partir do instante em que os materiais iniciam a transposição da extremidade da obra.

Os resultados apresentados por Pelnard-Considère^(*) foram confirmados pelos resultados experimentais de ensaios realizados no Laborattoire Dauphinois d'Hydraulique; à parte perturbações locais próximas do esporão, a concordância entre a teoria e a experimentação foi absolutamente satisfatória.

(*) - A teoria de Pelnard-Considère, que se encontra completamente descrita em [2], tem o maior interesse, quer sob o ponto de vista de estudo, quer para aplicação prática. Na publicação referida encontram-se relações de interesse prático entre parâmetros característicos da evolução da praia, bem como a conjugação dos dois tipos de integral definidos nas expressões (3) e (4), com vista à resolu-ção do caso 3 da figura I.9. Neste trabalho procurou-se, apenas, apresentar o mínimo de elementos necessários à aplicação que se faz na análise de casos reais.

4

5

6

7

8

9

CAP. II

ESTUDO EXPERIMENTAL DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE ESPORÕES NO CASO DE UNIDADES FISIOGRAFICAMENTE INDEPENDENTES

1 - PLANEAMENTO DO ESTUDO

1.1 - Generalidades

Teve-se em vista, fundamentalmente, a realização de ensaios sistemáticos, nos quais se deu particular importância aos que tinham por finalidade o estudo da acção da onda.

Consideraram-se ensaios em que o nível de água em repouso era constante e ensaios com reprodução de maré, cuja actuação consiste na variação do nível de repouso e na consequente alteração das características de actuação da onda; não se planearam ensaios com reprodução de correntes devidas à maré em virtude de não ser possível dispor do equipamento necessário. Planeou-se, ainda, a realização de ensaios com actuação de trens de ondas de direcção constante, com actuação de vaga e acção de ondulação em regime variável (regime variável constituído por um ciclo de actuação em que se fazem variar as três características fundamentais da onda actuante: altura, período e obliquidade). Considerou-se o estudo da influência da implantação e estrutura dos esporões. No que respeita às características da praia planeou-se o ensaio de praias constituídas por diferentes tipos de material móvel e com diferentes inclinações. Por último, foi planeado o estudo do efeito de escala, para o qual são fundamentais os resultados obtidos na natureza.

1.2 - Plano de trabalhos

O planeamento dos ensaios pode esquematizar-se do seguinte modo:

A) - Ensaio sem reprodução de maré.

a) - Acção da onda de características constantes.

a₁) - Influência da altura (alturas compreendidas entre 1,0 e 7,0 cm).

a₂) - Influência do período (períodos compreendidos entre 1,0 e 1,8 seg).

a₃) - Influência da direcção (obliquidades em relação à praia : 5°, 10° e 20°).

b) - Características da praia.

b₁) - Influência da inclinação (5 a 10%).

b₂) - Influência da natureza do material móvel (pedra-pomes, baquelite, areia e serradura).

c) - Características do esporão.

c₁) - Influência do comprimento.

c₂) - Influência do poder reflector (estrutura e talude lateral).

c₃) - Influência da disposição em planta.

c₄) - Influência do tipo estrutural.

d) - Acção de vaga.

e) - Acção de trens de ondas e de ondulação em regime variável.

B) - Ensaio com reprodução de maré.

C) - Estudo do efeito de escala.

O planeamento dos trabalhos, feito em 1961, teve em vista o objectivo definido na secção 1 da Introdução, fundamentado, como se disse, na publicação [1].

2 - TECNOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1 - Equipamento

Para a realização dos ensaios sistemáticos programados planeou-se a utilização de dois tanques de ensaio. Necessidades imperiosas de serviço motivaram que só pudesse ser utilizada uma dessas instalações, o que originou a impossibilidade de cumprir completamente o plano de trabalhos elaborado inicialmente.

O tanque de ensaios utilizado no estudo, que se pode ver na figura II.1, tem uma área útil de $20 \times 10 \text{ m}^2$ e o seu equipamento foi pro

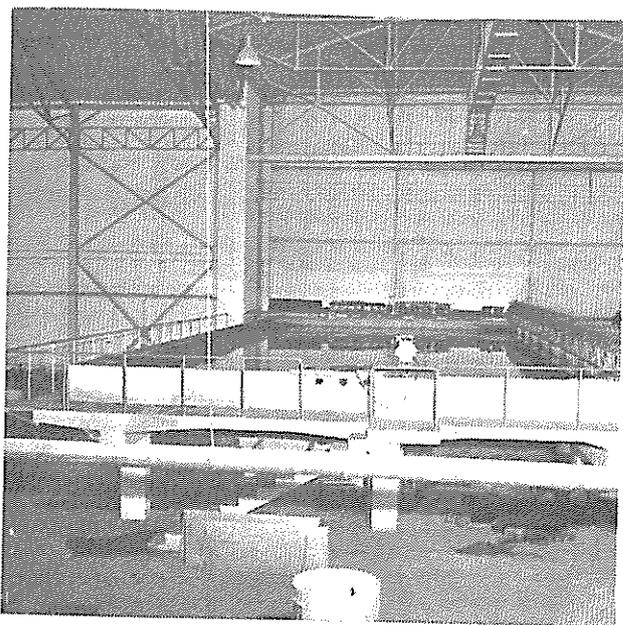


Fig.II.1 - Tanque de ensaios

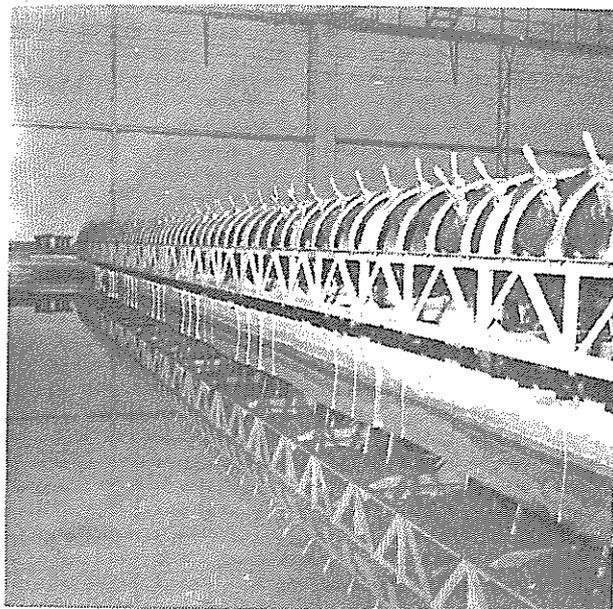


Fig.II.2 - Gerador de ondas

jectado de forma a que se tivessem os acessos necessários à observação, à medição de parâmetros e às operações inerentes à exploração; trata-se de uma instalação em que o acesso de materiais se faz facilmente com o emprego de uma ponte rolante de cabine móvel. No anexo 1 representa-se um corte transversal do tanque no qual se mostra o sistema de alimentação e esgoto. Este tanque encontra-se equipado com aparelhagem que permite a reprodução de estados de agitação com características de ondulação ou vaga e, ainda, a reprodução de marés. O tanque foi projectado para a realização de um ensaio de um porto, pelo que apresenta algumas limitações para um estudo de pesquisa bá-

sica, em que pode haver interesse em ensaiar uma gama maior de valores, no que respeita às características das ondas e das marés. A utilização desta instalação, livre à data de início deste trabalho, foi imposta pela impossibilidade de projectar e construir uma instalação própria para este estudo.

O gerador de ondas é do tipo "serpente" constituído por 66 batedores de 30 cm de largura; a cada batedor está associado um mecanismo de comando da amplitude e fase, o que permite que cada um desses elementos gere ondas que lhe são paralelas e que, quando devidamente desfasadas, se compõem segundo uma onda de determinada obliquidade. A maior vantagem dos geradores deste tipo consiste no facto de se tratar de uma aparelhagem fixa que permite ensaiar uma gama extensa de direcções da onda actuante para o mesmo modelo em

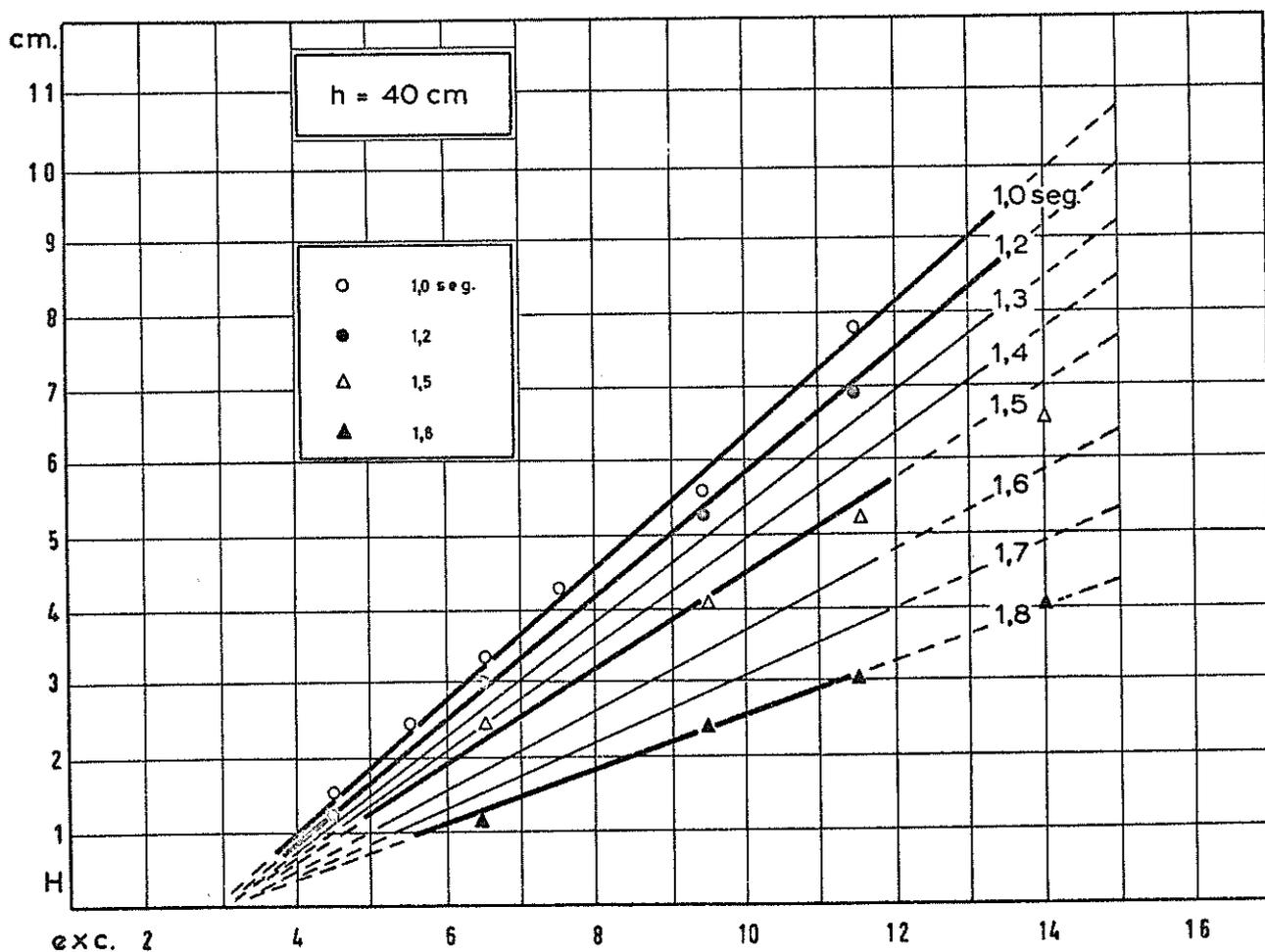


Fig.II.3 - Gráfico de calibragem do gerador de ondas

estudo. O accionamento é feito por um motor acoplado a um variador, o que permite a geração de ondas com diferentes períodos.

Na figura II.3 apresenta-se o gráfico de calibragem deste gerador, com representação da altura das ondas em ordenadas e, em abscissas, o valor da excentricidade a marcar numa determinada bitola; os segmentos de recta a cheio dizem respeito a situações em que é gerada uma onda sinusoidal regular, enquanto que as partes a traço interrompido dizem respeito a ondas irregulares que correspondem a condi-

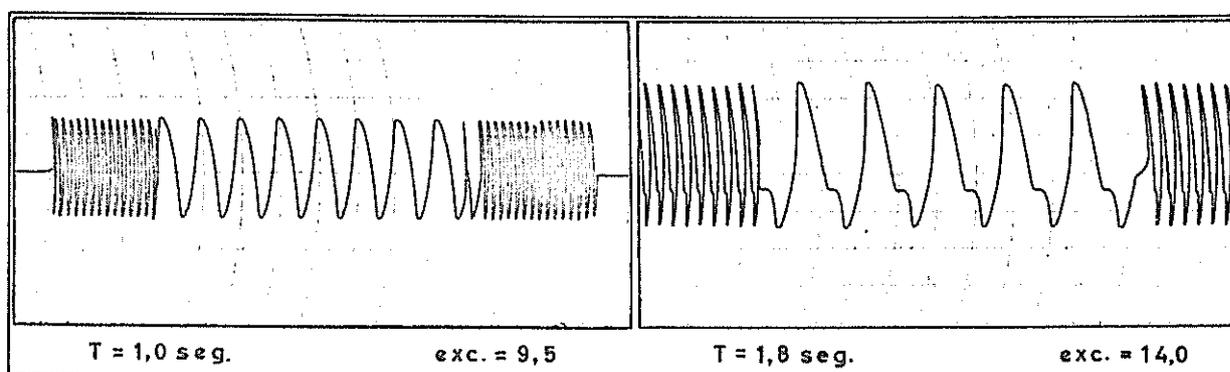


Fig. II.4 - Registos de ondas

ções deficientes de funcionamento do gerador. Na figura II.4 mostram-se registos de ondas regulares e irregulares que correspondem a pontos experimentais do gráfico de calibragem. Utilizaram-se sempre filtros absorventes em frente do gerador. Como se pode avaliar, a gama de alturas que é possível reproduzir está condicionada pelas possibilidades do gerador; na realidade, por exemplo, para o período 1,8 seg não se podem gerar ondas de altura superior a, praticamente, 4,0 cm e as ondas com alturas superiores a 3,0 cm já não são regulares.

A altura das ondas geradas foi medida a partir de registos obtidos pelo emprego de sondas de resistência eléctrica, durante as operações da calibragem inicial do gerador cujos resultados se apresentaram na fig. II.3; posteriormente foram feitas operações de calibragem de controle, em virtude do longo praso de realização dos ensaios. Para a calibragem inicial utilizou-se a aparelhagem registadora com 2 canais e 12 sondas, dispostas paralelamente ao gerador à distância de 2 metros; a rebenção da onda gerada fazia-se sobre uma série de fil

tros absorventes, com núcleo de apara de alumínio, colocados paralela-
mente ao gerador, a uma distância da ordem de grandeza de 6 metros.
A determinação das alturas das ondas geradas com diferentes obliqui-
dades permitiu concluir que se podia considerar uma única curva de ca-
libragem, para cada período, independentemente da obliquidade da onda
gerada.

Para o cálculo das alturas das ondas considerou-se o valor mé-
dio das alturas determinadas nas diferentes sondas; a fim de ter uma
ordem de grandeza dos desvios da altura das ondas nas diferentes son-
das, em relação ao valor médio considerado, traçou-se o histograma da
figura II.5 que permite avaliar a ocorrência de um determinado desvio,

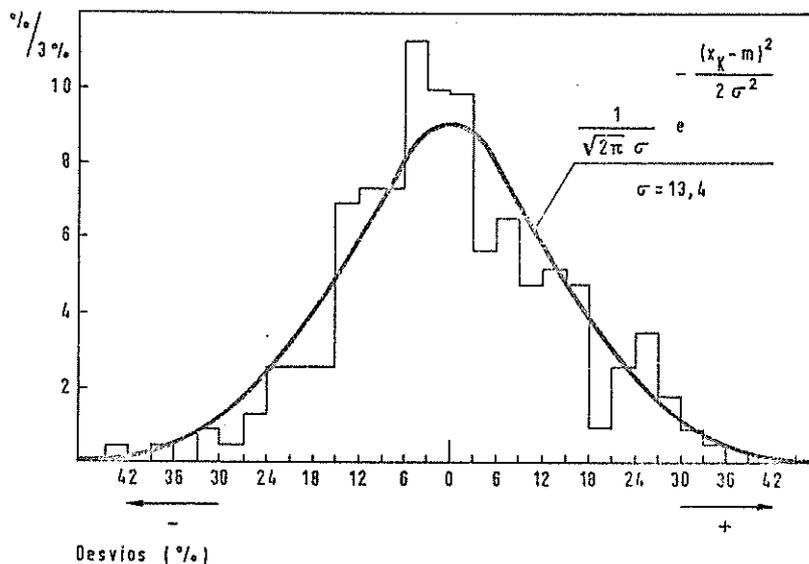


Fig.II.5 - Distribuição dos desvios das alturas registadas
em relação ao valor médio

expresso em percentagem em relação à média. O número de medições
consideradas para o traçado do histograma foi 232. O histograma apre-
senta em abcissas os valores dos desvios, em percentagem da média m ,
que as alturas x_k nas diferentes sondas apresentam em relação a es-
sa média; em ordenadas representam-se as percentagens de ondas cujo
desvio está compreendido em escalões de 3%. A distribuição apresenta
um valor do desvio quadrático médio $\sigma = 13,4^{(\text{*)}$; a curva de Gauss tra-

$$(\text{*)} - \sigma^2 = \sum_k p_k (x_k - m)^2$$

çada para este valor de σ , sobreposta ao histograma anterior, permite concluir que a distribuição dos desvios considerados segue, com aproximação suficiente, a lei de Gauss. Verifica-se que desvios em relação à média compreendidos entre 15 e 18% (positivos ou negativos) têm uma ocorrência da ordem de grandeza de 4%.

As determinações do valor do período da onda foram feitas por cronometragem, considerando 10 voltas de uma peça móvel em relação a uma referência fixa e calculando o valor médio respeitante a uma volta, valor equivalente ao período da onda em virtude de corresponder a um ciclo de movimento de um batedor. O erro que se comete é da ordem de 1% do valor médio determinado.

As diferentes obliquidades de actuação da onda gerada são, como se disse, conseguidas a partir de desfasagens, calculadas em função da largura do batedor, do comprimento da onda gerada e duma função trigonométrica do ângulo pretendido; o controle dos valores da obliquidade foi feito a partir de algumas plantas fotográficas do tanque, obtidas dos passadiços existentes na cobertura do pavilhão de ensaios.

Para a realização de ensaios com actuação de trens de ondas planeou-se a utilização dum tanque de grandes dimensões, onde têm lugar estudos de erosão costeira, cujo gerador está preparado para receber um mecanismo de comando da excentricidade durante o funcionamento. Com a antecedência devida, e amplamente suficiente, foram os respectivos trabalhos de adaptação desse dispositivo requisitados à DECA^(*);

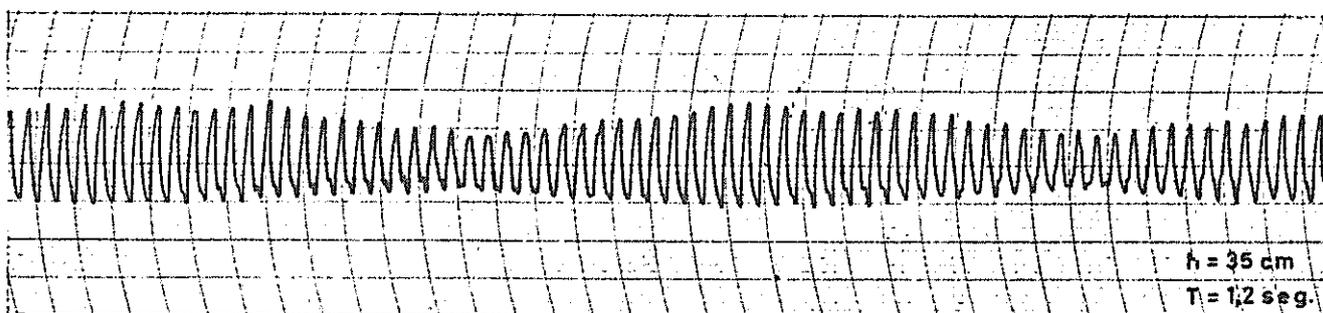


Fig.II.6 - Registo de trem de ondas

(*) - Divisão de Estudo e Construção de Aparelhagem do LNEC

imperativos de serviço inerentes ao funcionamento dessa Divisão motivaram que os trabalhos referentes a uma montagem experimental do mecanismo se realizassem só no fim do estudo; os resultados obtidos, que se mostram na figura II.6, foram óptimos, mas houve necessidade de proceder a algumas rectificações na aparelhagem o que motivou que não fosse possível realizar qualquer ensaio, pois não só esses trabalhos de rectificação se encontram em curso à data de elaboração deste relatório (Janeiro de 1966), como a instalação foi destinada a um estudo de aplicação (estudo em modelo reduzido da praia de Copacabana) para cujo modelo já se iniciaram os trabalhos de construção.

O sistema reprodutor de marés, que se encontra representado no anexo 1, é constituído por um depósito inferior com a capacidade de 22 m^3 , uma bomba centrífuga, uma conduta de alimentação que tem intercalado um depósito cilíndrico com fenda obturada por uma comporta e, para regularizar a entrada de água no modelo, câmaras perfuradas de tranquilização; a comporta do depósito cilíndrico, que é uma

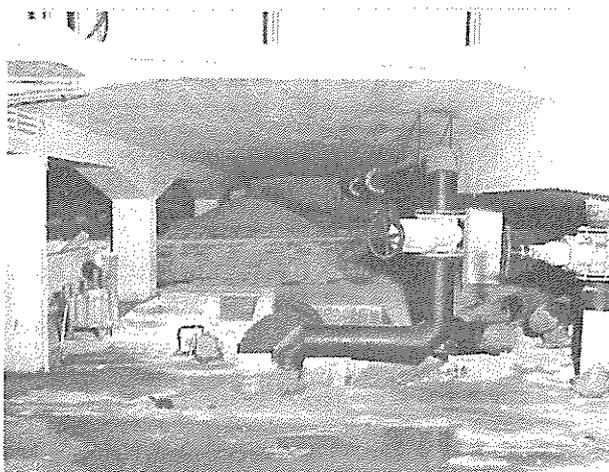


Fig.II.7 - Dispositivo de alimentação e esgoto do sistema de reprodução de maré

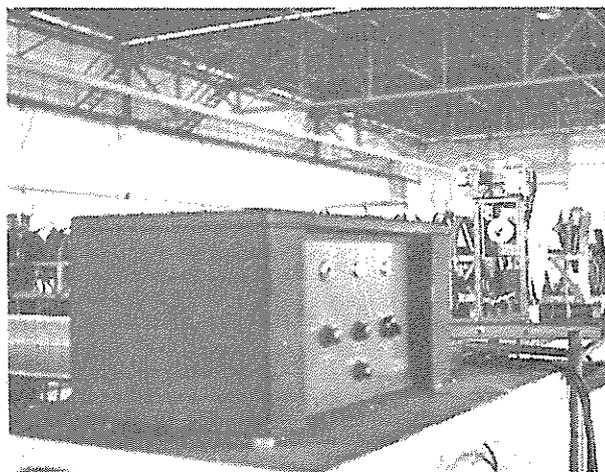


Fig.II.8 - Dispositivo de controle do sistema de reprodução de maré

comporta de segmento, permite uma descarga regulável e, portanto, a alimentação segundo uma determinada lei de caudais de modo a reproduzir a lei de maré pretendida; o comando do sistema é feito electrònicamente pelo aparelho piloto, associado a um dispositivo de correcção designado por pote de contra-reacção. O aparelho piloto é dotado de uma chapa rotativa, de velocidade regulável, onde se encontra ma-

terializada em coordenadas polares a curva de maré que se pretende reproduzir. Com este sistema consegue-se a reprodução de marés com amplitudes da ordem de grandeza de 6 cm, com tempos de ciclo de maré da ordem dos 30 minutos. O registo das marés produzidas foi feito por meio de limnógrafos de ponta vibrante; no anexo 2 apresenta-se, para ilustrar, o registo (reduzido) respeitante a uma das marés ensaiadas, à qual corresponde uma amplitude de 6,40 cm e um tempo de ciclo de maré igual a 30 minutos; o nível médio correspondia a uma profundidade de 40 cm.

Com vista à melhoria dos meios de observação e medição solicitou-se à DECA a execução de um passadiço móvel e de um servo-coordinógrafo, para cujos projectos o Serviço de Hidráulica deu a sua colaboração. No anexo 3 apresentam-se 5 fotografias, numeradas de 1 a 5, respeitantes a esta aparelhagem. O passadiço móvel, que se pode ver na fotografia 1, constitui um meio eficaz de transporte de operadores e aparelhagem e os resultados obtidos com a sua utilização foram os melhores. O servo-coordinógrafo destina-se ao registo directo dos perfis transversais das praias ensaiadas e foi concebido para trabalhar no passadiço móvel; este equipamento foi requisitado à DECA na fase inicial deste trabalho e o seu estudo e projecto foi feito imediatamente. As fotografias 2 a 5 do anexo 3 dizem respeito à montagem experimental feita na DECA durante o projecto desta aparelhagem. Na fotografia 2 do anexo pode ver-se o servo-coordinógrafo actuando numa tina com água com um fundo de pedra-pomes; o movimento do porta-sondas é comandado à distância. Na fotografia 3 vê-se um pormenor do traçado do registo. Na fotografia 4 apresenta-se uma vista da aparelhagem electrónica auxiliar. A fotografia 5 mostra um pormenor da actuação da sonda; esta, durante o movimento do porta-sondas, acompanha constantemente o perfil do fundo e, dos seus movimentos de descida e subida, resulta o traçado directo desse perfil; o princípio de funcionamento baseia-se na alteração introduzida pelos fundos nas linhas de corrente do campo eléctrico.

Dificuldades várias motivaram que, até à data de elaboração

deste relatório (Janeiro de 1966) a DECA não pudesse tornar operacional o servo-coordinógrafo, pelo que esta aparelhagem não pôde ser utilizada nos ensaios deste estudo.

2.2 - Dispositivo experimental

A concepção do dispositivo de ensaio baseou-se na esquematização de um campo de esporões que permitisse o estudo da evolução dos troços de praia entre esporões sem as interferências devidas à transposição da extremidade dos esporões pelo material móvel; o conjunto constituído por um esporão central e pelas praias absorventes de cascalho, que dispostas lateralmente evitam as reflexões nos muretes laterais do tanque, limita dois troços de praia cujo desenvolvimento se pode fazer variar pela consideração de diferentes distâncias entre esporões.

Com vista à determinação das características do dispositivo experimental realizou-se um ensaio-piloto, em que se considerou o esquema do anexo 4. Utilizou-se pedra-pomes como material móvel, com uma



Fig.II.9 - Ensaio-piloto
(actuação da onda)

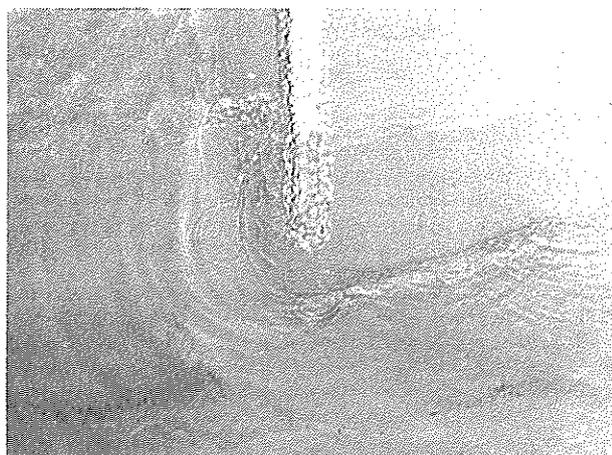


Fig.II.10 - Ensaio-piloto (pormenor
da actuação da onda)

inclinação de 8% para o perfil transversal da praia; a inclinação adoptada corresponde a um valor médio da gama de inclinações que se considerou no planeamento do estudo (5 a 10%). A profundidade na base do talude, respeitante ao nível de repouso, foi $h = 20$ cm. O esporão central E_{2p} , que se pode considerar um esporão curto em face das dimen-

sões do dispositivo de ensaio, era um esporão não absorvente com talu de 1/5; os esporões laterais E1 e E3, constituídos por cascalho solto e portanto absorvente, tinham talude 2/1. O ensaio foi realizado com actuação de uma onda com 20° de obliquidade, 1,0 seg de período e 3,0 cm de altura.

A actuação da onda sobre os dois troços de praia é influenciada pelos esporões que limitam esses troços a barlar, ou seja, o esporão E1 para o troço de barlar e o esporão E2p para o troço de sotamar. Assim, a onda é difractada em qualquer destes esporões, mas enquanto no esporão E1 a energia da onda é dissipada no talude e se forma uma zona adjacente de enchimento, no esporão E2p a onda é guiada pelo seu paramento e passa a atacar frontalmente a praia dando origem a uma zona adjacente de erosão. A rebentação oblíqua da onda dá-se progressivamente por troços de acordo com o esquema da figura II.11. O material móvel movimenta-se por arrastamento pelo fun

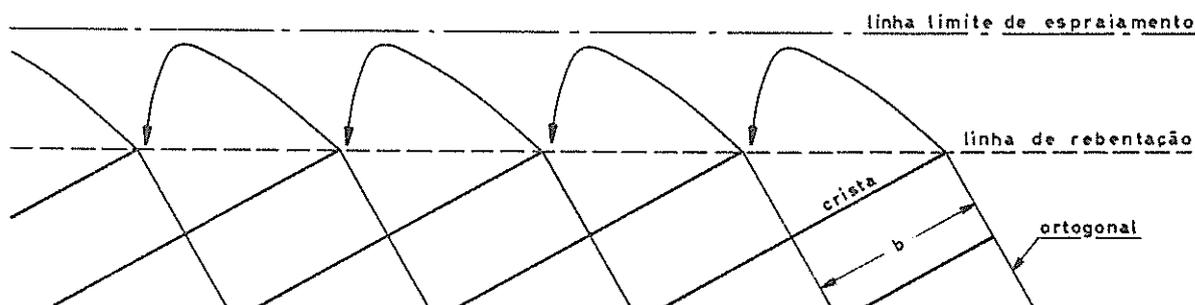


Fig.II.11 - Esquema da mecânica da rebentação oblíqua

do em "zig-zag", e deste movimento resulta um transporte longitudinal que origina uma zona de erosão próxima de E1 e uma zona de enchimento por efeito da retenção do esporão E2p; junto a este esporão forma-se um depósito submerso que evolui até contornar a extremidade do mesmo. No troço de sotamar verifica-se uma erosão progressiva junto do paramento do esporão E2p com transporte longitudinal do material que é retido por E3.

A evolução da praia processou-se em ambos os troços até ser atingida uma situação de equilíbrio caracterizada por um ajustamento da praia às cristas das ondas, cuja actuação passou a ser frontal ao lon

go do desenvolvimento da praia, com a consequente anulação do transporte litoral. Na zona de maior erosão chegou a ser atingido o fundo de cimento o que, pelo facto de limitar o transporte, poderia conduzir a imprecisão se não tivesse ocorrido próximo da situação de equilíbrio. A partir da segunda hora de ensaio verificou-se nítida transposição do material móvel pela extremidade do esporão, originando-se em torno desta um depósito progressivo com uma plataforma superior horizontal; esta transposição da extremidade do esporão pelo material móvel possibilita o transporte pela onda para o troço de sotamar.

A evolução verificada junto ao esporão E2p, a barlar e sotamar, está representada no gráfico da figura II.12. Inicialmente, até

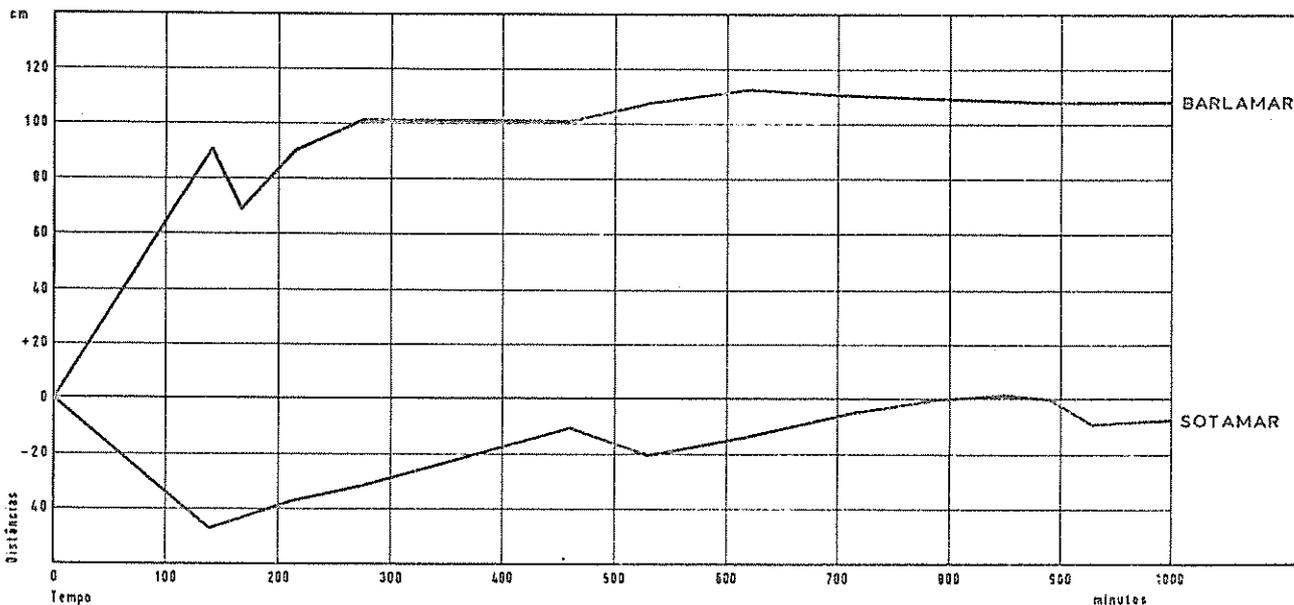


Fig.II.12 - Gráfico de evolução da praia junto ao esporão central (ensaio-piloto)

ao valor $t = 140$ minutos, houve avanço da praia a barlar e erosão a sotamar; a partir deste valor de t a praia a sotamar começou a avançar até atingir uma situação de equilíbrio numa posição próxima da inicial, enquanto a curva de enchimento da praia a barlar teve uma singularidade, caracterizada por uma erosão rapidamente recuperada, após o que evoluiu relativamente pouco até atingir a situação final de equilíbrio; essa singularidade coincidiu com o início de enchimento a sota-

mar e, tanto quanto a realização de um único ensaio deste tipo pode mostrar, entende-se que foi devida, fundamentalmente, ao facto da evolução da praia a barlamar ter sido estudada no perfil adjacente ao

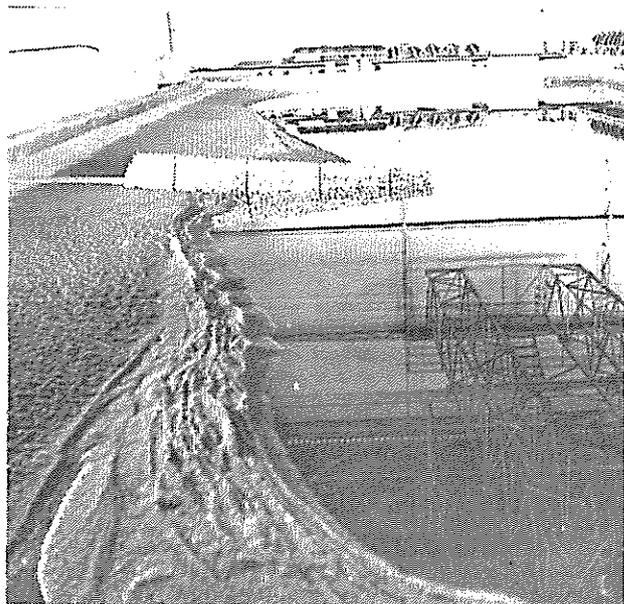


Fig.II.13 - Ensaio-piloto
(situação final)

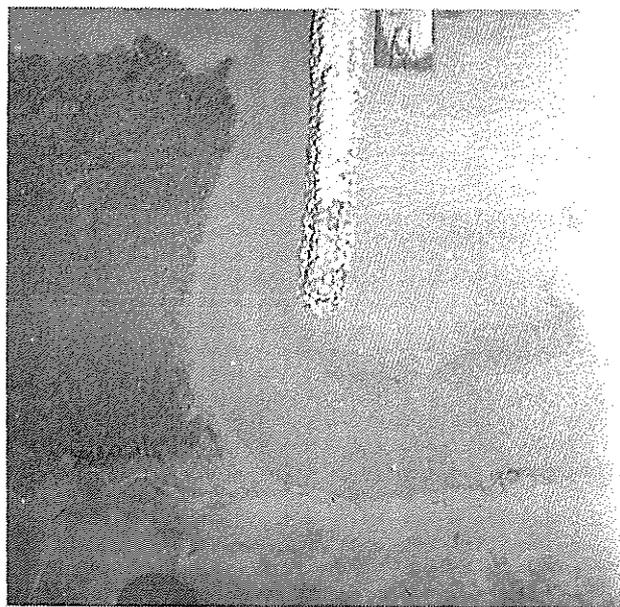


Fig.II.14 - Ensaio-piloto
(situação final)

esporão, que apresenta possibilidade de uma evolução irregular em virtude da influência do jacto de rebentação que é guiado pelo paramento do esporão; no entanto, chama-se a atenção para o facto do transporte de materiais até à praia de sotamar, e conseqüente enchimento, se ter dado apenas quando a cota da plataforma atingiu determinado valor e que essas condições críticas de transporte podem ter ocasionado, inicialmente, a instabilização momentânea da zona de enchimento a barlamar, com um posterior reenchimento, simultâneo com um regime de transporte em torno do esporão.

O ensaio-piloto permitiu conhecer as características gerais do mecanismo de evolução da praia e mostrou que seria fundamental ter em atenção, no dispositivo a adoptar para os ensaios sistemáticos, os seguintes aspectos:

- espessura suficiente de material móvel de modo a haver possibilidade de transporte de materiais até ser atingida a situação final de equilíbrio.

- comprimento suficiente para o esporão central de modo a evitar a passagem do material móvel pela extremidade do esporão.

Estas considerações conduziram a um dispositivo experimental de maiores dimensões, com um aumento da profundidade na base do talude da praia para $h = 40$ cm. Na planta do anexo 5 está representado o dispositivo principal utilizado nas séries de ensaios sistemáticos, constituído pelos esporões E1, E2 e E3; com a intenção de estudar a influência da distância entre esporões considerou-se o esporão E1 localizado nas posições E'_1 e E''_1 . As variações da distância entre esporões foram feitas pela mudança de posição de E1 por três razões:

- possibilidade de avaliar a influência devida à localização de E1, junto ao extremo do gerador, nas condições de actuação da onda no troço de barlar;

- repetição de ensaios no troço de sotamar (cujas características se mantinham quando se variava a distância entre os esporões E1 e E2) com a intenção de avaliar as diferenças de funcionamento em ensaios idênticos;

- maior facilidade nos trabalhos de adaptação do dispositivo experimental.

Além do esquema experimental representado na planta do anexo 5 consideraram-se outros dispositivos, num número restrito de ensaios, que tiveram em atenção a estrutura e comprimento dos esporões; em virtude de constituírem aspectos particulares do esquema geral que se referiu anteriormente, as suas características, bem como as figuras respectivas, serão referidas oportunamente.

O dispositivo de ensaio é, portanto, constituído por dois esporões laterais e um central que limitam dois troços de praia de inclinação constante; as dimensões dadas ao conjunto tiveram em vista permitir tirar o melhor partido do equipamento disponível, em especial do gerador de ondas. O perfil transversal da praia tem inclinação constante até à profundidade $h = 40$ cm (à parte uma pequena concordância na base), onde se considerou a base de talude, a partir da qual o fundo per

manece horizontal. O valor $h = 40$ cm foi adoptado em virtude de corresponder a um nível de água que permite boas condições de geração das ondas, além de proporcionar a actuação de ondas com as máximas alturas possíveis de produzir com este gerador.

Em todos os ensaios foi utilizada água doce. O número de Reynolds no modelo tem valores que, para a fórmula de Miché^(*), são sempre superiores a 3000, o que permite classificar o movimento como turbulento.

Os troços de praia entre esporões foram estruturados com um fundo fixo em cimento, revestindo um enchimento de areia, (ver anexo 1) que suporta uma camada de material móvel cuja espessura permite haver sempre possibilidade de movimentos de material móvel a partir da zona de erosão, até se atingir a situação final de equilíbrio. Para a fixação da espessura de material móvel necessário fizeram-se alguns ensaios preliminares após a realização do ensaio-piloto.

Para o estudo da influência da estrutura do esporão no seu funcionamento hidráulico consideraram-se os perfis transversais que se re

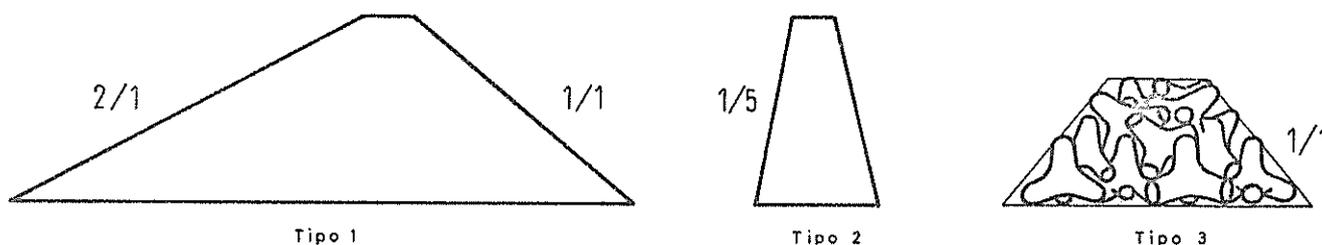


Fig. II.15 - Perfis transversais de modelos reduzidos de esporões

presentam na figura II.15. O tipo 1 diz respeito a um esporão de enrocamento solto, com talude 2/1 ou 1/1, que se pode considerar como absorvente, em virtude da dissipação de energia da onda que origi

(*) - $R = \frac{L}{T} \cdot \frac{H}{2V}$, com $V = 1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ seg}^{-1}$.

na; o tipo 2 corresponde a um esporão com um núcleo rígido revestido de enrocamento argamassado, com talude 1/5, reflector; o tipo 3 representa um esporão de tetrápodos, que poderá funcionar como esporão permeável. Destes três tipos, que se consideram fundamentais, apenas se estudaram os dois primeiros; o tipo 3 não chegou a ser ensaiado por falta de tempo e o seu estudo será deixado para uma segunda fase a realizar no "Estudo de sistemas de esporões para combater a erosão costeira". (Deve atender-se, também, ao facto de um esporão permeável estar fora do âmbito deste estudo, em virtude dos troços de praia já não se poderem considerar unidades fisiograficamente independentes). Os dois tipos considerados nos ensaios dizem respeito a condições extremas da inclinação e poder reflector. (Não se verifica uma diferença significativa entre os resultados obtidos com o talude 2/1 ou com o talude 1/1, considerando enrocamento solto). Estes dois tipos estruturais correspondem a esporões utilizados nas obras de defesa na costa da Metrópole, isto é, esporões de enrocamento solto ou esporões com paramentos quase verticais revestidos com enxilharia, estes últimos adoptados muitas vezes em virtude de condicionamentos funcionais ou arquitecturais.

O dispositivo experimental não segue qualquer relação de escalas em virtude de se tratar de um estudo de pesquisa básica, que não diz respeito a qualquer caso real; deve ter-se, ainda, em consideração que os actuais conhecimentos sobre semelhança em modelos de fundo móvel não permitem a exploração dos modelos reduzidos com base apenas em relações de semelhança estabelecidas pela teoria. Na realidade, as relações conhecidas são válidas apenas em zonas anteriores à rebentação, em que o campo de velocidades das partículas líquidas é bem definido e são possíveis de estabelecer as condições críticas de arrastamento no fundo [8]; na zona de rebentação e espraiamento da onda os fenómenos são muito perturbados pela grande turbulência e pelas diversas correntes que se formam, pelo que não podem ser aplicadas as relações de semelhança conhecidas; na prática da exploração de modelos reduzidos de fundo móvel recorre-se, então, a operações de taragem, em

face das situações reais conhecidas a partir da observação dos protótipos, método que não se pode seguir no presente trabalho precisamente por se tratar de um estudo geral, que não diz respeito a qualquer situação particular conhecida. A realização de um estudo deste tipo, de carácter geral, obriga à análise cuidada de cada caso de eventual aplicação, no sentido de definir em que condições as conclusões deste estudo poderão ser utilizadas. No entanto, procurar-se-á que essas conclusões sejam susceptíveis de uma aplicação prática fácil.

2.3 - Materiais móveis

Os materiais móveis utilizados nos ensaios foram pedra-pomes, baquelite, areia e serradura. As suas características, no que respeita a granulometria e peso específico, foram obtidas a partir de análises realizadas na Divisão de Fundações e na Divisão de Aglomerantes e Betões do LNEC. No anexo 6 apresentam-se as curvas granulométricas dos materiais referidos anteriormente.

A pedra-pomes é um produto de origem vulcânica, muito poroso e, portanto, leve; pode ser triada em diferentes granulometrias; é um material que entra em suspensão com dificuldade, desde que seja previamente saturado, pelo que o seu emprego é indicado para ensaios em que o movimento se faça por arrastamento pelo fundo. O diâmetro do grão pode variar de décimos de milímetro a 2 mm sendo, em geral, os grãos de maior diâmetro os menos densos devido à maior percentagem de vazios. Este material é bastante heterogéneo mas, nos ensaios, a acção da onda realiza uma triagem em duas categorias de material: um mais fino e mais pesado e outro com maiores diâmetros e mais leve. É o material mais leve, embora com maiores diâmetros, que intervém fundamentalmente no transporte litoral; as suas principais características granulométricas são: $1,67 \text{ gf/cm}^3$ para peso específico dos grãos saturados; 1,50 mm, aproximadamente, para o diâmetro médio.

A baquelite utilizada foi obtida pela trituração de sucata de telefones; pode ser, também, triada em várias granulometrias. A película oleosa que reveste a superfície das partículas, mesmo após lavagem prévia, dá origem a que o material tenha tendência para agluti-

nar, pelo que a colocação da baquelite se tem que fazer, em geral, lentamente e sob a acção da onda. As análises feitas deram para o peso específico dos grãos saturados o valor $1,38 \text{ gf/cm}^3$ e para o diâmetro mediano dos grãos o valor $0,90 \text{ mm}$.

A areia ensaiada foi areia de rio, devidamente limpa, constituída fundamentalmente por elementos finos; as suas características granulométricas são: $2,61 \text{ gf/cm}^3$ para valor do peso específico dos grãos saturados; $0,55 \text{ mm}$ para valor do diâmetro mediano.

A serradura é um material que entra facilmente em suspensão; como apodrece quando molhada torna-se necessário tratá-la com produtos químicos que lhe assegurem boa conservação sem prejuízo das suas propriedades hidráulicas. A serradura é um material que, em virtude de ser constituído por partículas muito irregulares, lamelares e com grande rugosidade, tem tendência para formar, em águas agitadas, uma massa com movimentos próprios, além de haver uma grande percentagem de material que entra em suspensão e que facilmente é transportado para grandes distâncias; trata-se, pois, de um material difícil de utilizar com actuação de ondas, podendo dizer-se que até a própria propagação e rebentação das ondas é afectada pelo comportamento da serradura. As análises deste material são difíceis e, apenas, se pode indicar como peso específico aproximado o valor $1,52 \text{ gf/cm}^3$.

2.4 - Medições

Para a determinação das características de evolução da praia considerou-se o dispositivo de ensaio dividido, em planta, numa quadrícula com vários perfis transversais (ver anexo 5) e uma linha de referência paralela ao gerador; a determinação, em cada perfil, das distâncias a que a linha de água^(*) se encontrava dessa linha de referência permitia a implantação das diferentes fases da evolução. As medições fizeram-se no início e no final de cada período de ensaio (períodos, em geral, de 1, 2 ou 3 horas) e foi utilizada

(*) - Intersecção da superfície da água com a praia.

uma régua horizontal com um cursor dotado de uma escala vertical com ponta de referência (ver anexo 1); este dispositivo de medida estava montado no passadiço móvel que se referiu anteriormente; o zero da régua coincidia com a linha de referência e os valores medidos eram distâncias horizontais, o que permitia a implantação directa dos valores; a determinação das distâncias fez-se com um erro da ordem de ± 1 cm. No final dos ensaios, após ser atingida a situação de equilíbrio, fazia-se um levantamento dos fundos, usando a técnica de medição anterior para diferentes níveis de água.

A técnica de levantamento da configuração dos fundos por rebaixamento do nível de água e medição directa foi adoptada em virtude de não ser possível utilizar o servo-coordinógrafo que foi referido anteriormente.

3 - CARACTERÍSTICAS DOS ENSAIOS SISTEMÁTICOS

3.1 - Preliminares

Os ensaios sistemáticos realizados agrupam-se em oito séries, cujas características foram fixadas a partir do plano de trabalhos elaborado; realizou-se um total de 94 ensaios, nos quais os tempos de duração foram sempre da ordem das dezenas de horas (os ensaios mais longos tiveram durações da ordem das 70 horas); as séries de ensaios seguiram uma ordem cronológica diferente da ordem por que são apresentadas neste relatório, em virtude da sua sequência se ter de fazer de acordo com as melhores condições de aproveitamento do dispositivo experimental.

Nas séries de ensaios realizados considerou-se o estudo da influência de cada parâmetro isoladamente e deu-se prioridade aos aspectos do estudo que apresentam maior interesse.

A orientação adoptada consistiu em considerar uma série básica de ensaios, com pedra-pomes, a primeira, à qual correspondeu um maior número de ensaios, 36, com vista, principalmente, ao estabelecimento das características de evolução da praia em função das características da onda actuante, sem reprodução de maré; definido assim o me-

canismo de evolução de praias localizadas entre esporões, procedeu-se seguidamente à realização de ensaios em número restrito com vista ao estudo da influência da distância entre esporões, à consideração de diferentes taludes para os esporões, ao estudo da influência do comprimento do esporão, ao ensaio de praias com dois outros tipos de material móvel (areia e baquelite), aos ensaios de um esporão de directriz curvilínea, ao estudo da influência da maré e, finalmente, à realização de alguns ensaios complementares, referentes à actuação de ondas em regime variável e ao ensaio de praias constituídas por serradura.

Os resultados das diferentes séries de ensaios realizados foram confrontados com os resultados obtidos na primeira série de ensaios, considerada básica.

Considerou-se, na totalidade dos ensaios, uma praia com inclinação 8%; esta corresponde a um valor médio da gama cujo estudo estava planeado e foi considerada em virtude de não ter sido possível, por falta de tempo, considerar outros valores da inclinação em perfil transversal. Os esporões ensaiados pertencem à categoria dos esporões altos e impermeáveis.

Em todos os ensaios, com excepção daqueles em que se reproduziu maré, procedeu-se a um ataque frontal prévio, com uma onda de 1,0 seg de período e 1,0 cm de altura; a realização de ensaios com e sem ataque frontal mostrou que os parâmetros característicos da evolução da praia apresentam os mesmos valores, embora o ataque frontal prévio possibilite uma evolução mais regular, sem singularidades, em virtude de uniformizar, antes da actuação da onda oblíqua, o material móvel na zona em que se processam os seus movimentos. Estas considerações interessam mais à pedra-pomes e à baquelite e, principalmente, à primeira que apresenta grande heterogeneidade nas características dos grãos. Nos ensaios com maré não se realizou ataque frontal prévio em virtude da variação de nível ter uma acção regularizadora. Considera-se fundamental esclarecer que a influência do ataque frontal na inclinação da praia inicial não é significativa.

3.2 - 1ª.série de ensaios - Estudo da influência da actuação da onda

Nesta série, constituída por 36 ensaios, foi utilizada a pedrapomes como material móvel. Foi adoptado este material para esta série de ensaios, considerada básica, por duas razões: em primeiro lugar por se tratar de um material com boas características para o transporte por arrastamento; em segundo lugar por ter sido possível dispor, com facilidade, do volume necessário para o dispositivo de ensaio, o que não acontecia com os restantes materiais móveis.

O dispositivo, representado no anexo 7, era constituído por um esporão central E2 com talude 1/5, reflector, e dois esporões laterais E1 e E3 com taludes 2/1, absorventes; o esporão central foi construído com um núcleo de tijolo revestido de enrocamento, deanel 2 a 3 cm, argamassado; como esporões laterais consideraram-se as praias absorventes de cascalho solto, destinadas a dissipar a energia das ondas que atingem os muretes do tanque. O aproveitamento deste dispositivo, tal como foi feito, permitiu ensaiar simultâneamente dois tipos de talude de esporões e dois troços de praia com diferentes afastamentos entre esporões; os troços de praia ensaiados foram designados por zona de barlar e zona de sotamar, conforme se indica na planta do anexo 7. A consideração de outras combinações de taludes e de outras distâncias entre esporões será feita noutras séries de ensaios.

A situação inicial considerada (ver fig.II.16) foi uma praia rec-



Fig.II.16 - Situação inicial
(1ª.série de ensaios)

tilínea, com uma linha de água perpendicular aos esporões, do tipo da que foi considerada no ensaio-piloto. A actuação da onda, com obliquidade do tipo que se mostra na figura II.17, deu origem a um transporte longitudinal em que era perfeitamente visível o movimento em "zig-zag" que resulta da conjugação do jacto oblíquo do espraiamento da onda após a rebentação com o retorno segundo a linha de maior

declive da praia (como se esquematizou na figura II.11).

Considerou-se a actuação da onda com nível de repouso constante, isto é, sem reprodução de maré; foi considerada a variação das três características fundamentais da onda: a direcção de propagação, o período e a altura. A gama de valores ensaiados, no que respeita a alturas e períodos, foi condicionada pelas possibilidades do gerador. Com os três valores da direcção considerados, 20° , 10° e 5° , procurou-se ensaiar valores que correspondam à gama de obliquidades que ocorrem na natureza com maior frequência; na realidade, em virtude do fenómeno da refacção da onda, as obliquidades junto à costa não atingem valores muito elevados (note-se que a teoria de Pelnard-Considère somente é válida para ângulos inferiores a 25°).

A variação das características da onda fez-se considerando, para cada uma das obliquidades referidas anteriormente, períodos de 1,0 seg, 1,5 seg e 1,8 seg, com uma gama de alturas, para cada valor do período, compreendidas entre 1,0 e 6,0 cm; para a obliquidade de 5° a mínima altura ensaiada foi 2,0 cm em virtude da reduzida capacidade de transporte que têm as ondas de altura inferior a esta com um valor tão baixo da obliquidade. À parte os valores referidos anteriormente, fez-se um ensaio com uma onda de 7,0 cm de altura, para a obliquidade de 20° e período 1,0 seg, o qual permitiu avaliar as características de

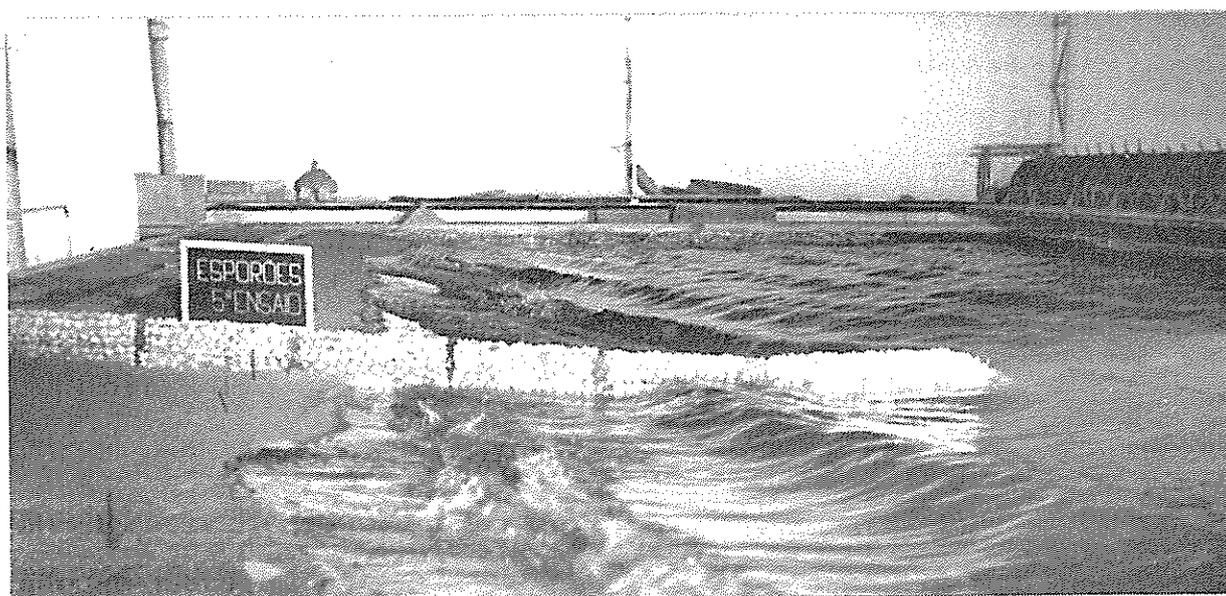


Fig. II.17 - Actuação da onda (1ª série de ensaios)

evolução da praia quando o material móvel entra em suspensão; fez-se, ainda, uma série de ensaios com 1,2 seg de período, para a obliquidade de 20° , mas os valores obtidos foram muito próximos dos determinados para a mesma obliquidade e período de 1,0 seg. Em virtude das condições de funcionamento do gerador de ondas, a que se fez referência oportunamente, as ondas com período 1,0 seg apresentam uma maior regularidade e a própria evolução da praia é mais regular.

O objectivo desta série de ensaios foi, fundamentalmente, estabelecer as características de evolução de praias localizadas entre esporões em função das características da onda actuante. Simultaneamente determinaram-se valores que dizem respeito à variação da distância entre esporões e à diferente estruturação dos seus paramentos, com vista à definição das condições de ensaio das séries seguintes em que se estuda a influência destes parâmetros.

A actuação da onda no troço de barlamar é condicionada pela influência do esporão E1 que, neste caso, origina, além de uma zona de difracção, uma dissipação de energia no seu paramento absorvente; a deformação que daqui resulta para a onda actuante dá origem à formação de uma zona de erosão, localizada na zona extrema de barlamar do troço de praia, mas afastada de E1, donde o material é transportado até ser retido pelo esporão E2. No troço de sotamar a zona de maior erosão situa-se junto, ou muito próxima, do esporão E2. Nos dois casos o mecanismo de evolução é idêntico: existência de uma zona de erosão e de uma zona de enchimento, com um ponto intermédio em que a curva de evolução da praia corta a linha de água inicial.

A evolução da praia está condicionada pela obliquidade de ataque da onda; esta obliquidade decresce progressivamente em virtude do fenómeno de refracção o qual tem lugar simultaneamente com a própria diminuição da obliquidade que resulta da evolução da praia; o valor da obliquidade com que a onda actua na praia decresce até se anular, atingindo-se desta forma uma situação de equilíbrio em que as cristas atingem a praia frontalmente ao longo de todo o seu desenvolvimento, decrescendo igualmente o transporte longitudinal do material móvel até

se anular.

Dado que a evolução da praia está condicionada pela refração da onda actuante, que resulta da alteração da batimetria originada pelos

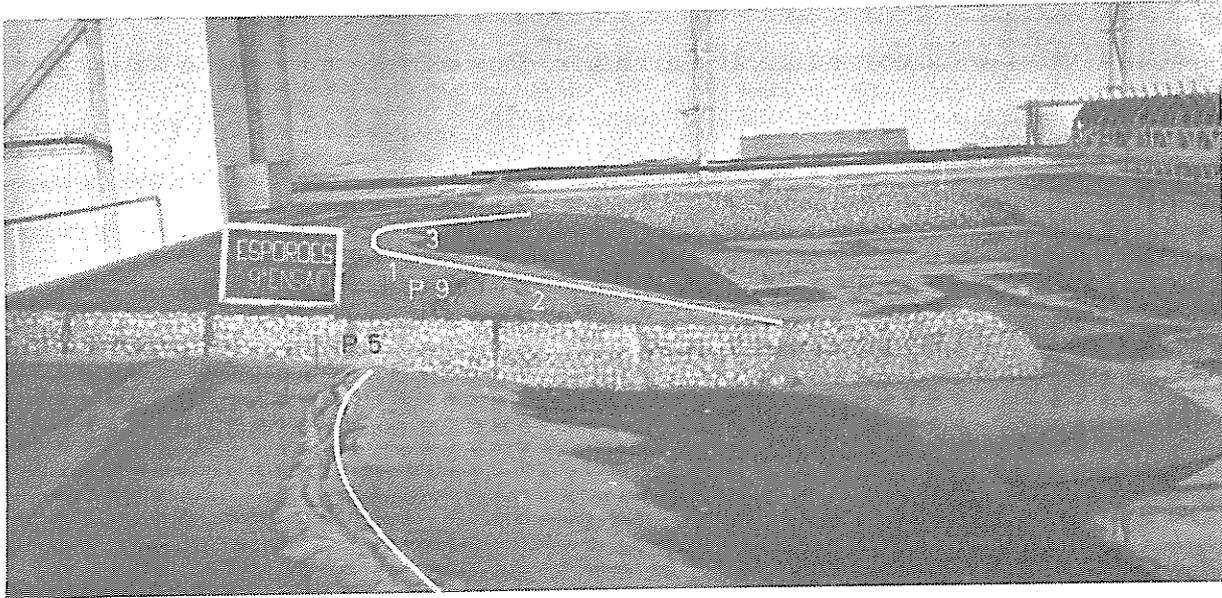


Fig. II.18 - Situação final (1ª série de ensaios)

movimentos do material móvel, poder-se-ia considerar que as características da situação de equilíbrio dependeriam unicamente da obliquidade e período da onda e que a altura não teria influência, na medida em que não condiciona a refração; na realidade, as características da situação de equilíbrio dependem também da altura da onda, uma vez que esta condiciona a posição da linha de rebentação e a extensão do espraio após a rebentação. Precisando melhor, se se considerarem duas ondas com a mesma obliquidade, o mesmo período e alturas diferentes, dado que a onda com maior altura tem a linha de rebentação a maior profundidade, a variação da sua obliquidade por refração é menor do que a que corresponde à onda de menor altura, que se refracta mais até à rebentação; estas considerações são coerentes com os resultados dos ensaios, em que se obtêm maiores áreas de enchimento quando se aumenta a altura das ondas, para a mesma obliquidade e para o mesmo período, desde que o material não entre em suspensão. As ondas de menor altura, embora conduzam a maiores tempos de estabilização da praia, em virtude do transporte litoral ser menos intenso, têm, portanto, a sua evolução condicionada em virtude do ajustamen

to das cristas à curva de evolução da praia se dar para menores valores do ângulo w (ver figura II.19). Verificou-se que, para a mesma obliquidade e período, o valor de w para as menores alturas das ondas ensaiadas era da ordem de grandeza de $\alpha_0/2$; quando se aumentava o valor da altura da onda, aumentava também o valor de w até atingir, para as maiores alturas, valores próximos de α_0 .

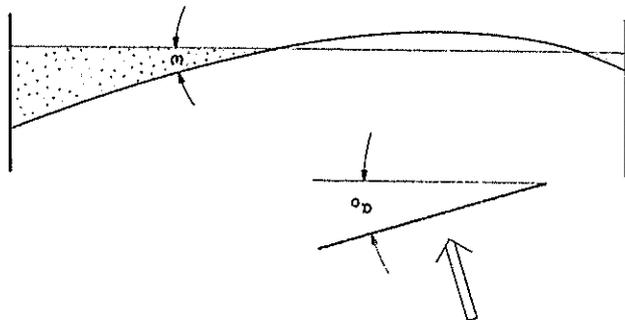


Fig. II.19 - Esquema da curva de evolução da praia

No anexo 8 apresentam-se gráficos de evolução da praia que dizem respeito a dois perfis transversais cuja variação se considera significativa. Esses perfis, P9 e P5, localizam-se nas proximidades do esporão e, no caso de P9, procurou-se um perfil cuja evolução não fosse influenciada pelo facto que, em alguns casos, actua na zona adjacente ao paramento do esporão. As curvas de evolução mostram que o enchimento e a erosão nos perfis considerados significativos apresentam grandes variações no período inicial de ensaio, com um decréscimo progressivo no tempo, até se anularem as variações dos valores da evolução na situação final de equilíbrio, a qual é atingida ao fim de tempos de estabilização que são função das características da onda actual e da praia. Os tempos de estabilização dos troços de praia considerados em conjunto pouco diferem dos tempos de estabilização dos perfis P9 e P5; as diferenças que possam existir são devidas ao facto de haver situações em que existe um perfil que se encontra em equilíbrio enquanto outros perfis estão ainda sujeitos a ajustamentos.

Na figura II.20 apresenta-se um gráfico-tipo de evolução de perfis transversais com representação dos pontos experimentais; como se pode avaliar, as diferenças entre esses pontos (*) e as curvas

(*) - Os símbolos adoptados para representação dos pontos experimentais não seguem a simbologia adoptada, que se define no quadro em anexo.

consideradas são mínimas, o que traduz a regularidade das características da evolução da praia. No anexo 7 está representada uma planta

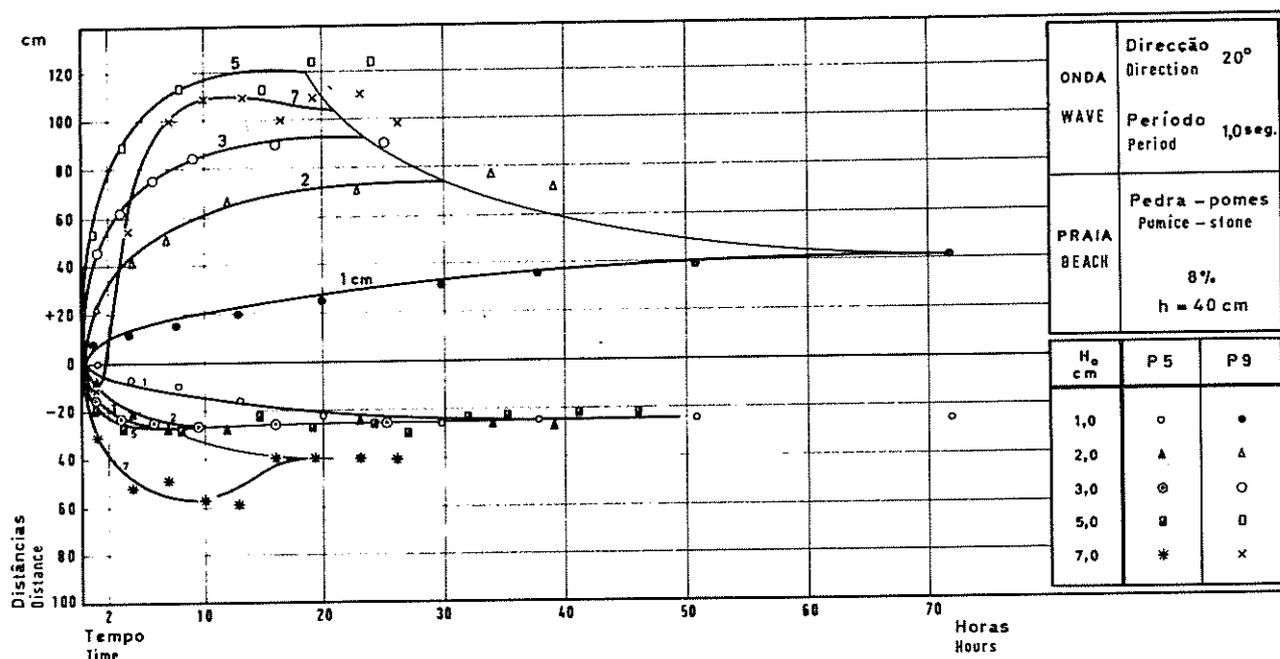


Fig.II.20 - Gráfico-tipo de evolução de perfis transversais

de evolução na qual se podem apreciar as sucessivas linhas de água, desde a posição inicial até à situação final de equilíbrio; na zona adjacente ao esporão E2, no perfil P8, podem ver-se diversas singularidades da curva de enchimento devidas ao jacto guiado pelo esporão que provem da incidência oblíqua; nesta planta pode-se avaliar a influência do talude dos esporões, na medida em que a praia se manteve no paramento de E1 e recuou de forma significativa junto ao paramento de sotamar de E2; como se pode ver, as diferentes curvas de evolução cruzam com a linha inicial (t = 0) num mesmo ponto, próximo do perfil P11. No anexo 9 apresenta-se a planta da situação final, de equilíbrio, com representação dos fundos, cuja configuração foi obtida pelo método de levantamento que se descreveu anteriormente.

A gama de alturas da onda considerada, condicionada pelas possibilidades do gerador, mostrou que os avanços no perfil P9 aumentam com a altura da onda, para a mesma obliquidade e o mesmo período, mas a partir de um determinado valor, que se pode considerar da ordem de grandeza de 6 cm para a pedra-pomes, o material móvel entra fran

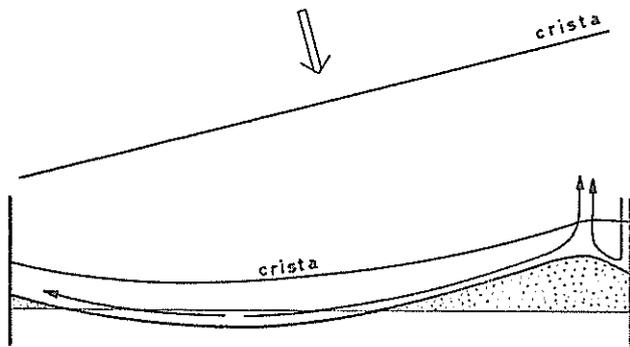
camente em suspensão^(x) e o funcionamento passa a ter características diferentes; no anexo 8 pode avaliar-se a diferença das curvas de evolução no perfil P9, no caso da obliquidade 20° e período 1,0 seg, para as alturas até ao máximo de 5,0 cm e a curva que corresponde à altura 7,0 cm, sendo interessante notar que, para este valor máximo ensaiado, no início do ensaio há um recuo da praia mesmo na zona em que se processará o enchimento; o facto de haver também transporte longitudinal por arrastamento leva à compensação da erosão inicial e a processar-se um enchimento que apresenta dificuldade em estabilizar completamente e em que os máximos valores atingidos são inferiores aos obtidos com a actuação da onda de 5,0 cm de altura; como se pode ver na curva de evolução do perfil P5, no anexo 8, para a obliquidade e o período que se referiram, há, para a onda de 7,0 cm de altura, passagem de material pela extremidade do esporão e possibilidade de reenchimento parcial (parcial em virtude de não chegar a ser atingida a situação inicial) da zona adjacente ao esporão a sotamar. Na figura II.17, apresentada anteriormente, pode distinguir-se, na extremidade do esporão, material móvel em suspensão num ensaio com uma onda de altura superior a 6,0 cm. As observações realizadas mostraram que, até alturas da ordem de grandeza de 5,0 cm, se pode considerar o transporte como sendo fundamentalmente por arrastamento.

A evolução da praia sujeita à acção da onda é muito regular, como se pode avaliar pelas curvas do anexo 8; no entanto, para a obliquidade 5° o funcionamento é mais irregular em virtude da preponderância dos movimentos transversais em relação aos longitudinais. Verificou-se na série de ensaios com 5° de obliquidade, no perfil P5, que as ondas com maior declividade (período 1,0 seg) conduziram a erosões enquanto as ondas com declividades menores originaram enchimento, situações que são devidas unicamente aos movimentos transversais; evidencia-se que, para esta obliquidade, a actuação da onda na zona de sota

(x) - O estudo pormenorizado do funcionamento com transporte por arrastamento e suspensão não foi feito, mas encontra-se programado com vista a futuros estudos.

mar adjacente ao esporão E2 era frontal.

À parte as características gerais de funcionamento, referidas anteriormente, há alguns aspectos de pormenor que dizem respeito à influência do talude dos esporões e à transposição da extremidade do esporão pelo material móvel. A influência do talude já foi referida anteriormente, no que respeita à zona de erosão; na zona de retenção ve-



rifica-se, de igual modo, a influência da estruturação do paramento dos esporões pois a curva de enchimento no troço de barlamar tem, para algumas das ondas actuantes, singularidades na vizinhança do esporão; estas singularidades são originadas pela junção da corrente de retorno

Fig. II.21 - Esquema da formação de singularidades junto ao paramento dos esporões

no do jacto guiado pelo paramento reflector do esporão E2 com a corrente de retorno proveniente da actuação oblíqua, (ver fig. II.21); no troço de sotamar o esporão de retenção E3 tem talude absorvente o que origina dissipação da energia da onda incidente, pelo que a única corrente actuante é a do retorno da actuação oblíqua e, neste caso, a curva de evolução não apresenta, em geral, singularidades. A zona de retenção do material móvel é caracterizada pela existência de um volume de enchimento que apresenta uma superfície a seco, prolongando-se por um volume de retenção submerso; este depósito submerso depende das características da onda actuante e, para as maiores alturas de onda, houve transposição do esporão central, o que motivou que se fizessem posteriormente ensaios, que serão oportunamente referidos, destinados a avaliar a influência dessa transposição nas características da zona de enchimento. A transposição, que é evidentemente função do comprimento do esporão, pode dar origem a alimentação da zona erodida a sotamar, como se mostra na figura II.22 em que se distingue a zona de progressão do material móvel pela plataforma superior do depósito em torno

do esporão central, numa largura que é determinada pelas características do jacto que actua junto ao paramento do esporão; a fotografia

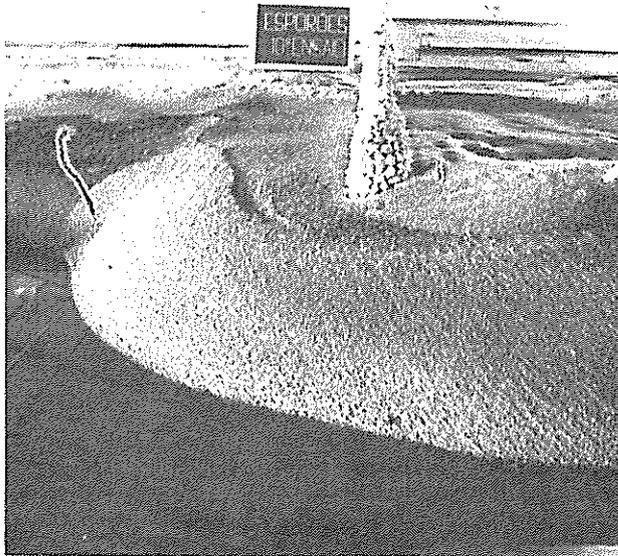


Fig.II.22 - Transposição da extremidade do esporão pelo material móvel (1ª série de ensaios).

da fig.II.22 diz respeito à situação final do ensaio em que actuou uma onda com obliquidade 20° , 1,0seg de período e 7,0 cm de altura, onde cuja actuação já foi referida no que respeita ao transporte em suspensão que originou, o qual justifica o volume do depósito submerso.

Verificou-se nesta série de ensaios que a pedra-pomes é um material com heterogeneidade de características, quer no que respeita ao peso específico, quer no que respeita à granulometria. Co-

mo se pode ver na fig.II.18, apresentada anteriormente, há duas zonas distintas na situação final de equilíbrio: uma de material escuro e outra de material de cor clara, que correspondem, respectivamente, a pedra-pomes de peso específico mais elevado com material mais fino e pedra-pomes mais leve com maiores diâmetros para os grãos. O material inicial é constituído pela mistura cujas características granulométricas se podem apreciar na fig.II.23 em conjunto com as dos dois tipos citados^(*). Como é evidente, a zona de retenção é constituída por pedra-pomes mais leve, ficando a mais pesada na zona erodida. Poderia concluir que este facto originasse diferenças nas características de evolução da praia, mas a realização de ensaios com material mais homogéneo, ensaios com areia que serão referidos oportunamente, mos-

(*) - Os números 1, 2 e 3, que afectam a identificação das curvas e os pesos específicos, dizem respeito às 3 zonas 1, 2 e 3 da fotografia da figura II.18.

trou que o mecanismo de evolução da praia é o mesmo e que as características das situações finais de equilíbrio são idênticas; por outro la

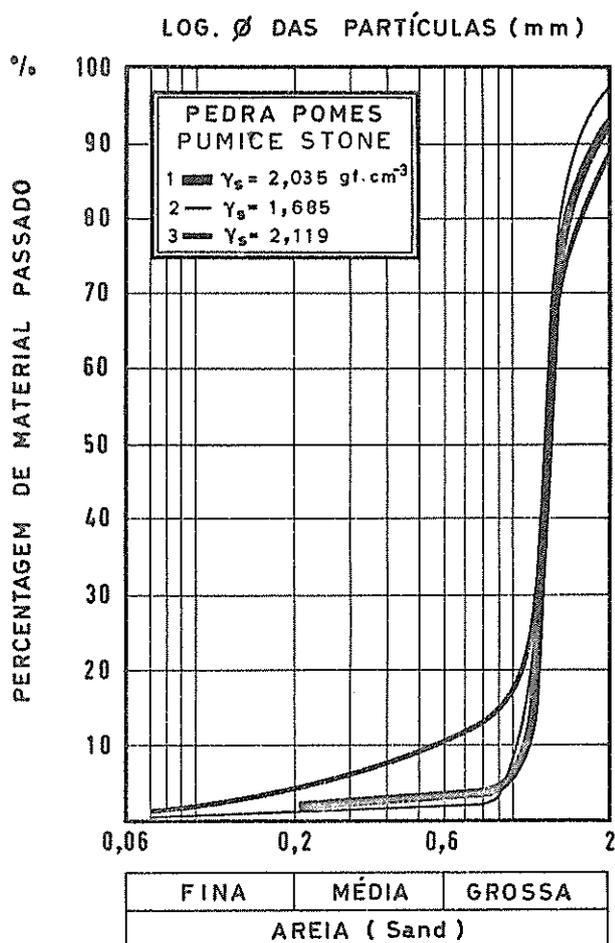


Fig.II.23 - Características granulométricas da pedra-pomes

dade, bastante mais pesados.

3.3 - 2ª.série de ensaios - Estudo da influência da distância entre esporões

Esta série foi constituída por 8 ensaios, em que se utilizou como material móvel a pedra-pomes, em virtude desta série ser complementar da anterior.

O dispositivo de ensaio é idêntico ao da 1ª.série, tendo sido considerados, apenas, outros valores para o afastamento entre os esporões da zona de barlar; mantiveram-se as características da zona

do tem que se ter em conta que a actuação da onda na zona de erosão se faz sempre progressivamente em zonas em que a pedra-pomes tem a mistura inicial, e em que as condições são, portanto, idênticas, pelo que não seriam de admitir diferenças de funcionamento. Por último chama-se a atenção para o facto da pedra-pomes escura, de maior peso específico, embora com diâmetros mais pequenos, ter um diâmetro mediano igual ao da pedra-pomes mais leve, o que origina que os grãos escuros sejam, na reali-

de sotamar com vista à avaliação das diferenças introduzidas em relação aos ensaios anteriores.

Considerou-se a actuação da onda a nível de repouso constante e as hipóteses de ondas ensaiadas foram restringidas ao mínimo necessário para, em face dos resultados da série anterior, avaliar a influência do afastamento entre esporões. Os valores considerados para a distância entre eixos dos esporões foram 8,10 m e 6,00 m, (este último é igual ao valor da distância entre os esporões do troço de sotamar). A situação inicial considerada nestes ensaios tinha características idênticas às da 1ª série.

O mecanismo da evolução da praia localizada entre esporões foi absolutamente idêntico ao verificado na série anterior; constata-se, como é evidente, que as grandezas características da evolução apresentam valores diferentes dos obtidos anteriormente, mas é possível estabelecer relações de proporcionalidade em função da distância entre esporões.

O confronto dos resultados obtidos no troço de sotamar, nesta série e na anterior, permite concluir que as diferenças existentes são mínimas e não são significativas para a interpretação dos resultados.

Ter-se-á que considerar, ao interpretar os resultados experimentais, que a menor distância entre esporões origina áreas de enchimento e erosão mais reduzidas em que os fenómenos secundários, nomeadamente as singularidades, passam a ter maior importância.

No que respeita às condições de actuação da onda na zona extrema de barlar, verificou-se não haver diferença de funcionamento em relação à 1ª. série.

No anexo 10 estão representadas as plantas da situação final de dois ensaios desta série (ensaios 52 e 59). No ensaio 52 a distância entre esporões era 8,10 m e a situação final caracteriza-se por uma superfície de enchimento sem singularidades, o que é devido à altura reduzida da onda, 2,0 cm; a zona de erosão tem as características que foram definidas na série anterior e, junto ao esporão E'_1 , a

situação da praia foi praticamente estacionária. Na planta do ensaio 59 representam-se os dois troços de praia, a barlamar e sotamar, para evidenciar a influência dos taludes dos esporões para a mesma distância entre esporões; assim, no troço de barlamar, a praia manteve-se junto ao paramento de E''_1 , enquanto no troço de sotamar a praia recuou bastante junto ao esporão E_2 ; por outro lado, a curva de enchimento no troço de barlamar apresenta uma singularidade devida ao jacto que actua junto ao esporão, enquanto que a curva de enchimento no troço de sotamar não tem qualquer interferência. As curvas de enchimento nos troços de barlamar e sotamar do ensaio 59, que têm a mesma distância entre esporões, apresentam diferenças devidas à influência do talude dos esporões; estas diferenças, nomeadamente no valor da superfície de enchimento, são as maiores verificadas e constituem em caso particular pois, em geral, à parte singularidades localizadas próximo dos esporões de retenção, as curvas de enchimento são idênticas.

3.4 - 3ª série de ensaios - Estudo da influência das características dos esporões

Esta série foi constituída por 5 ensaios; o material móvel utilizado foi a pedra-pomes, em virtude desta série ser, também, complementar da primeira. Em qualquer destes ensaios não foi considerada a reprodução da maré,

No dispositivo de ensaio, embora idêntico ao das séries anteriores, foi considerado, em primeiro lugar, um esporão central com talude absorvente 2/1 e o restante dispositivo igual ao da série anterior, com uma distância de 8,10 m entre os eixos dos esporões E'_1 e E'_2 (ver anexo 11). Realizaram-se 3 ensaios com actuação da onda com período 1,0 seg e 4,0 cm de altura, considerando as obliquidades 20° , 10° e 5° ; na escolha desta onda, para as três obliquidades ensaiadas, teve-se a intenção de ensaiar uma onda regular, que originasse correntes longitudinais e de retorno intensas e, por consequência, um transporte litoral intenso sem, no entanto, provocar transporte em suspensão de efeitos significativos; a experiência obtida na 1ª série de en-

saíes permitiu considerar a onda com as características anteriores como sendo a mais conveniente para o fim em vista; aliás, já na série anterior tinha sido seguido este critério para o segundo valor da distância entre esporões.

Verificou-se, com este primeiro dispositivo desta série, que a influência da estruturação do esporão nas características da zona de enchimento se restringe à zona adjacente ao paramento do esporão, a qual deixa de apresentar as singularidades verificadas em alguns ensaios da 1ª série; não se verifica variação sensível nas características de evolução da praia.

No anexo 11 apresentam-se as plantas das situações finais de equilíbrio de dois ensaios desta série (ensaios 62 e 63). Como se pode avaliar, as características da forma final de equilíbrio são idênticas às das séries estudadas anteriormente. Pode-se estabelecer confronto, nessas duas plantas, entre as características da situação de equilíbrio da praia após actuação de uma onda com a mesma altura e o mesmo período, mas com obliquidades diferentes, 20° e 10° .

Em segundo lugar considerou-se um dispositivo constituído pelo troço de sotamar com dois esporões reflectores, de talude 1/5, afastados de 6,90 m. Realizou-se um ensaio, (ensaio 54 - ver anexo 12) com uma onda de 1,5 seg de período, altura 3,0 cm e 20° de obliquidade, onde as características estão de acordo com o critério que se definiu anteriormente para a consideração de uma onda cuja actuação fosse significativa. O funcionamento processou-se de acordo com as características definidas nos ensaios anteriores, isto é, verificou-se a existência de uma zona de maior erosão junto ao esporão extremo de barlar, E''_1 , e uma zona de enchimento com uma singularidade junto ao esporão central, E''_2 . Esclarece-se que o facto do esporão E''_2 ser mais comprido do que o esporão central usado até aqui se deve unicamente a razões constructivas relacionadas com o ensaio seguinte, a que se fará referência; no entanto, pode-se dizer que o facto do esporão ser mais comprido não afecta em nada o funcionamento neste ensaio.

Em terceiro lugar considerou-se o dispositivo utilizado na 1ª sé-

rie de ensaios mas com o esporão central com um comprimento de 6,00 m, (ver anexo 12, ensaio 55). O ensaio com uma onda de obliquidade 20° , período 1,8 seg e altura 4,0 cm, à qual correspondeu na 1ª série uma transposição de material móvel pela extremidade do esporão, mostrou que, à parte a alteração verificada no depósito submerso junto ao esporão, a evolução e situação final de equilíbrio são idênticas às verificadas na 1ª série de ensaios. Na planta do anexo 12, ensaio 55, representaram-se a traço - ponto as situações inicial e final do ensaio realizado na 1ª série com a onda definida anteriormente; a traço cheio, e sobrepostas às anteriores, estão as situações inicial e final do ensaio 55 e, do conjunto entre ambas, pode-se concluir que não há qualquer diferença significativa. As diferenças que se verificam nas linhas de água (iniciais e finais) destes dois ensaios são da ordem de grandeza das que podem ocorrer na repetição de qualquer ensaio; esclarece-se que estas diferenças não são significativas no cálculo dos valores dos parâmetros característicos da evolução da praia, a que se fará referência oportunamente.

3.5 - 4ª série de ensaios. Ensaio com areia

Esta série foi constituída por 9 ensaios tendo sido utilizado o dispositivo da 2ª série, com 8,10 m de distância entre os eixos dos esporões. Na escolha deste dispositivo teve-se em consideração, funda-

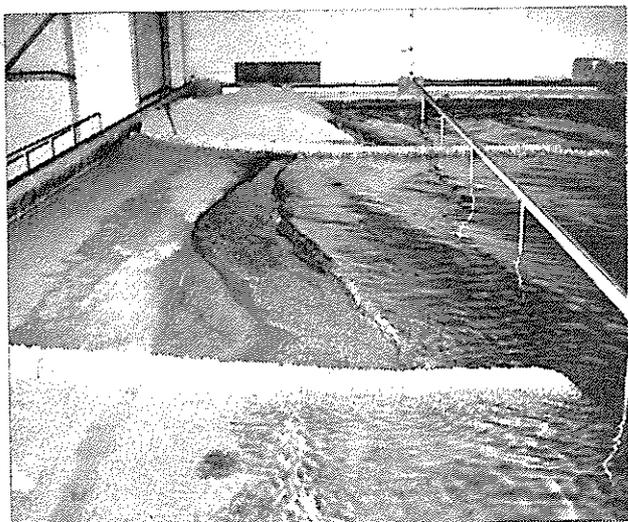


Fig. II.24 - Dispositivo de ensaio e actuação da onda (4ª série)

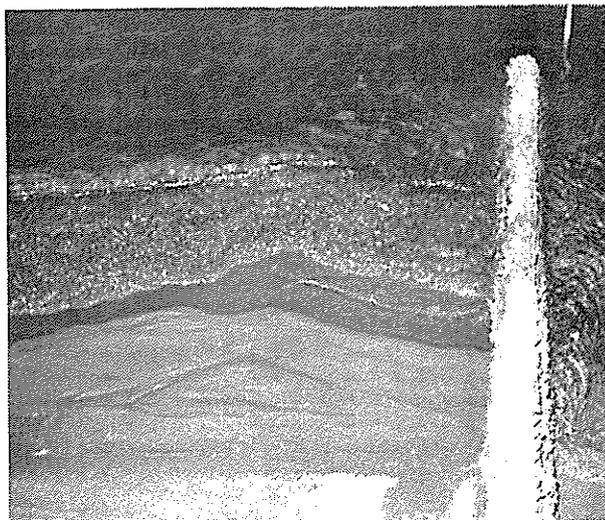


Fig. II.25 - Pormenor da actuação da onda junto ao esporão central (4ª série)

mentalmente, o volume de areia disponível.

Na figura II.24 mostra-se o dispositivo de ensaio e a actuação da onda numa fase do ensaio próxima da situação final de equilíbrio; evidencia-se nesta figura a linha de rebentação praticamente paralela à praia, com um espraiamento que é caracterizado por movimentos transversais preponderantes. Na figura II.25 mostra-se um pormenor da actuação da onda junto ao esporão central, podendo ver-se a formação duma singularidade da curva de enchimento que é devida à junção do retorno do jacto guiado pelo paramento do esporão com a corrente de retorno proveniente da rebentação oblíqua (a obliquidade era de 20°).

No anexo 13, ensaio 68, apresenta-se a planta da situação final de um dos ensaios realizados. As características gerais da evolução, como se pode avaliar, são em tudo idênticas às da 1ª série, pelo que os ensaios desta série se restringiram ao mínimo necessário para se poder fazer o confronto com os resultados obtidos com pedra-pomes.

No que respeita às características do funcionamento hidráulico da areia nota-se, em primeiro lugar, a regularidade de evolução que é devida à homogeneidade deste material. Em segundo lugar, embora de maior importância para a evolução da praia, verificou-se uma entrada em suspensão de material para alturas menores do que as verificadas nos ensaios com pedra-pomes. Os resultados obtidos com ondas de altura superior a 4,0 cm apresentam já a influência do transporte em suspensão; este valor é inferior ao que se observou nos ensaios com pedra-pomes mas, embora não tenha sido feito um estudo das condições de transporte em suspensão, considera-se este facto devido às características granulométricas da areia, que tem um diâmetro mediano muito inferior ao da pedra-pomes, embora tenha um peso específico dos grãos saturados mais elevado.

Nesta série de ensaios foram consideradas as três obliquidades, 20° , 10° e 5° , a gama de alturas programada, com a limitação imposta pela entrada em suspensão, e o período de 1,0 seg, por ser aquele que conduz a melhores condições de geração da onda.

3.6 - 5ª série de ensaios. Ensaios com baquelite

Esta série foi constituída por 7 ensaios e tem características idênticas às da série anterior, diferindo apenas no tipo de material móvel. Também com a baquelite o volume de material disponível era reduzido, o que condicionou a escolha do dispositivo de ensaio.

Na figura II.26 apresenta-se uma fotografia do dispositivo de ensaio e da actuação da onda; na figura II.27 mostra-se um pormenor da actuação da onda junto ao esporão central. Estas figuras referem-se a um ensaio em que a obliquidade era 5° ; junto ao paramento do es

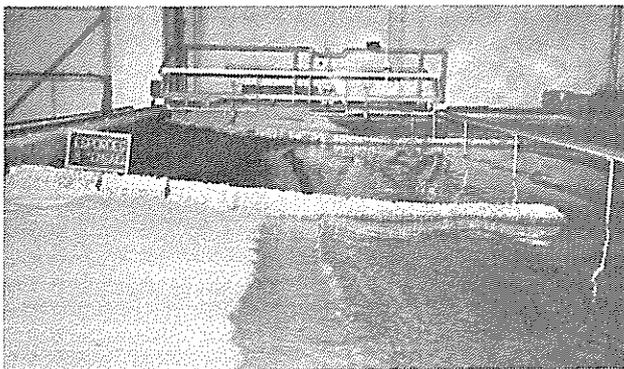


Fig.II.26 - Dispositivo de ensaio e actuação da onda (5ª série)

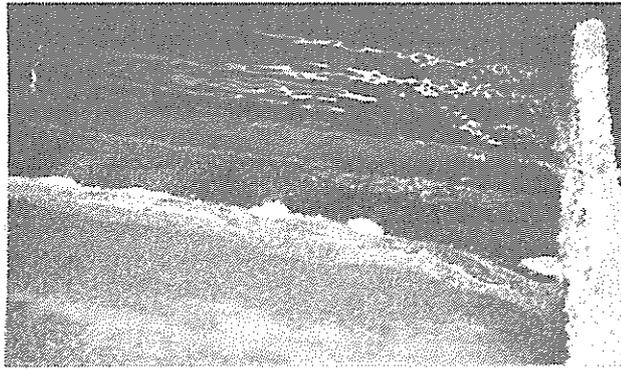


Fig.II.27 - Pormenor da actuação da onda junto ao esporão central (5ª série)

porão central a actuação da onda era, como se pode avaliar, praticamente frontal.

No anexo 13, ensaio 74, apresenta-se a planta da situação final de um dos ensaios realizados. Também com a baquelite não se verificou qualquer diferença nas características gerais da evolução da praia, em relação à 1ª série de ensaios. Os ensaios desta série foram, por consequência, também limitados ao mínimo necessário à comparação com os valores obtidos nas séries anteriores.

A baquelite, com um valor baixo para o diâmetro mediano e com um valor reduzido do peso específico dos grãos saturados, apresenta ainda maior facilidade para entrar em suspensão; a partir de 3,0 cm de altura da onda os resultados são já influenciados por este fenómeno. Para a obliquidade de 5° a onda com 3,0 cm de altura, para o período 1,0 seg, conduziu a uma erosão em toda a extensão da praia o

que é devido à acção preponderante dos movimentos transversais, reforçada pelo transporte em suspensão.

Também nesta série de ensaios, como na anterior e pelas mesmas razões, se considerou apenas o período de 1,0 seg.

3.7 - 6ª série de ensaios. Ensaio de um esporão de directriz curvilínea

Nesta série, constituída por 10 ensaios, foi utilizada a pedra-pomes, quer pela possibilidade de utilizar um volume grande de material móvel, quer pela possibilidade de confronto com os resultados da 1ª série.

O dispositivo de ensaio, representado no anexo 14, é idêntico ao da 1ª série, diferindo apenas na directriz do esporão central, E2c, curvilínea, orientada de modo a criar uma zona abrigada a sotamar.

A escolha das ondas a ensaiar teve em vista a actuação de ondas regulares, que dessem origem a movimentos intensos de materiais e que possibilitassem o confronto com os resultados da 1ª série de ensaios.

A realização destes ensaios visou uma dupla finalidade: avaliar as possibilidades de abrigo na zona adjacente ao esporão central no troço de sotamar e estudar as eventuais alterações do funcionamento hidráulico do troço de barlar em relação aos ensaios da 1ª série.



Fig.II.28 - Dispositivo de ensaio e actuação da onda (6ª série)

Os ensaios mostraram que, com a zona de difracção criada pelo esporão curvo, se consegue evitar as erosões referidas no troço de sotamar e formar junto ao esporão uma zona de enchimento que depende das características da onda actuante. Na figura II.28 mostra-se uma fotografia de conjunto em que se pode ver, além do dispositivo de ensaio, a actuação da onda, a zona de en

chimento no troço de barlamar e, ainda, uma fase da evolução do troço de sotamar, com enchimento junto ao esporão central. Verificou-se que o funcionamento a barlamar é idêntico ao da primeira série, di

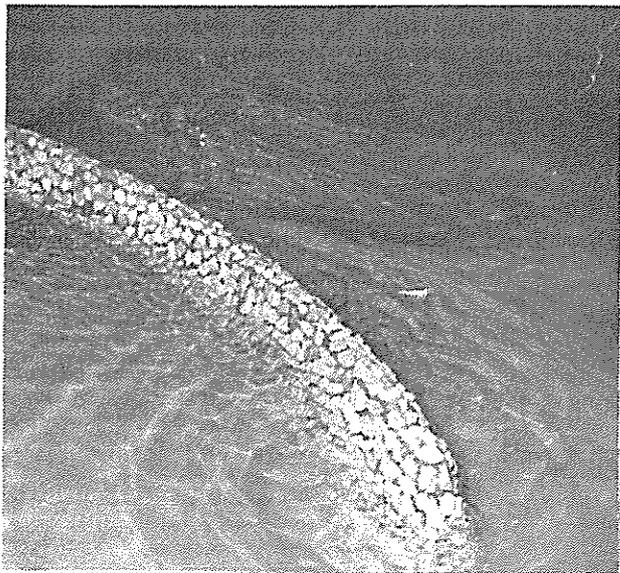


Fig. II.29 - Pormenor da actuação da onda junto ao esporão central, no troço de barlamar (6ª. série)

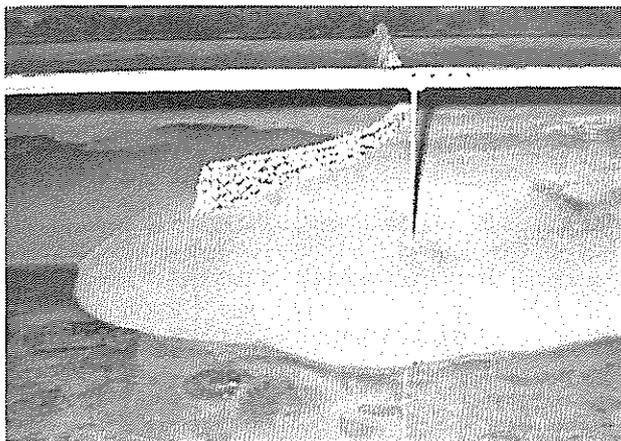


Fig. II.30 - Pormenor da actuação da onda junto ao esporão central, no troço de sotamar (6ª. série)

ferindo apenas nos aspectos de pormenor que dizem respeito à evolução junto ao paramento de sotamar do esporão central. Na figura II. 29 mostra-se um pormenor da actuação da onda no troço de barlamar junto ao esporão central, na qual se pode avaliar a influência do esporão curvo nas singularidades da curva de enchimento, que são menos importantes do que as verificadas na 1ª série de ensaios. Na figura II.30 vê-se um pormenor da actuação da onda na zona de difracção criada pelo esporão curvo.

Na situação final de equilíbrio verificam-se algumas alterações nos casos em que há depósito submerso, o qual contorna o esporão central. A forma de um desses depósitos pode ser apreciada na figura II.31, na qual se distingue, também, a zona de enchimento junto ao esporão no troço de sotamar. No anexo 14 pode ver-se a planta da situação final de um ensaio desta série, em que não houve transposição de material móvel pela extremidade do esporão, em virtude do va

lor reduzido da altura da onda (2,0 cm); com excepção do troço de so



tamar o funcionamento é, como se pode avaliar, idêntico ao verificado na 1ª série de ensaios; quanto ao troço de sotamar, embora no caso representado no anexo a área de enchimento junto a E2c no troço de sotamar seja reduzida, conseguem-se evitar as erosões no enraizamento do esporão.

Fig. II.31 - Situação final. Pormenor da transposição do material móvel pela extremidade do esporão (6ª. série)

3.8 - 7ª série de ensaios. Estudo da influência da maré

Realizaram-se 12 ensaios com actuação de ondas com alturas compreendidas entre 1,0 cm e 4,0 cm, mas sempre com 20° de obliquidade e 1,0 seg de período. O dispositivo de ensaio foi igual ao da 1ª série; utilizou-se como material móvel a pedra-pomes. Considerou-se uma série restrita de ensaios, com actuação de ondas significativas no que respeita ao confronto com os resultados da 1ª série.

Foram considerados três tipos de maré, cuja acção resultou apenas da variação de nível, simultânea com a actuação da onda. Não foram reproduzidas correntes originadas pela maré, pelas razões expostas anteriormente, na alínea 1.1 deste capítulo. As características das marés consideradas foram as seguintes: no tipo 1 uma amplitude de 4,30 cm e um tempo de ciclo de maré igual a 20 min.; no tipo 2, respectivamente, 6,40 cm e 30 min.; no tipo 3 os valores considerados foram 4,30 cm e 30 min. Em qualquer dos casos o nível médio correspondia a uma profundidade de 40 cm e as variações máximas de nível foram calculadas tendo em vista que as condições de geração das ondas não foram alteradas.

Na figura II.32 mostra-se o dispositivo de ensaio e a actuação da onda num dos ensaios; nesta figura pode ver-se a aparelhagem de

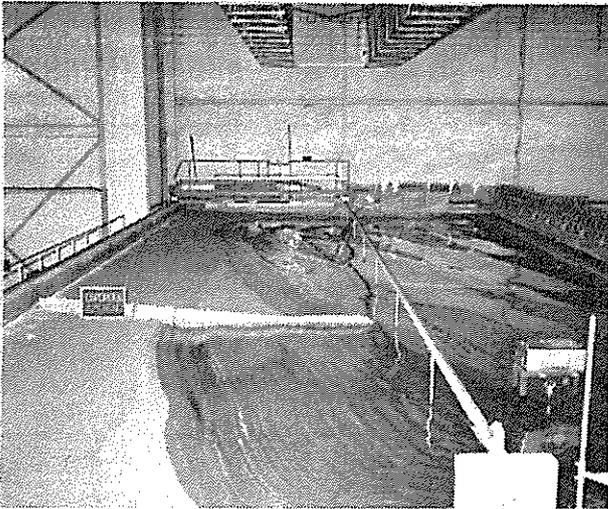


Fig. II.32 - Dispositivo de ensaio e actuação da onda (7ª. série)

registo limnigráfico que foi utilizada durante a reprodução da maré sem actuação de onda.

Nesta série de ensaios não se observou qualquer discrepância em relação aos ensaios da 1ª série; as características gerais da evolução da praia são idênticas e apenas se nota a acção regularizadora da variação de nível, que dá origem a formas mais regulares para a praia em evolução. O estudo dos perfis transversais, em confronto com os obtidos na

primeira série, não pôde ser feito de forma precisa, em virtude de não ter sido possível operar com o servo-coordinógrafo, como foi referido anteriormente.

3.9 - Ensaio complementares

Agrupam-se nesta série, designada por complementar, aqueles aspectos do plano de trabalhos cujo estudo foi feito de forma muito sumária, quer por falta de tempo, quer por impedimentos de ordem experimental.

Em primeiro lugar refere-se um ensaio com actuação de ondas em regime variável, constituído por ondas de características diferentes actuando com uma sequência determinada. A ideia inicial foi realizar ensaios de ciclos de agitação definidos com base nas características do regime de agitação que se verifica na costa da Metrópole, fazendo deste modo actuar as ondas por fases em sequência, (a situação final obtida após uma fase da actuação seria a situação inicial da fase seguinte), considerando em cada fase uma determinada onda. A impossibilidade de realizar uma série completa de ensaios deste tipo levou a fazer um único ensaio (ensaio 81) com duas fases, em que, nas caracte

ísticas da onda, se consideraram obliquidades simétricas extremas. O dispositivo adoptado foi igual ao da 1ª série, utilizando pedra-pomes co

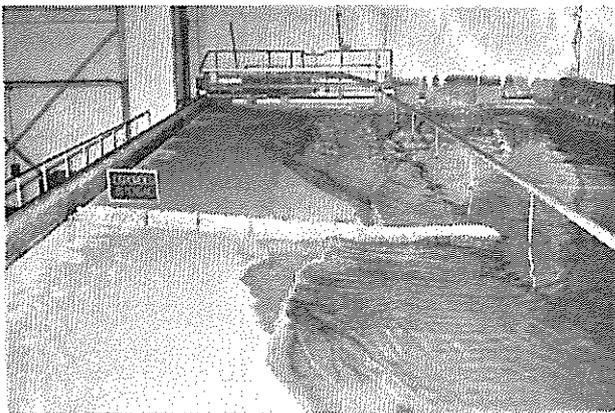


Fig. II.33 - Dispositivo de ensaio e actuação da onda (ensaio 81-2ª fase)

mo material móvel. No anexo 15 apresenta-se uma planta da situação final de equilíbrio obtida na 1ª fase, com actuação de uma onda com 20° de obliquidade, 1,0 seg de período e 3,0 cm de altura, com o sentido de actuação que se indica nessa planta. Seguidamente procedeu-se à actuação de uma onda com obliquidade simétrica, o mesmo período e a mesma altura (ver figura II.33); a evolução da praia processou-se até uma situação final de equilíbrio (ver anexo 16) caracterizada pelo enchimento da zona erodida e uma superfície de retenção junto a E1 que é igual à verificada na 1ª fase junto a E2; as características da forma final de equilíbrio na zona de erosão, nas duas fases, são as que se verificaram na 1ª série de ensaios. Conclui-se, assim, que a actuação de ondas em sequência dá origem a um funcionamento idêntico ao verificado para a onda actuando isolada, com a particularidade de se ter mantido o depósito submerso junto à extremidade de E2, formado no fim da 1ª fase, o que é devido ao facto desse depósito se situar em profundidades tais que a actuação da onda de obliquidade contrária à da onda que o formou não dá origem a movimentos nessa zona.

Em segundo lugar procedeu-se ao ensaio de praias constituídas por serradura, cujas características de funcionamento já foram referidas. Verificou-se, com um dispositivo de ensaio igual ao utilizado na 2ª série, com 8,10 m entre os eixos dos esporões, que a praia de serradura sob a acção de uma onda com obliquidade de 20° , período 1,0 seg e 3,0 cm de altura era erodida em toda a sua extensão e que o material, que entrava francamente em suspensão, se depositava numa maneira uniforme, com declive suave, em toda a zona em frente do troço de bar

lamar da praia até aos filtros que se situam em frente do gerador ; houve transposição em torno dos esporões E'_1 e E_2 , sendo mais acentuada a transposição em torno de E_2 . Este material revelou-se difícil de ensaiar em virtude das características que foram definidas neste ca

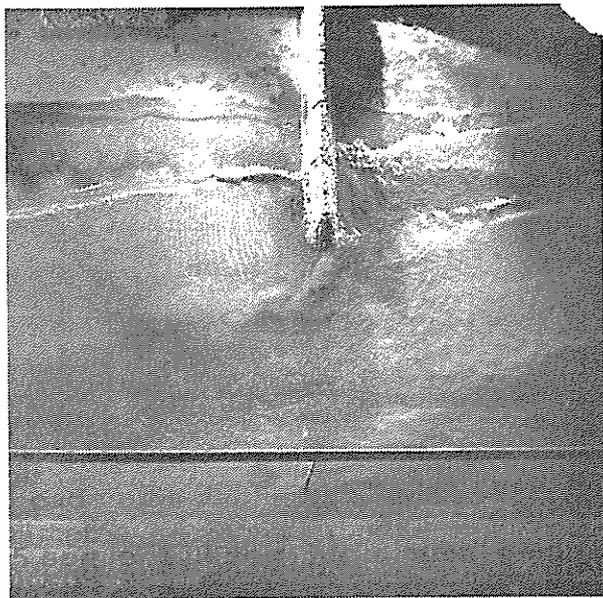


Fig.II.34 - Transporte de serradura em torno do esporão central

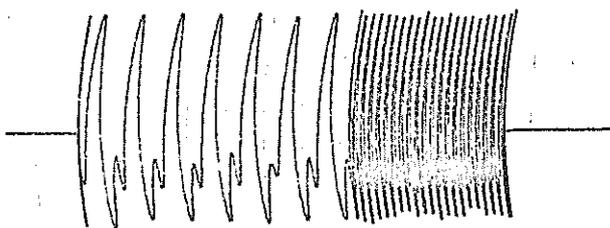
ítulo em 2.3. Não foi possível verificar a hipótese de Larras (ver a alínea 1 do cap.I) no que respeta ao enchimento do troço de sotamar junto ao esporão central. Apenas, como se disse, se verificou a erosão ao longo de todo o troço de barlar, o que está de acordo com a hipótese posta por Larras. Numa tentativa de estudar a trajectória do material em torno do esporão fez-se um ensaiu com um esporão curto, com a extremidade na zona de inclinação constante da praia de modo que o material não ficasse retido nas maiores profundidades; considerou-se o fundo fixo e uma alimentação de serradura o que originou um transporte contínuo, perfeitamente visível, ao longo do troço de barlar e em torno do esporão até ao troço de sotamar, como se pode ver na figura II.34; o material móvel movimentou-se em suspensão na zona de rebentação. Verifica-se a possibilidade do material se manter junto do esporão, a sotamar, e encher a praia nessa zona, o que aliás já se verificou em certos casos de transporte por arrastamento.

Em terceiro lugar refere-se a tentativa para a realização de ensaios com actuação de vaga. O dispositivo utilizado foi o da 1ª série de ensaios, com uma praia de pedra-pomes. Considerou-se a actuação simultânea de duas ondas de obliquidades simétricas ($\pm 20^\circ$), com 1,0 seg de período; a altura da onda de obliquidade $+ 20^\circ$ (ver anexos 15 e 16 onde se define o sinal da obliquidade) era 2,0 cm, enquanto a altura da

onda com -20° era 1,0 cm; a composição destas duas ondas deu origem a um estado de agitação de cristas cruzadas, de características

$h = 40$ cm

$T = 1,0$ seg. Obliquidades: $+20^\circ$ e -20°



regulares, cujo registo se pode ver na figura II.35. Os resultados obtidos com este ensaio mostraram que a predominância de actuação da onda com obliquidade de $+20^\circ$, em virtude da maior altura, origina uma evolução do tipo daquela que se verificou na 1ª série de ensaios, embora com uma forma de equilíbrio muito irregular.

Fig. II.35 - Registo de vaga em modelo

4 - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1 - Preliminares

Para a interpretação e apresentação dos resultados obtidos nas séries de ensaios referidas na alínea anterior definiram-se grandezas características da evolução da praia, as quais exprimem quantitativamente os avanços, recuos, áreas de enchimento, tempos de estabilização, comprimento eficaz do esporão e distâncias que definem a zona de erosão; os avanços e recuos, conforme já foi referido, foram considerados em perfis transversais significativos e estes valores, tal como as áreas de enchimento, quando não se fizer qualquer referência especial, dizem respeito à situação final de equilíbrio; como tempo de estabilização deve entender-se, evidentemente, o tempo necessário para ser atingida a situação de equilíbrio e, para esta situação final, define-se o comprimento eficaz do esporão como sendo o comprimento necessário para que a retenção do material móvel se faça sem haver transposição pela extremidade do esporão.

Tendo a intenção de permitir uma interpretação mais cómoda e uma eventual extrapolação dos resultados para situações reais, procurou-se definir parâmetros adimensionais pela consideração de relações

entre as diferentes grandezas características da evolução da praia e o valor da distância entre os eixos dos esporões que limitam um determinado troço de praia. Esta distância, designada por D , pode ser considerada deste modo sempre que a dimensão transversal dos esporões não afecte de forma significativa o valor do desenvolvimento do troço de praia entre esporões que é, na realidade, a grandeza que tem significado físico para a interpretação dos resultados obtidos; a definição de D com base nos eixos dos esporões considerou-se mais precisa do que a referência a uma linha de intersecção da praia com o talude dos esporões, pelo que se seguiu o critério anterior e se fizeram correcções naqueles casos em que a dimensão transversal do esporão afectava o valor de D .

Os diferentes parâmetros adimensionais considerados são:

— $\frac{l_a}{D}$, que se refere ao avanço máximo da praia junto ao esporão na zona que não está sujeita às singularidades que foram referidas oportunamente.

— $\frac{l_e}{D}$, que diz respeito à máxima erosão verificada no troço da praia.

— $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$, referente à superfície de enchimento junto ao esporão de retenção.

— $\frac{c}{D}$, respeitante ao comprimento eficaz do esporão.

— $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$, que se refere ao tempo de estabilização da praia.

— $\frac{d_A}{D}$, referente à distância, medida a partir do esporão de retenção, a que se situa o ponto de evolução nula (intersecção da situação final de equilíbrio com a situação inicial).

— $\frac{d_r}{D}$, respeitante à distância, medida a partir do esporão de retenção, a que se situa o ponto de maior erosão.

Os valores l_a , l_r e Ω_a foram medidos entre as linhas correspondentes às situações inicial e final; considerou-se o valor Ω_a como representativo da capacidade de retenção do esporão, em vez dum valor calculado a partir dum volume de material retido, em virtude da dificuldade de definir de forma precisa os perfis transversais da praia ou medir com precisão os volumes retidos. O valor c foi medido entre a situação inicial e o limite do depósito submerso junto ao esporão de retenção; o valor de c definido deste modo considera unicamente a evolução da praia a barlar, pois a consideração das possíveis erosões junto ao esporão no troço de sotamar, em virtude dos diferentes valores de D e do talude dos esporões, levaria a particularizar os valores de c ; é evidente que na prática o valor de c terá que ter em conta, além das possíveis erosões a sotamar, um determinado comprimento para o troço de enraizamento do esporão. O valor de t_e foi considerado como o tempo de estabilização da praia. Os valores d_A e d_r foram medidos paralelamente à linha de praia inicial, isto é, perpendicularmente aos eixos dos esporões.

Os parâmetros anteriores dizem respeito às características de evolução da praia, as quais dependem, como se disse anteriormente, das características da onda actuante. Como parâmetro fundamental da onda considerou-se o valor $H_o^2 C_o$, proporcional à potência transmitida pela onda, conjugado com uma função trigonométrica da obliquidade α_o , definida como sendo a obliquidade à saída do gerador, a qual corresponde, para o dispositivo de ensaio adoptado, à obliquidade da onda à profundidade da base do talude da praia, em virtude desta se propagar, até esta profundidade, em fundo horizontal. A obliquidade na rebentação difere, em geral, sensivelmente do valor anterior em virtude da refacção da onda, mas foi adoptado o valor α_o em virtude da obliquidade na rebentação, para a mesma obliquidade α_o , variar com as características da onda e com a evolução da praia o que dificultaria a interpretação dos resultados; com o critério seguido para a definição da obliquidade não se introduz erro sensível e podem agrupar-se facilmente os resultados em função da obliquidade; de qualquer modo, foi adop-

tado um critério, seguido por alguns dos autores citados na bibliografia, o qual não impede que possam ser consideradas as obliquidades na rebentação, que podem ser calculadas a partir da inclinação da praia e das características da onda.

O valor $H_0^2 C_0$ considerado como parâmetro característico da onda actuante refere-se ao valor da potência transmitida ao largo por metro de largura de crista, à parte uma constante; em virtude de não haver qualquer divergência de ortogonais que corresponda a concentração ou dispersão da energia da onda, pelo facto da onda se propagar em fundo constante, o valor da potência transmitida, por metro de largura de crista, na rebentação, considera-se igual a $H_0^2 C_0$; refere-se, ainda, que a refração da onda desde a base do talude até à rebentação não origina qualquer divergência das ortogonais, o que permite considerar, na realidade, a potência transmitida ao largo igual à potência transmitida na rebentação. Na realidade, a potência transmitida ao largo é dada por $\frac{1}{2} \rho g H_0 C_0 \cdot b_0$, enquanto a potência transmitida a uma dada profun-

didade h é dada por $n \rho g H^2 C \cdot b$ com $n = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\frac{4\pi h}{L}}{\operatorname{sh} \frac{4\pi h}{L}} \right]$; b_0 e b é

a distância entre ortogonais, respectivamente em profundidade infinita (ao largo) e à profundidade h ; como no presente caso é $b = b_0$ vem $\frac{1}{2} \rho g H_0^2 C_0 = n \rho g H^2 C$, isto é, o valor $H_0^2 C_0$, à parte a constante $k_0 = \frac{1}{2} \rho g$, representa o valor da potência transmitida na rebentação.

O valor H_0 da altura da onda ao largo, isto é, em profundidade infinita, apresenta, em relação à altura da onda à saída do gerador, diferenças que são desprezáveis em face do erro que se comete na determinação das alturas.

A consideração de um parâmetro adimensional característico da onda actuante não foi possível, na medida em que um parâmetro deste tipo só tem interesse em ser definido a partir de grandezas cuja variação e influência no fenómeno sejam significativas; considerar o valor de $H_0^2 C_0$ conjugado com quaisquer grandezas físicas relativas a proprieda

des da água, tais como massa específica, viscosidade, etc., grandezas cujos valores no modelo e protótipo diferem muito pouco, não permitiria utilizar o parâmetro adimensional assim definido para qualquer extrapolação de resultados. Assim, considerou-se a dependência dos parâmetros adimensionais referentes à evolução da praia em relação ao parâmetro $H_0^2 C_0$, associado a uma função trigonométrica da obliquidade α_0 .

No anexo 17 apresenta-se um diagrama que permite determinar os valores de $H_0^2 C_0$ e $\frac{H_0}{L_0}$ em função da altura H_0 e do período T da onda. Este diagrama permite avaliar facilmente quais as características das diferentes ondas a que corresponde um determinado valor de $H_0^2 C_0$ ou $\frac{H_0}{L_0}$.

A consideração dum valor proporcional à potência transmitida pela onda e a uma função trigonométrica da obliquidade com que a onda actua a praia, como parâmetro fundamental das características da onda, justifica-se em virtude dos movimentos de materiais móveis se processarem a partir duma fracção da potência transmitida, fracção que é uma função da obliquidade de actuação da onda, a qual, após a rebenção, dá origem às correntes longitudinais que estão na origem do transporte de materiais.

Secundariamente são apresentados alguns resultados que dizem respeito à relação dos parâmetros adimensionais mais importantes referentes à evolução da praia em função da declividade da onda.

Evidencia-se que os resultados apresentados dizem respeito à evolução de praias em que predomina o transporte de materiais por arrastamento. A extrapolação para valores superiores e inferiores aos ensaiados não é válida, na medida em que as condições de evolução com transporte por arrastamento e suspensão (que se situam no limite superior da gama dos valores ensaiados), bem como as condições críticas de início do transporte (que se situam no limite inferior da gama dos valores experimentais), não foram objecto de estudo, em virtude da falta de meios experimentais e de tempo; é referida neste trabalho a ne

cessidade de se realizarem estes estudos, que se enquadram no grupo de estudos de pesquisa básica de pormenor.

Adoptou-se neste trabalho a representação das relações estudadas em gráficos logarítmicos, o que permitiu uma representação fácil dos fenómenos estudados e uma fácil determinação das expressões numéricas que traduzem essas relações; adoptou-se, também, para as grandezas com maior interesse, uma representação gráfica em escala linear que permite uma interpretação mais objectiva de certos aspectos das curvas em estudo. A simbologia adoptada nos gráficos de resultados experimentais consta do quadro do anexo 18.

4.2 - 1ª série de ensaios. Troço de barlamar

Foi referido anteriormente o mecanismo da evolução da praia sujeita à actuação da onda; o processo caracteriza-se fundamentalmente por um movimento de materiais de intensidade decrescente até ser atingida uma situação de equilíbrio, nas condições que já foram referidas.

Na planta do anexo 9 estão definidas as diferentes grandezas características da situação de equilíbrio da praia, as quais permitiram definir os parâmetros referidos anteriormente.

Como se pode avaliar nos anexos 19, 20 e 21, os pontos experimentais definem, nos gráficos logarítmicos, rectas que relacionam, para cada obliquidade, os parâmetros adimensionais da evolução da praia com os valores de $H_0^2 C_0$. Deve notar-se que a dispersão dos pontos experimentais em relação às rectas definidas é mínima, mesmo para a obliquidade de 5° , em que a influência dos movimentos transversais, mais acentuados, torna a evolução mais irregular. As relações estudadas têm as seguintes características:

— A relação $\frac{l_a}{D}$ apresenta valores compreendidos entre 0,030 e 0,100 para a obliquidade 20° , respectivamente para valores de $H_0^2 C_0$ compreendidos entre 156 e 5850 cm^3/seg ; para a obliquidade 10° , e para os mesmos valores extremos de $H_0^2 C_0$, os valores de $\frac{l_a}{D}$ estão compreendidos entre 0,020 e 0,060; para 5° de obliquidade, com valores de

$H_0^2 C_0$ compreendidos entre 281 e 5616 cm^3/seg , têm-se valores de $\frac{l_a}{D}$ compreendidos entre 0,013 e 0,036.

Verifica-se que o valor de $\frac{l_a}{D}$ aumenta quando aumenta o valor de $H_0^2 C_0$, para a mesma obliquidade; esta relação diminui, como é evidente, quando a obliquidade diminui para o mesmo valor da potência transmitida.

Atendendo a que o valor máximo de $H_0^2 C_0$ ensaiado corresponde a valores a partir dos quais o material entra francamente em suspensão e altera as características de evolução, como se viu anteriormente, conclui-se que os valores máximos referidos correspondem, para cada obliquidade, aos máximos que podem ocorrer e que são 0,100 para 20° , 0,060 para 10° e 0,036 para 5° .

Como ordem de grandeza, considerando uma eventual possibilidade de extrapolação destes resultados para a natureza, ter-se-ia, para as obliquidades 20° , 10° e 5° , para $D = 200$ m, a uma distância aproximadamente igual a 11 metros do paramento do esporão, avanços de 20, 12 e 7 metros.

— A relação $\frac{l_r}{D}$ tem valores compreendidos entre 0,036 e 0,090 para valores de $H_0^2 C_0$ compreendidos entre 156 e 5850 cm^3/seg , para a obliquidade 20° ; para 10° de obliquidade, para os mesmos valores extremos de $H_0^2 C_0$, os valores de $\frac{l_r}{D}$ estão compreendidos entre 0,018 e 0,045; para 5° de obliquidade, com 281 e 5616 cm^3/seg como valores extremos de $H_0^2 C_0$, os valores da relação estão compreendidos entre 0,009 e 0,020.

O valor de $\frac{l_r}{D}$ aumenta quando $H_0^2 C_0$ aumenta, para a mesma obliquidade; esta relação diminui quando diminui a obliquidade, para o mesmo valor de $H_0^2 C_0$.

Os valores máximos de $\frac{l_r}{D}$, para as obliquidades 20° , 10° e 5° , são, respectivamente, 0,090, 0,045 e 0,020.

Como ordem de grandeza, em relação a valores reais, ter-se-ão os valores 18, 9 e 4 metros, respectivamente para as obliquidades 20° , 10° e 5° , considerando $D = 200$ m.

— A relação $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ apresenta valores compreendidos entre 0,080 e 0,135, para valores de $H_0^2 C_0$ compreendidos entre 156 e 5850 cm^3/seg , para a obliquidade 20° ; para 10° de obliquidade e para os mesmos valores extremos de $H_0^2 C_0$, $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ varia entre 0,070 e 0,120; para a obliquidade 5° e valores de $H_0^2 C_0$ compreendidos entre 281 e 5616 cm^3/seg , os valores de $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ variam entre 0,065 e 0,100.

O valor de $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ aumenta quando $H_0^2 C_0$ aumenta, para a mesma obliquidade; esta relação diminui quando a obliquidade diminui, para o mesmo valor da potência transmitida.

Os valores máximos de $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ para as obliquidades 20° , 10° e 5° são, respectivamente, 0,135, 0,120 e 0,100.

Como ordem de grandeza, em eventuais aplicações práticas, ter-se-iam, para $D = 200$ m, áreas de enchimento com valores aproximadamente iguais a 730, 580 e 400 m^2 , respectivamente para as obliquidades 20° , 10° e 5° .

— A relação $\frac{dA}{D}$ apresenta, para cada valor da obliquidade, um valor constante para a gama de valores de $H_0^2 C_0$ ensaiados. Assim, o valor desta relação é 0,340 para a obliquidade 20° , 0,480 para 10° e 0,600 para 5° . Verifica-se que, para o valor médio da gama de obliquidades ensaiada, o ponto de início da zona de erosão localiza-se a meia distância entre os esporões.

O valor de $\frac{dA}{D}$ aumenta quando a obliquidade diminui, para o mesmo valor da potência transmitida, isto é, a zona de enchimento abrange uma maior extensão do troço de praia para as obliquidades menores, embora a superfície de enchimento seja menor.

Como ordem de grandeza tem-se, para um valor $D = 200$ m, e para as obliquidades 20° , 10° e 5° , respectivamente os valores 68, 96 e 120 metros.

— A relação $\frac{dr}{D}$ apresenta, também, um valor constante, para cada obliquidade, quando varia $H_0^2 C_0$. Para a obliquidade 20° o valor desta relação é 0,670; para 10° o valor é 0,770; para 5° tem-se

um valor igual ao anterior (0,770)

Também o valor de $\frac{dr}{D}$ aumenta quando a obliquidade diminui, para o mesmo valor da potência transmitida, com a particularidade do valor de $\frac{dr}{D}$ se manter para os ângulos de 5° e 10° . Verifica-se, pois, que a zona de maior erosão se aproxima do esporão E1 quando a obliquidade diminui.

Como ordem de grandeza, para $D = 200$ m, tem-se para $\frac{dr}{D}$ um valor igual a 134 metros para a obliquidade 20° e valores iguais a 154 metros para as obliquidades 10° e 5° .

— A relação $\frac{c}{D}$ apresenta, para a obliquidade 20° e para valores de $H_0^2 C_0$ compreendidos entre 156 e $5850 \text{ cm}^3/\text{seg}$, valores entre 0,080 e 0,260; para 10° , e os mesmos valores extremos da potência transmitida, os valores desta relação estão compreendidos entre 0,060 e 0,180; para 5° , e valores de $H_0^2 C_0$ entre 281 e $5616 \text{ cm}^3/\text{seg}$, os valores de $\frac{c}{D}$ estão compreendidos entre 0,038 e 0,100.

O valor de $\frac{c}{D}$ aumenta quando $H_0^2 C_0$ aumenta, para a mesma obliquidade; esta relação diminui, para o mesmo valor da potência transmitida, quando a obliquidade diminui.

Os valores máximos de $\frac{c}{D}$, para as obliquidades 20° , 10° e 5° são, respectivamente, 0,260, 0,180 e 0,100.

Como ordem de grandeza, para $D = 200$ m, ter-se-ão, aproximadamente, os seguintes valores: 52 m para a obliquidade 20° , 36 m para 10° e 20 m para 5° da obliquidade. Deve notar-se que estes valores se referem a um esporão compreendido entre a praia inicial e a batimétrica correspondente à maior profundidade em que houve movimentos de materiais; o comprimento real do esporão deve ter em atenção o troço de enraizamento, cujo comprimento depende fundamentalmente das possíveis erosões junto ao esporão no troço de sotamar, (também há casos em que pode ser necessário ter em consideração uma eventual erosão inicial na zona de barlamar adjacente ao esporão), e, também, o máximo e mínimo nível da maré. Deste modo, no exemplo anterior, terá que se considerar para a obliquidade de 20° , para particularizar, um esporão que, sem contar com o troço de enraizamento,

se prolongasse desde a linha de água correspondente à preia-mar de cota mais elevada até 52 m para além da linha de água da mínima baixa-mar.

— A relação $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ apresenta, para a obliquidade 20° e $H_0^2 C_0$ compreendido entre 156 e 5850 cm^3/seg , valores compreendidos entre 20×10^4 e 4×10^4 ; para 10° de obliquidade, e os mesmos valores extremos da potência transmitida, tem-se este parâmetro compreendido entre 9×10^4 e 2×10^4 ; para 5° de obliquidade, e $H_0^2 C_0$ compreendido entre 281 e 5616 cm^3/seg , os valores da relação estão compreendidos entre 5×10^4 e 1×10^4 .

$t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ diminui quando $H_0^2 C_0$ aumenta, para a mesma obliquidade, sendo a relação entre os valores extremos sempre 5 para 1; esta relação diminui, para o mesmo valor de $H_0^2 C_0$, quando a obliquidade diminui, correspondendo a uma variação do ângulo para metade uma redução do tempo de estabilização aproximadamente igual a metade do seu valor.

Os mínimos de $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$, para as obliquidades 20° , 10° e 5° , são, respectivamente, iguais a 4×10^4 , 2×10^4 e 1×10^4 . Evidentemente que, neste caso, interessa referir o mínimo da relação pois, para efeitos práticos, pode interessar mais evidenciar o mínimo tempo em que pode ser atingida a situação de equilíbrio.

Como ordem de grandeza, para $D = 200$ m, ter-se-ão, aproximadamente, os seguintes valores: 50 horas para a obliquidade 20° , 25 horas para 10° e 12 horas para 5° de obliquidade. Note-se que estes tempos, que são mínimos, correspondem à actuação constante de uma onda que corresponde a um máximo da potência transmitida. Tenha-se em atenção que os máximos tempos de estabilização, para ondas de reduzida potência transmitida, são da ordem de grandeza de 250 horas para a obliquidade de 20° , 125 horas para 10° e 60 horas para 5° de obliquidade, valores que correspondem, respectivamente e aproximadamente, a 10, 5 e 2 dias de actuação permanente da onda.

No anexo 22 apresentam-se os gráficos das relações estudadas, em coordenadas logarítmicas, em função de $H_0^2 C_0$, sobrepostos para

as várias obliquidades, de modo a permitirem uma fácil avaliação das suas características em conjunto; faz-se notar que os troços de recta com maior espessura dizem respeito à gama de valores ensaiados e que, como se disse, se considera significativa. Note-se, também, que as rectas que correspondem a $\frac{l_a}{D}$ e $\frac{c}{D}$ são paralelas.

Os gráficos em coordenadas logarítmicas permitem estabelecer facilmente as equações que exprimem a relação de dependência entre os parâmetros adimensionais característicos da evolução e as características das ondas actuantes. Essas equações, cujo interesse se considera bastante limitado, são:

$$\frac{l_a}{D} = 1,34 \cdot 10^{-2} \cdot (\text{sen} \alpha_0)^{0,79} \cdot (H_0^2 C_0)^{0,33}$$

$$\frac{d_r}{D} = 0,82 \cdot \cos^4 \alpha_0$$

$$\frac{l_r}{D} = 3,00 \cdot 10^{-2} \cdot \text{sen} \alpha_0 \cdot (H_0^2 C_0)^{0,25}$$

$$\frac{c}{D} = 3,95 \cdot 10^{-2} (\text{sen} \alpha_0)^{0,78} \cdot (H_0^2 C_0)^{0,32}$$

$$\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D} = 3,45 \cdot 10^{-2} \cdot (\text{sen} \alpha_0)^{0,21} \cdot (H_0^2 C_0)^{0,16}$$

$$t_e \sqrt{\frac{g}{D}} = 44 \cdot 10^5 \cdot \frac{(\text{sen} \alpha_0)^{0,79}}{(H_0^2 C_0)^{0,45}}$$

$$\frac{d_A}{D} = 0,20 \cdot \frac{1}{\text{sen} \alpha_0}$$

Dos parâmetros característicos da evolução da praia consideram-se com grande interesse as relações adimensionais $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ e $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$, pelo que serão feitas algumas considerações complementares sobre as suas características.

No anexo 23 apresentam-se três gráficos, em coordenadas lineares, que relacionam, para cada valor da obliquidade, os valores de $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ e $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ com a declividade ao largo $\frac{H_0}{L_0}$. Para a gama de valores ensaiados verifica-se que, para cada valor do período, a relação $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ aumenta com a declividade até atingir os valores máximos que foram referidos anteriormente; as curvas de evolução apresentam uma variação muito acentuada para as declividades mais baixas, tendendo para um

valor constante quando aumenta $\frac{H_0}{L_0}$. O valor de $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ decresce quando a declividade aumenta, para cada valor do período, até atingir os valores mínimos a que já se fez referência; estas curvas apresentam, também, uma variação muito acentuada para as declividades menores, com tendência para um valor constante quando aumenta a declividade. Em virtude das curvas destes parâmetros em função da declividade dependerem, ainda, do período, considera-se este aspecto do estudo com menos interesse.

No anexo 24 apresentam-se em coordenadas lineares os gráficos de dependência dos parâmetros $\frac{\sqrt{\Omega a}}{D}$ e $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ em relação a $H_0^2 C_0$, para cada valor da obliquidade. O parâmetro $\frac{\sqrt{\Omega a}}{D}$ aumenta quando $H_0^2 C_0$ aumenta mas, pela análise das curvas, verifica-se que a variação do valor de $\frac{\sqrt{\Omega a}}{D}$ é significativa apenas para os valores mais baixos de $H_0^2 C_0$, sendo essa variação cada vez menor quando aumenta a potência transmitida; por exemplo, para a obliquidade de 20° , o valor de $\frac{\sqrt{\Omega a}}{D}$ varia entre 0,070 e 0,120 para valores de $H_0^2 C_0$ compreendidos entre 200 e 2000 cm^3/seg , enquanto a variação para os valores de $H_0^2 C_0$ compreendidos entre 2000 e 6000 cm^3/seg é a que corresponde à diferença entre os valores 0,120 e 0,135, donde se conclui que, para os maiores valores da potência transmitida, há uma gama extensa de valores para os quais a relação $\frac{\sqrt{\Omega a}}{D}$ é praticamente constante. O parâmetro $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ decresce quando aumenta o valor de $H_0^2 C_0$, mas a variação também só é significativa para uma gama restrita de valores de $H_0^2 C_0$; para exemplificar, considere-se a curva que corresponde à obliquidade de 20° , em que o valor de $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ varia entre 20×10^4 e 7×10^4 para valores de $H_0^2 C_0$ compreendidos entre 200 e 1400 cm^3/seg , enquanto para o intervalo 1400 a 6000 cm^3/seg o valor do parâmetro varia entre 7×10^4 e 4×10^4 .

4.3 - 1ª série de ensaios. Troço de sotamar

Como foi referido, na descrição dos ensaios realizados, o mecanismo da evolução a sotamar é idêntico ao verificado no troço de bar

lamar, embora a distância e estruturação dos esporões sejam diferentes. No entanto, analisando a evolução em pormenor, este troço apresenta algumas diferenças em relação aos resultados do troço de barlar. Nos anexos 25, 26 e 27 encontram-se representados em gráficos logarítmicos os resultados obtidos.

Os parâmetros $\frac{l_a}{D}$, $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$, $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ e $\frac{c}{D}$ seguem as mesmas relações de dependência no valor de $H_0^2 C_0$ que foram determinadas para o troço de barlar; conclui-se que o facto do paramento do esporão de retenção ser absorvente tem, apenas, influência restrita, no sentido de não haver singularidades junto ao esporão. Deve notar-se que alguns pontos experimentais respeitantes à obliquidade 5° se afastam bastante da recta que define a dependência de $\frac{l_a}{D}$ para o troço de barlar, mas este afastamento verifica-se só para os valores mais elevados do período em que há influência significativa dos movimentos transversais, correspondendo a situações em que se verificou um enchimento em toda a extensão do troço de sotamar.

O parâmetro $\frac{d_A}{D}$ apresenta os mesmos valores que se verificaram na 1ª série, para as obliquidades 10° e 5° ; para 20° de obliquidade, embora $\frac{d_A}{D}$ se mantenha constante quando $H_0^2 C_0$ varia, o valor desta relação é 0,420, enquanto para o troço de barlar se determinou o valor 0,350; esta diferença não se considera, para efeitos práticos, significativa.

Em relação aos resultados do troço de barlar só se encontram diferenças significativas nos resultados que dizem respeito aos parâmetros $\frac{d_r}{D}$ e $\frac{l_r}{D}$.

A relação $\frac{d_r}{D}$ apresenta, para a obliquidade 20° , um valor aproximadamente igual a 0,800, constante para a gama de valores de $H_0^2 C_0$ ensaiados, enquanto no troço de barlar o valor de $\frac{d_r}{D}$ era 0,660; para as obliquidades 10° e 5° o valor de $\frac{d_r}{D}$, constante para a gama de valores ensaiados, é 0,850, enquanto no troço de barlar se tinha determinado 0,750; faz-se notar que a obliquidade de 5°

apresenta irregularidades no mecanismo de evolução, devidas à influência dos movimentos transversais; faz-se ainda notar que, para a obliquidade de 5° e período de 1,0 seg, para os menores valores da altura ensaiados, os valores de $\frac{dr}{D}$ são iguais aos obtidos no troço de barlamar, o que se justifica por se tratar de ondas de espraiamento reduzido e para as quais o esporão central ainda determina uma zona de difracção. Verifica-se que a zona de maior erosão se localiza mais próximo do paramento do esporão de barlamar (deve ter-se presente que se trata do esporão E2, de paramento reflector) e, para alguns ensaios, a secção transversal onde se verifica a maior erosão localiza-se junto ao paramento do esporão, o que resulta da influência das suas características estruturais. Deve notar-se, por uma questão de precisão, que não afecta a ordem de grandeza dos valores, que a dispersão dos pontos em torno das rectas abrange uma gama de valores compreendidos, em geral, entre 0,700 e 0,900 o que, considerando que a distância D se define entre eixos de esporões, permitiria, mediante uma correcção, considerar o valor 0,900 como correspondendo a 1,000.

A relação $\frac{lr}{D}$ apresenta, para a obliquidade de 20° um valor praticamente constante quando $H_0^2 C_0$ varia, com os valores experimentais compreendidos entre 0,040 e 0,048. Para a obliquidade de 10° a dispersão dos pontos experimentais é grande e não permite definir um valor para a relação; os valores de $\frac{lr}{D}$ estão compreendidos, para esta obliquidade, entre 0,013 e 0,028. Para a obliquidade de 5° , os valores possíveis de definir (o funcionamento irregular em certos casos, fundamentalmente para os períodos elevados, não permitiu a consideração de alguns pontos experimentais) permitem considerar um valor 0,007, constante quando $H_0^2 C_0$ varia. As erosões a sotamar do esporão central apresentam, assim, o valor máximo 0,044 para a obliquidade 20° e um valor mínimo 0,007 para a obliquidade de 5° . Como ordem de grandeza, nas condições anteriormente referidas, para $D = 200$ m, ter-se-ia um valor da ordem de grandeza de 10 metros para a erosão máxima a sotamar.

4.4 - 2ª série de ensaios

Como se pode avaliar nos anexos 19, 20 e 21, os valores obtidos permitem concluir que, variando a distância D, os parâmetros adimensionais característicos da evolução da praia apresentam valores que seguem com aproximação suficiente as relações de dependência definidas na 1ª série. Deve notar-se que os valores de $\frac{1a}{D}$ foram calculados para uma secção transversal localizada a uma distância que é, proporcionalmente a D, igual à considerada na 1ª série.

A análise dos gráficos mostra que os pontos experimentais desta série seguem exactamente a recta definida nos gráficos logarítmicos para a 1ª série, no caso das obliquidades de 20° e 10° ; mesmo para a obliquidade de 5° a aproximação em relação aos valores da 1ª série é suficiente, à parte o facto de, para esta obliquidade, se verificarem irregularidades de funcionamento cuja influência é mais sensível quando a distância entre esporões é menor.

4.5 - 3ª série de ensaios

Nos anexos 19, 20 e 21 estão representados os pontos referentes aos três ensaios realizados com vista ao estudo da influência da estruturação do talude do esporão de retenção.

Em virtude do aumento da largura do esporão central, motivada pelo talude considerado, houve necessidade de corrigir a distância D de 8,10 m para 7,70 m, pois os valores característicos da evolução eram afectados de forma significativa pela variação do desenvolvimento do troço de praia^(*). Os valores obtidos estão de acordo com os resultados da 1ª série e permitem concluir que, na realidade, a influência do talude do esporão é restrita e dá origem, como se disse anteriormente, a perturbações localizadas na vizinhança do paramento do esporão que não afectam as características gerais da evolução da praia.

(*) - Desta forma obteve-se um dispositivo equivalente ao utilizado na 1ª série, a barlar, no que respeita ao desenvolvimento da praia. Esclarece-se que no troço de sotamar da 1ª série não se considerou esta correcção em virtude dos esporões serem do mesmo tipo dos de barlar, embora com as posições invertidas, o que não altera o desenvolvimento do troço de praia.

O ensaio de dois esporões de talude 1/5 não absorvente conduziu a resultados análogos aos da 1ª série.

O ensaio de um esporão de maior comprimento conduziu, como se disse anteriormente, para uma onda com elevado valor da potência transmitida, aos mesmos valores característicos da evolução da praia que se verificaram na 1ª série, embora o depósito submerso se processe de forma diferente, sem transposição da extremidade do esporão pelo material móvel.

4.6 - 4ª série de ensaios

No anexo 28 estão representados os resultados experimentais obtidos nos ensaios com areia. Uma apreciação geral dos gráficos mostra que, para valores baixos da potência, os valores dos parâmetros seguem as relações de dependência da 1ª série de ensaios, com alguns desvios significativos para a obliquidade de 5° e uma acentuada irregularidade de funcionamento para os maiores valores da potência transmitida. Considera-se $H_0^2 C_0 = 1000 \text{ cm}^3/\text{seg}$ o valor a partir do qual o transporte em suspensão passa a ter influência predominante.

A análise dos gráficos logarítmicos permite tirar as seguintes conclusões:

— Os pontos experimentais da relação $\frac{1a}{D}$ seguem as rectas definidas na 1ª série, para as obliquidades de 20° e 10°, até valores da ordem de grandeza de $1000 \text{ cm}^3/\text{seg}$; para valores superiores a este os valores de $\frac{1a}{D}$ diminuem quando $H_0^2 C_0$ aumenta; os valores máximos, para as obliquidades anteriores, são da ordem de 0,055 para 20° (máximo de 0,100 na 1ª série), e 0,036 para 10° (máximo de 0,060 na 1ª série), se for considerado o valor $H_0^2 C_0 = 1000 \text{ cm}^3/\text{seg}$ como correspondendo aos máximos de $\frac{1a}{D}$ e admitindo que o ponto experimental que correspondesse a este valor não apresentaria desvio significativo. Quanto à obliquidade de 5°, o valor mais baixo de $H_0^2 C_0$ ensaiado conduziu a um valor de $\frac{1a}{D}$ que está de acordo com os resultados da 1ª série; o valor mais elevado que se ensaiou já apresenta um desvio significativo em relação à recta definida na 1ª série; o valor máximo para esta obliquidade poderá considerar-se da ordem de grandeza de 0,020 (0,036 na 1ª série).

— Para a relação $\frac{\sqrt{\Omega a}}{D}$ com obliquidades de 20° e 10° , obtêm-se pontos experimentais que seguem as rectas da 1ª série até valores da ordem de grandeza de $1000 \text{ cm}^3/\text{seg}$; para valores superiores a este $\frac{\sqrt{\Omega a}}{D}$ decresce; os valores máximos, seguindo o critério adoptado para $\frac{1a}{D}$, podem considerar-se como sendo 0,110 para 20° (0,135 na 1ª série) e 0,095 para 10° (0,120 na 1ª série). Para a obliquidade de 5° , a relação $\frac{\sqrt{\Omega a}}{D}$ apresenta valores inferiores aos da 1ª série com desvios da ordem de grandeza de 30%; nota-se, para esta obliquidade, que é preponderante a influência dos movimentos transversais, cuja acção é reforçada pela fácil entrada em suspensão do material móvel.

Em virtude da inclinação da recta de $\frac{\sqrt{\Omega a}}{D}$ em função de $H_0^2 C_0$ ser reduzida, as diferenças em relação aos valores da 1ª série não são grandes e, como ordem de grandeza, poder-se-á considerar um valor médio dos valores verificados nas duas séries; estas considerações têm maior interesse para este parâmetro do que para $\frac{1a}{D}$, uma vez que este último traduz um aspecto muito particular da evolução, em que pode haver influência de factores secundários.

— Os valores de $\frac{1r}{D}$ seguem, para as três obliquidades ensaiadas, as rectas definidas na 1ª série até valores de $H_0^2 C_0$ da ordem de grandeza de $1000 \text{ cm}^3/\text{seg}$; os valores ensaiados, para a obliquidade de 20° , com $H_0^2 C_0$ superior ao valor anterior conduziram a valores decrescentes para $\frac{1r}{D}$.

— Os valores de $\frac{d_A}{D}$, para as obliquidades de 20° e 10° , pouco diferem dos obtidos na 1ª série; os desvios verificam-se para valores de $H_0^2 C_0$ superiores a $1000 \text{ cm}^3/\text{seg}$. Para a obliquidade de 5° os valores são inferiores aos obtidos na 1ª série e aproximam-se dos que correspondem à obliquidade de 10° .

— Os valores de $\frac{dr}{D}$, para as obliquidades de 20° e 10° , estão de acordo com os obtidos na 1ª série. Para 5° de obliquidade os valores de $\frac{dr}{D}$ são inferiores aos determinados na 1ª série e aproximam-se dos que correspondem aos obtidos com a obliquidade de 20° .

— Os valores da relação $\frac{c}{D}$ estão de acordo com os resultados obtidos na 1ª série, para uma gama de valores de $H_0^2 C_0$ em que

não estão incluídos os valores máximos que correspondem a um transporte em suspensão intenso.

— Os valores de $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$, para qualquer das obliquidades ensaiadas, são inferiores aos determinados na 1ª série. Consideram-se apenas os valores em que não é preponderante o transporte em suspensão. Para valores de $H_0^2 C_0$ compreendidos entre 156 e 1400 cm^3/seg os valores de $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ estão compreendidos entre 8×10^4 e 3×10^4 para 20° de obliquidade, entre 4×10^4 e 2×10^4 para 10° e entre 3×10^4 e 1×10^4 para 5° .

Como se vê os tempos de estabilização para a areia são muito inferiores aos determinados para a pedra-pomes.

4.7 - 5ª série de ensaios

No anexo 29 apresentam-se os resultados obtidos na série de ensaios com baquelite. Pode dizer-se, de uma maneira geral, que os resultados diferem bastante dos obtidos na 1ª série; há tendência para um maior enchimento para as obliquidades de 20° e 10° , para valores baixos de $H_0^2 C_0$; para os valores mais elevados da potência o enchimento fica condicionado pela preponderância do transporte por suspensão e os volumes retidos são menores; os valores referentes à obliquidade de 5° são muito afectados pela influência dos movimentos transversais. Considera-se $H_0^2 C_0 = 600 \text{ cm}^3/\text{seg}$ o valor limite do transporte por arrastamento sem preponderância da suspensão.

Da análise dos gráficos logarítmicos pode concluir-se que:

— Os valores de $\frac{1a}{D}$, para a obliquidade de 20° , são superiores aos determinados na 1ª série para valores de $H_0^2 C_0$ até $600 \text{ cm}^3/\text{seg}$, mas decrescem rapidamente para valores superiores a este; o maior valor determinado foi 0,060, enquanto na 1ª série se determinou 0,100. Para a obliquidade de 10° o funcionamento apresenta as mesmas características, sendo de notar que, para valores superiores a $600 \text{ cm}^3/\text{seg}$, o valor de $\frac{1a}{D}$ decresce rapidamente; os ensaios referentes a 5° de obliquidade ficaram, como se disse, muito limitados e o único ponto que se representa no gráfico coincide com a recta da 1ª série.

— Os valores de $\frac{\sqrt{\Omega a}}{D}$ apresentam características idênticas aos anteriores; para a obliquidade de 20° o valor máximo determinado foi 0,100 (0,135 na 1ª série). Para a obliquidade de 10° o número de pontos não é suficiente para definir um valor máximo, mas tem-se o ponto correspondente a $156 \text{ cm}^3/\text{seg}$ com um valor de $\frac{\sqrt{\Omega a}}{D}$ da ordem dos determinados na 1ª série para a obliquidade de 20° , para o mesmo valor de $H_0^2 C_0$, e um ponto referente a $1400 \text{ cm}^3/\text{seg}$ com um valor deste parâmetro muito inferior aos determinados na 1ª série para a obliquidade de 5° . O único ponto que figura no gráfico referente à obliquidade de 5° situa-se sobre a recta definida na 1ª série para esta obliquidade.

— Os valores de $\frac{l_r}{D}$ estão de acordo com os determinados na 1ª série.

— Os valores de $\frac{d_A}{D}$, para a obliquidade de 20° , situam-se sobre a recta respectiva da 1ª série até valores da ordem da grandeza de $600 \text{ cm}^3/\text{seg}$; para o valor $1400 \text{ cm}^3/\text{seg}$ já $\frac{d_A}{D}$ é bastante inferior ao correspondente valor da 1ª série. Para a obliquidade de 10° os valores de $\frac{d_A}{D}$ são menores do que os determinados na 1ª série, com grande desvio para o valor que corresponde ao maior valor da potência ensaiado. Para a obliquidade de 5° o único valor que figura no gráfico é menor do que os determinados na 1ª série.

— O parâmetro $\frac{dr}{D}$ apresenta diferenças, em relação à 1ª série, cujos valores são reduzidos. De um modo geral pode dizer-se que esta relação se mantém.

— Os valores de $\frac{c}{D}$ são, para as três obliquidades, superiores aos determinados na 1ª série para a obliquidade de 20° e muito próximos, o que resulta da influência do transporte em suspensão. O parâmetro $\frac{c}{D}$, para a gama de valores considerados, apresenta valores compreendidos entre 0,110 e 0,230.

— Os valores de $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ são menores, ainda, do que os determinados para a areia. Para a obliquidade de 20° , e para a gama de valores ensaiados, os valores deste parâmetro estão compreendidos entre 5×10^4 e 2×10^4 ; para 10° os valores estão compreendidos entre

3×10^4 e 1×10^4 e para a obliquidade de 5° o máximo valor determinado foi 2×10^4 .

4.8 - 6ª série de ensaios

Na fig.II.36 e no anexo 30 apresentam-se os resultados obtidos com o esporão curvo.

Os resultados obtidos no troço de sotamar, que são apresentados na figura II.36, em confronto com os valores verificados na 1ª série, mostram que, para a gama de valores ensaiados, se processa um avanço junto ao esporão central que aumenta quando aumenta o valor de $H_0^2 C_0$; este avanço, para o mesmo valor de $H_0^2 C_0$, aumenta quando diminui a obliquidade da onda. No gráfico da fig.II.36 representou-se em or-

denadas o valor $\frac{l'_a}{D}$ característico da evolução no perfil P5 e, no que respeita aos resultados da 1ª série - sotamar, representaram-se os valores referentes a erosão com o sinal negativo; os valores de $-\frac{l'_a}{D}$ são os mesmos indicados anteriormente por $\frac{l_r}{D}$ os quais, em virtude do valor de $\frac{d_r}{D}$, se podem considerar como localizados em P5. Verifica-se que, quando diminui a obliquidade, a actuação da onda com um esporão rectilíneo passa a ser quase frontal e as erosões diminuem para as ondas de menor declividade; para a obliquidade de 5° , para os maiores valores do pe-

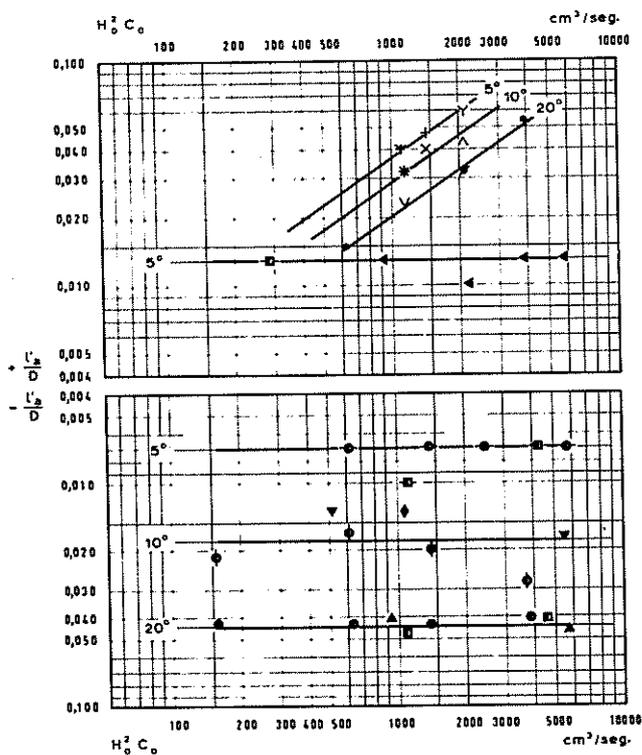


Fig.II.36 - Evolução da praia no perfil P5 (1ª e 6ª séries - troço de sotamar)

ríodo, com excepção de um ponto isolado, verifica-se um enchimento que é, no entanto, inferior ao mínimo que se determinou com o esporão curvo. Estas considerações são coerentes com o conhecimento que se tem dos movimentos transver-

sais em praias na natureza, em que as ondas de maior declividade conduzem a erosões e as ondas de menor declividade a enchimento.

Já foram referidas as características da evolução da praia junto ao esporão curvo no troço de sotamar (ver fig.II.36); interessa referir que o facto de se ter um avanço maior, para o mesmo valor de $H_0^2 C_0$, quando a obliquidade diminui é devido ao fenómeno da difracção que origina, na zona de sombra do esporão, uma maior diminuição de energia para as ondas com maior obliquidade. Para a gama de valores ensaiados, verificam-se avanços relativos cujos valores extremos são da ordem de grandeza de 0,015 e 0,060; embora os valores do avanço sejam reduzidos (no máximo 12 metros para $D = 200$ m) tem que se ter presente que a zona adjacente ao paramento de sotamar do esporão deixa de estar sujeita a erosões, aspecto que tem o maior interesse prático.

No anexo 30 estão representados os resultados obtidos no troço de barlamar; com excepção do valor de $\frac{c}{D}$, que vem naturalmente aumentado em virtude da maior influência da corrente de retorno, os valores das restantes relações seguem as rectas dos gráficos logarítmicos determinadas na 1ª série.

4.9 - 7ª série de ensaios

No anexo 31 estão representados os resultados experimentais da série de ensaios com reprodução de maré. Como se disse anteriormente, considerou-se apenas a obliquidade de 20° . Os resultados obtidos dizem respeito a medições realizadas em nível médio.

Verifica-se que os valores obtidos para os três tipos de maré considerados não conduziram a qualquer diferença significativa para os parâmetros em estudo. As relações definidas na 1ª série de ensaios são válidas, com excepção dos valores respeitantes aos parâmetros $\frac{1a}{D}$ e $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ que apresentam acréscimos máximos da ordem de grandeza de 30%. Conclui-se, assim, que a actuação da onda simultâneamente com a variação de nível devida à maré origina um acréscimo da superfície de enchimento que é devido, fundamentalmente, ao efeito de retenção originado pela superfície de enchimento que se forma em baixa-mar.

4.10 - Ensaio complementares

Os resultados obtidos nos ensaios complementares realizados são fundamentalmente qualitativos e já foram referidos oportunamente.

5 - CONCLUSÕES DO ESTUDO EXPERIMENTAL

O funcionamento hidráulico de esporões marítimos no caso de unidades fisiograficamente independentes submetidas à acção de uma onda de características constantes é caracterizado por uma evolução que se processa até uma situação final de equilíbrio que é condicionada pela obliquidade e potência transmitida da onda actuante. A evolução da praia é devida ao transporte do material móvel por acção das correntes longitudinais originadas na rebentação da onda; essa evolução é regular, com excepção dos casos de actuação com obliquidades reduzidas em que passa a haver predominância dos movimentos transversais sobre os longitudinais.

De um modo geral, à parte as discrepâncias que foram referidas neste trabalho, as características da situação final de equilíbrio das praias localizadas entre esporões são as que foram definidas nas séries de ensaios com pedra-pomes. A forma final de equilíbrio é funda-

mentalmente caracterizada por parâmetros adimensionais que consideram a capacidade de retenção e comprimento do esporão retentor, o tempo de estabilização e a zona erodida da praia. Na figura II.37 apresenta-se um gráfico-tipo dos resultados experimentais, em coordenadas logarítmicas; este gráfico, que diz respeito à obliquidade de 20°, mostra a dependência entre os parâmetros adimensionais considerados representativos da situação de equilíbrio da praia e o valor $H_0^2 C_0$,

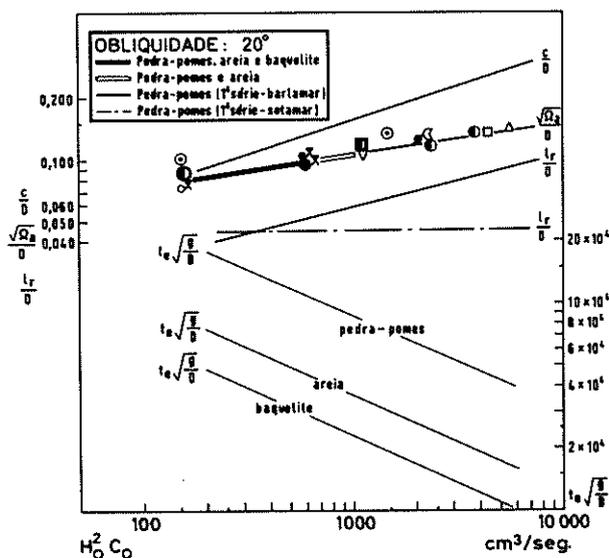


Fig.II.37 - Gráfico-tipo dos resultados experimentais

proporcional à potência transmitida pela onda. Os gráficos que correspondem às obliquidades de 10° e 5° têm características análogas.

O parâmetro $\frac{c}{D}$ diz respeito ao comprimento do esporão, sendo possível fixar um valor máximo desta relação e, para um determinado valor da distância D entre esporões, calcular o comprimento necessário para que haja uma retenção completa do material móvel; no cálculo do comprimento total do esporão deve ter-se em atenção, na prática, a variação de nível devida à maré, o que conduz a fixar um comprimento tal que abranja as cotas extremas impostas pelos níveis de maré e, para além da linha de baixa-mar, um comprimento obtido pelas relações apresentadas neste trabalho; a extensão do enraizamento a partir da linha de preia-mar, será determinada tendo em atenção as possíveis erosões a sotamar junto do esporão, as quais são maiores quando se consideram esporões reflectores.

O valor $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ diz respeito à capacidade de retenção do esporão; este valor, conjugado com outros parâmetros apresentados neste estudo, permite definir as características da zona de enchimento. A recta representativa deste parâmetro, em função de $H_0^2 C_0$, figurou-se com os pontos experimentais referentes aos diversos dispositivos ensaiados; pode avaliar-se facilmente a aproximação com que esses pontos definem a recta de dependência, sendo de notar, apenas, que os maiores desvios se verificam para os ensaios com reprodução de maré. Em relação aos diferentes tipos de materiais móveis ensaiados, dividiu-se a recta em três troços que permitem avaliar a gama de valores para os quais é válida, para cada material, a relação de dependência; os limites assim definidos são devidos à entrada em suspensão do material móvel.

O valor $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ diz respeito ao tempo de estabilização, que é menor para as ondas com maiores valores da potência transmitida; representam-se, para a mesma obliquidade de 20° , as rectas que dizem respeito aos três tipos de materiais utilizados nos ensaios; em relação à pedra-pomes, os tempos de estabilização são menores para a areia e ainda menores para a baquelite; na realidade, embora, para os limites

fixados anteriormente, as outras características da situação de equilíbrio sejam idênticas às da pedra-pomes, a areia e a baquelite, em virtude das suas características granulométricas, atingem essa forma final de equilíbrio em menores tempos.

O valor $\frac{l_r}{D}$ diz respeito à máxima erosão verificada na praia e é apresentado em dois casos, um que diz respeito a um esporão de paramento absorvente (1ª série-barlamar) e outro que diz respeito a um paramento reflector (1ª série-sotamar). Como no primeiro caso (taludes absorventes) a praia se mantém, em geral, junto ao esporão, é o segundo caso (taludes reflectores) que condiciona o comprimento a fixar para a estrutura, pois a erosão neste caso ocorre junto ao paramento do esporão.

Os resultados obtidos dizem respeito ao transporte por arrastamento do material móvel; os valores determinados para os diferentes parâmetros característicos da situação de equilíbrio da praia estão limitados pela entrada em suspensão e é possível determinar valores máximos para esses parâmetros. Na figura II.38 representa-se um gráfico-tipo da evolução da praia, num perfil próximo do esporão, no caso do transporte se fazer por arrastamento ($H_0 = 3,0$ cm) e no caso de haver simultaneamente transporte por arrastamento e em suspensão ($H_0 = 7,0$ cm); no segundo caso verifica-se inicialmente uma erosão, que é posteriormente compensada pelo transporte longitudinal, e a evolução, além de irregular, é limitada. É esta limitação imposta pelo transporte em suspensão que determina os máximos para os parâmetros considerados. Tem que se ter em atenção que, embora em mo

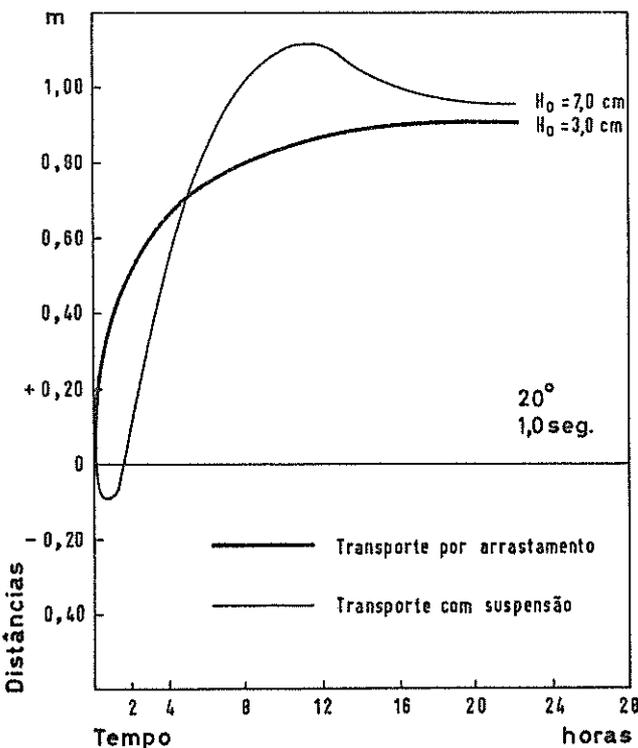


Fig.II.38 - Curvas-tipo de evolução nos casos de transporte por arrastamento e arrastamento com suspensão

fico-tipo da evolução da praia, num perfil próximo do esporão, no caso do transporte se fazer por arrastamento ($H_0 = 3,0$ cm) e no caso de haver simultaneamente transporte por arrastamento e em suspensão ($H_0 = 7,0$ cm); no segundo caso verifica-se inicialmente uma erosão, que é posteriormente compensada pelo transporte longitudinal, e a evolução, além de irregular, é limitada. É esta limitação imposta pelo transporte em suspensão que determina os máximos para os parâmetros considerados. Tem que se ter em atenção que, embora em mo

delo se consiga transporte de material móvel unicamente por arrastamento, na natureza existe sempre transporte por arrastamento simultâneo com transporte em suspensão.

Os resultados obtidos com areia e baquelite não diferem de modo significativo dos resultados obtidos com pedra-pomes, a não ser nos tempos de estabilização, como se viu anteriormente, e nas condições de entrada em suspensão. Sem ter sido feito um estudo preciso das condições em que se dá o transporte por suspensão, apresenta-se o

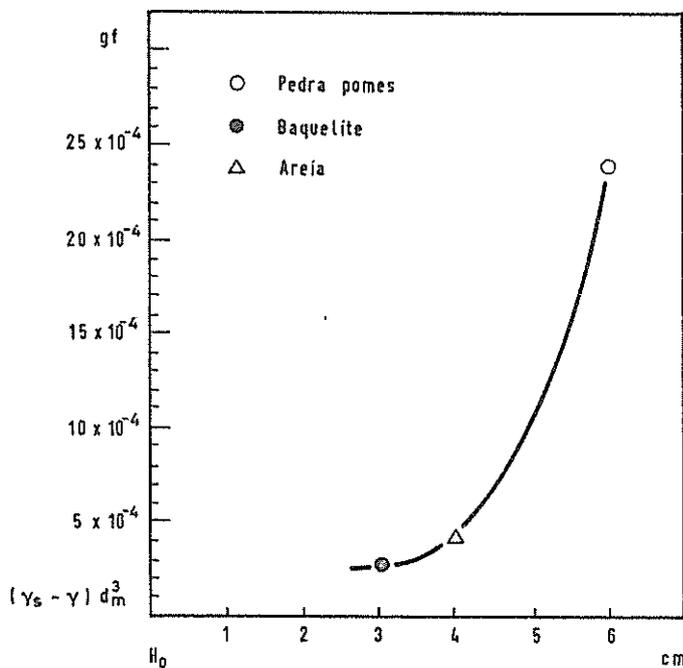


Fig. II.39 - Condições críticas de início de suspensão

gráfico da figura II.39 que diz respeito às condições críticas de início desse fenómeno para os três materiais móveis ensaiados; representam-se em ordenadas os valores de $(\gamma_s - \gamma) \cdot d_m^3$ como um índice do peso do grão, considerando d_m como o diâmetro mediano; em abcissas representam-se as alturas de onda a partir das quais a evolução da praia sofreu a influência do transporte em suspensão. Em virtude das características granulométricas da areia (diâmetro mediano de baixo valor) este material entra em suspensão para valores de H_0 mais baixos do que os verificados para a pedra-pomes, embora o peso específico dos seus grãos seja bastante maior. À baquelite, por ter peso específico do grão baixo e diâmetro mediano reduzido, corresponde o menor valor de H_0 para a entrada em suspensão.

Destas considerações se pode avaliar que o diâmetro do grão é um parâmetro de fundamental importância nos movimentos de materiais móveis.

Relativamente à eficácia dos esporões conclui-se que pode ser ele

vada, mesmo com regimes de agitação bastante variáveis, desde que o dimensionamento se faça de acordo com os máximos definidos neste trabalho, sendo essa eficácia apenas limitada pela possibilidade de transporte em suspensão. O conhecimento da capacidade de retenção dos esporões e da máxima erosão nos troços de praia permite o dimensionamento de modo a não diminuir a eficácia.

Das características mais importantes da evolução destacam-se a capacidade de retenção, determinada a partir de $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$, e o tempo de estabilização, determinado a partir de $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$. No gráfico da figura II.40 apresentam-se as curvas esquemáticas, em coordenadas lineares, relativas a estes dois parâmetros. Como se pode avaliar, as curvas apresentam, para os valores baixos da potência transmitida, grandes variações, mas tendem para valores constantes quando a potência aumenta. O valor de $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ é praticamente constante para uma gama extensa dos maiores valores de $H_0^2 C_0$. O valor de $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ só apresenta valores praticamente constantes para uma gama mais restrita de valores elevados de $H_0^2 C_0$. A capacidade de retenção do esporão aumenta, quando $H_0^2 C_0$ aumenta, até um limite superior; o tempo de estabilização diminui, quando $H_0^2 C_0$ aumenta, até um valor mínimo. Conclui-se que, para a mesma obliquidade, os maiores valores da potência transmitida conduzem, por um lado

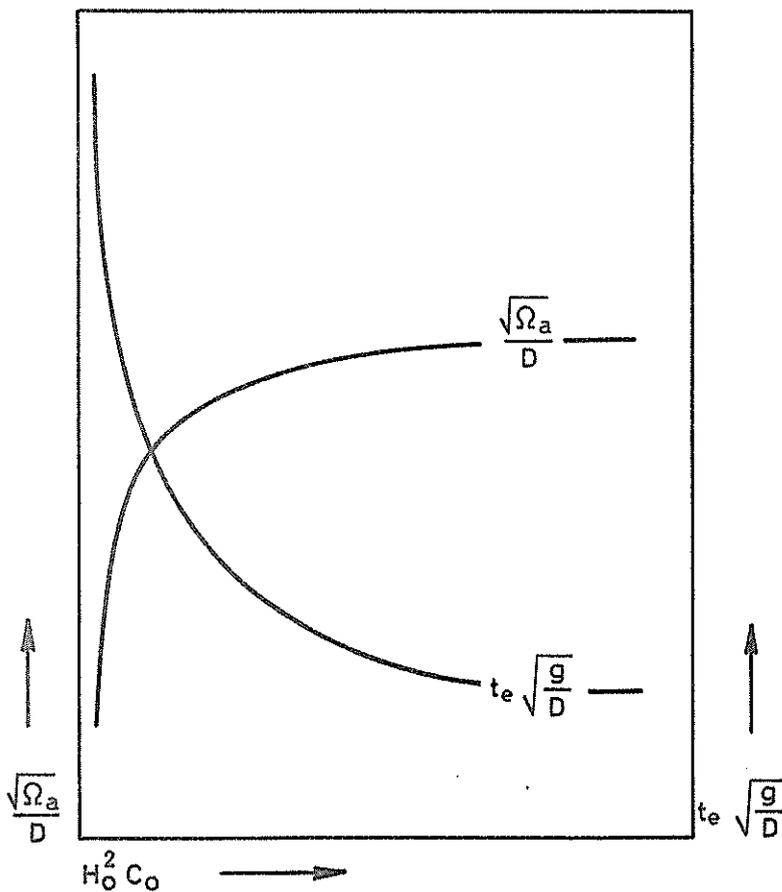


Fig.II.40 - Gráfico esquemático da variação de $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ e $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ em função de $H_0^2 C_0$

ções, mas tendem para valores constantes quando a potência aumenta. O valor de $\frac{\sqrt{\Omega_a}}{D}$ é praticamente constante para uma gama extensa dos maiores valores de $H_0^2 C_0$. O valor de $t_e \sqrt{\frac{g}{D}}$ só apresenta valores praticamente constantes para uma gama mais restrita de valores elevados de $H_0^2 C_0$. A capacidade de retenção do esporão aumenta, quando $H_0^2 C_0$ aumenta, até um limite superior; o tempo de estabilização diminui, quando $H_0^2 C_0$ aumenta, até um valor mínimo. Conclui-se que, para a mesma obliquidade, os maiores valores da potência transmitida conduzem, por um lado

do, a capacidades de retenção pouco variáveis com a potência e, por outro lado, à possibilidade de evoluções muito rápidas da praia.

Como conclusões de índole prática mais importantes referem-se a vantagem de se utilizarem esporões curvos, cuja implantação é condicionada pelas características do regime de agitação local, de modo a serem criadas zonas de difracção a sotamar que evitem as erosões localizadas junto ao esporão, e o uso de taludes absorventes com inclinações $2/1$. Em face das características do funcionamento hidráulico nos troços de barlar e sotamar preconiza-se a adopção de taludes $2/1$ a sotamar e taludes $5/4$ a barlar, o que se julga ser uma estruturação funcional para um esporão. Para esporões revestidos com enxilharia, necessariamente reflectores, mais se impõe o uso de directrizes curvas.

A principal aplicação deste trabalho será no projecto de campos de esporões. No início do estudo apresentou-se uma fotografia do campo de esporões da ilha de Luanda (figura I.6), na qual se podem apreciar alguns troços de praia entre esporões cujas curvas de evolução são do tipo das que foram obtidas neste trabalho; na mesma fotografia vêem-se troços de praia, localizados para barlar, em que se podem distinguir diversas fases da evolução que se deu quando as areias transpuseram a extremidade dos esporões. Neste caso, os esporões podem con-

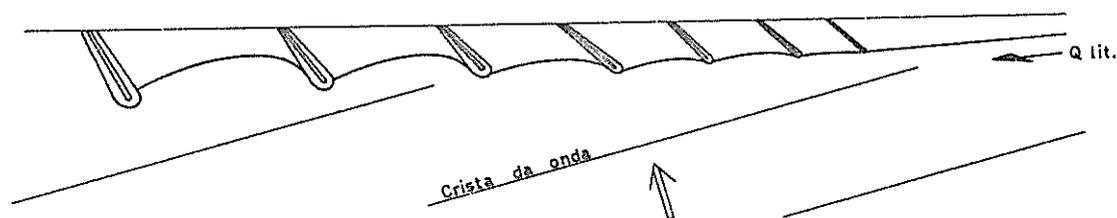


Fig.II.41 - Esquema da perspectiva do campo de esporões da ilha de Luanda

siderar-se retardadores e do seu funcionamento pode ter-se uma ideia a partir dos resultados obtidos no ensaio-piloto deste estudo. O interesse dos resultados do estudo experimental reside precisamente, na sua utilização para o dimensionamento inicial do campo de esporões, de modo a garantir a permanência da areia em condições que satisfaçam o

fim em vista, quer em casos em que não haja a possibilidade de futuro enchimento completo, por não haver transposição das areias pela extremidade dos esporões, quer em circunstâncias em que se preveja esta possibilidade, como no caso esquematizado na figura II.41.

Após a realização deste trabalho reconhece-se a necessidade de futuros estudos respeitantes aos seguintes aspectos:

- influência da inclinação da praia em perfil transversal;
- determinação das velocidades das correntes longitudinais e de retorno junto ao esporão;
- actuação de trens de ondas;
- mecânica do transporte por arrastamento e suspensão;
- tipos estruturais de esporões, nomeadamente esporões baixos, esporões permeáveis e esporões de tetrápodos;
- funcionamento de esporões retardadores;
- actuação de ciclos de ondulação;
- efeito de escala.

CAP. III

OBSERVAÇÕES NA NATUREZA

1 - GENERALIDADES

A análise dos fenómenos naturais é um aspecto fundamental de qualquer estudo, analítico ou experimental, e já foi referida na Introdução; para este fim realizaram-se visitas de estudo a praias em que há casos de erosão costeira e procedeu-se à apreciação de elementos da evolução dessas praias e do projecto das respectivas obras de defesa^(*).

As praias e obras observadas localizam-se na costa da Metrópole e foram consideradas em virtude da facilidade de deslocação dos técnicos deste Laboratório a esses locais. Foram feitas visitas de estudo periódicas às obras de defesa do conjunto de praias Cova do Vapor - Caparica, ao campo de esporões da praia de Espinho e ao esporão da praia do Estoril.

2 - OBRAS DE DEFESA COSTEIRA DAS PRAIAS DA COVA DO VAPOR E CAPARICA

A zona que compreende a Cova do Vapor e Caparica é uma extensa formação arenosa onde se tem processado uma grande erosão desde aproximadamente 1930. Nos anexos 32 e 33 apresentam-se duas plantas hidrográficas do estuário do Tejo, que dizem respeito, respectivamente, aos anos de 1929 e 1960; da sua análise se pode avaliar a erosão que ocorreu na zona Cova do Vapor-Caparica nesse período de

(*) - Elementos fornecidos pela Direcção dos Serviços Marítimos. (DSM)

30 anos.

A zona mais atingida, que justificou as primeiras medidas de defesa, foi a Cova do Vapor onde se construiu em 1959 o esporão que neste estudo se designa por E1; os esporões designados por E2 e E3 foram construídos posteriormente, o primeiro em Outubro de 1962 e

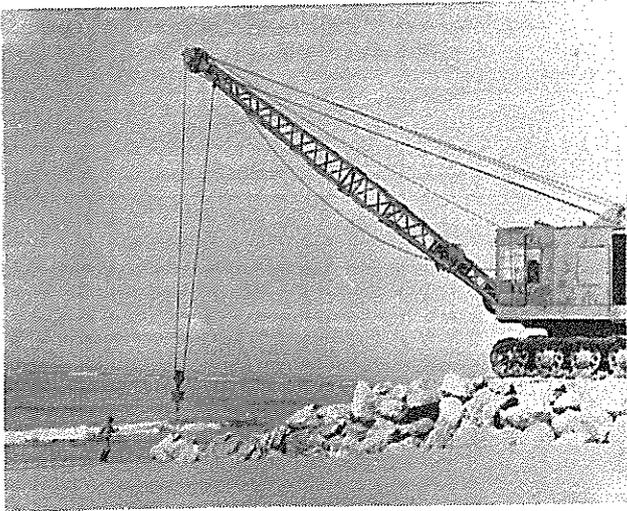


Fig.III.1 - Construção do esporão E3



Fig.III.2 - Estrutura do esporão de madeira (fase de ruína)

o segundo no primeiro semestre de 1963. Na figura III.1 apresenta-se uma fotografia duma fase da construção do esporão E3 em que se procedia à colocação de enrocamento por meio de um guindaste que se deslocava na plataforma superior do esporão. Associada a estes esporões existe uma defesa frontal de enrocamento, destinada a evitar que o espraiamento da onda atinja as edificações marginais. A sul do esporão E1 houve uma tentativa de implantação de um esporão de madeira, tentativa que resultou infrutífera, na medida em que os temporais que ocorrem nesta zona determinam solicitações que levam à ruína este tipo de estruturas (ver figura III.2).

As obras de defesa da Caparica eram constituídas até 1965 por um dique longitudinal de protecção da zona urbanizada que se situa a cotas muito baixas, inferiores ao nível médio do mar em algumas zonas; este dique, de estrutura muito aligeirada, destinava-se unicamente a evitar as inundações provenientes do espraiamento da onda entre as dunas que existiam na época em que se construiu o dique. Nas figuras

III.3 e III.4 mostram-se duas fotografias do dique da Caparica, a primeira referente à estrutura inicial e a segunda às obras de reforço



Fig.III.3 -Dique da Costa da Caparica
(Agosto de 1962)

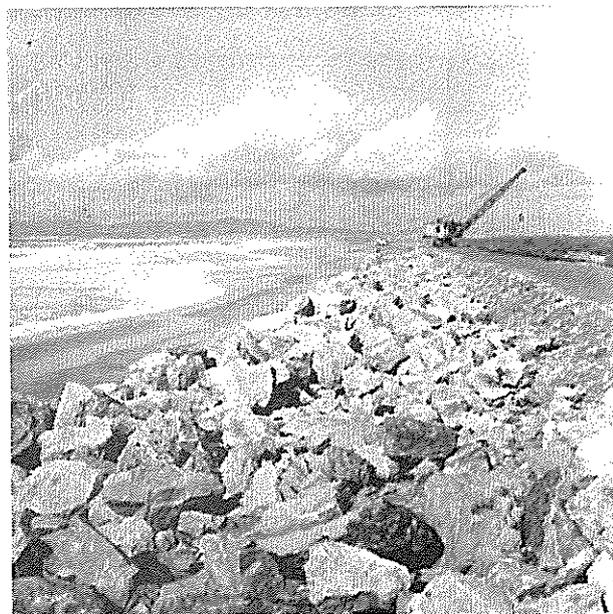


Fig.III.4 -Reforço do dique da Costa
da Caparica (Janeiro de 1965)

impostas pela ameaça de actuação directa do mar.

No anexo 34 apresenta-se uma planta hidrográfica das praias da Cova do Vapor e Caparica, na qual estão assinaladas as obras referidas.

A grande erosão verificada na praia da Caparica, que se pode avaliar pelo gráfico da figura III.5, com o conseqüente desaparecimento das dunas, pôs em risco as instalações balneares existentes na praia; o gráfico anterior diz respeito a um perfil transversal cuja localização se pode ver no anexo 34. Após as destruições documentadas na figura III.6 (fotografia de uma situação que ocorreu em Fevereiro de 1964) procedeu-se ao reforço do dique, à construção duma defesa frontal e dum esporão nela enraizado. Estas obras encontram-se presentemente em curso; na figura III.7 pode ver-se uma fase dessas obras de emergência. À data de elaboração deste relatório está sendo feito na DSM o projecto dum campo de esporões e duma defesa longitudinal que abrange o conjunto Cova do Vapor - Caparica.

O caso destas praias é caracterizado por um processo de acenu

tuada erosão que tem sido combatida com obras de emergência que, em virtude do seu dimensionamento, têm um campo de acção muito limita-

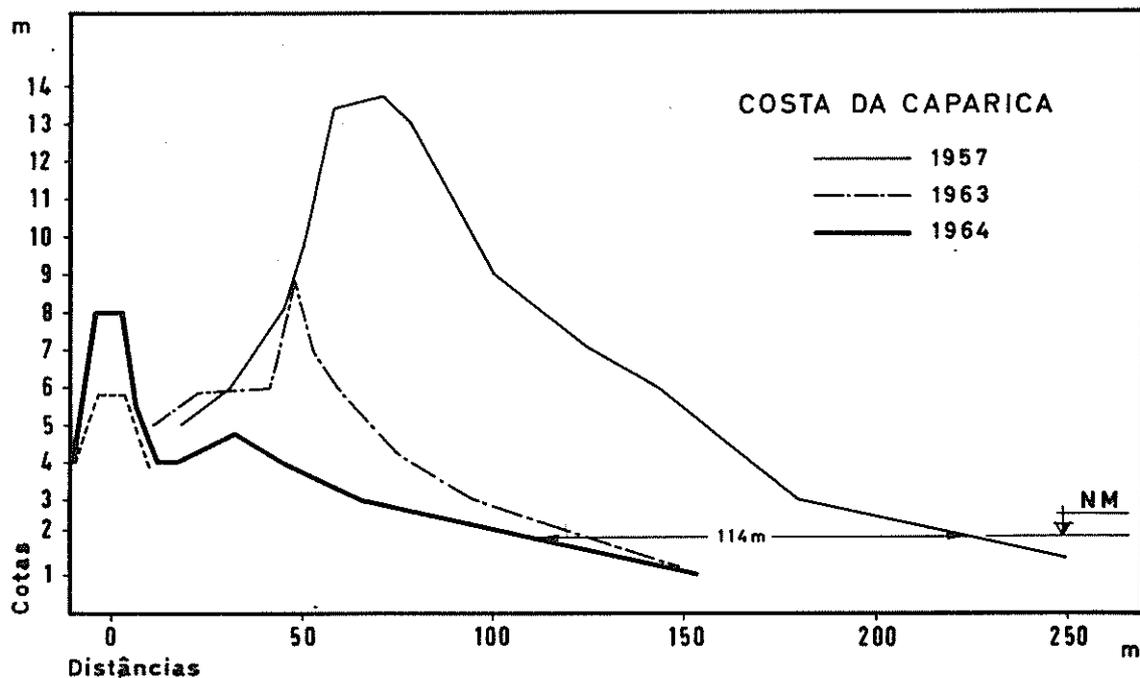


Fig.III.5 - Evolução de um perfil transversal na Caparica

do e, como consequência, defendem zonas muito restritas, o que não evita a erosão da quase totalidade da praia. Como consequência dos movimentos aluvionares que se verificam nestas praias originou-se na zona norte da Cova do Vapor uma formação arenosa, de rápida progressão para o interior do estuário, a qual, embora inflectindo para a costa,



Fig.III.6 - Destruições de Fevereiro de 1964 na Caparica

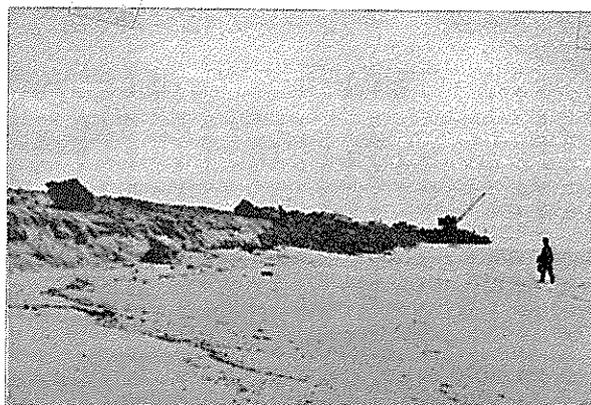


Fig.III.7 - Obras de emergência para defesa da Caparica (Fevereiro de 1965)

está pondo em risco de assoreamento as obras portuárias da NATO que se encontram em construção (ver anexo 35).

No anexo 34 estão representados os três esporões que, juntamente com a defesa frontal, constituem a obra de defesa da Cova do Vapor. Na figura III.8 mostra-se uma vista da defesa frontal e do

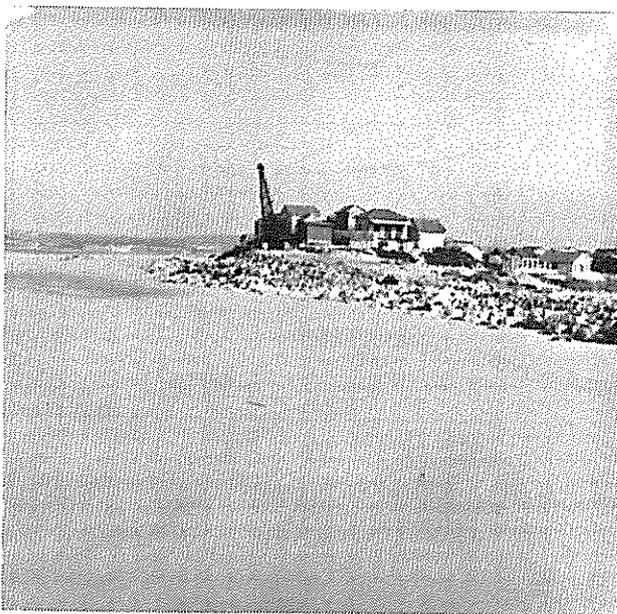


Fig.III.8 - Esporão E2 e defesa frontal. Cova do Vapor, Novembro de 1962



Fig.III.9 - Esporões E1 e E3 vistos de E2. Cova do Vapor, Fevereiro de 1965

esporão E2, este último difícil de distinguir em virtude das suas reduzidas dimensões; esta fotografia diz respeito a uma situação de baixa-mar. Na figura III.9 mostra-se uma vista dos esporões E1 e E3, na qual se distingue, também, um troço da defesa frontal; esta fotografia foi tirada em preia-mar. A eficácia destes esporões é muito reduzida, na medida em que, por serem muito curtos, não têm interferência no caminhamento de materiais móveis em muitos estados de maré, pelo que a sua capacidade de retenção é muito limitada; destes três esporões é o esporão E1 que se encontra implantado em melhores condições e, por este motivo, se procedeu à análise do seu funcionamento hidráulico.

Na figura III.10 podem avaliar-se as características de evolução da praia em zonas adjacentes ao esporão E1, nos perfis definidos na planta do anexo 34. A evolução é representada pelas distâncias, em

cada perfil, a que a linha + 2,0 m, em relação ao zero hidrográfico, se encontra da linha de referência definida na planta do anexo 34. Na

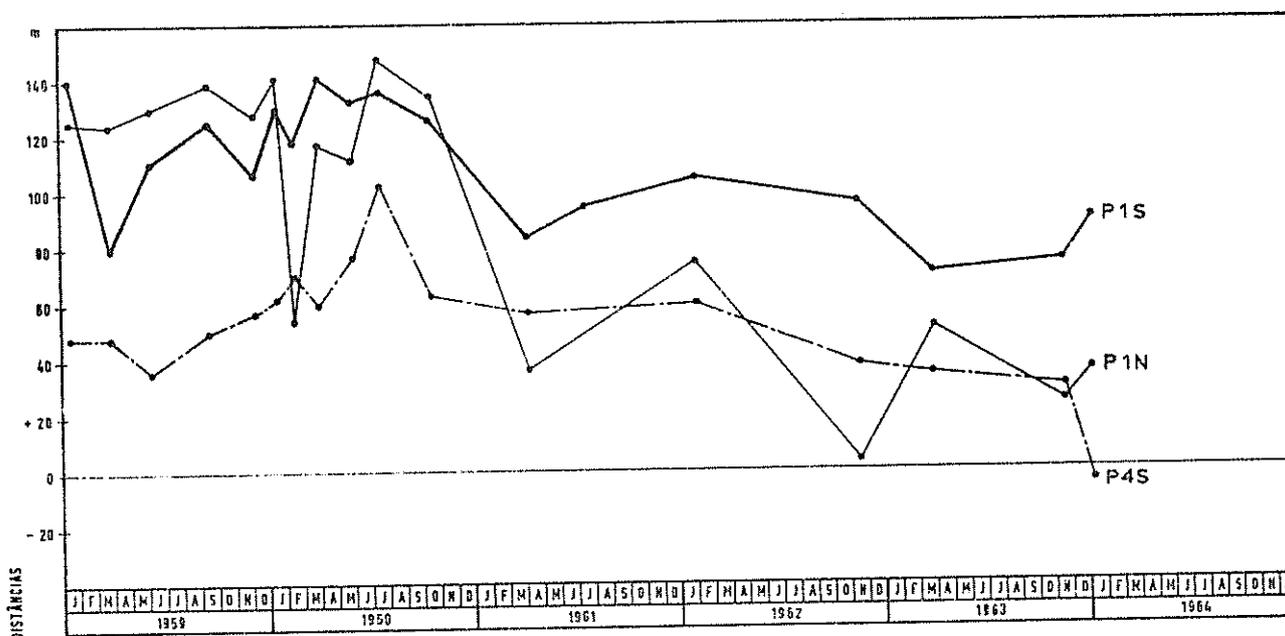


Fig. III.10 - Evolução de perfis transversais na Cova do Vapor

fotografia I.1, apresentada no Cap. I, pode ver-se a zona de enchimento do esporão, junto ao paramento sul, e a zona de erosão junto do paramento norte. Verifica-se que o esporão, no que respeita à zona de enchimento, teve um funcionamento regular de Março a Setembro de 1959, ou seja, nos seis primeiros meses após a sua construção (no cap. IV será feita referência mais detalhada a esta evolução). A actuação da onda é caracterizada por obliquidades que dão origem a componentes longitudinais dirigidas para o quadrante norte; estas obliquidades atingem valores elevados, como se pode avaliar pela fotografia da figura III.11. No capítulo seguinte serão feitas algumas considerações sobre as condições de propagação da ondulação nesta zona. Deve já referir-se que as características da ondulação ao longo do desenvolvimento deste troço de costa, são muito variáveis e as obliquidades podem, em certas zonas, originar componentes longitudinais de sentido oposto ao referido anteriormente; verifica-se, em geral, a existência de uma zona, para norte, em que as correntes longitudinais são dirigidas para o quadrante norte e uma zona, para sul, em que as corren

tes longitudinais têm sentido contrário, havendo uma zona neutra intermédia.



Fig.III.11 - Actuação da onda na zona do esporão E1

A análise do gráfico da fig.III.10 mostra, ainda, que o esporão E1, após ser atingido um máximo de enchimento, teve uma erosão progressiva (da ordem de grandeza de 30 metros) com tendência para estabilizar. De uma maneira geral a praia recuou, quer nos perfis a norte do esporão, quer nos perfis a sul. Na realidade, a associação dos movimentos transversais com o transporte longitudinal a cotas inferiores à da extremidade do esporão, para determinados estados de maré, origina que haja deslocações não recuperáveis de materiais da zona de enchimento.

Note-se que o esporão E3 poder-se-ia considerar na situação do esporão central do dispositivo de ensaio deste trabalho se tivesse um comprimento que permitisse a retenção das areias de forma eficaz. Embora não tenha sido possível estabelecer valores para as relações definidas neste estudo, em virtude das deficientes condições de funcionamento deste esporão, podem avaliar-se no anexo 35 as características de uma situação do troço de praia compreendido entre E1 e E3, a qual é semelhante às formas de evolução referidas neste estudo; eviden-

cia-se, nesse anexo, a obliquidade de actuação da onda e a dissipação de energia junto ao paramento de sotamar de E1, que é do tipo absorvente.

De uma maneira geral pode dizer-se que as obras de defesa da Cova do Vapor, bem como as actuais obras da Caparica, apresentam



Fig.III.12 - Pormenor da construção do esporão E2

o inconveniente de terem esporões muito curtos e com a extremidade a cotas muito elevadas o que, dando origem a uma reduzida eficácia, não permitiu um funcionamento hidráulico susceptível de apresentar grande interesse para este estudo. Faz-se, ainda, referência ao facto destes esporões terem uma estrutura muito simples, como se mostra no perfil transversal - tipo do anexo 36; estes esporões não têm tipo especial de infraestrutura como se pode ver na figura III.12 em que se apresenta um pormenor da construção de um dos esporões da Cova do Vapor.

3 - CAMPO DE ESPORÕES DA PRAIA DE ESPINHO

As obras de defesa do litoral de Espinho tiveram início em 1911 e foram motivadas pela acentuada erosão que se vinha processando nesta longa zona arenosa. Presentemente existem 7 esporões que abrangem um desenvolvimento de 1350 metros; estes esporões limitam troços de praia que constituem, pela rebentação das ondas que originam, uma protecção natural, a qual, associada a uma obra de defesa longitudinal, protege a zona urbanizada marginal da actuação do mar que, nesta zona da costa, é particularmente violento. Nas figuras III.13 e III.14 apresentam-se aspectos do campo de esporões e da defesa longitudinal, a qual, num dos troços da praia, é dotada de um paramento curvo no muro cortina que funciona como inflector de jacto.

Actualmente tem-se posto o problema de alargar a praia de Espinho com vista à sua valorização turística.



Fig.III.13 - Vista parcial do campo de esporões de Espinho



Fig.III.14 - Vista da defesa frontal com inflector de jacto

As características do regime de agitação, que podem ser consideradas em aproximação análogas às observadas ao largo da zona da Figueira da Foz, são apresentadas no anexo 37^(*). Para a altura e o período das ondas consideraram-se valores significativos. Verifica-se que as ondas provenientes do quadrante WN apresentam maior ocorrência e que as máximas alturas ao largo podem atingir valores da ordem de grandeza dos 11 metros com períodos da ordem dos 18 seg, o que permite dizer que esta zona da costa é submetida a temporais muito violentos. Na realidade, os esporões foram sujeitos a grandes destruições e houve necessidade de proceder, por vezes, à sua recarga (ver figura III.15). A predominância da actuação de ondas provenientes do

(*) - Os elementos apresentados neste anexo dizem respeito a um estudo do regime de agitação marítima na costa oeste da Metrópole, realizado no LNEC. Não se faz qualquer citação bibliográfica pois, embora os elementos que se apresentam já tenham sido publicados e utilizados na prática, a publicação em que se dá conhecimento desse estudo encontra-se, à data de elaboração deste relatório, em impressão.

quadrante WN origina que o enchimento dos esporões se faça, em geral, da forma que se mostra na figura III.16.



Fig. III.15 - Destruições nos esporões da praia de Espinho



Fig. III.16 - Vista da zona de enchimento de um esporão na praia de Espinho

As variações do regime de agitação dão origem a evoluções dos troços de praia do tipo das que se apresentam no anexo 38, mas o estudo das características destas evoluções e sua comparação com os resultados experimentais deste estudo não foram possíveis em virtude dos esporões serem demasiado curtos e de não haver levantamentos periódicos que permitam acompanhar com detalhe essa evolução.

4 - ESPORÃO DA PRAIA DO ESTORIL

O esporão construído no Estoril estabilizou uma praia artificial formada numa zona de grande interesse turístico. Trata-se de um esporão revestido de enxilharia que permite o acesso a embarcações de recreio. Inicialmente foi considerada a alimentação artificial periódica da praia e, para este efeito, o esporão seria dotado de uma conduta interior que permitiria a ligação, na extremidade do esporão, a uma unidade repulsora e, ao nível da praia, ligação a uma conduta longitudinal com diversas saídas ao longo do desenvolvimento da praia, por onde se faria a saída das areias repulsadas. Este sistema, segundo informações obtidas na

DSM, não chegou a ser utilizado. Na realidade, supõe-se que nesta praia existe um transporte litoral muito reduzido, que equilibra as eventuais erosões originadas por movimentos transversais, o que origina que a praia se mantenha estável.

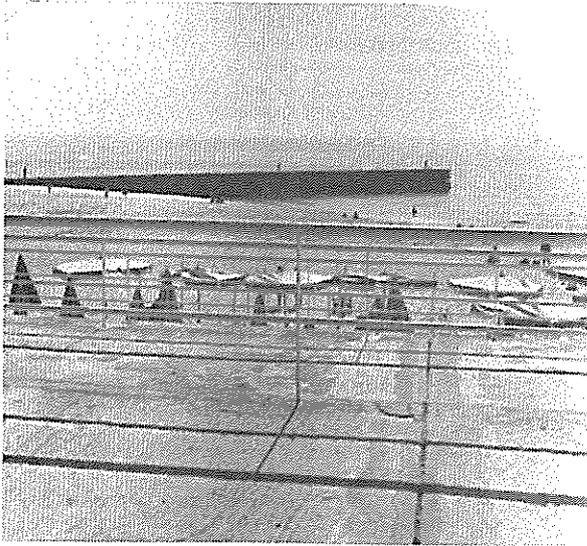


Fig.III.17 - Vista do esporão do Estoril dem avaliar as condições de propagação da ondulação até esta praia; como se vê, a obliquidade da onda considerada é tal que originaria um transporte para nascente se não existisse o esporão retentor; como se poderia ver num plano de ondulação de pormenor, e como se pode reconhecer no próprio local, a onda actua a praia frontalmente, o que é característico duma situação de equilíbrio.

No que respeita à estrutura deste esporão, que obedece a condicionamentos arquitectónicos em virtude do seu enquadramento numa zona turística, pode ver-se um perfil transversal - tipo no anexo 36.

5 - CONCLUSÕES

Podem considerar-se, fundamentalmente, as seguintes conclusões referentes às obras visitadas:

— As obras de defesa costeira existentes na Metrópole são constituídas por esporões muito curtos, o que diminui consideravelmente a sua eficácia; este aspecto é particularmente importante nas obras de defesa do conjunto Cova do Vapor - Caparica.

— A estruturação dos esporões deverá ser revista, nomeada-

mente o problema da infraestrutura. Este aspecto é muito importante em virtude das características do regime de agitação na costa da Metrópole. Referem-se especialmente, para evidenciar e justificar esta conclusão, as destruições que se têm verificado no esporão E1 da Cova do Vapor e nos esporões da praia de Espinho.

— Não se considera viável o uso, na costa da Metrópole, de esporões de estrutura aligeirada, do tipo dos esporões de madeira ou metálicos, em consequência, evidentemente, das características dos temporais que assolam esta costa. Consequentemente, o emprego de estruturas permeáveis não será, em geral, possível.

— A falta de elementos respeitantes à evolução das praias em que se estudam problemas de erosão costeira, aliada à falta de elementos completos e precisos do regime de agitação, origina que seja bastante difícil o estudo dos fenómenos reais, bem como os estudos comparativos modelo - protótipo, nomeadamente no que respeita ao estudo do efeito de escala.

CAP. IV

CONSIDERAÇÕES SUMÁRIAS SOBRE CAUDAL SÓLIDO LITORAL

1 - GENERALIDADES

O movimento de materiais móveis em praias arenosas é, como foi dito no cap. I, caracterizado fundamentalmente por um transporte longitudinal devido à actuação oblíqua das ondas. Este transporte de materiais pode considerar-se, quantitativamente, como um volume de areias transportado numa unidade de tempo através duma secção, valor que se designa por caudal sólido litoral.

Os esporões, sendo elementos de retenção de materiais móveis, permitem conhecer o volume acumulado numa dada secção, num determinado intervalo de tempo e, conseqüentemente, avaliar o caudal sólido litoral.

A relação de dependência entre o caudal sólido litoral e as características da onda não é ainda conhecida mas, segundo alguns autores [4], existem as seguintes relações de proporcionalidade:

$$Q_{lit} \sim H_0^2 L_0 \qquad Q_{lit} \sim H^2 T \qquad (5)$$

Estas expressões consideram o mesmo material homogéneo, obliquidade constante e igual profundidade h na base do talude da praia; estabelecem a proporcionalidade entre o caudal sólido litoral e as características da onda ao largo ou à profundidade h .

O estudo dos movimentos aluvionares faz-se actualmente utilizando técnicas aperfeiçoadas, como sejam o emprego de radioisótopos

ou luminescentes, os quais não permitem, no entanto, determinar os valores do caudal sólido litoral. Para conhecer estes quantitativos recorre-se a medições feitas na natureza, em obras reais ou experimentais, e a ensaios, em modelo reduzido, onde é possível estudar separadamente a influência dos diferentes parâmetros que intervêm no fenómeno.

2 - CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Considera-se, como hipótese básica destas deduções teóricas, o caudal sólido litoral uma função da potência transmitida pela onda, a qual, às profundidades onde têm lugar os fenómenos de transporte de materiais, é igual à potência total e proporcional a $H^2 C$. As considerações que se seguem dizem respeito unicamente ao transporte por arrastamento.

Se for $(\gamma_s - \gamma)$ o peso específico do material sólido submerso, pode considerar-se que $\beta \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot dw \cdot v$ é a potência necessária para o movimento de um elemento de volume dw , animado de velocidade v , variável em cada ponto e em cada instante, sendo β o coeficiente de atrito do movimento por arrastamento dos grãos. Admitindo que a potência desenvolvida no transporte dos grãos é uma fracção η da potência transmitida pela onda, tem-se

$$\int_V \beta \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot dw \cdot v = \eta P_{tr} \quad (6)$$

V - volume de material que atravessa uma dada secção na unidade de tempo. Considerando para os grãos uma secção transversal $d\Omega$, perpendicular à trajectória, e uma dimensão dl no sentido do deslocamento, tem-se, para uma secção transversal Ω :

$$\begin{aligned} \int_V \beta \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot dw \cdot v &= \int_{\Omega} [\beta \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot dl \cdot v] \cdot d\Omega = \beta \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot dl \cdot \int_{\Omega} v \cdot d\Omega = \\ &= \beta \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot dl \cdot Q_{lit} \end{aligned} \quad (7)$$

No que se refere à secção transversal Ω convém, à parte o carácter muito geral que têm estas considerações, precisar alguns aspectos. Assim, tendo em vista que o transporte longitudinal por arrastamento se processa ao longo de uma faixa rectangular com uma largura (transversalmente) que será obviamente função das características da onda e da praia (mais precisamente, será dependente da posição da linha de

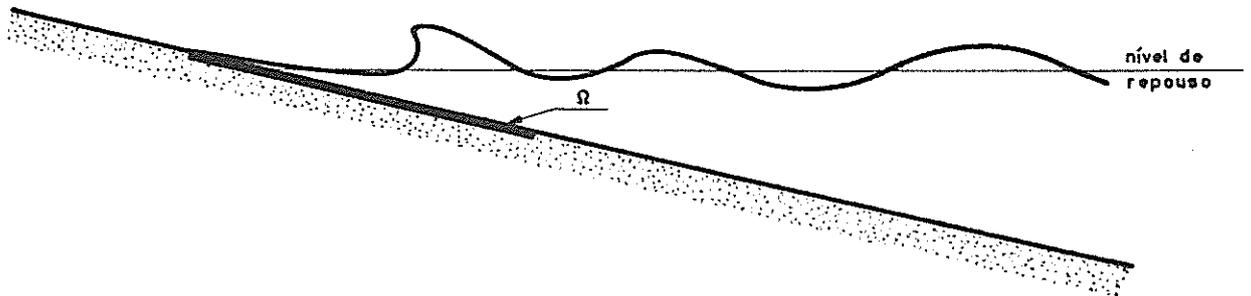


Fig.IV.1 - Definição esquemática da zona onde se processa o transporte por arrastamento

rebentação, espraiamento da onda e inclinação da praia) e uma altura que será função da dimensão dos grãos, a área Ω que é uma área total, tem uma secção líquida e uma secção sólida; a consideração de uma concentração do material sólido, afectando a secção elementar $d\Omega$, que no caso do transporte por arrastamento se aproxima da unidade, permitirá calcular o integral $\int_{\Omega} v \cdot d\Omega$ tendo em atenção a área ocupada pela parte sólida:

Em virtude da relação (6) pode escrever-se:

$$\beta \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot dl \cdot Q_{lit} = \eta P_{tr} \quad (8)$$

A potência transmitida, para uma largura b de crista^(*), em profundidades reduzidas, próximo da rebentação, é dada por:

$$P_{tr} = \frac{W_{tr}}{T} = \frac{1}{8} \rho g \cdot H^2 \frac{L}{T} \cdot b = \frac{1}{8} \gamma H^2 C \cdot b \quad (9)$$

(*) b é a distância entre ortogonais que se definiu na fig.II.11.

Das expressões anteriores deduz-se:

$$Q_{lit} = \frac{\eta \cdot \frac{1}{8} \cdot \gamma \cdot H^2 C \cdot b}{\beta \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot dl} = k H^2 C$$

η e b , e portanto k , dependem, em princípio, da obliquidade da onda e das características da praia.

A expressão que relaciona o caudal sólido litoral com a potência transmitida pela onda é, portanto, do tipo:

$$Q_{lit} = k H^2 C \quad (10)$$

Verifica-se que o caudal sólido litoral é proporcional à potência transmitida pela onda e que a constante de proporcionalidade depende das características do material móvel (no que respeita ao seu peso específico, dimensões e coeficiente de atrito) e da fracção da potência transmitida que origina o transporte longitudinal de material móvel. Este último valor, η , dependerá, fundamentalmente, da obliquidade de actuação da onda sendo evidente que, nas considerações anteriores, se considera constante a obliquidade de actuação.

A aplicação do teorema fundamental da Análise Dimensional, para a hipótese básica citada anteriormente, confirma este tipo de relação. Se, para uma praia de material homogéneo, actuada por uma onda de determinada obliquidade, for considerado o caudal sólido dependente da altura da onda e da sua celeridade, tem-se, adoptando o sistema métrico de unidades (FLT), a seguinte matriz dos expoentes das expressões dimensionais das variáveis:

	F	L	T	
Q_{lit}	0	3	-1	(11)
H	0	1	0	
C	0	1	-1	

Um menor não nulo será:

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{vmatrix} = -1 \quad (12)$$

Segundo o teorema citado tem-se $r - n = 3 - 2 = 1$ monómio adimensional:

$$\pi_1 = H^\alpha C^\beta Q_{lit} \quad (13)$$

Exprimindo em função das grandezas fundamentais e tendo em atenção a condição de adimensionalidade do monómio tem-se:

$$\pi_1 = L^\alpha L^\beta T^{-\beta} L^3 T^{-1} = L^{\alpha+\beta+3} T^{-\beta-1}$$

$$\begin{cases} \alpha + \beta + 3 = 0 \\ -\beta - 1 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \alpha = -2 \\ \beta = -1 \end{cases}$$

$$\pi_1 = H^{-2} C^{-1} Q_{lit} = \frac{Q_{lit}}{H^2 C}$$

Se designarmos π_1 por k , obtem-se:

$$Q_{lit} = k H^2 C \quad (14)$$

Verifica-se que o caudal sólido, para uma determinada praia e uma determinada obliquidade de actuação da onda, é proporcional ao produto $H^2 C$.

3 - ESTUDO EXPERIMENTAL

As medições de caudal sólido, que constituíram um aspecto secundário do trabalho, foram realizadas de modo a determinar, com aproximação suficiente, o valor desta grandeza em função das características da onda actuante, sem que essas medições alterassem o plano de ensaios estabelecido para o estudo das características de evolução de praias localizadas entre esporões. Assim, a técnica de medição do caudal sólido fez-se da forma mais simples, medindo a área do material mó

vel retido pelo esporão central do dispositivo da 1ª série de ensaios no fim da primeira hora de actuação da onda em cada ensaio, valor que, multiplicado por uma altura média de acumulação em perfil transversal, permite calcular um volume médio horário de retenção; no anexo 41 encontram-se representados os elementos-tipo utilizados na determinação dos valores.

Como se pretende determinar o valor do caudal sólido, que teria lugar numa praia em equilíbrio dinâmico actuada pela onda, considerou-se o volume retido pelo esporão na primeira hora de ensaio, quando a praia entre esporões ainda não apresenta grande alteração na zona de erosão; no anexo 41 pode ver-se um gráfico que traduz a variação do caudal sólido litoral em função do tempo, desde um valor máximo, no início do ensaio, até se anular, quando a praia atinge a situação de equilíbrio. O valor máximo, calculado a partir do volume retido na primeira hora de ensaio, é aproximadamente igual ao caudal sólido que se verificaria, em regime de equilíbrio dinâmico, na secção transversal da praia onde se localiza o esporão. O valor assim determinado será aproximadamente igual à capacidade de transporte da onda, a qual é proporcional a $H^2 C$ e a uma função trigonométrica da obliquidade de actuação. A gama de valores ensaiados permite estabelecer as relações entre a capacidade de transporte da onda e o produto do parâmetro $H^2 C$ pela função trigonométrica do ângulo de ataque. Para o estudo experimental já se viu anteriormente que se pode admitir o parâmetro $H_o^2 C_o$ como sendo proporcional à potência transmitida junto à praia.

As disponibilidades de tempo e de materiais móveis, estes no que respeita aos volumes disponíveis, originaram que se fizessem as determinações de caudal sólido apenas com pedra-pomes, na 1ª série de ensaios, em que o dispositivo experimental apresentava um troço de praia com extensão suficiente para que as medições se fizessem com boa aproximação.

No anexo 41 estão representados em gráfico logarítmico os resultados obtidos com pedra-pomes. A gama de valores ensaiados, que apresenta valores máximos da ordem de grandeza de $5000 \text{ cm}^3/\text{seg}$, diz

respeito a transporte por arrastamento; para valores superiores de $H_0^2 C_0$ o material entra em suspensão e a determinação do caudal sólido pelo método anterior deixa de ser válida. Foram ensaiados valores respeitantes às três obliquidades (20° , 10° e 5°) e os valores experimentais permitem definir três rectas paralelas no gráfico logarítmico; a partir das equações dessas rectas é possível definir uma relação do tipo:

$$Q_{lit} = k H_0^2 C_0 \quad (15)$$

k depende da obliquidade da onda.

Esta equação mostra que o caudal sólido litoral é directamente proporcional ao parâmetro $H_0^2 C_0$, isto é, directamente proporcional à potência transmitida pela onda.

No gráfico anterior adoptaram-se unidades com um significado prático mais evidente no que respeita às medições experimentais, isto é, m^3 /hora para o caudal sólido e cm^3 /seg para o parâmetro $H_0^2 C_0$. As rectas definidas pelos pontos experimentais permitem deduzir, após a conversão de unidades de Q_{lit} de m^3 /hora para cm^3 /seg, a seguinte relação:

$$Q_{lit} = 3 \cdot 10^{-2} \cdot H_0^2 C_0 \cdot \text{sen}^2 2\alpha_0 \quad (cm^3/seg) \quad (16)$$

No anexo 41 figura um gráfico, em coordenadas lineares, no qual a relação anterior é representada, para cada obliquidade, por uma recta, em virtude de, no gráfico logarítmico, se ter uma relação de dependência com expoente unitário para $H_0^2 C_0$. Essas rectas são concorrentes na origem, como era de esperar, pois o anulamento do caudal sólido dá-se, teòricamente, para o anulamento da potência transmitida; na realidade, as condições de anulamento do transporte litoral devem ser função de condições críticas de arrastamento que não foram estudadas devido à índole dos ensaios e à técnica experimental adoptada.

O gráfico referido anteriormente permite ter uma ideia da fracção da potência transmitida que determina o caudal sólido litoral. Assim, se considerarmos um valor $H_0^2 C_0 = 1000 cm^3/seg$, que correspon-

de, por exemplo, a uma onda com $T = 1,5$ seg e $H_0 = 2,0$ cm (ver anexo 17), tem-se, para $\alpha_0 = 10^\circ$, o valor $Q_{lit} = 3,6$ cm³/seg. A expressão mais geral da relação entre o caudal sólido litoral e a potência transmitida pela onda será do tipo:

$$(\gamma_s - \gamma) Q_{lit} = K \frac{1}{16} \gamma H_0^2 C_0 \text{sen}^2 2\alpha_0 \quad (17)$$

em que o caudal sólido litoral é inversamente proporcional ao peso específico dos grãos submersos e tem-se:

$$Q_{lit} = K \frac{1}{16} \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} H_0^2 C_0 \text{sen}^2 2\alpha_0 \quad (18)$$

Do confronto com a equação (16) obtida experimentalmente deduz-se:

$$K \frac{1}{16} \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} = 3 \cdot 10^{-2}$$

donde se calcula, para o caso da pedra-pomes, com $\gamma_s = 1,67$ gf/cm³, $K = 0,32$. Então, a expressão (17) pode escrever-se:

$$(\gamma_s - \gamma) Q_{lit} = 0,32 \cdot \frac{1}{16} \cdot \gamma H_0^2 C_0 \cdot \text{sen}^2 2\alpha_0$$

Para $\alpha_0 = 10^\circ$, vem $\text{sen}^2 2\alpha_0 = 0,12$ e

$$(\gamma_s - \gamma) Q_{lit} = 0,038 \cdot \frac{1}{16} \gamma H_0^2 C_0$$

Verifica-se que a potência correspondente ao transporte do material, no caso considerado, representa apenas, aproximadamente, 4% da potência transmitida pela onda.

A relação entre Q_{lit} e a potência transmitida pela onda apresentada na equação (17) merece algumas considerações no que respeita ao valor da potência. O valor $\frac{1}{16} \gamma H_0^2 C_0$ representa a potência transmiti-

da por metro de comprimento de crista (igual à potência transmitida junto à praia, por metro de comprimento da crista, se houver paralelismo entre ortogonais) e a expressão mais geral da potência transmitida para um desenvolvimento b de crista será $\frac{1}{16} \gamma H_0^2 C_0 b$; por outro lado, na mecânica do transporte longitudinal por arrastamento em "zig-zag", em que o movimento é intermitente e dependente das condições de rebentação e espraçamento, é fácil admitir a importância dos

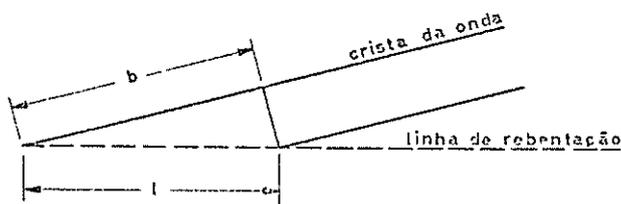


Fig.IV.2 - Esquema da actuação da onda no cálculo da potência; o segundo valor poderá ser tomado aproximadamente como a trajectória seguida pelos grãos cujo movimento depende da potência transmitida ao longo do desenvolvimento b de crista; para ângulos pequenos, como os ensaiados, pode admitir-se a relação adimensional $\frac{b}{l} = 1$. Deste modo, a equação (17), com a introdução destes parâmetros, ficaria expressa em kgf.m.sec^{-1} , isto é, em unidades de potência.

As considerações feitas anteriormente têm em vista, apenas, apresentar de uma forma correcta os resultados experimentais obtidos nesta parte do estudo; não se pretende estabelecer bases para a mecânica dos movimentos aluvionares pois, quer pela sua complexidade, quer pela índole deste trabalho, não seria possível. Aliás, a mecânica dos movimentos aluvionares está sendo objecto de estudo no LNEC, ao nível de investigação nos domínios teórico e experimental (rebentação das ondas e transporte litoral).

No que respeita ao confronto com valores que foram determinados experimentalmente noutros laboratórios, trabalhos de Saint Marc e Vincent [10] e Kemp [7], verifica-se que os valores deste estudo são inferiores aos valores obtidos por esses autores em ensaios com pedra-pomes e uma obliquidade de 15° . Na figura IV.3 apresentam-se os resultados obtidos pelos citados autores para dois valores

de $H_0^2 C_0$, em confronto com os resultados deste estudo; esclarece-se que a pedra-pomes utilizada nos ensaios de Saint Marc e Vincent tinha

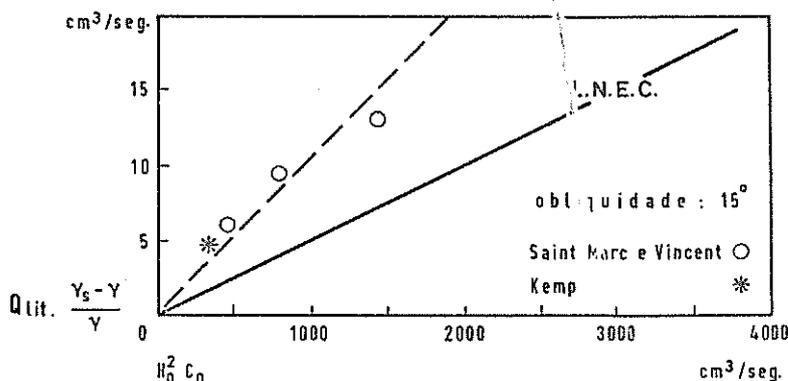


Fig.IV.3 - Determinações experimentais dos valores do caudal sólido

Note-se que, tanto quanto foi possível avaliar da descrição destes trabalhos, os pesos específicos anteriores são considerados como respeitantes aos grãos saturados. Deve esclarecer-se que os resultados obtidos no presente estudo se aproximam mais dos valores determinados teòricamente a partir do estudo sobre rebentação das ondas e transporte litoral, realizado no LNEC e que foi referido anteriormente, do que os valores dos autores citados.

4 - OBSERVAÇÕES NA NATUREZA

A determinação dos valores do caudal sólido na natureza^(*) apresenta grandes dificuldades e os valores que se conhecem actualmente são devidos a avaliações feitas com base em levantamentos hidrográficos; têm especial interesse os valores determinados a partir de levantamentos respeitantes à evolução de praias na vizinhança de esporões, o que permite calcular os volumes retidos na secção onde se localiza o esporão, num determinado intervalo de tempo, e, partindo deste valor, calcular aproximadamente o valor médio do caudal sólido litoral nessa secção transversal. A relação entre o valor do caudal sólido e as características da onda é difícil de estabelecer, não só por que os re

(*) - Estas considerações dizem respeito, evidentemente, ao caudal sólido em praias oceânicas, não se incluindo os problemas de caudal sólidos em praias fluviais.

um diâmetro mediano de 1,5 mm (igual ao da pedra-pomes utilizada neste trabalho) e um peso específico igual a $1,40 \text{gf/cm}^3$, enquanto a que foi utilizada nos ensaios de Kemp tinha um diâmetro mediano de 0,9 mm e um peso específico igual a $2,00 \text{gf/cm}^3$.

gimes de agitação são em geral muito variáveis, como, principalmente, pela falta de elementos referentes a esses regimes.

Dentre os elementos disponíveis merecem especial atenção o primeiro esporão construído na Cova do Vapor, cujas características foram definidas no capítulo anterior. Este esporão, que se designou por E1, apresenta, como se disse, o grave inconveniente de ter um comprimento insuficiente, o que limita a sua eficácia. Por outro lado, a falta de elementos relativos ao regime de agitação impede que se possam definir com precisão as características das ondas actuantes. Não obstante estas dificuldades, procurou-se calcular um valor do caudal sólido e relacioná-lo com a potência transmitida pela onda, tendo em vista o confronto entre os resultados experimentais e os valores que ocorrem na natureza.

Em virtude dos condicionamentos impostos pelas características da obra e pelo desconhecimento do regime de agitação, a que se faz referência, procedeu-se a um cálculo aproximado do volume de areias retido pelo esporão durante os seis primeiros meses do seu funcionamento, período em que a evolução da zona de enchimento foi regular, como se mostra no gráfico de evolução de perfis transversais do anexo 42; neste anexo apresentam-se também elementos respeitantes às características da zona de retenção do esporão.

Considerando como tempo de actuação da onda metade do tempo total, para ter em atenção as variações de nível devidas à maré e as calmas (estas em percentagem muito reduzida), a fim de considerar o tempo de actuação em que se manifesta a capacidade de retenção do esporão, calcula-se, a partir dos levantamentos respeitantes ao início e fim do período referido, um valor aproximado de $20 \text{ m}^3/\text{hora}$. Este valor é da ordem de grandeza de $200\,000 \text{ m}^3/\text{ano}$, valor que é, em geral, considerado nos problemas de transporte aluvionar na costa da Metrópole.

No anexo 42 apresenta-se um gráfico de evolução do comprimento do esporão nas diversas fases da construção, o qual permite concluir que o avanço da praia foi praticamente sempre da mesma ordem

de grandeza do avanço do esporão, como se compreende facilmente em virtude do esporão ter funcionado sempre como esporão curto.

A evolução da praia processou-se, no período considerado, de acordo com a teoria de Pelnard-Considère; no gráfico de evolução do perfil P1S (que se considera, em aproximação, como correspondendo ao valor da abcissa $x=0$) verifica-se um ajustamento satisfatório entre a curva de evolução obtida a partir de levantamentos periódicos e a curva teórica obtida pela aplicação da equação (3), apresentada no capítulo I, para $x=0$, $\alpha_0=10^\circ$ e $a=600 \text{ m}^2/\text{dia}$. O valor de \underline{a} foi calculado a partir da superfície de acumulação nos três primeiros meses, considerando a correcção do tempo de actuação da onda que foi referida anteriormente. Os valores marcados no gráfico são calculados, evidentemente, para valores de t iguais a metade dos valores que se marcam em abcissas.

A falta de observações sistemáticas da agitação não permite um cálculo rigoroso dos valores da potência transmitida e a determinação dum valor médio que se associaria ao valor de Q_{lit} . A partir de valores observados nas proximidades do esporão, observações realizadas com simata cuja localização se indica no anexo 34, respeitantes apenas às direcções e períodos das ondas, traçaram-se os histogramas que figuram no anexo 42; tendo em atenção a época do ano a que se refere a evolução, adoptou-se um período $T=9$ seg e uma altura $H=1,0$ m, com uma obliquidade de 10° . No anexo 40 pode ver-se um plano de ondulação onde se definem as características da propagação de uma onda com o período $T=9$ seg na zona em causa.

As características da onda considerada, a uma profundidade de 1,50 m, ou seja, imediatamente antes da rebentação, permitem calcular $H^2 C = 3,7 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{seg}$, valor que é proporcional à potência transmitida imediatamente antes da rebentação. Em virtude da refacção da onda durante a sua propagação até à costa, os valores de b_0 são diferentes dos valores de b e, portanto, interessa referir, para o transporte longitudinal, os valores da potência transmitida que se verificam, por metro de desenvolvimento de crista, junto à praia. Os resultados

experimentais foram apresentados em função de $H_0^2 C_0$ e, em face da relação $\frac{1}{2} H_0^2 C_0 = H^2 C$ (em virtude de ser n praticamente igual à unidade), o valor $H^2 C = 3,7 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{seg}$, considerado na extrapolação dos valores experimentais como um valor que ocorresse no modelo junto à praia, é representado no gráfico logarítmico do anexo 42 por $H_0^2 C_0 = 2 \times 3,7 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{seg} = 7,4 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{seg}$. (É evidente que este valor não diz respeito às características da onda ao largo da Cova do Vapor).

O valor de Q_{lit} determinado é aproximadamente igual a $6 \times 10^3 \text{ cm}^3/\text{seg}$ o que, tendo em atenção o termo correctivo $\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$, que se baseia na hipótese do caudal sólido litoral ser inversamente proporcional ao peso específico dos grãos submersos^(*), permite calcular o valor $Q_{lit} \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} = 9 \times 10^3 \text{ cm}^3/\text{seg}$. Este valor encontra-se representado no

gráfico logarítmico do anexo 42 e é 1,7 vezes menor do que o valor que corresponde à relação definida experimentalmente. Esta diferença aceita-se facilmente se for tida em atenção a aproximação dos cálculos feitos e as condições deficientes de funcionamento do esporão re-tentor. Não obstante, as considerações anteriores permitem admitir a possibilidade de uma extrapolação dos resultados experimentais para a natureza, mas só a determinação de valores reais mais próximos dos valores experimentais é que permitiria definir a relação de dependência na natureza e avaliar rigorosamente as possibilidades de extrapolação. Aliás, da análise de alguns valores intermédios entre os valores experimentais deste estudo e o valor da Cova do Vapor pode admitir-se a hipótese dos pontos reais definirem no gráfico logarítmico uma recta de inclinação diferente mas convergente com a recta do estudo experimental na zona onde se situa o ponto da Cova do Vapor.

(*) - Considerou-se $\gamma_s = 2,54 \text{ gf/cm}^3$; este valor foi determinado a partir da análise duma amostra recolhida no ponto A definido na plan-ta do anexo 42. As características granulométricas do material estão definidas no anexo 6.

5 - CONCLUSÕES

As considerações teóricas sobre a relação de dependência entre o caudal sólido litoral e as características da onda mostram que é possível considerar uma relação do tipo $Q_{lit} = kH^2C$, que exprime a dependência do caudal sólido na potência transmitida pela onda, para uma praia de determinadas características. k depende da obliquidade da onda.

Experimentalmente, nos ensaios realizados com pedra-pomes, determinou-se a relação $Q_{lit} = 3 \cdot 10^{-2} \cdot H_0^2 C_0 \cdot \sin^2 2\alpha_0$ (cm^3/seg) coerente com a expressão deduzida teoricamente; nesta expressão não se considera o factor respeitante às características da praia.

Medições de caudal sólido, feitas a partir do funcionamento de esporões na natureza, permitiram, com uma correcção dos valores de Q_{lit} que teve em vista a influência do peso específico dos grãos, considerar as possibilidades de extrapolar para a natureza a relação definida experimentalmente. As possibilidades de um estudo comparativo modelo-natureza são sempre bastante limitadas pela carência de elementos respeitantes à evolução de praias e às características do regime de agitação.

CONCLUSÕES FINAIS

A aplicação prática dos resultados do estudo, por extrapolação para a natureza, deve fazer-se com as reservas inerentes às limitações deste trabalho. Os valores apresentados, respeitantes à situação final de equilíbrio, são aqueles que se consideram com maior interesse do ponto de vista prático. Os resultados são válidos apenas no domínio dos valores ensaiados e a escolha dos valores máximos a adoptar, em face dos três tipos de material móvel utilizados, será condicionada, para as aplicações, pelas relações de semelhança que seja possível estabelecer ou pelas operações de taragem.

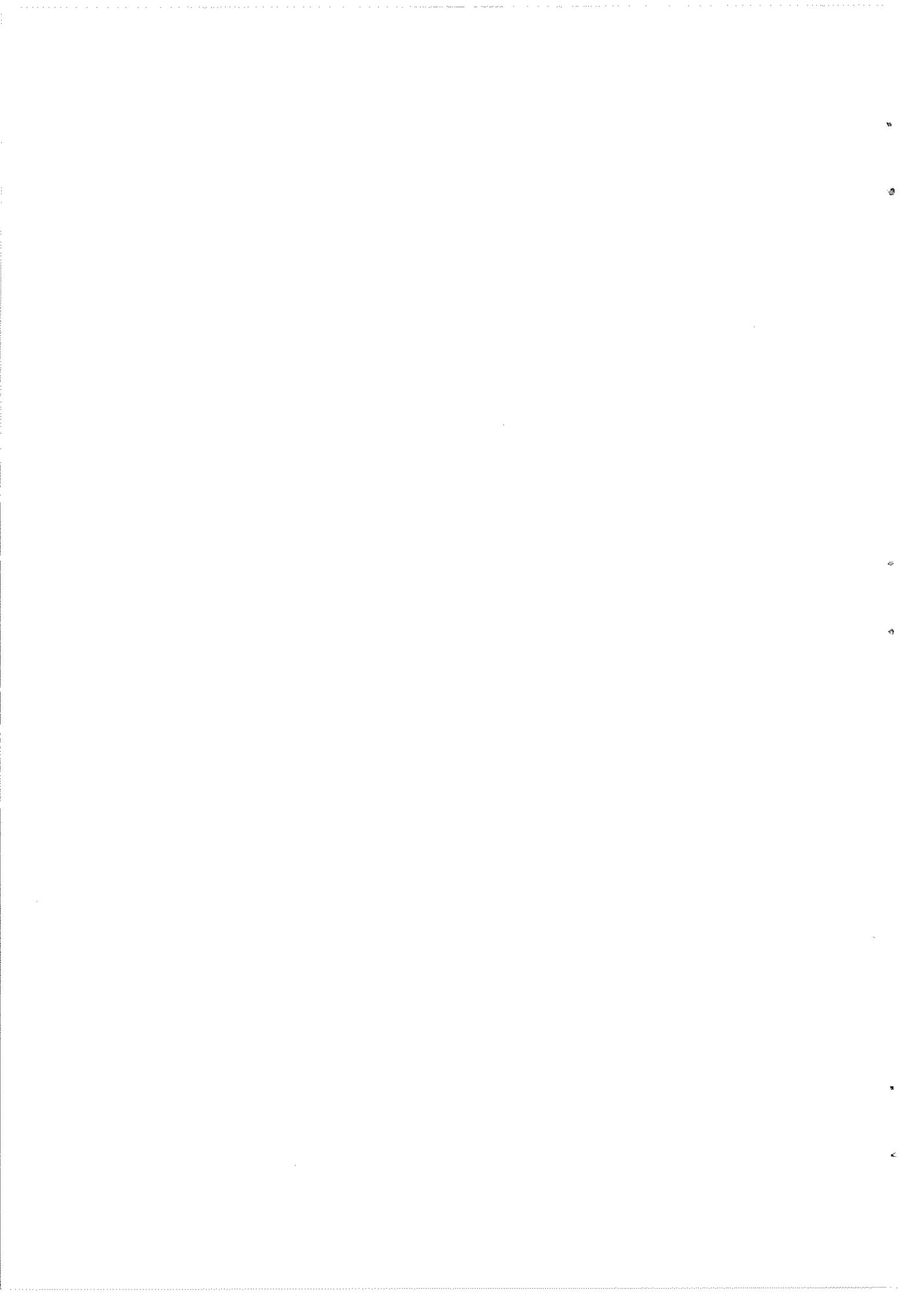
Este trabalho, embora seja um estudo geral de pesquisa básica, tem uma aplicação restrita, aliás como a maioria dos trabalhos desta índole. A aplicação será possível nos casos em que se pretenda manter o volume de areias numa determinada zona, quer seja o caso dos troços de praia de um campo de esporões, quer seja uma praia natural ou artificial, localizada entre formações rochosas, em que se constroi um esporão.

Como exemplo de possível aplicação apresenta-se o caso do campo de esporões da praia de Espinho ; para a pretendida melhoria da praia, no aspecto de utilização balnear, poder-se-ia prolongar os esporões e fazer um enchimento artificial dos troços de praia; o dimensionamento

dos esporões seria condicionado por uma onda de cálculo cujas características se fixariam a partir do regime de agitação, com a consideração dos maiores temporais com ocorrência nessa zona. Os valores de $\frac{c}{D}$, básicos para o dimensionamento, seriam determinados para a onda que conduz aos maiores valores dos parâmetros característicos da evolução da praia, com menores valores para os tempos de estabilização (como se deve ter presente, os tempos de actuação dos grandes temporais são sempre restritos). Este dimensionamento baseia-se numa onda com um valor máximo da potência transmitida a que corresponde movimento por arrastamento no modelo; será, portanto, necessário avaliar em que condições os maiores temporais que têm ocorrência na zona em causa são equivalentes a esses maiores valores considerados no estudo em modelo; de qualquer modo, os valores máximos da potência no estudo experimental conduziram a máximos das relações estudadas e, em última análise, a hipótese básica que se tem de admitir para uma extrapolação dos resultados para a natureza é que, para as ondas reais que correspondem aos maiores temporais, a evolução das praias se processe também até valores máximos condicionados pelo transporte em suspensão, hipótese que não é difícil de admitir, mas que seria interessante comprovar a partir da observação de casos reais. Pode dizer-se, a favor desta hipótese, que a observação do comportamento da praia de Espinho não indica a existência de casos de instabilização dos troços de praia entre esporões, o que seria fácil se o material se movimentasse francamente em suspensão.

No que respeita à análise dos casos reais, verifica-se que há a tendência para a execução de obras de emergência, com limitações de projecto e de verbas para a sua execução, do que resultam inconvenientes graves. Não obstante, há, da parte das entidades oficiais, um esforço para resolver os problemas inerentes ao projecto funcional de esporões, bem como promover a organização de postos de observação do regime de agitação, aspecto básico mencionado neste trabalho e cujo interesse é geral para todas as questões de Engenharia Marítima.

As relações entre o caudal sólido e as características da onda atuante foram estudadas e determinou-se uma relação de dependência, com base experimental, a qual apresenta possibilidade de extrapolação para a natureza mediante determinadas aproximações. Este aspecto do trabalho representa uma contribuição para os estudos sobre transporte litoral, em curso neste Laboratório.



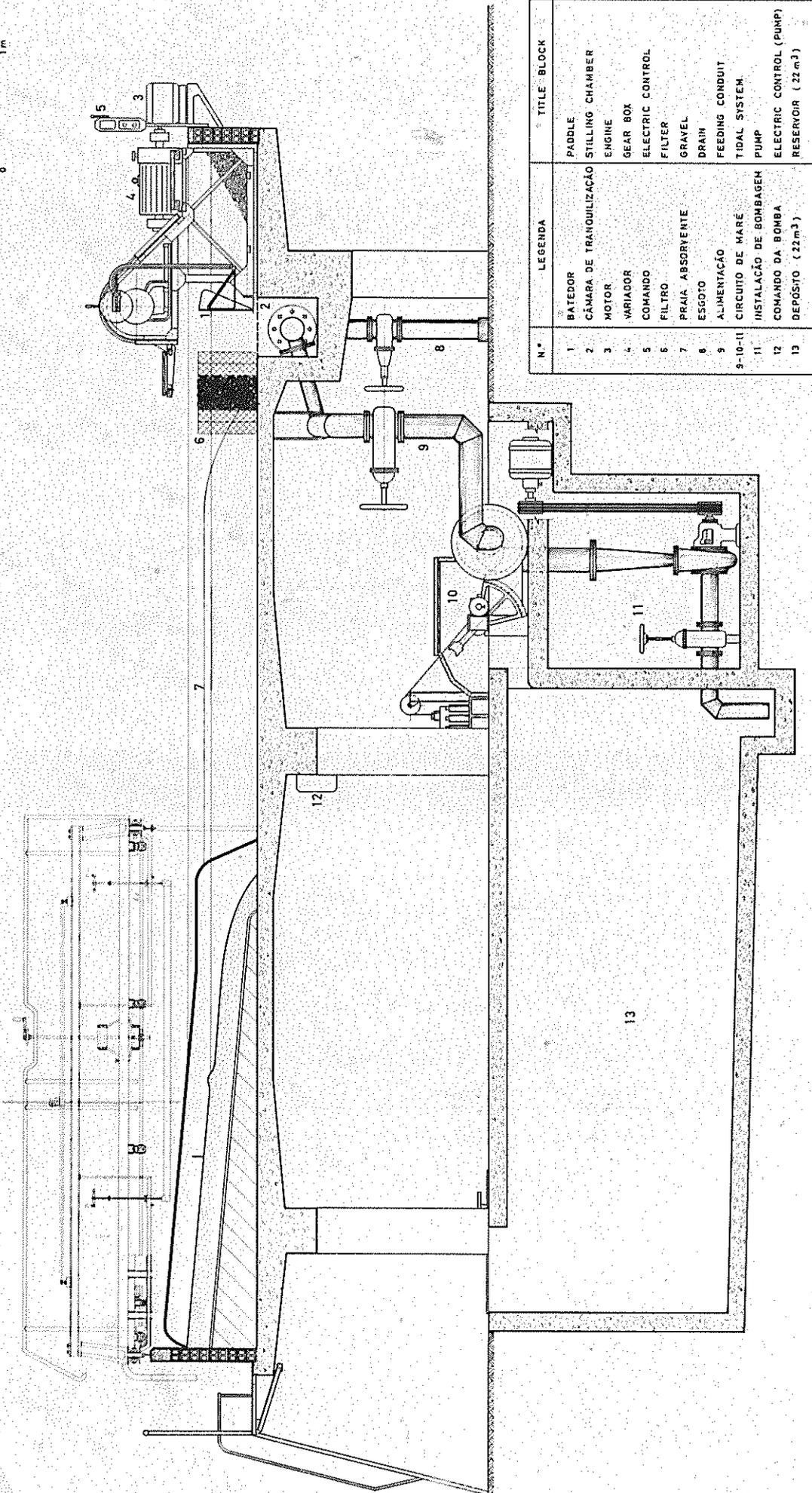
BIBLIOGRAFIA

- [1] - COUNCIL ON WAVE RESEARCH, ENGINEERING FOUNDATION - "Deficiencies in research on gravity surface waves" Berkeley, California. 1961.
- [2] - PELNARD-CONSIDÈRE, R. - "Essai de théorie de l'évolution des formes de rivage en plages de sable et de galets". Les énergies de la mer - Compte rendu des Quatrièmes Journées de l'Hydraulique. Tome I. 1956. Pág. 289.
- [3] - PIRES CASTANHO, J. - "Métodos empregados na defesa contra a erosão costeira". Memória nº. 196 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 1962.
- [4] - VERA-CRUZ, D. - "Transporte sólido em costas arenosas". Memória nº. 145 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 1960.
- [5] - MANZANARES ABECASIS, F.; PIRES CASTANHO, J.; REIS DE CARVALHO, J. J. - "A previsão das características das ondas do mar". Memória nº. 114 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 1957.
- [6] - DEPARTMENT OF SCIENTIFIC & INDUSTRIAL RESEARCH - "Hydraulics research". London. 1954-1956-1957-1958-1959-1960.
- [7] - THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS - "Proceedings". volumes 20 e 22. London. 1961 e 1962.
- [8] - VALEMBOIS, J. - "Étude sur modèle du transport littoral. Conditions de similitude". Proceedings of the seventh Conference on Coastal Engineering. Berkeley, California. 1961. Pág. 307.
- [9] - LARRAS, J. - "Plages et cotes de sables". Collection du Laboratoire National d'Hydraulique. Paris. 1957. Pág. 67.

- [10] - SAINT MARC, S.; VINCENT - "Transport littoral. Formation de fleches et de tombolos". Proceedings of the fifth Conference on Coastal Engineering. Berkeley, California. 1955. Pág. 296.
- [11] - BEACH EROSION BOARD - "Special issue n.º.2 - Shore protection planning and design". Washington. Department of the Army - Corps of Engineers. 1953.
- [12] - BEACH EROSION BOARD - "Laboratory study of the effect of groins on the rate of littoral transport: equipment, development and initial tests". Technical memorandum n.º.114. Washington. Department of the Army - Corps of Engineers. 1959.
- [13] - FLORIDA ENGINEERING AND INDUSTRIAL EXPERIMENT STATION - "Coastal protection for Florida". Vol.XVII, N.º.8. Florida. 1963.
- [14] - PER BRUUN; PURPURA, J.A. - "Emergency measures to combat beach erosion". Engineering progress at the University of Florida. Vol.XVII, N.º.6. Florida. 1963.
- [15] - WIEGEL, R.L. - "Oceanographical Engineering". Berkeley, California. 1964.

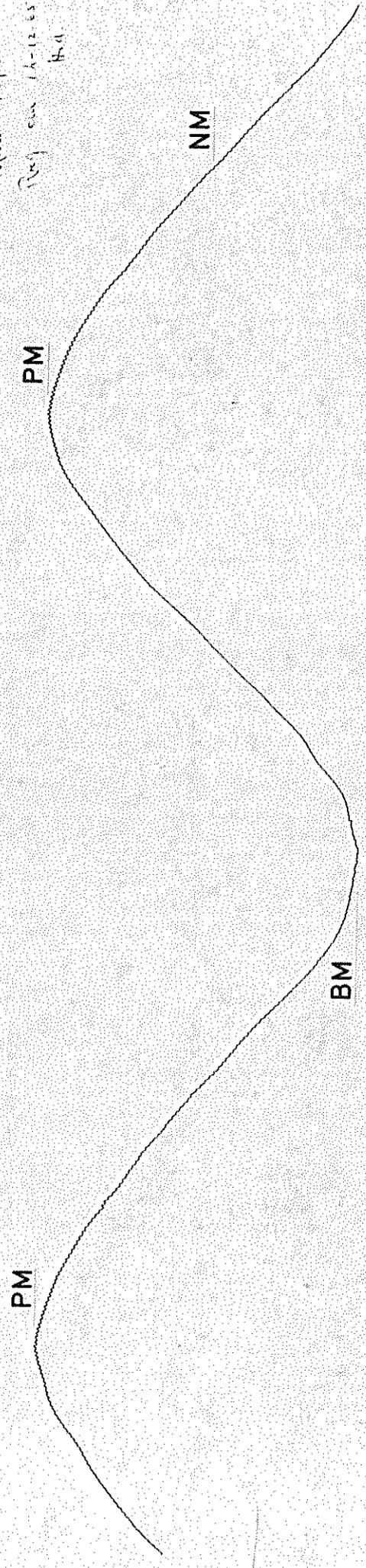
ANEXOS

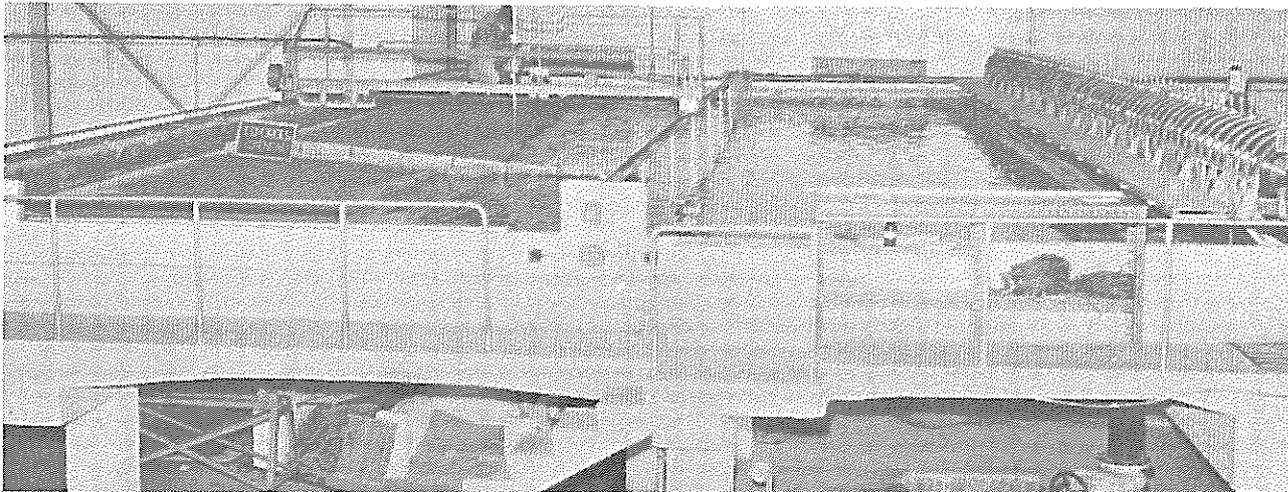
escala
0 1 m



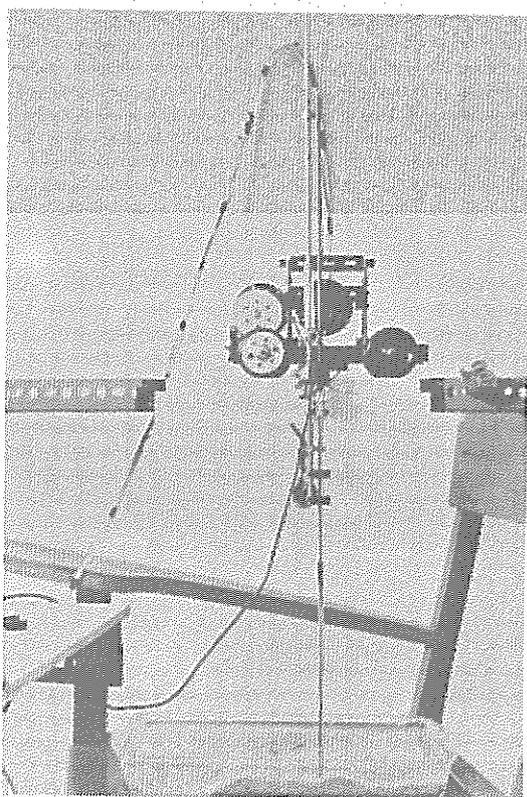
N°	LEGENDA	TITLE BLOCK
1	BATEDOR	PADDLE
2	CÂMARA DE TRANQUILIZAÇÃO	STILLING CHAMBER
3	MOTOR	ENGINE
4	VARIADOR	GEAR BOX
5	COMANDO	ELECTRIC CONTROL
6	FILTRO	FILTER
7	PRAIA ABSORVERTE	GRAVEL
8	ESGOTO	DRAIN
9	ALIMENTAÇÃO	FEEDING CONDUIT
9-10-11	CIRCUITO DE MARE	TIDAL SYSTEM
11	INSTALAÇÃO DE BOMBAGEM	PUMP
12	COMANDO DA BOMBA	ELECTRIC CONTROL (PUMP)
13	DEPÓSITO (22 m ³)	RESERVOIR (22 m ³)

Mar. Tipo 2
Prof. em 14-12-65
H. d.

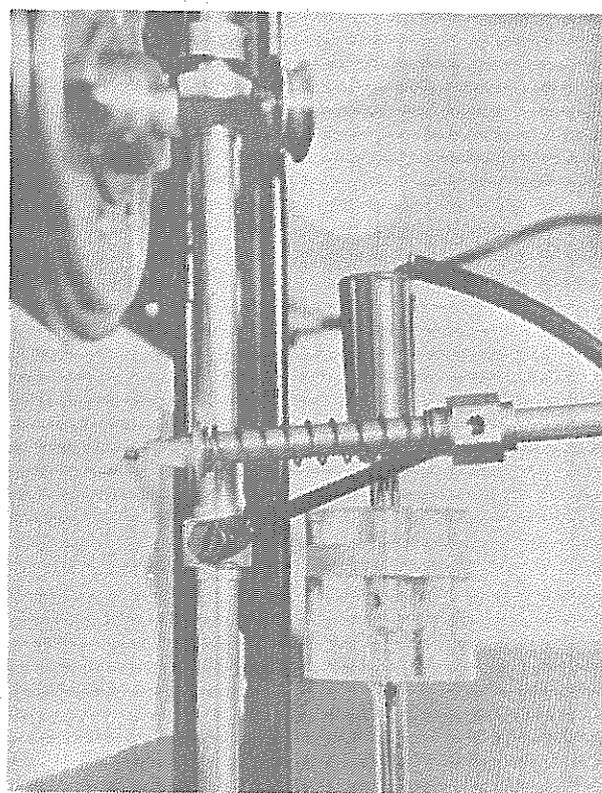




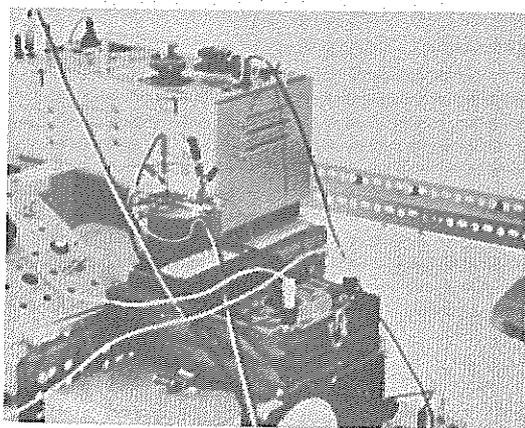
FOT. 1



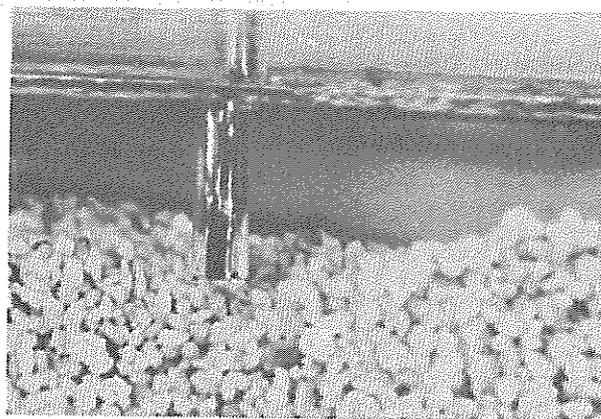
FOT. 2



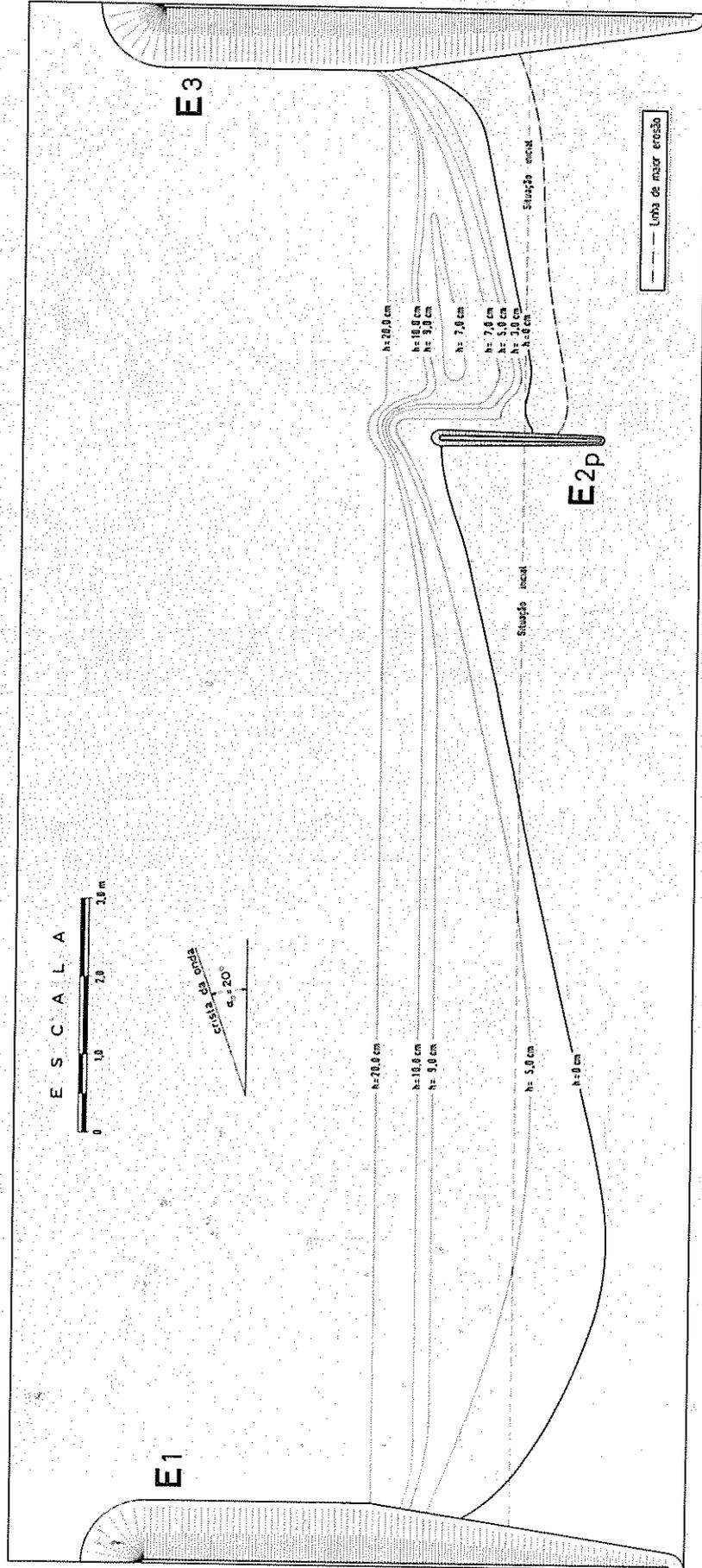
FOT. 3



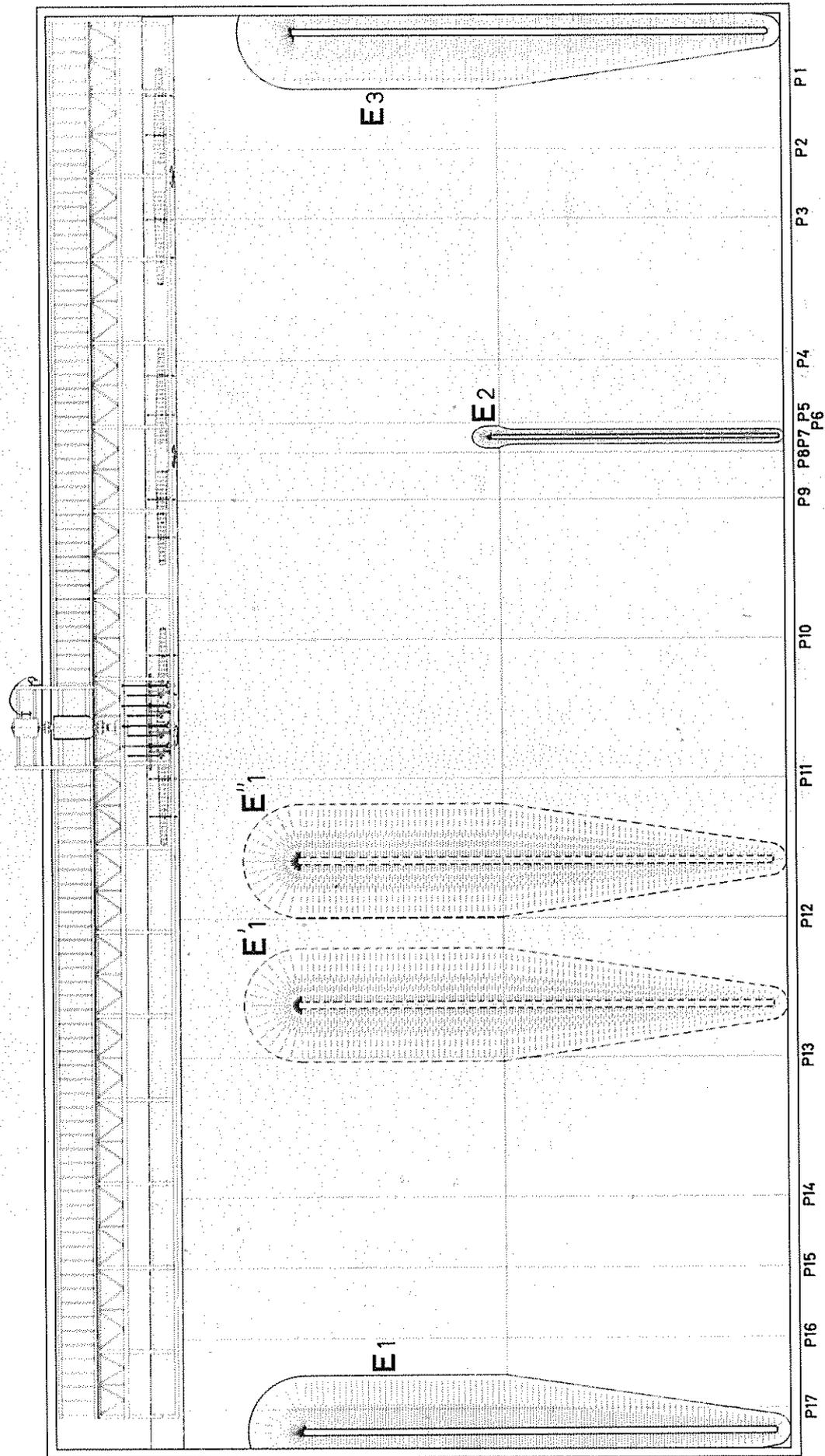
FOT. 4



FOT. 5

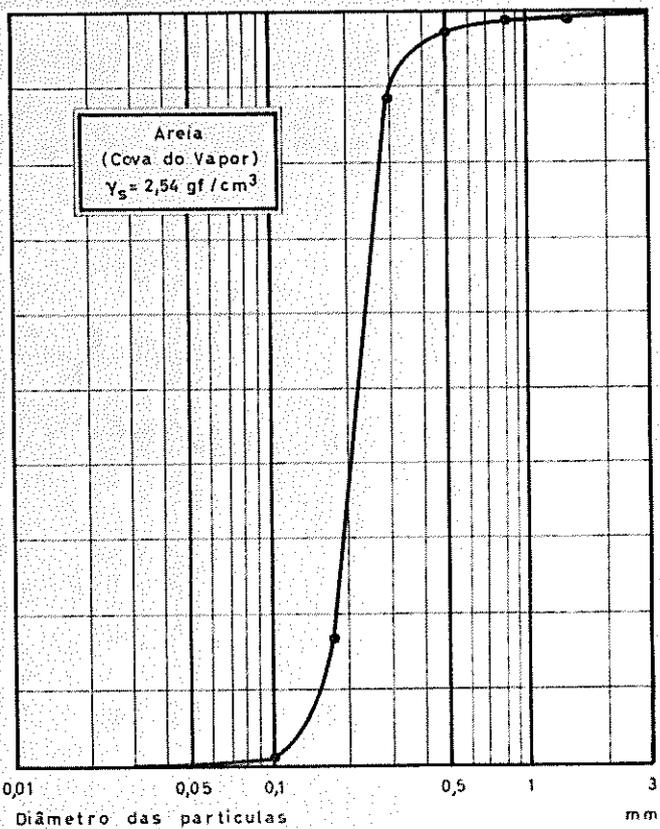
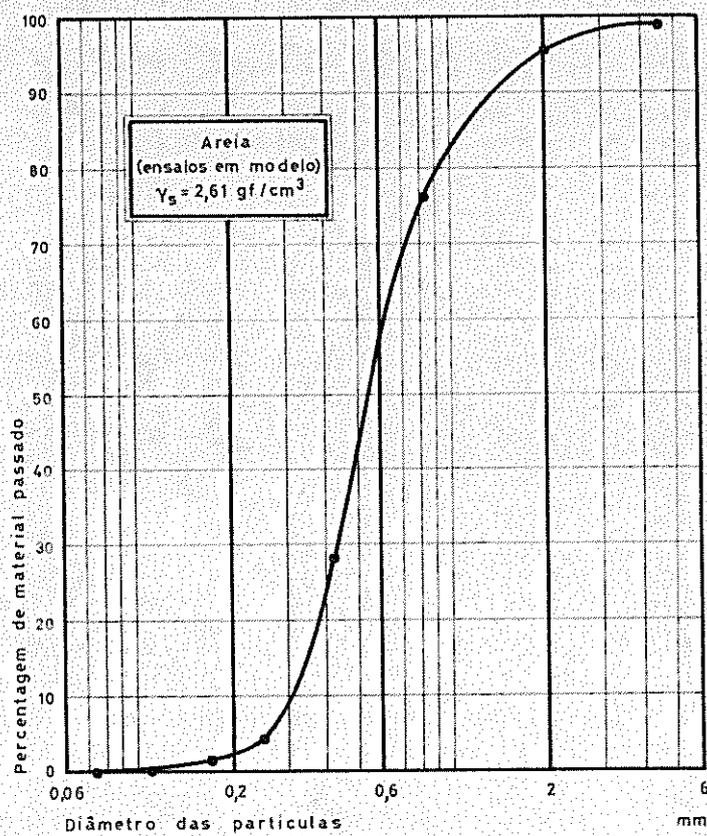
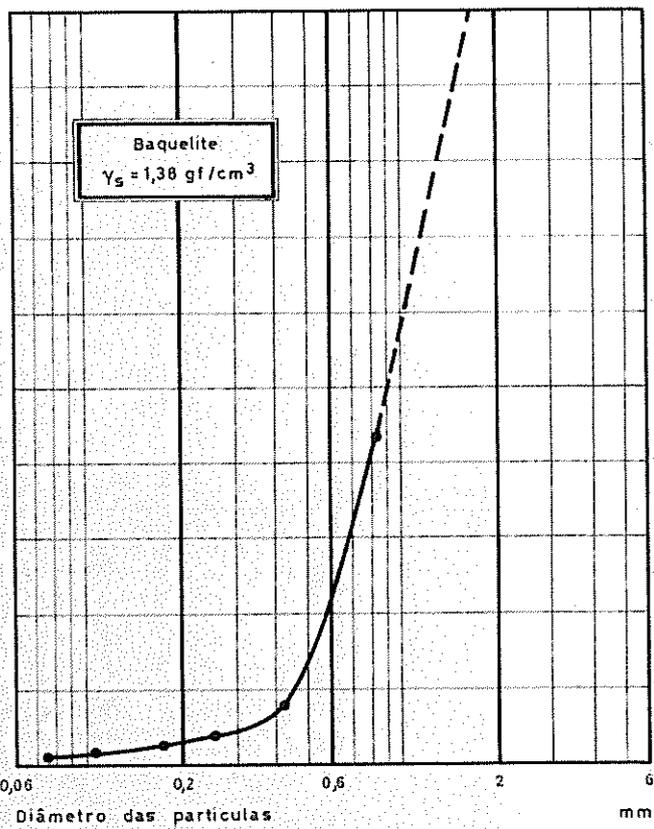
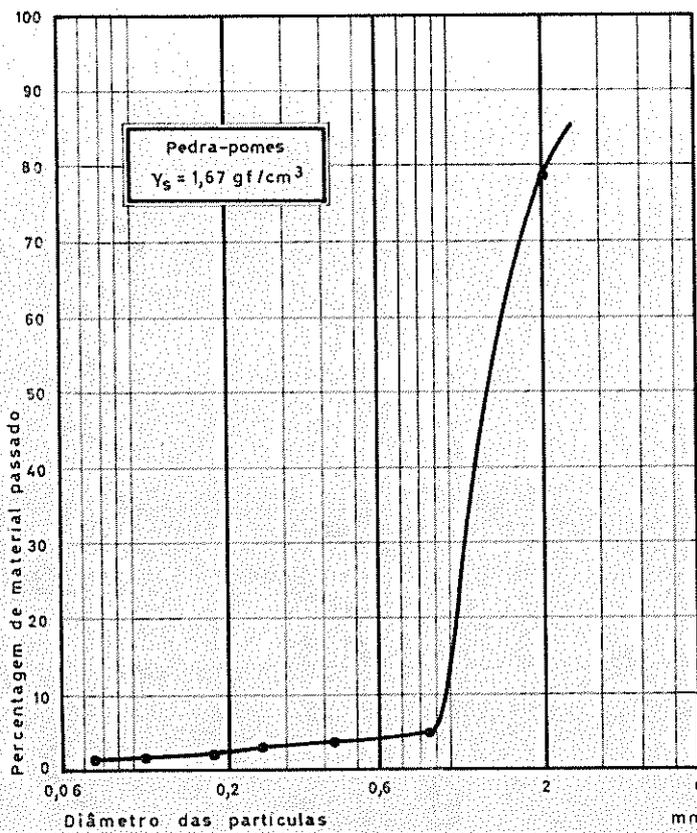


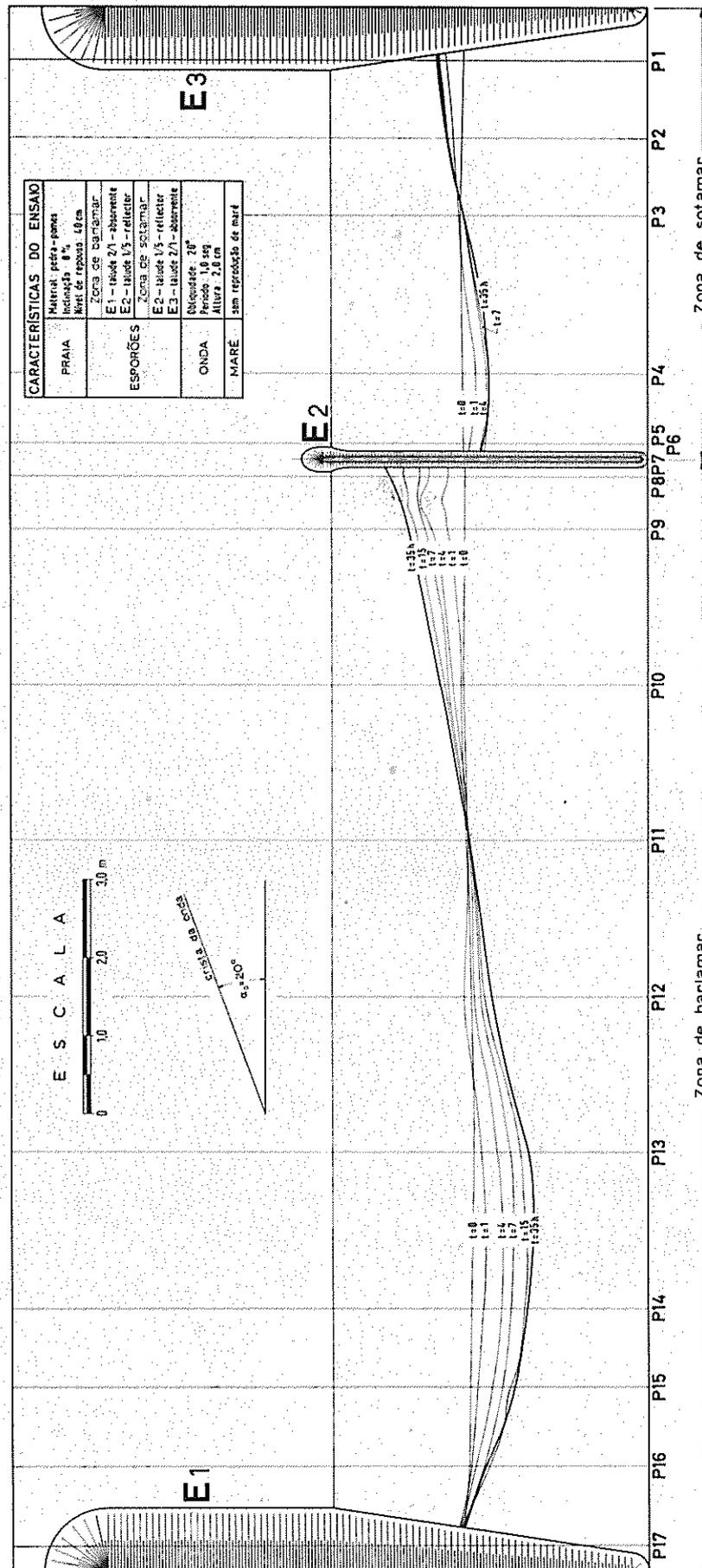
ANEXO 4 — PLANTA DA SITUAÇÃO FINAL DO ENSAIO - PILOTO



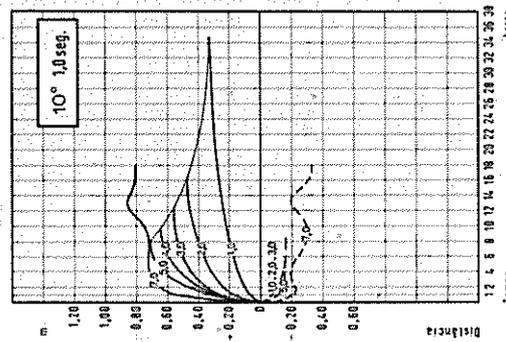
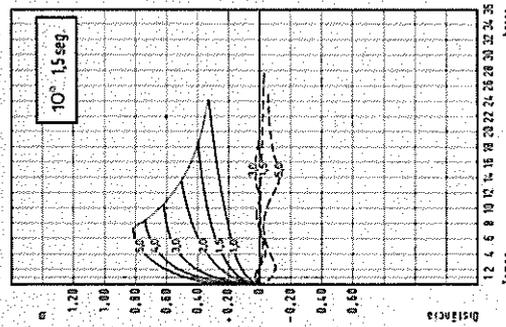
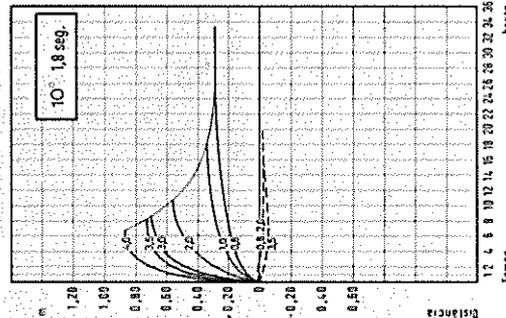
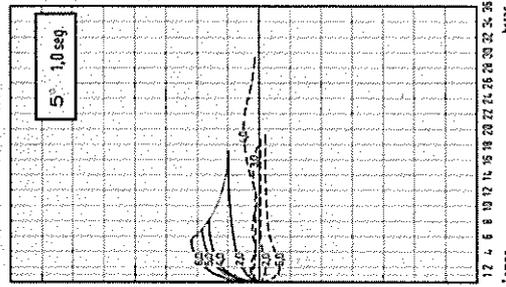
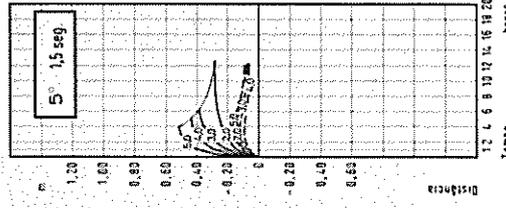
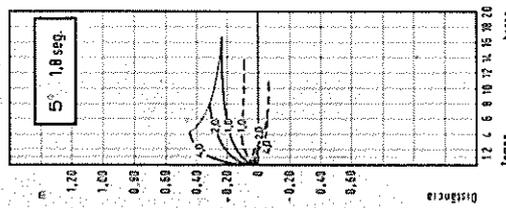
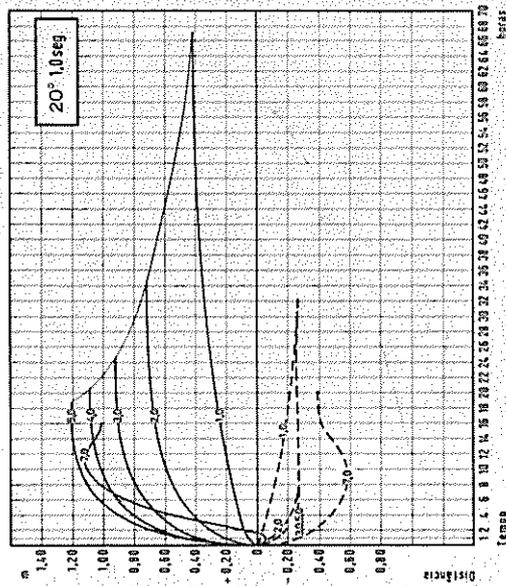
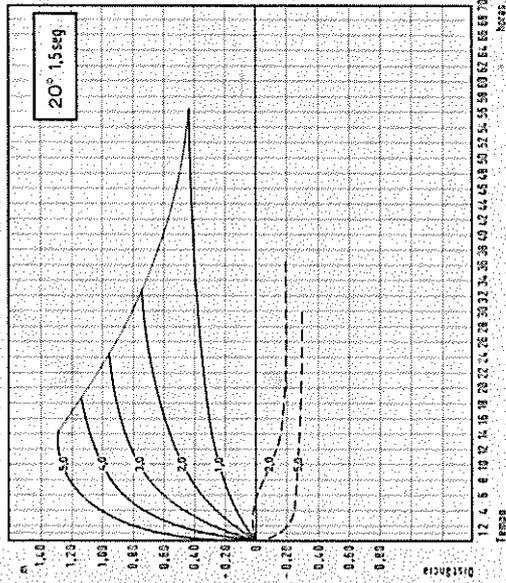
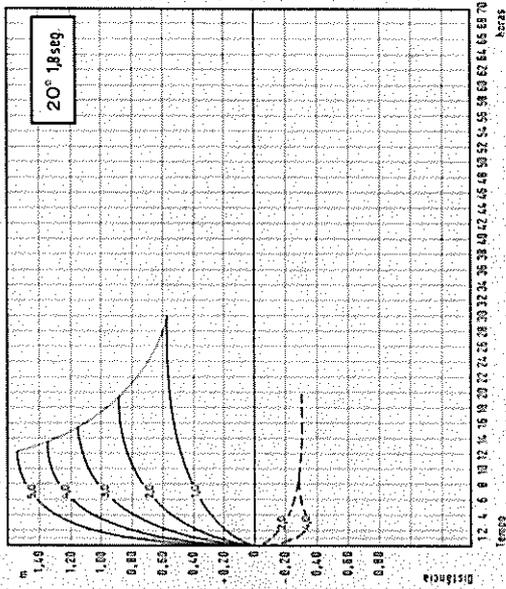
ANEXO 5 — PLANTA DO DISPOSITIVO DE ENSAIO

E S C A L A
 0 1.0 2.0 3.0 m

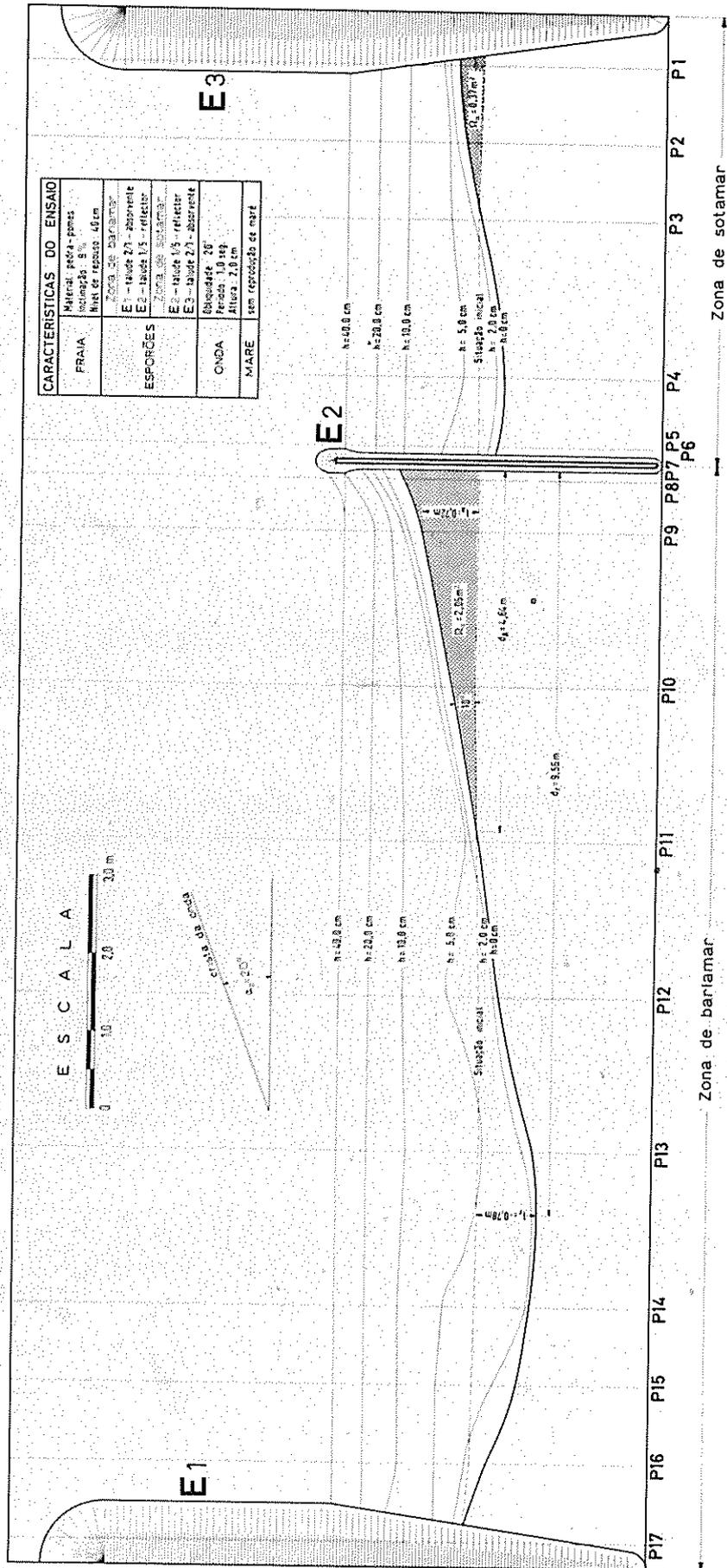




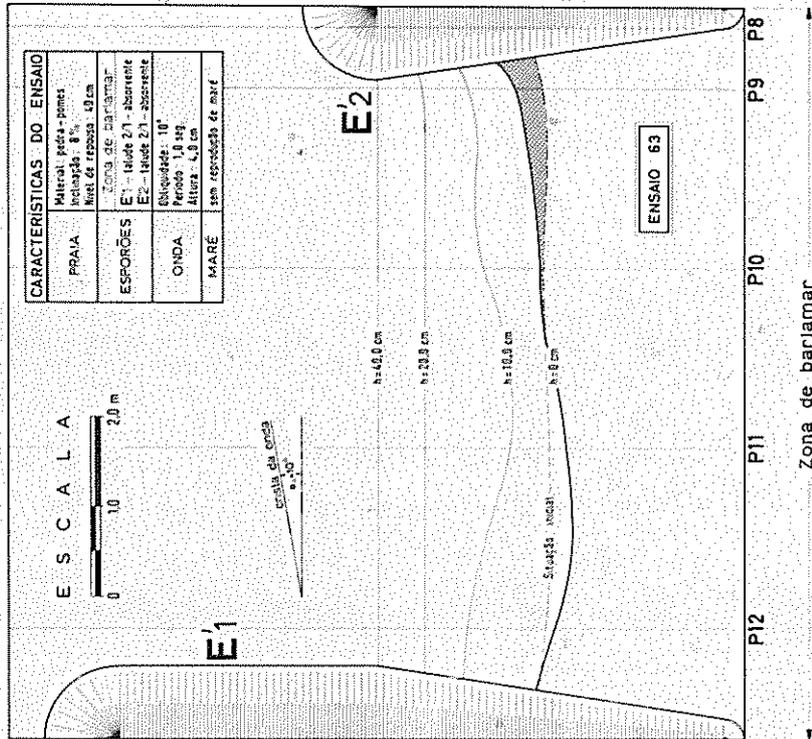
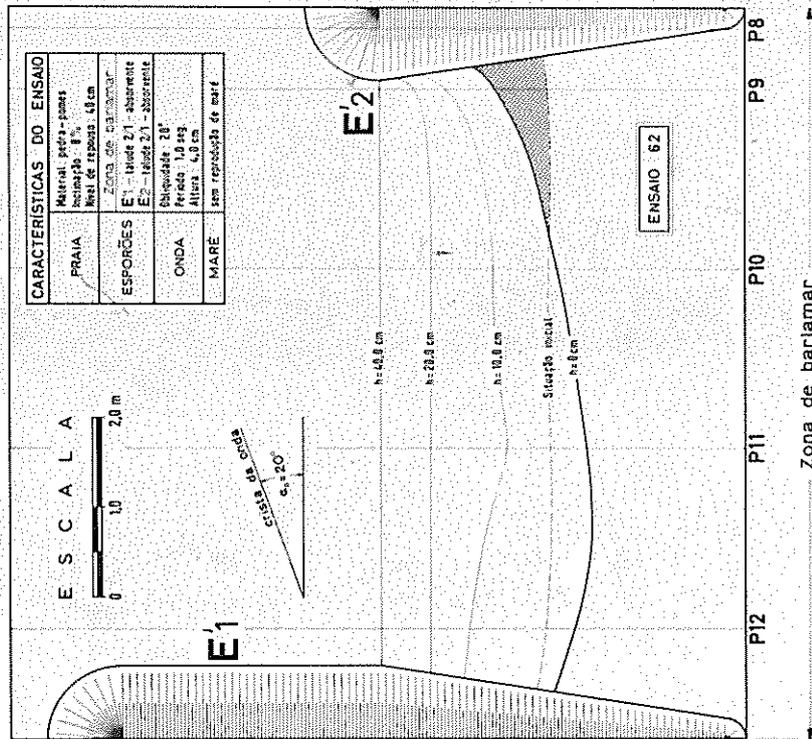
ANEXO 7 — PLANTA DE EVOLUÇÃO DO ENSAIO 7

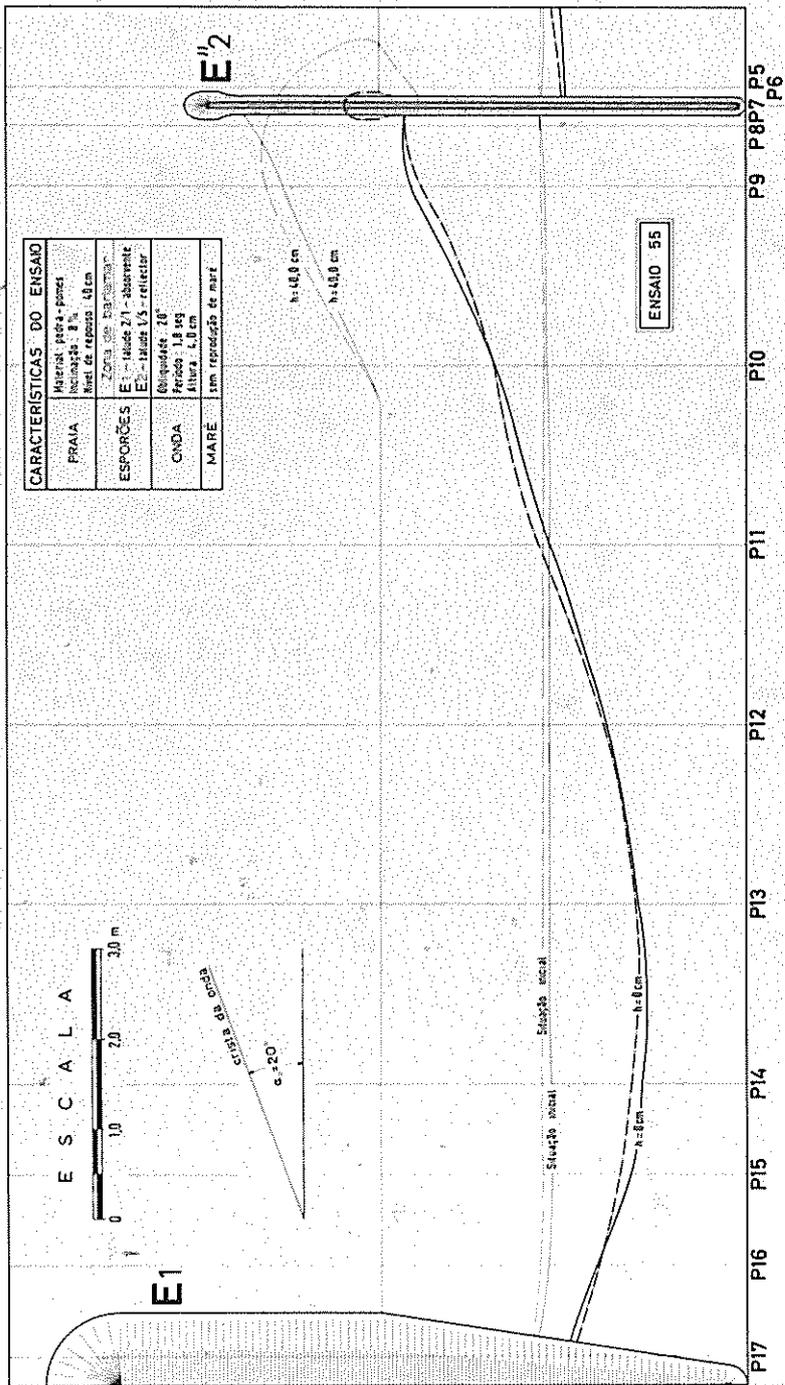
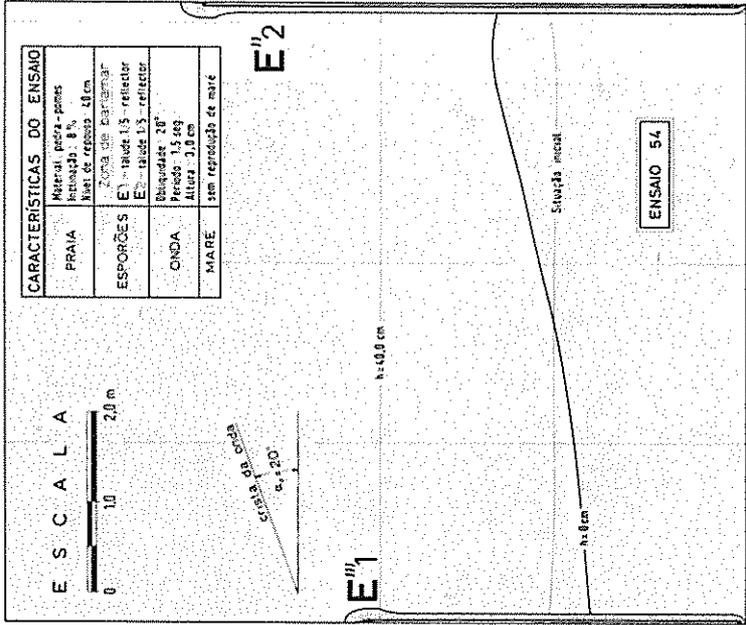


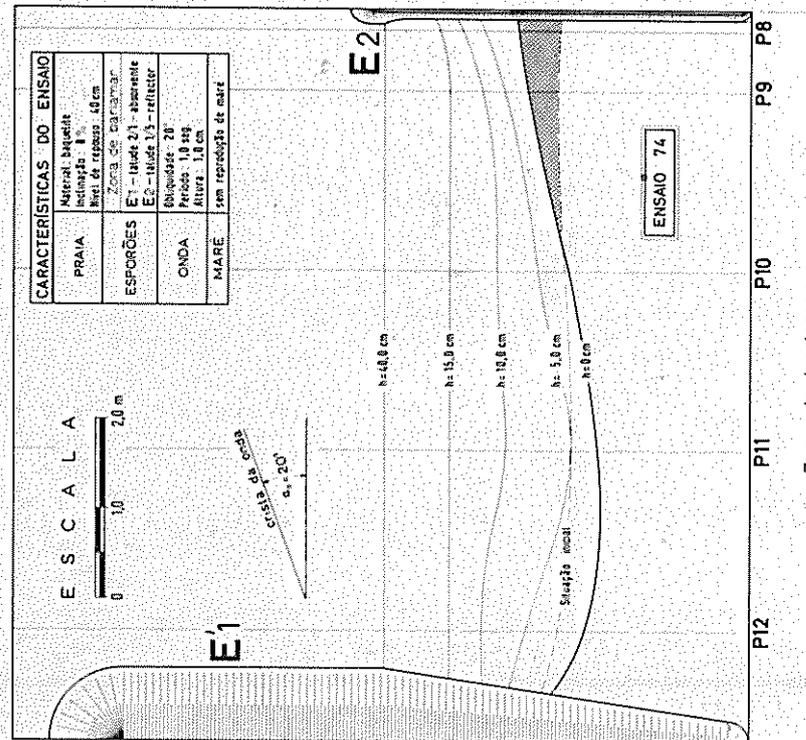
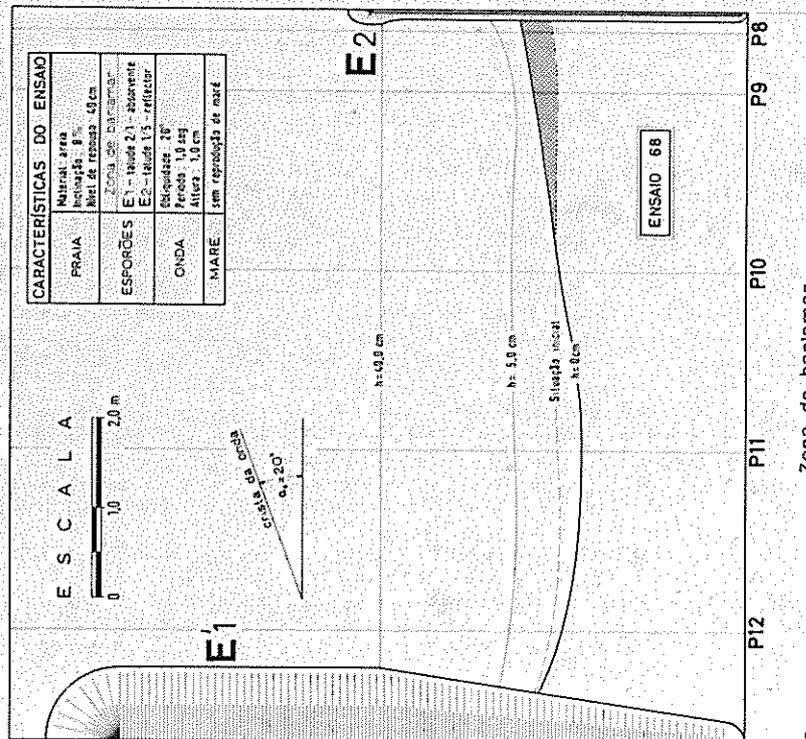
— PERFIL P9
 - - - PERFIL P5

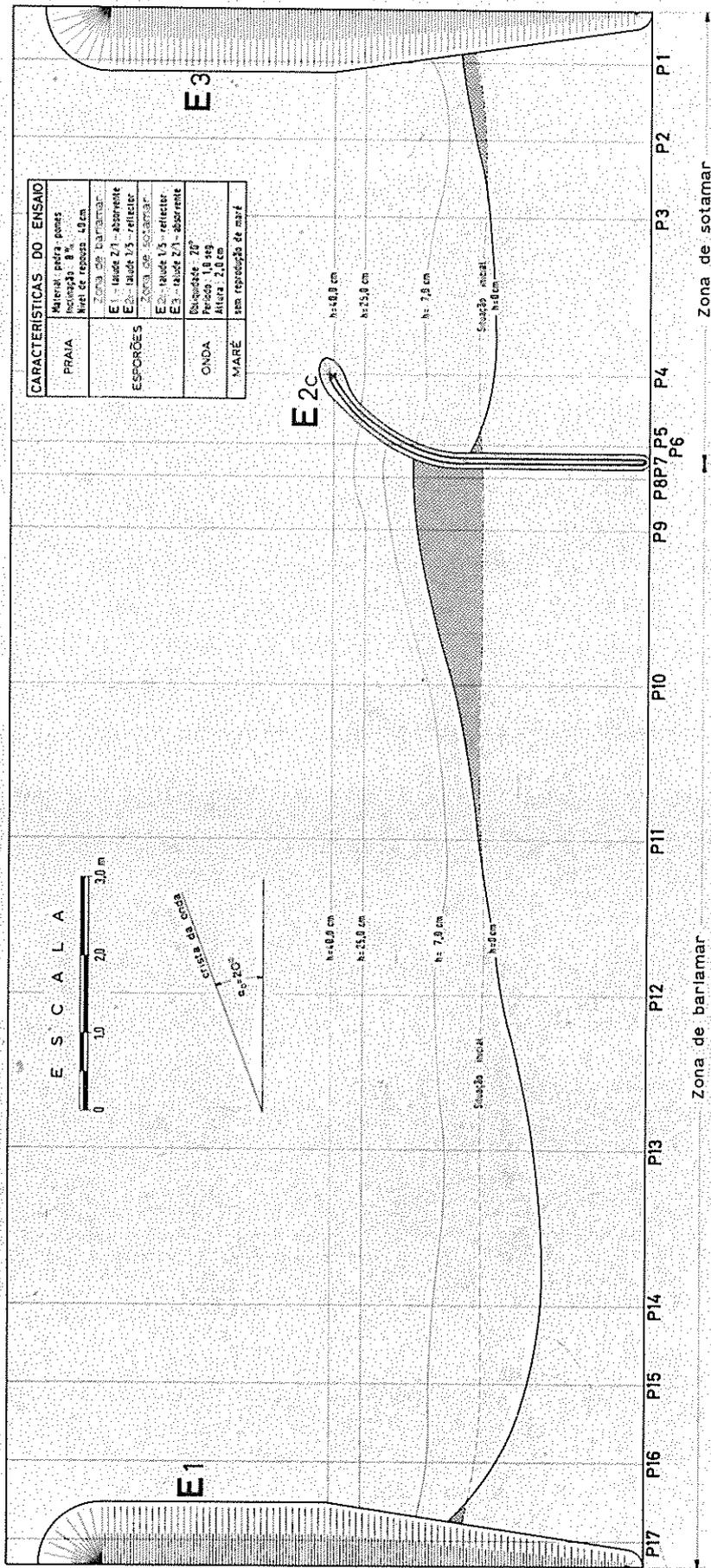


ANEXO 9 - PLANTA DA SITUAÇÃO FINAL DO ENSAIO 7

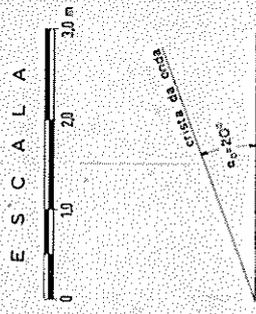








CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO	
PRAIA	Material: pedra-pomes Inclinação: 8° Nível de reposição: 40 cm
ESPORÕES	Zona de barliamar: E1 - laçada 2/1 - absorvente E2c - laçada 1/5 - refletor E3 - laçada 2/1 - refletor Zona de sotamar: E2c - laçada 1/5 - refletor E3 - laçada 2/1 - absorvente
ONDA	Esquadrante: 20° Período: 1,8 seg Altura: 2,8 cm
MARÉ	sem representação de maré



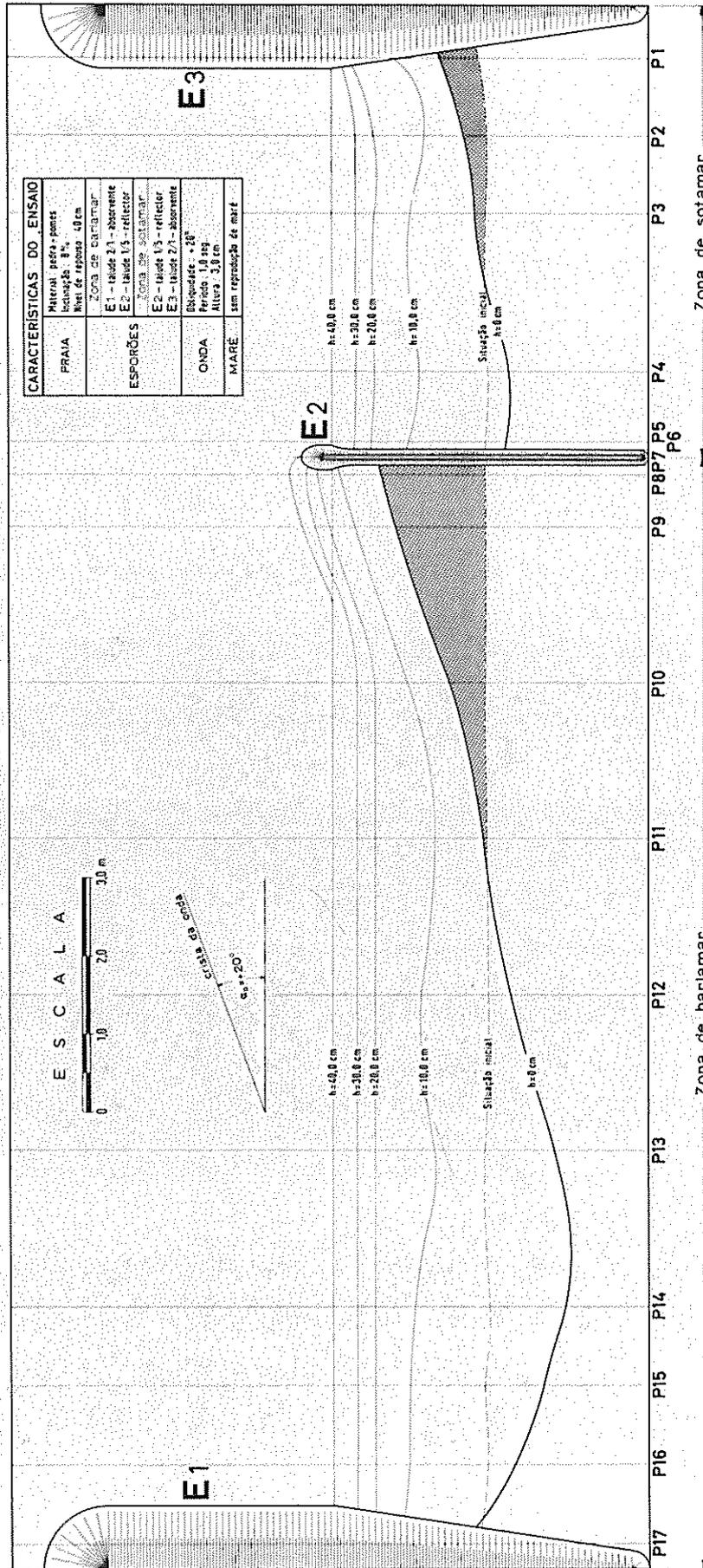
h = 0,8 cm
h = 2,8 cm
h = 7,8 cm
h = 0 cm

Swash: inicial

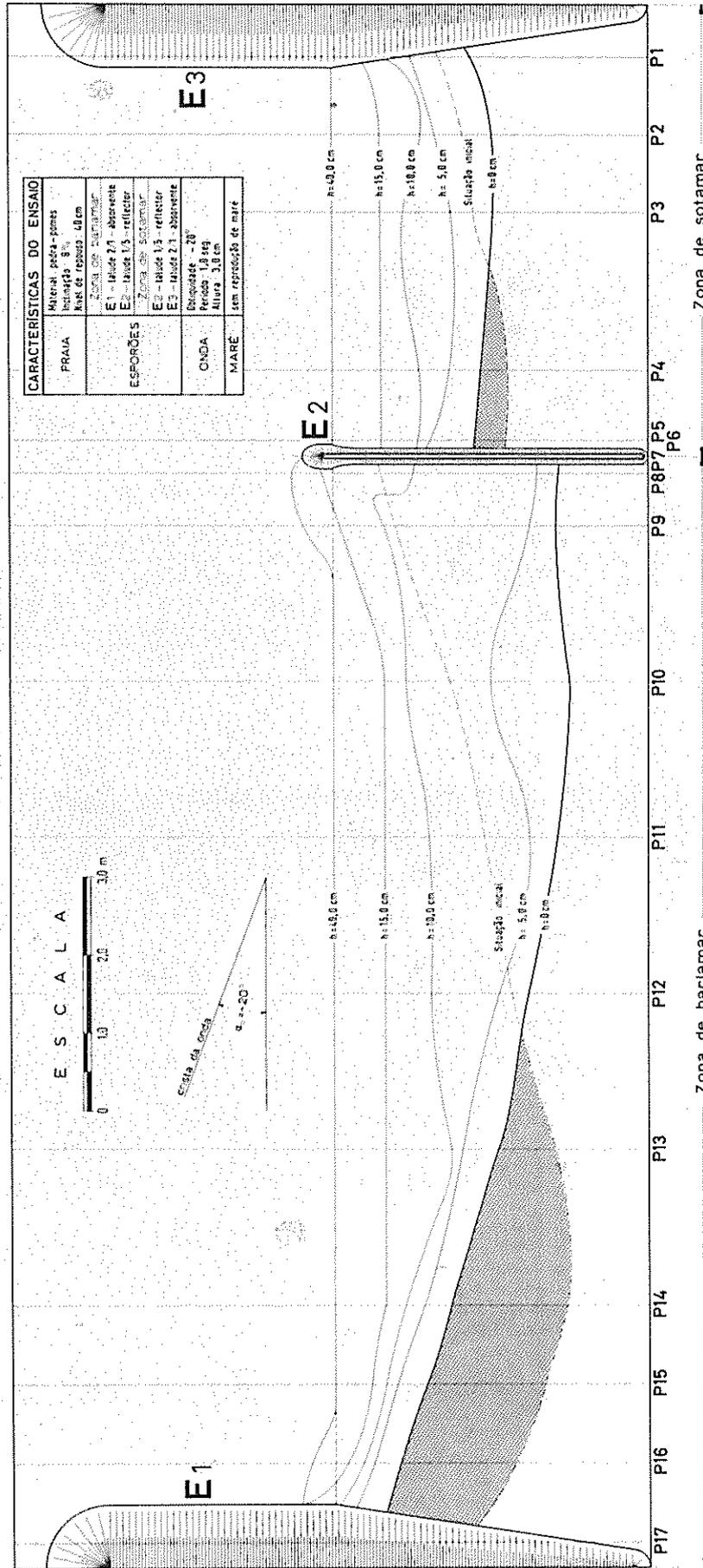
Zona de sotamar

Zona de barliamar

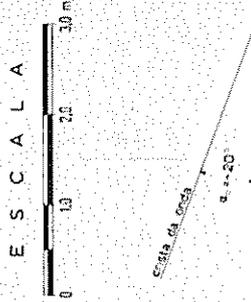
ANEXO 14 — PLANTA DA SITUAÇÃO FINAL DO ENSAIO 42



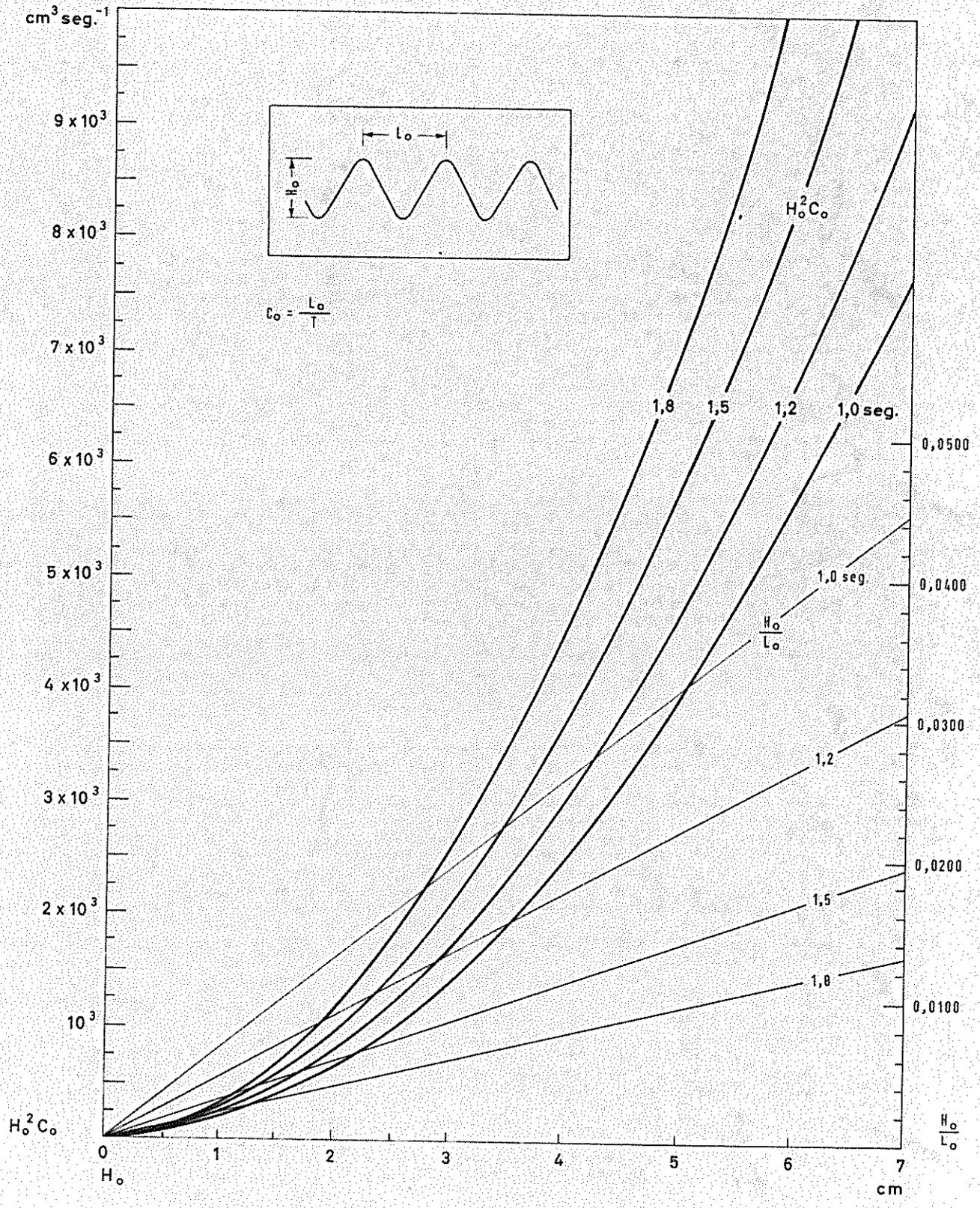
ANEXO 15 — PLANTA DA SITUAÇÃO FINAL DO ENSAIO 81 (P. 1483)



CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO	
PRAIA	Material: pedra-pomes Inclinação: 8° Esp. de reposição: 40 cm
ESPORÕES	E1 - Inclin: 7,1° - absorvente
	E2 - Inclin: 1,5° - reflector
	E3 - Inclin: 2,1° - absorvente
ONDA	Desnível: -20° Período: 1,8 seg Altura: 3,0 cm
MARE	sem reprodução de maré



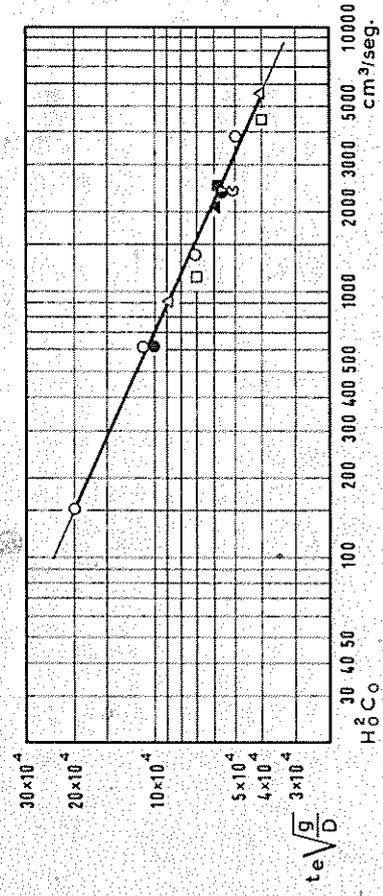
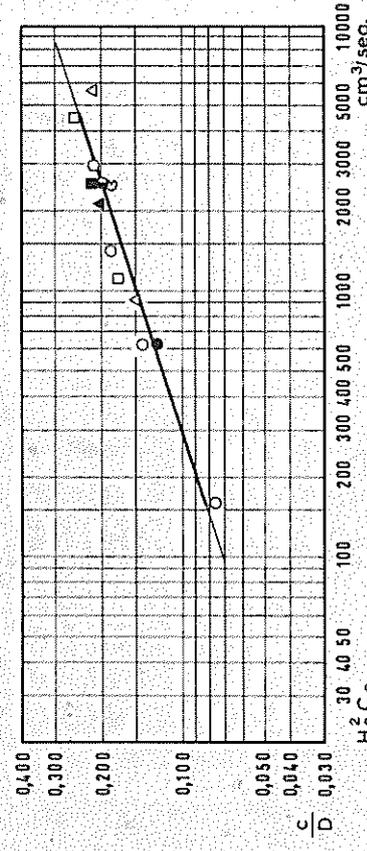
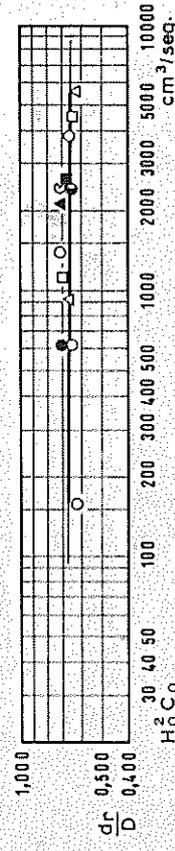
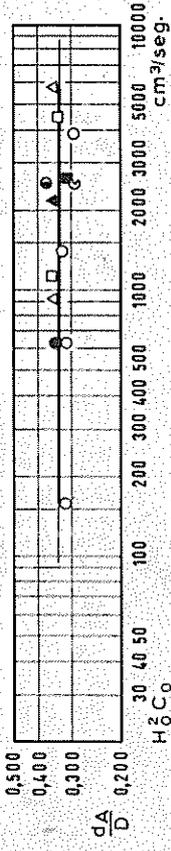
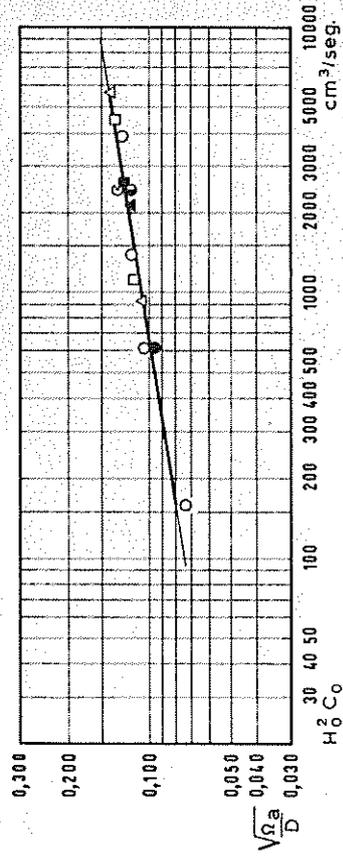
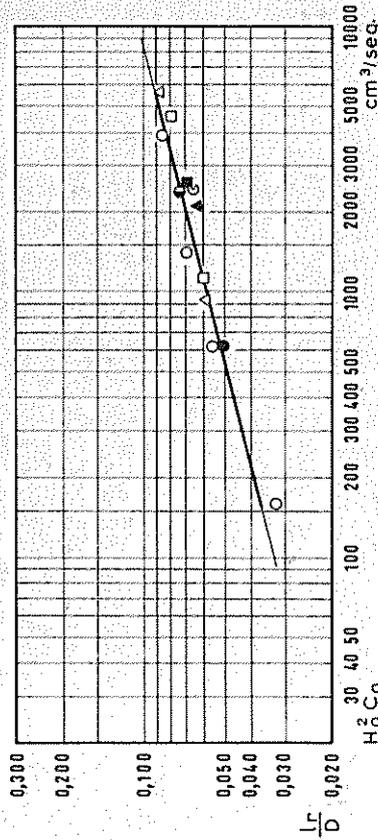
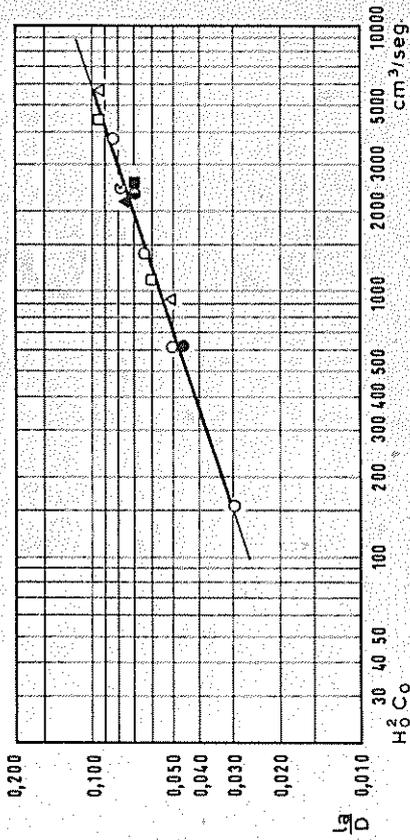
ANEXO 16 — PLANTA DA SITUAÇÃO FINAL DO ENSAIO 81 (IT' 45E)

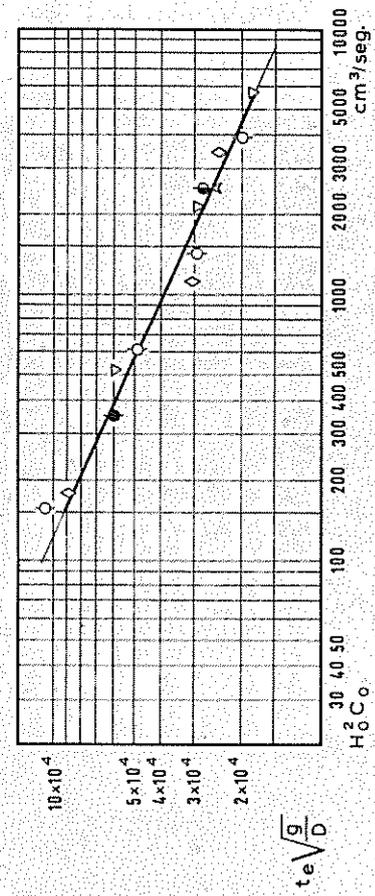
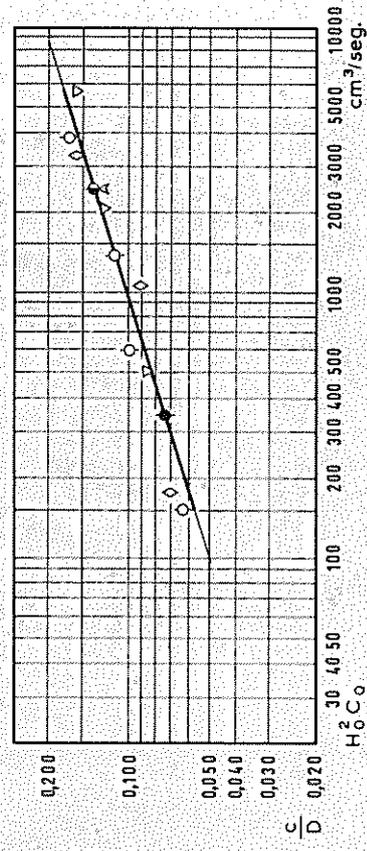
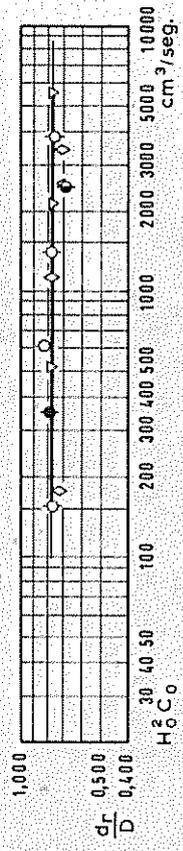
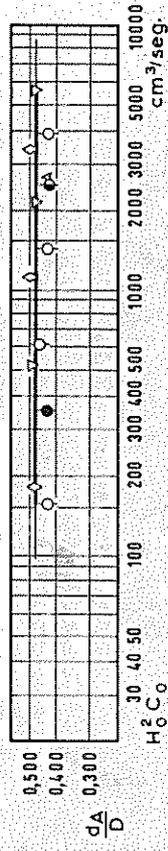
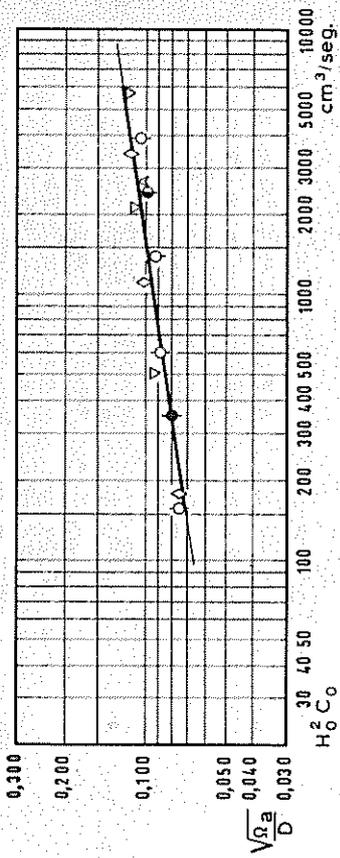
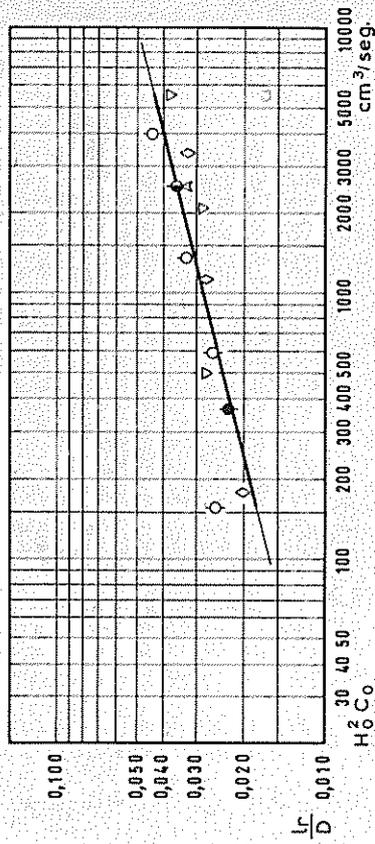
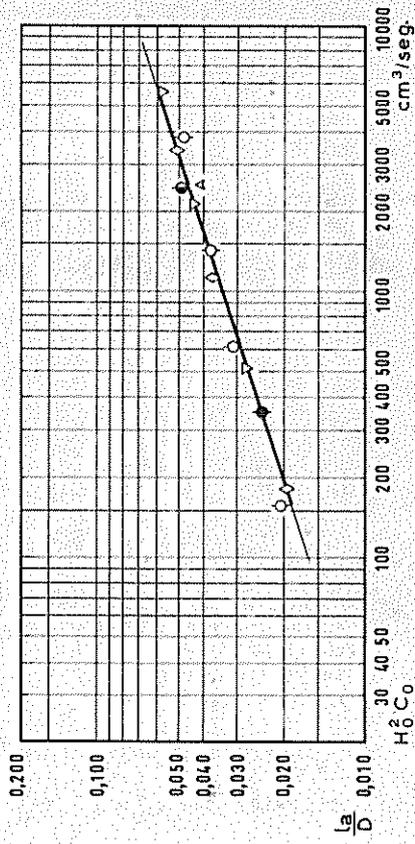


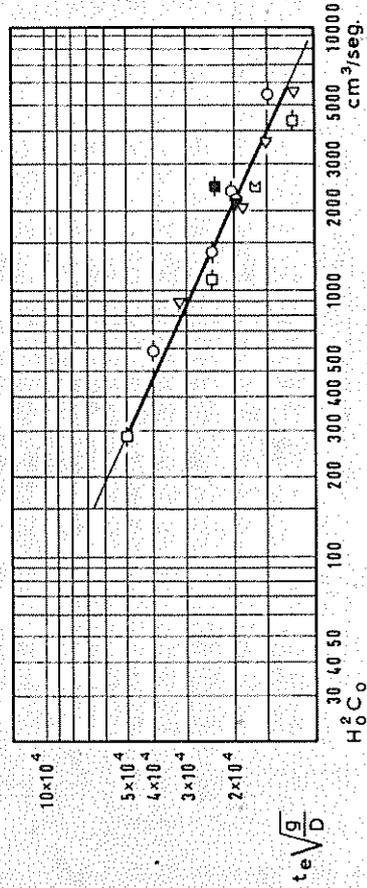
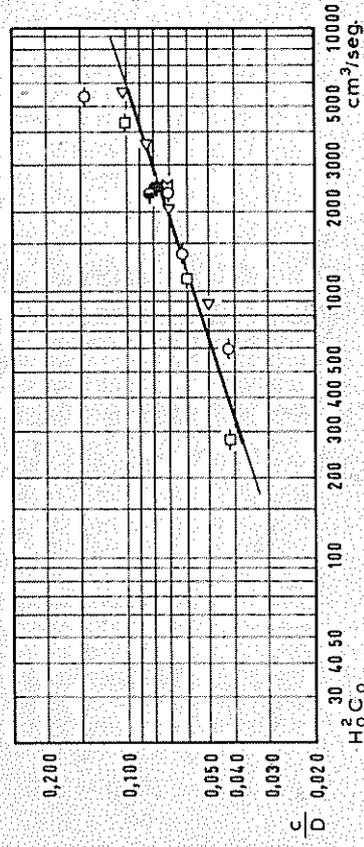
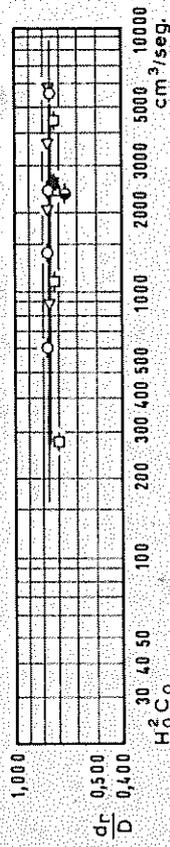
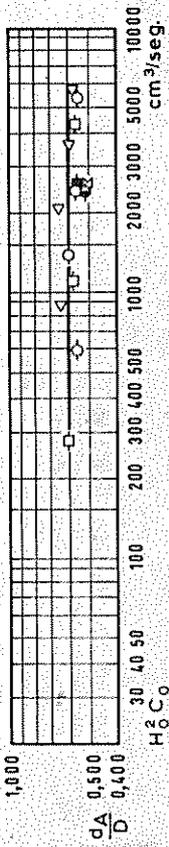
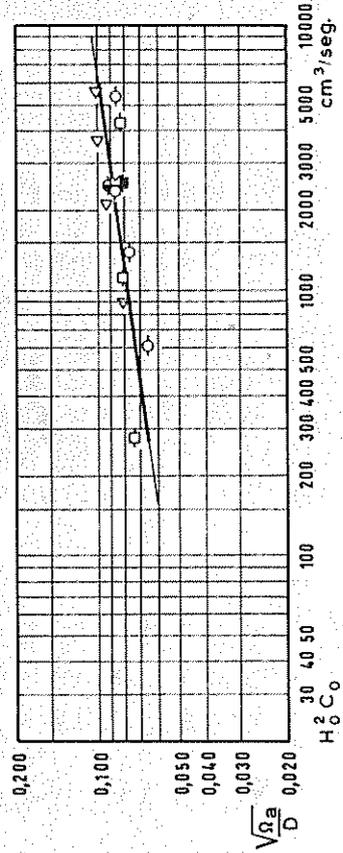
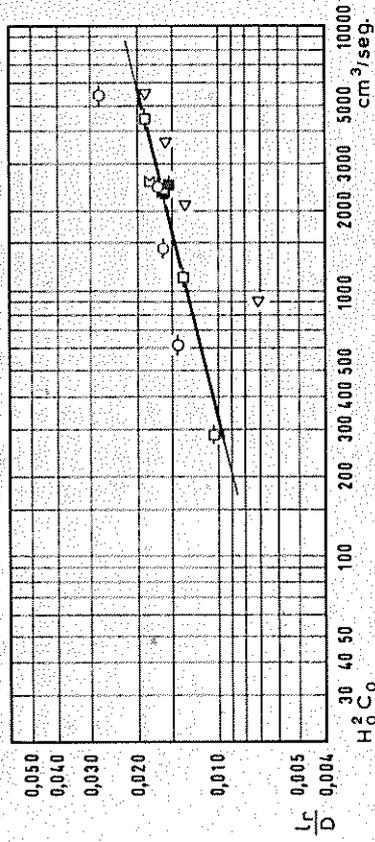
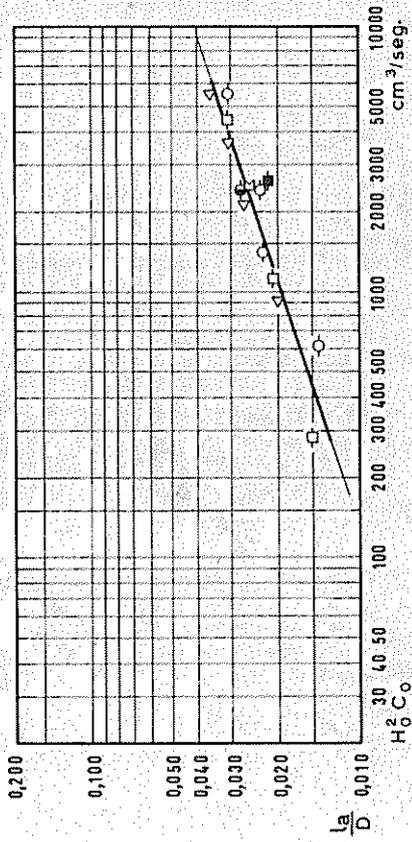
ANEXO 17- VALORES DE $H_0^2 C_0$ E $\frac{H_0}{L_0}$ EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA ONDA

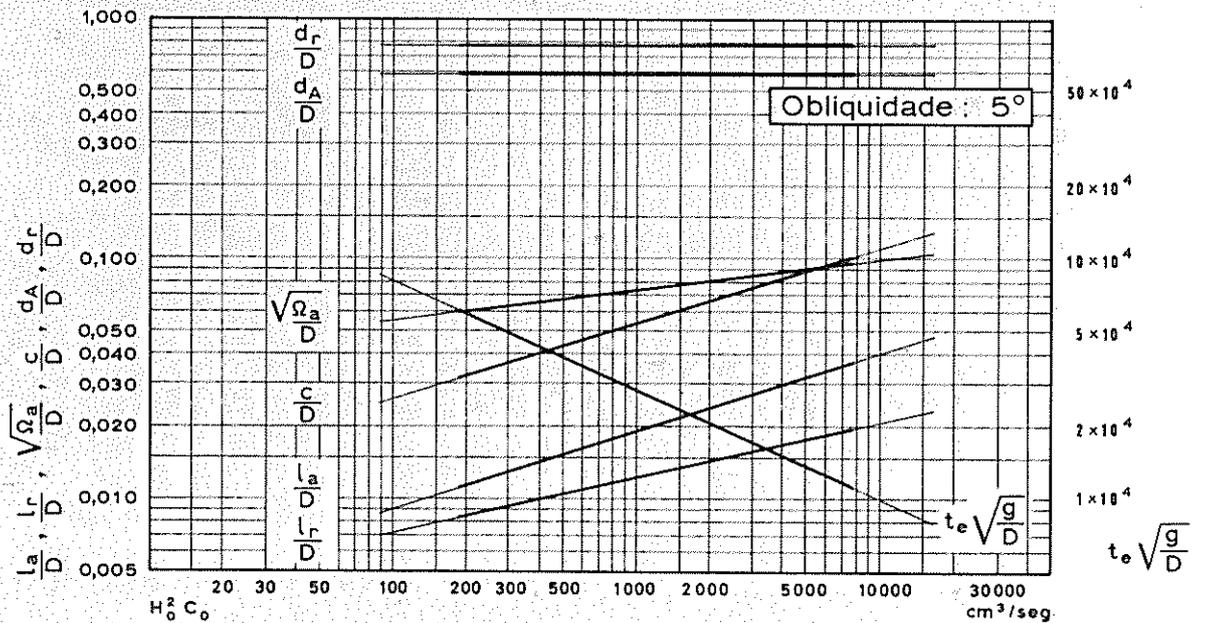
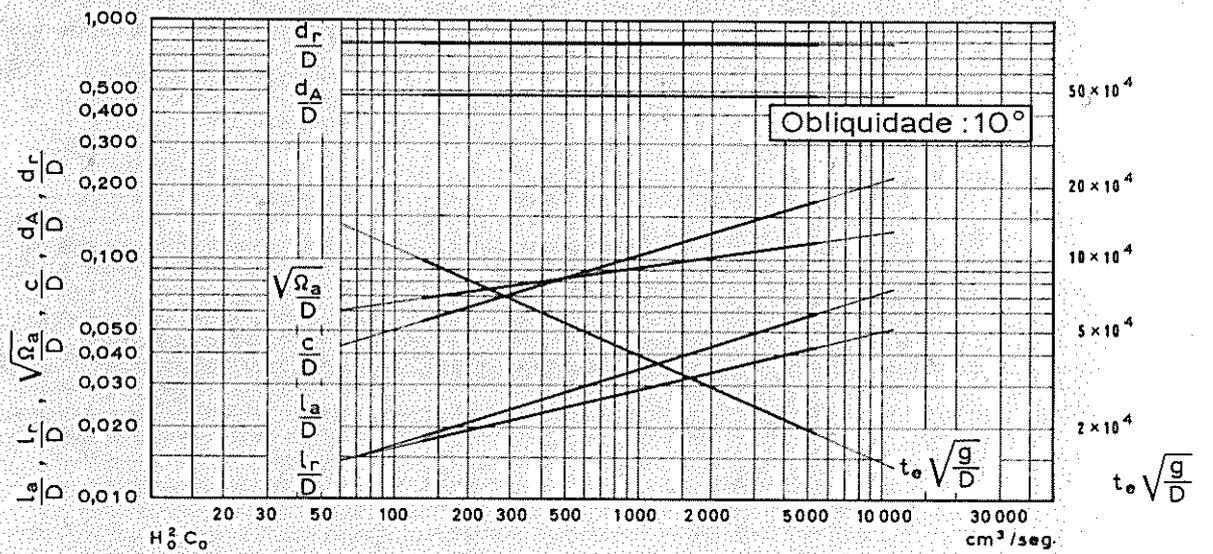
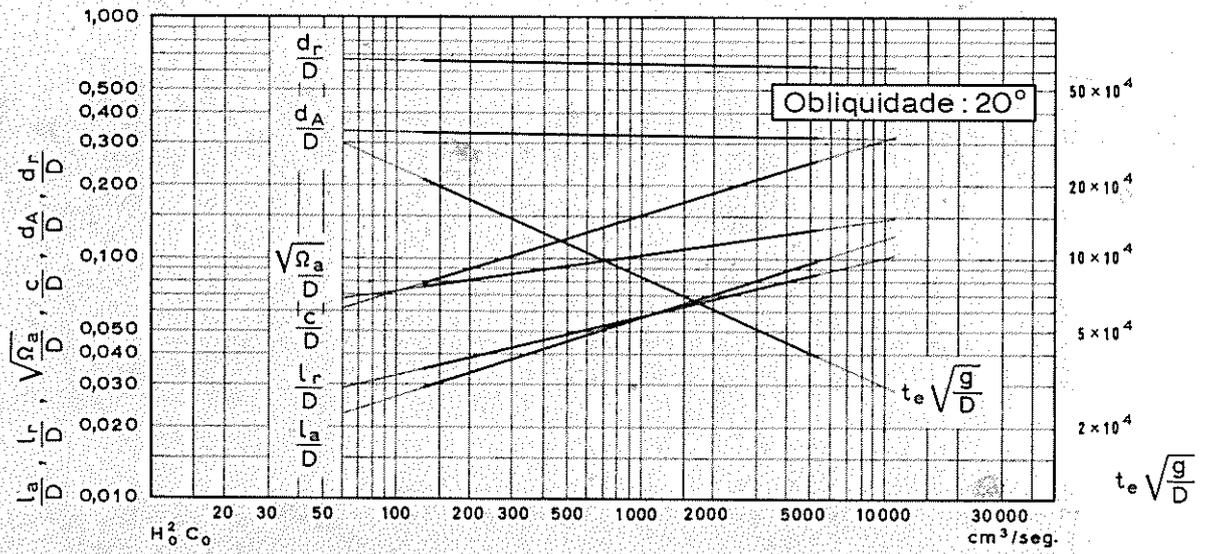
Distância entre esporões	Onda		Troço da Praia	Séries						
	α_0	T		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª
	graus	seg.		Pedra - pomes			Areia	Baquelite	Pedra - pomes	
14,30	20°	1,0	Barlamar	○					●	⊙
		1,5		△					⊗	
		1,8		□					∇	
	10°	1,0		⊙					×	∧
		1,5		▽					*	
		1,8		◇					+	
	5°	1,0		⊖					Y	
		1,5		◁					*	
		1,8		◻						
6,00	20°	1,0	Sotamar	⊙					NB: Utilizaram-se os símbolos de barlamar	
		1,5		△						
		1,8		◻						
	10°	1,0		⊙						
		1,5		▽						
		1,8		◇						
	5°	1,0		⊖						
		1,5		◁						
		1,8		◻						
8,10	20°	1,0	Barlamar		●		⋈	⋈		
		1,5		▲						
		1,8		■						
	10°	1,0		●			⋈	⋈		
		1,0					⋈	⋈		
		1,8		■						
6,00	20°	1,0	Barlamar		●					
	10°	1,0			●					
	5°	1,0			●					
7,70	20°	1,0	Barlamar			⊙				
	10°	1,0				△				
	5°	1,0				⊙				

ANEXO 18 — Quadro da simbologia adoptada na representação dos resultados experimentais

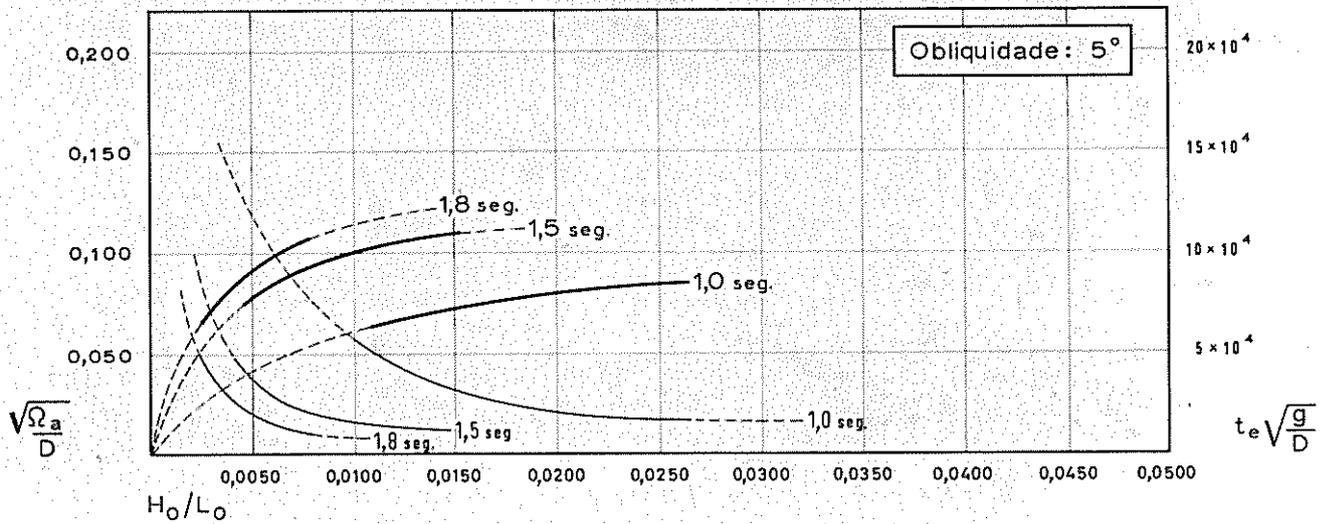
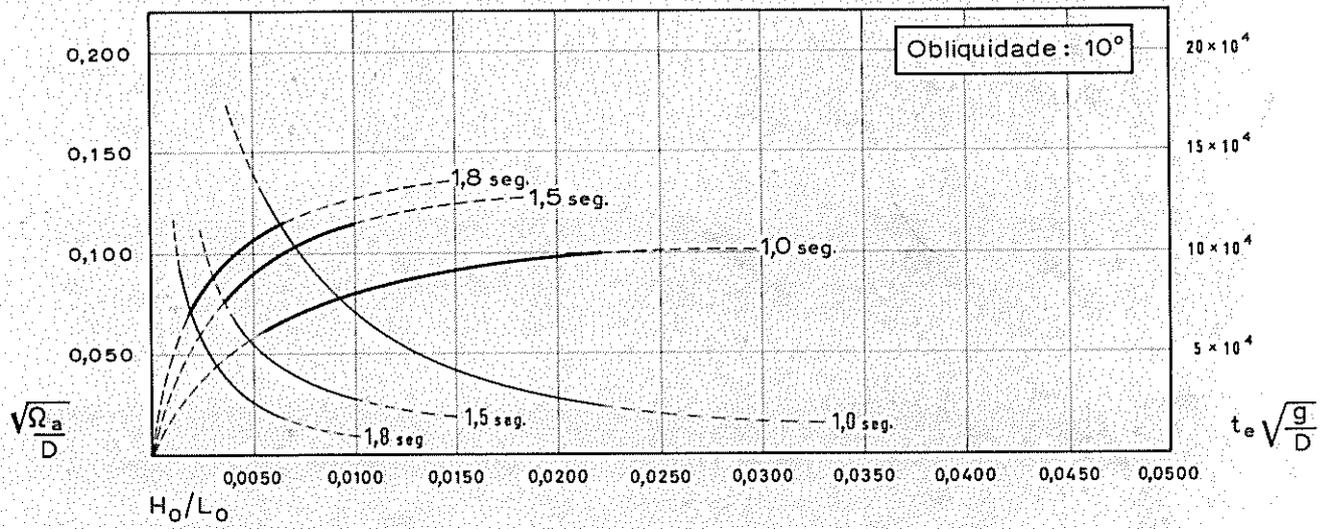
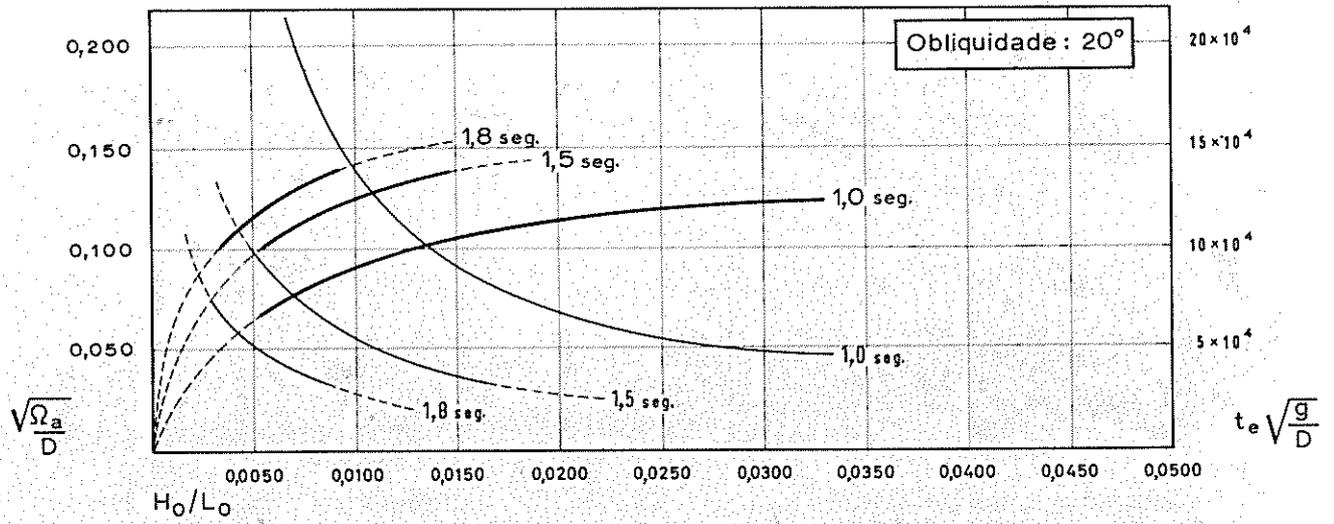




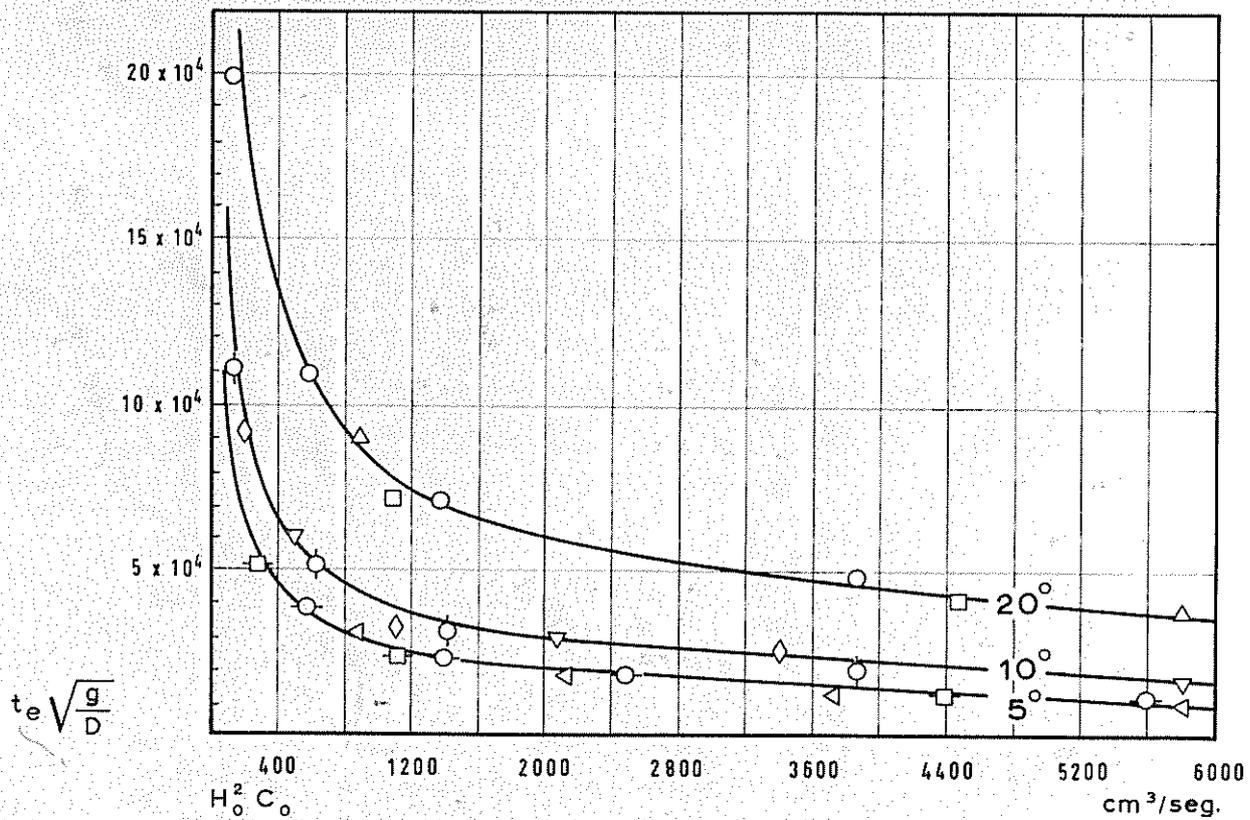
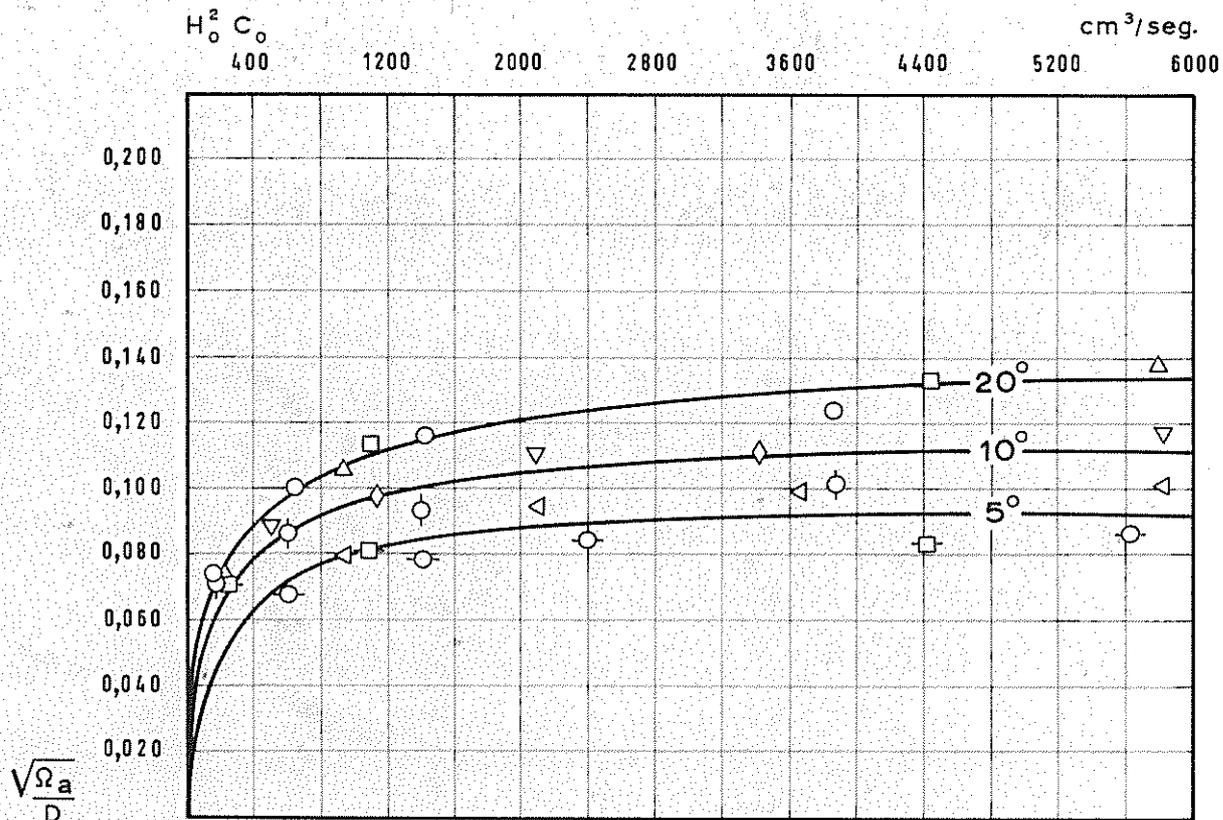




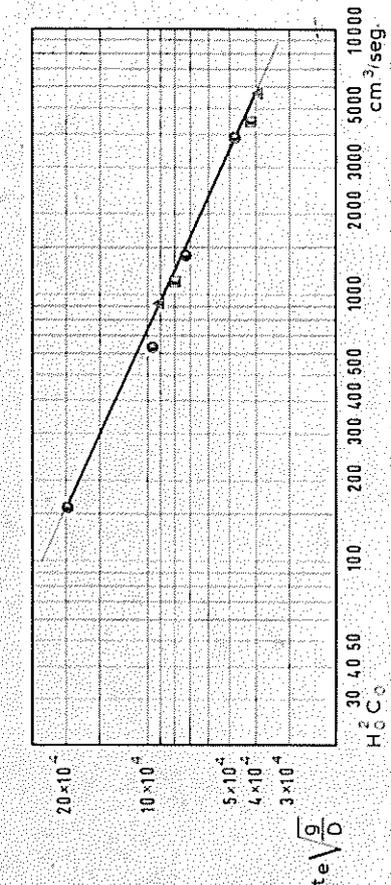
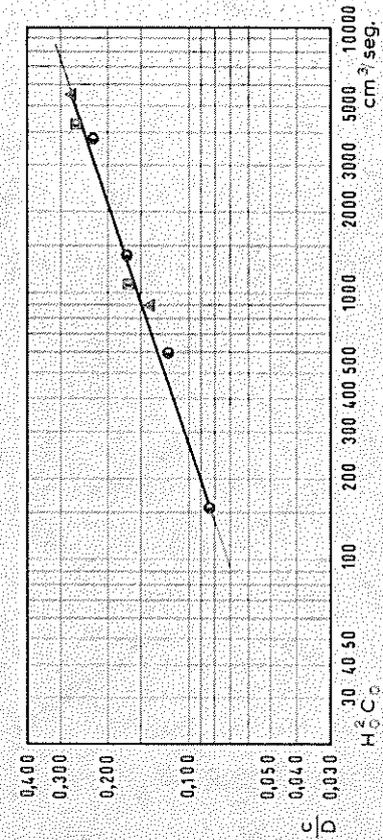
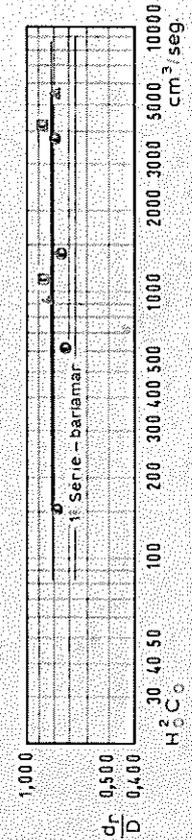
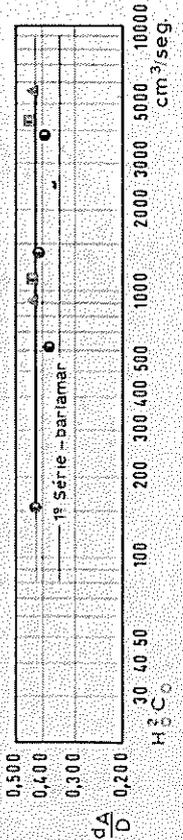
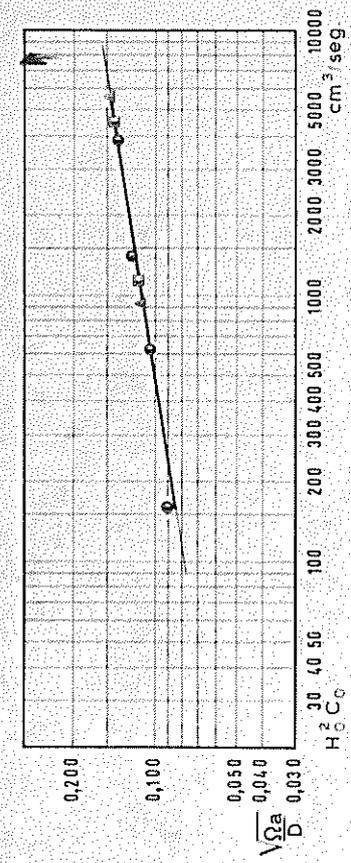
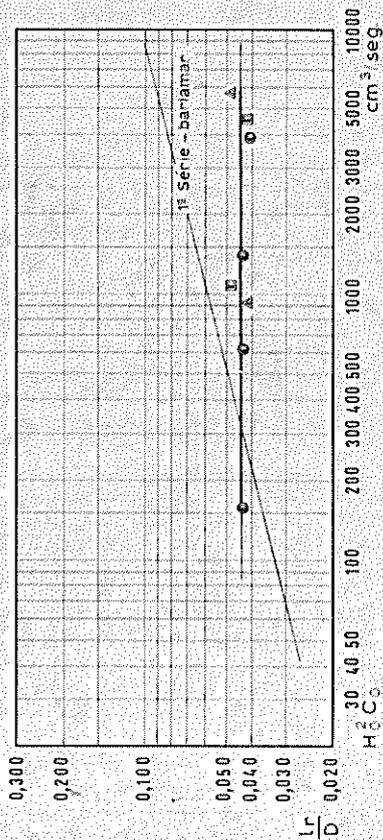
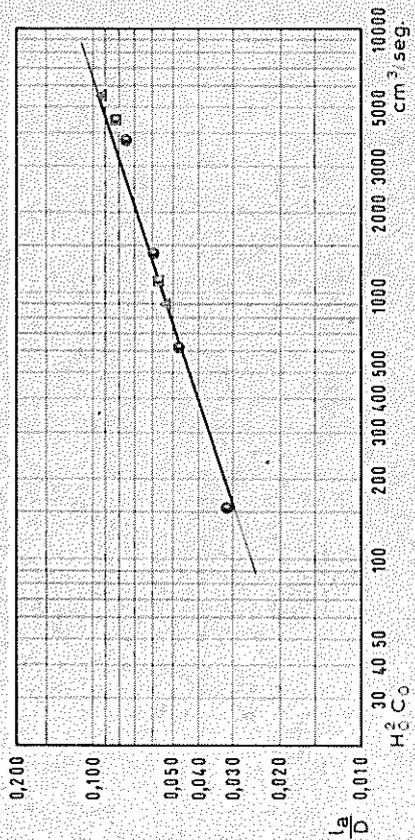
ANEXO 22 - ENSAIOS COM PEDRA - POMES. III SÉRIE. TROÇO DE BARLAMAR
 Relações entre os parâmetros característicos da evolução da praia e $H_0^2 C_0$

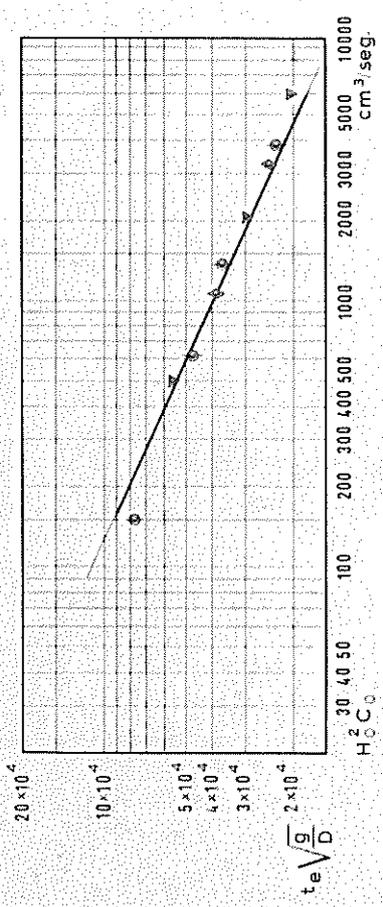
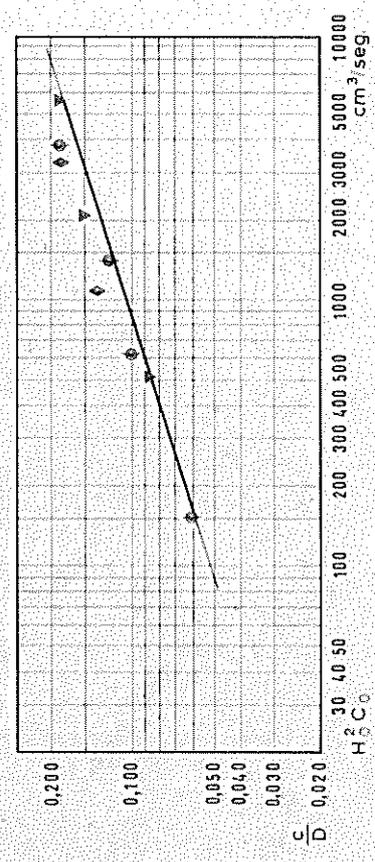
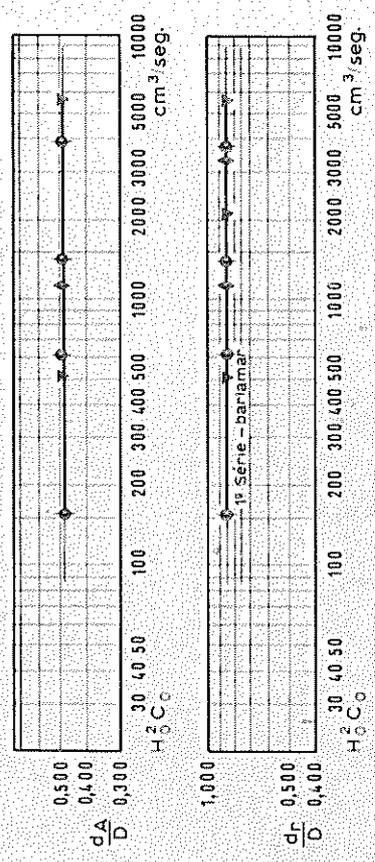
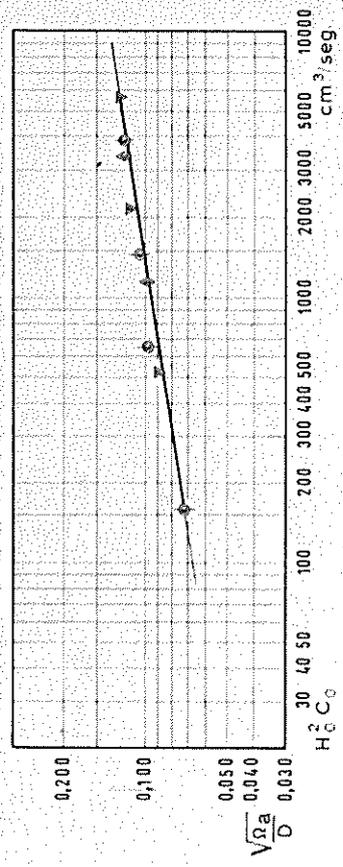
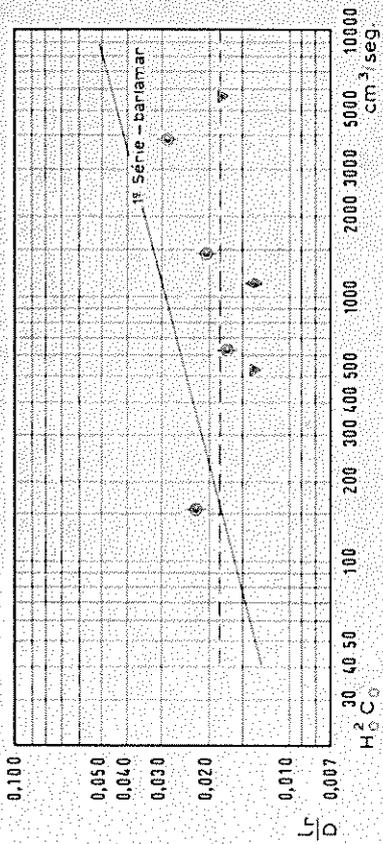
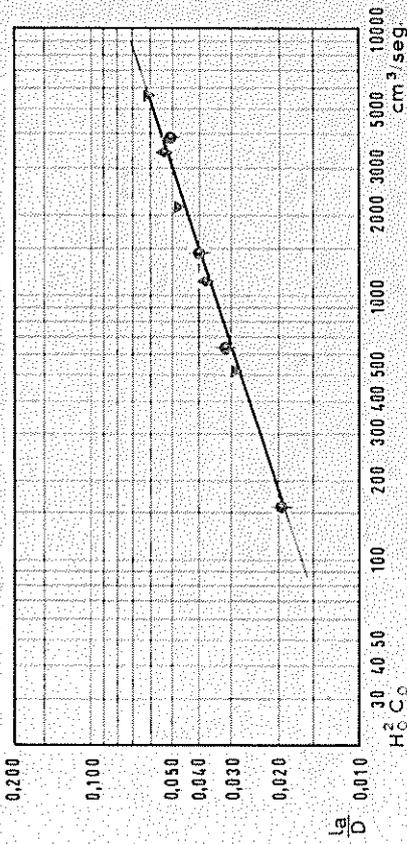


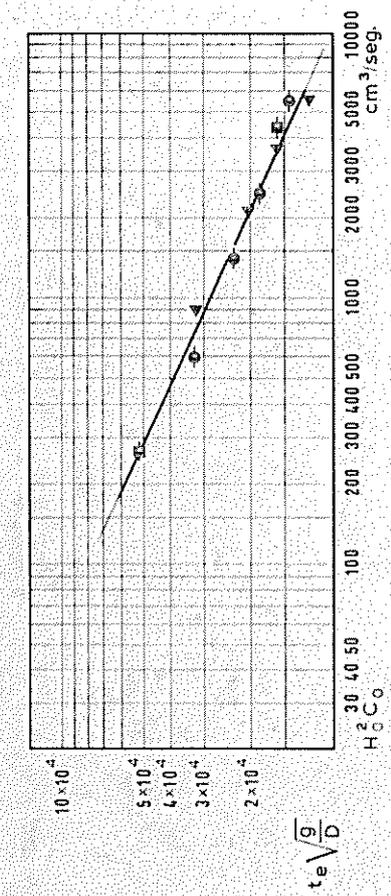
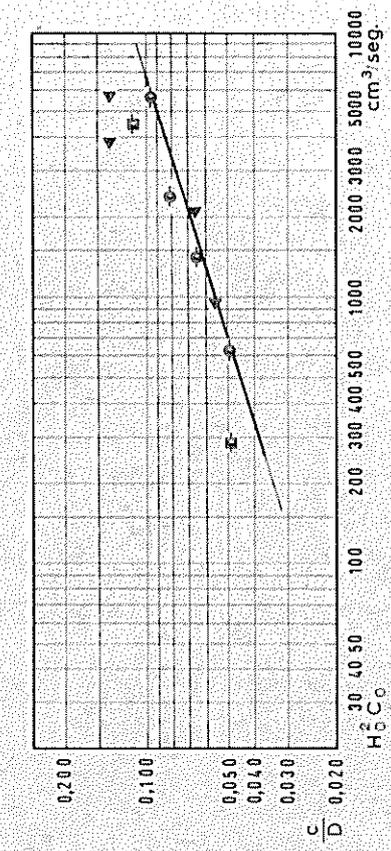
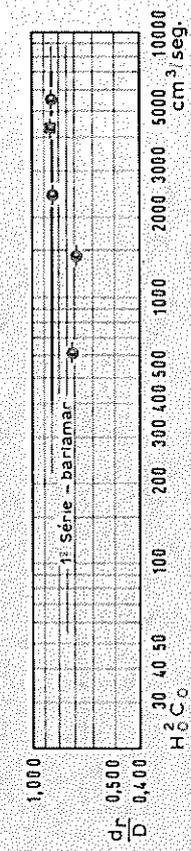
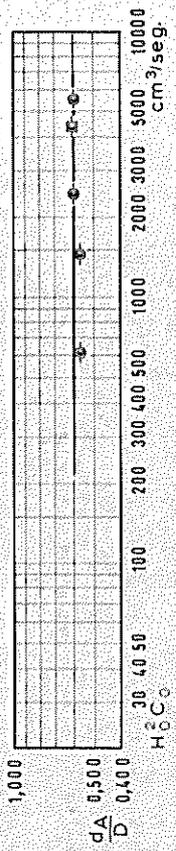
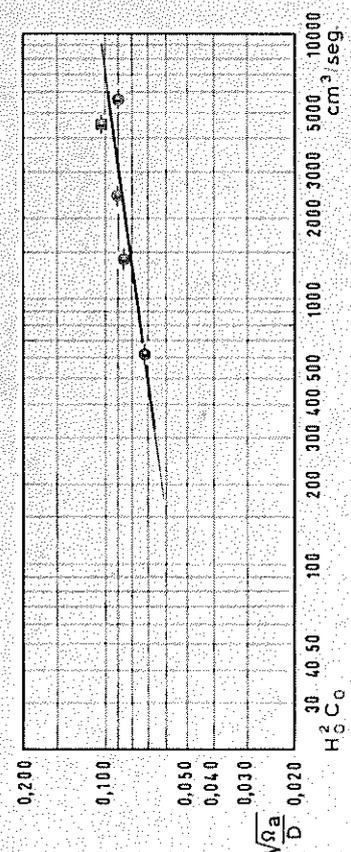
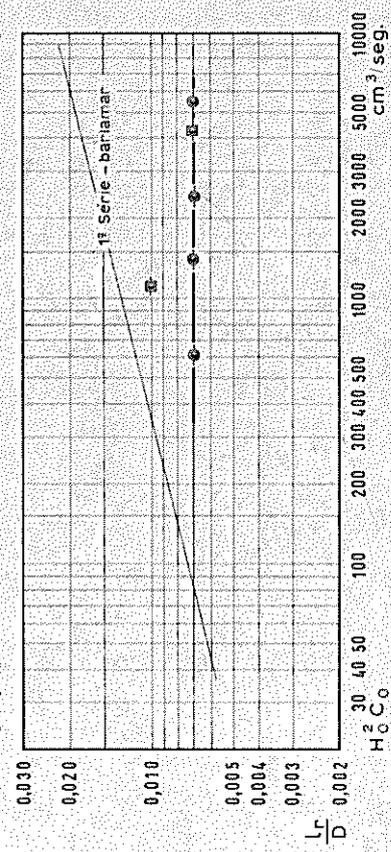
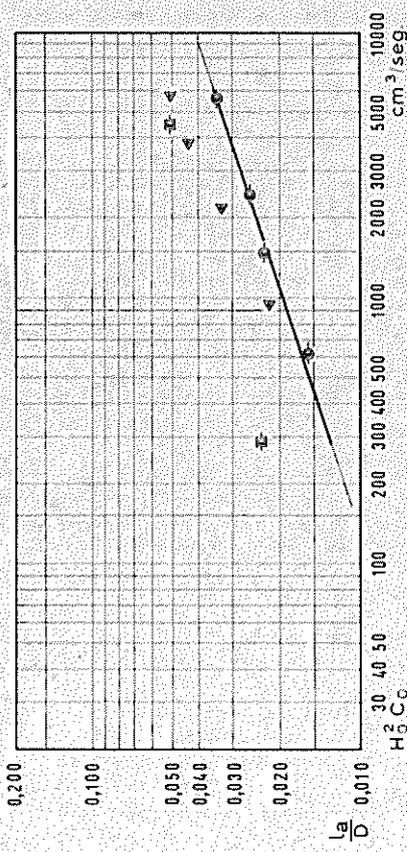
ANEXO 23 — CURVAS DE $\sqrt{\Omega_a} / D$ E $t_e \sqrt{g/D}$ EM FUNÇÃO DE H_o/L_o

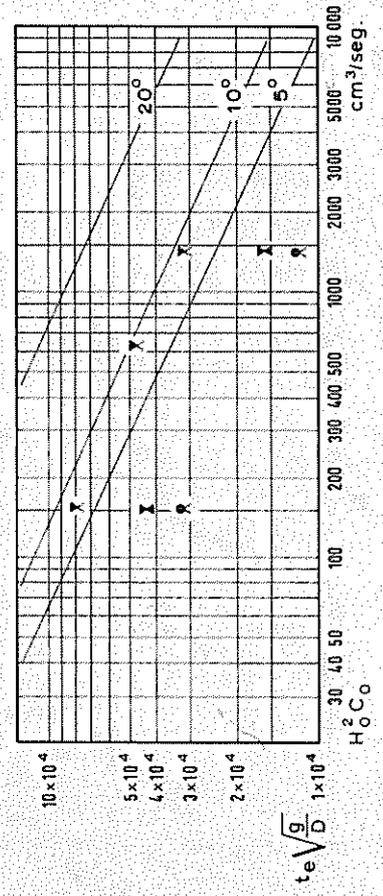
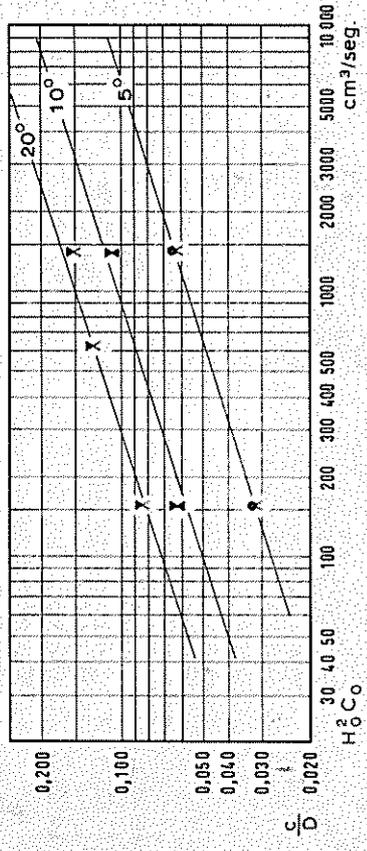
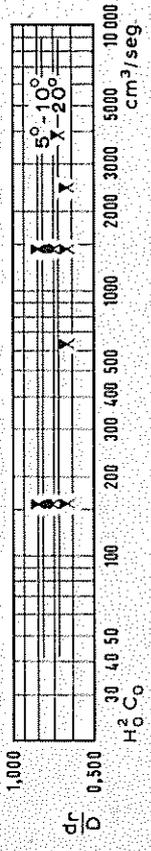
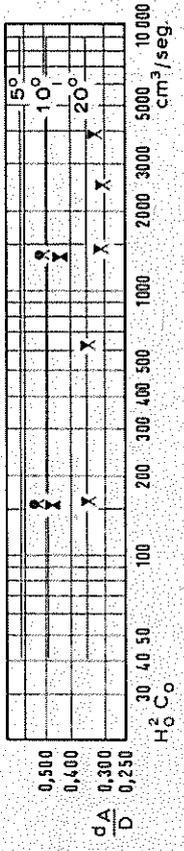
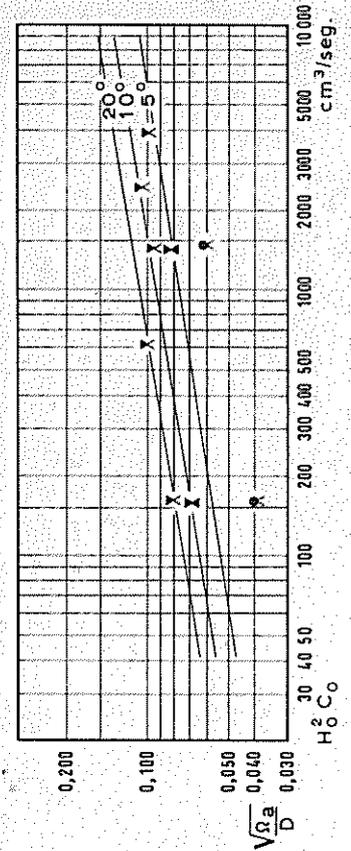
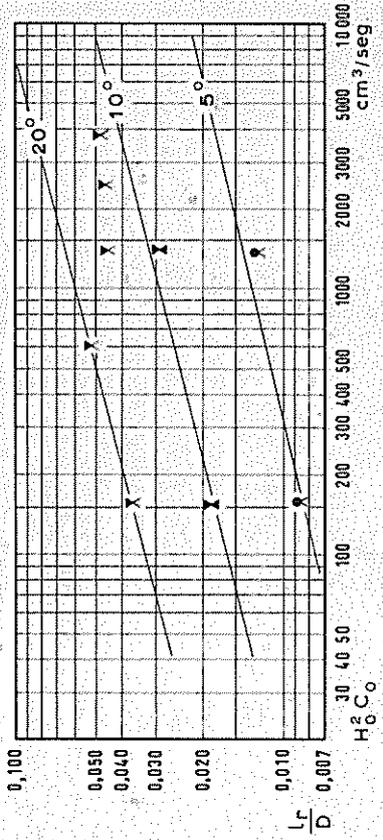
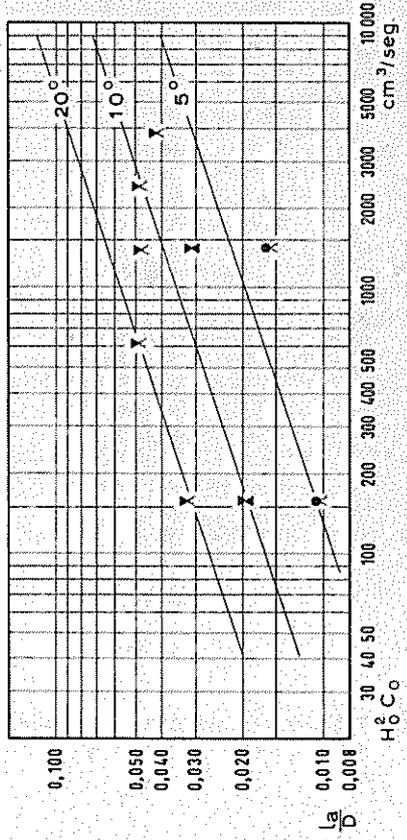


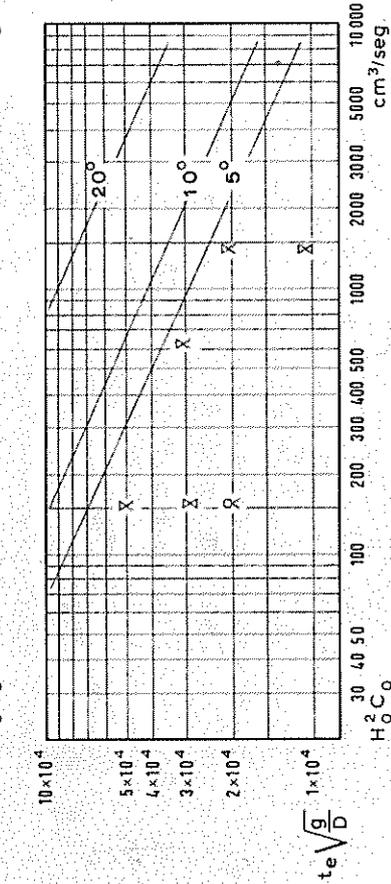
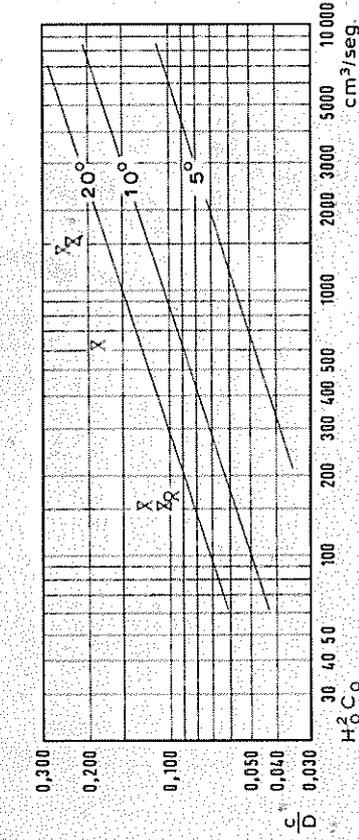
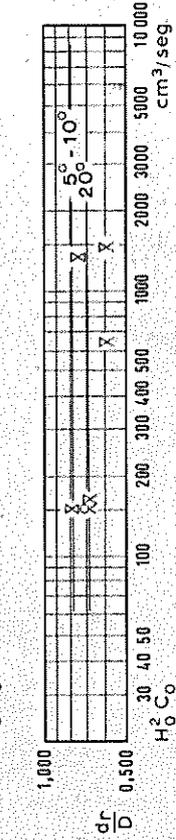
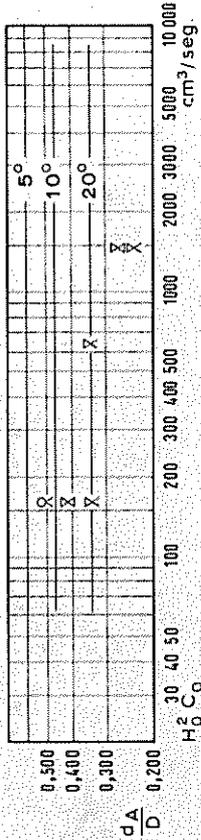
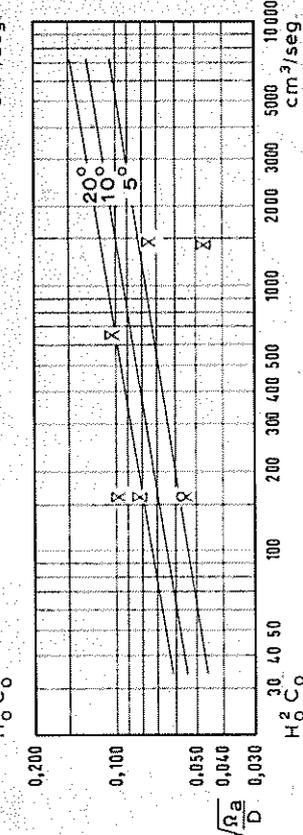
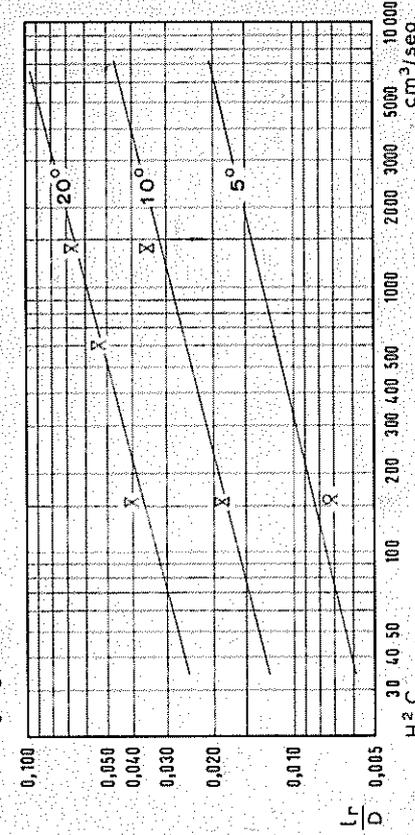
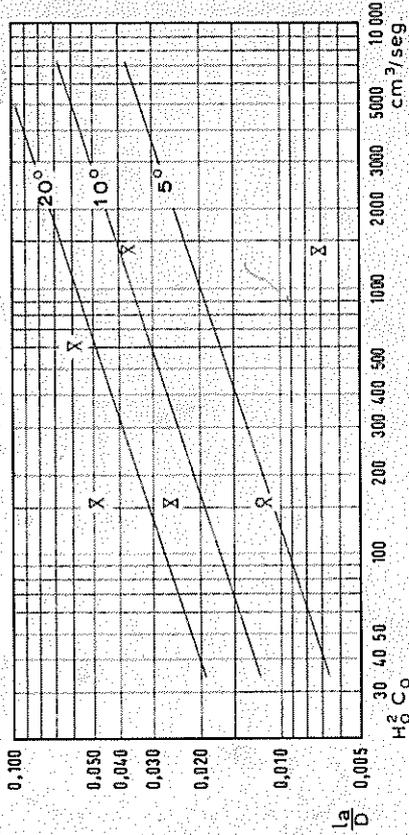
ANEXO 24 — CURVAS DE $\frac{\sqrt{\Omega a}}{D}$ E $te \sqrt{\frac{g}{D}}$ EM FUNÇÃO DE $H_2O C_0$

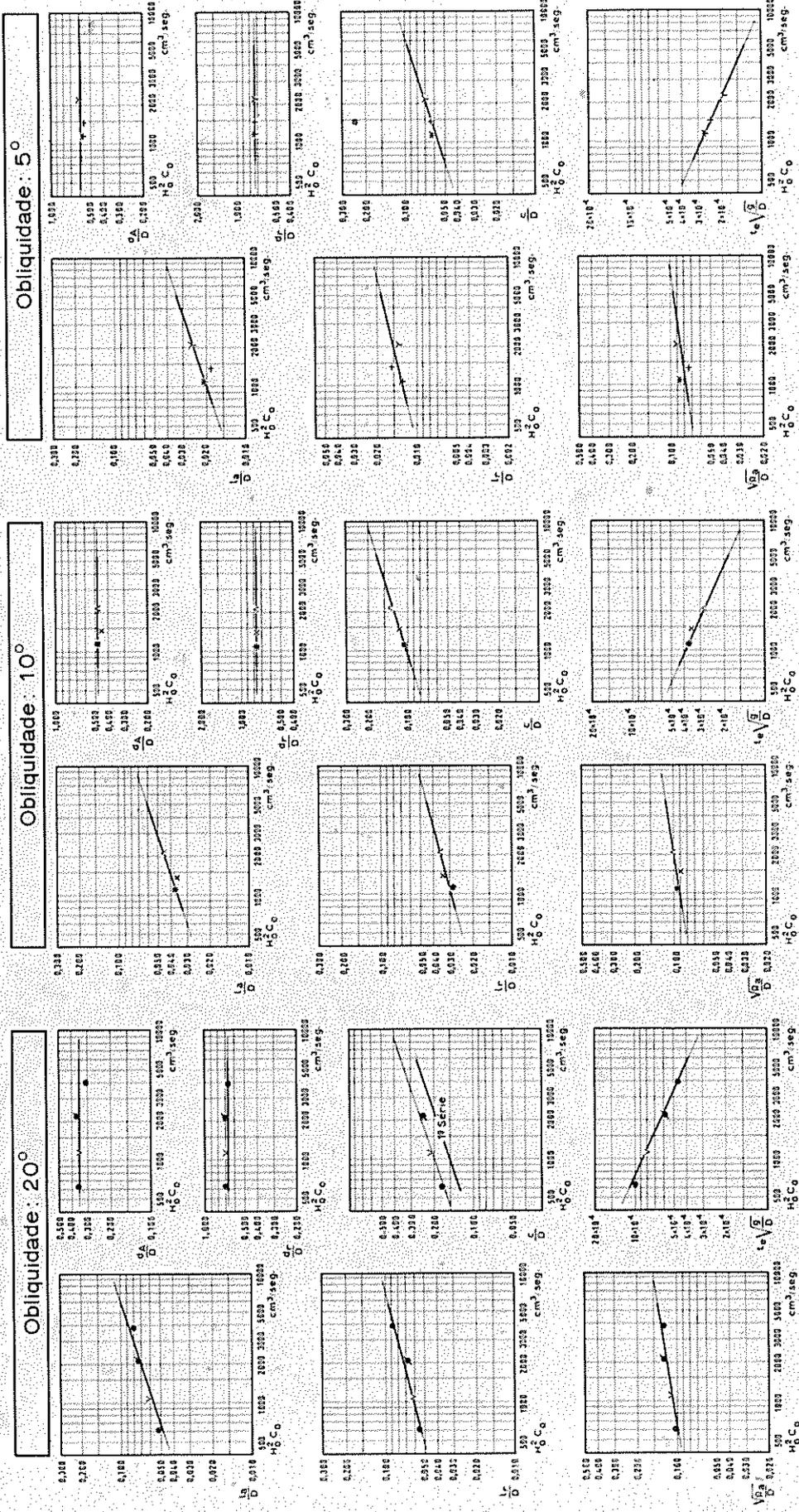


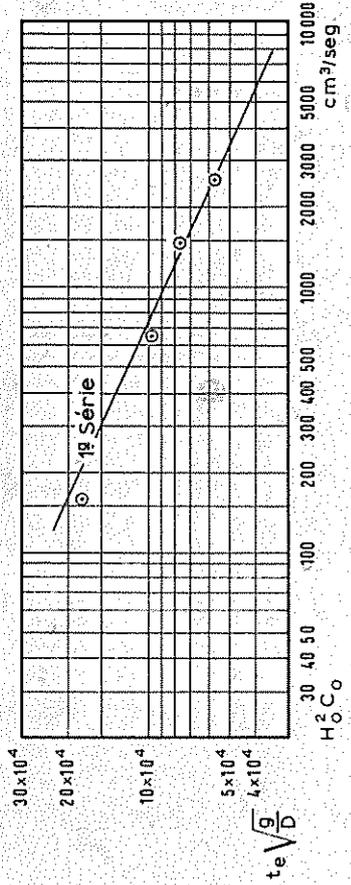
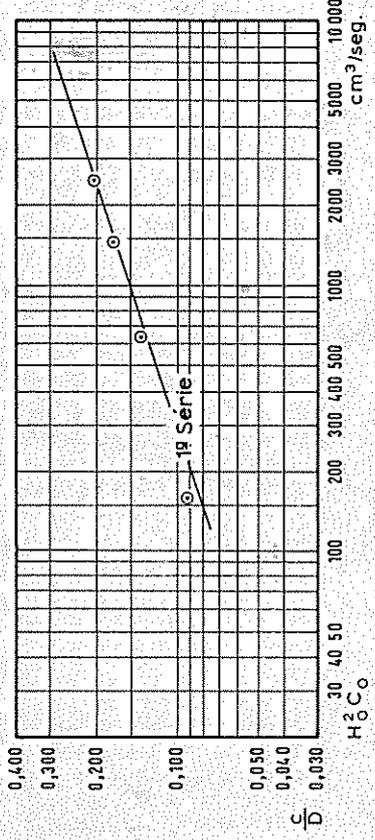
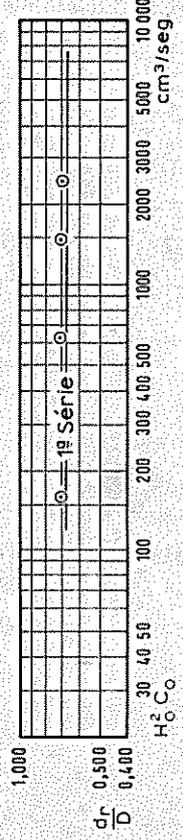
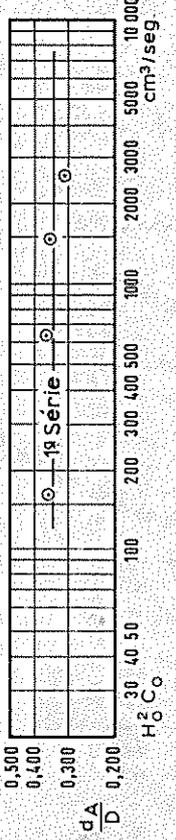
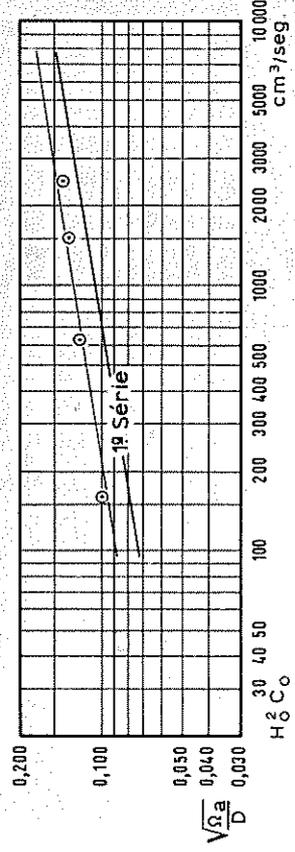
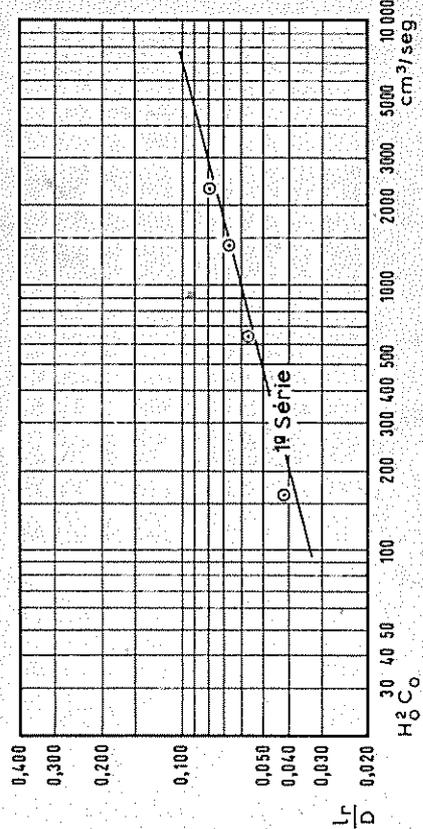
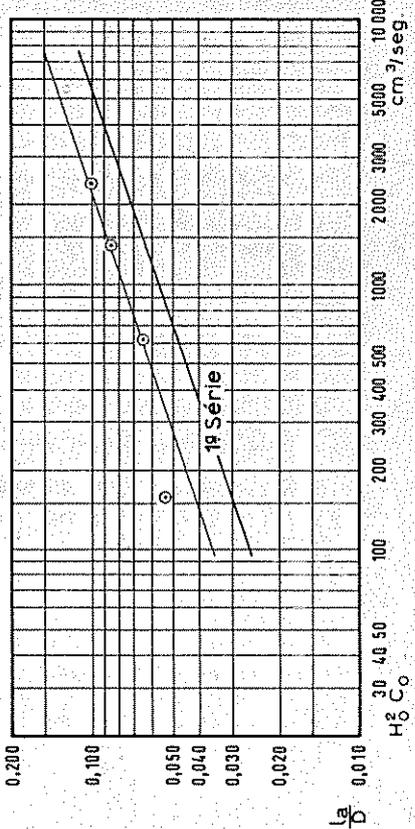


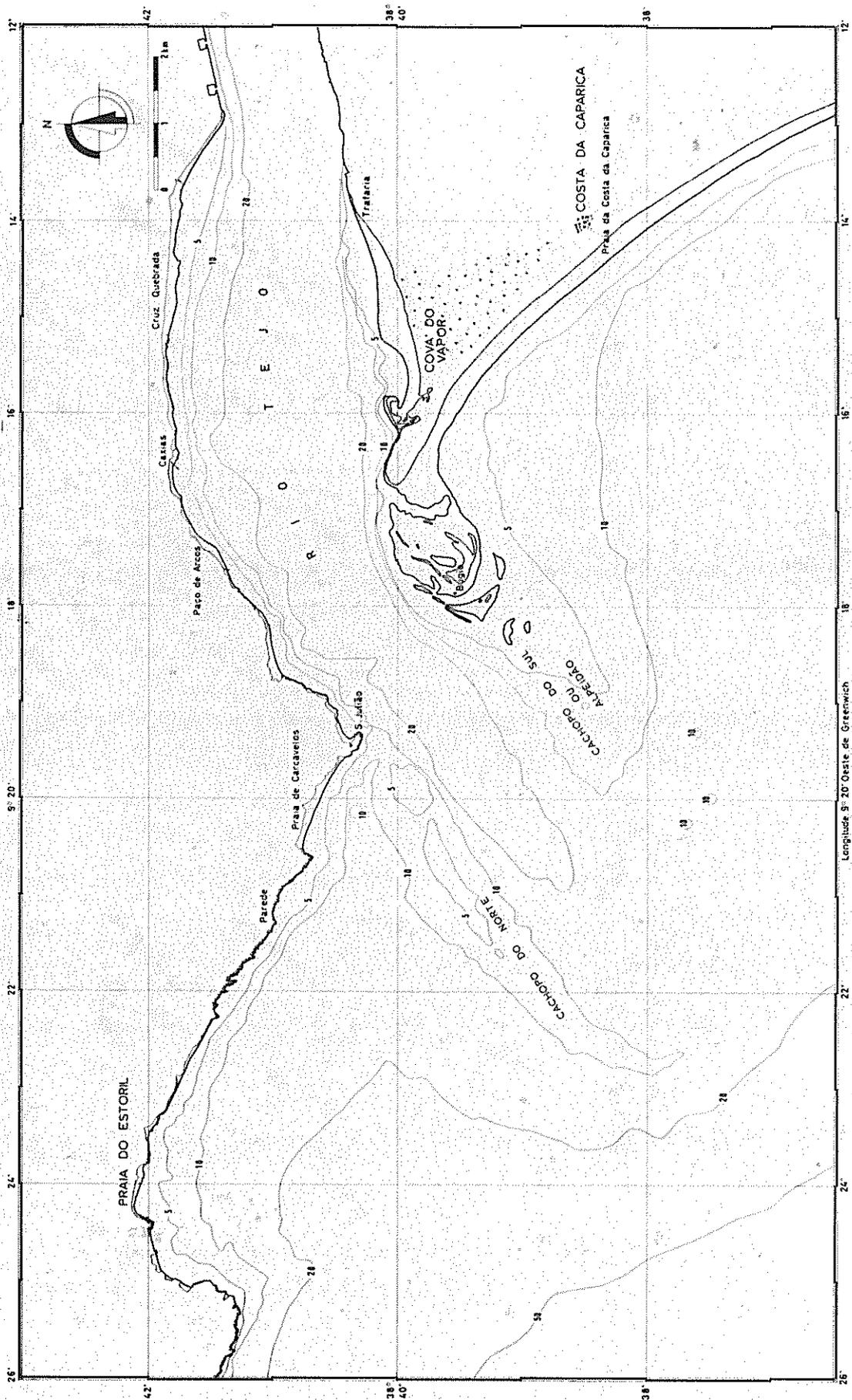




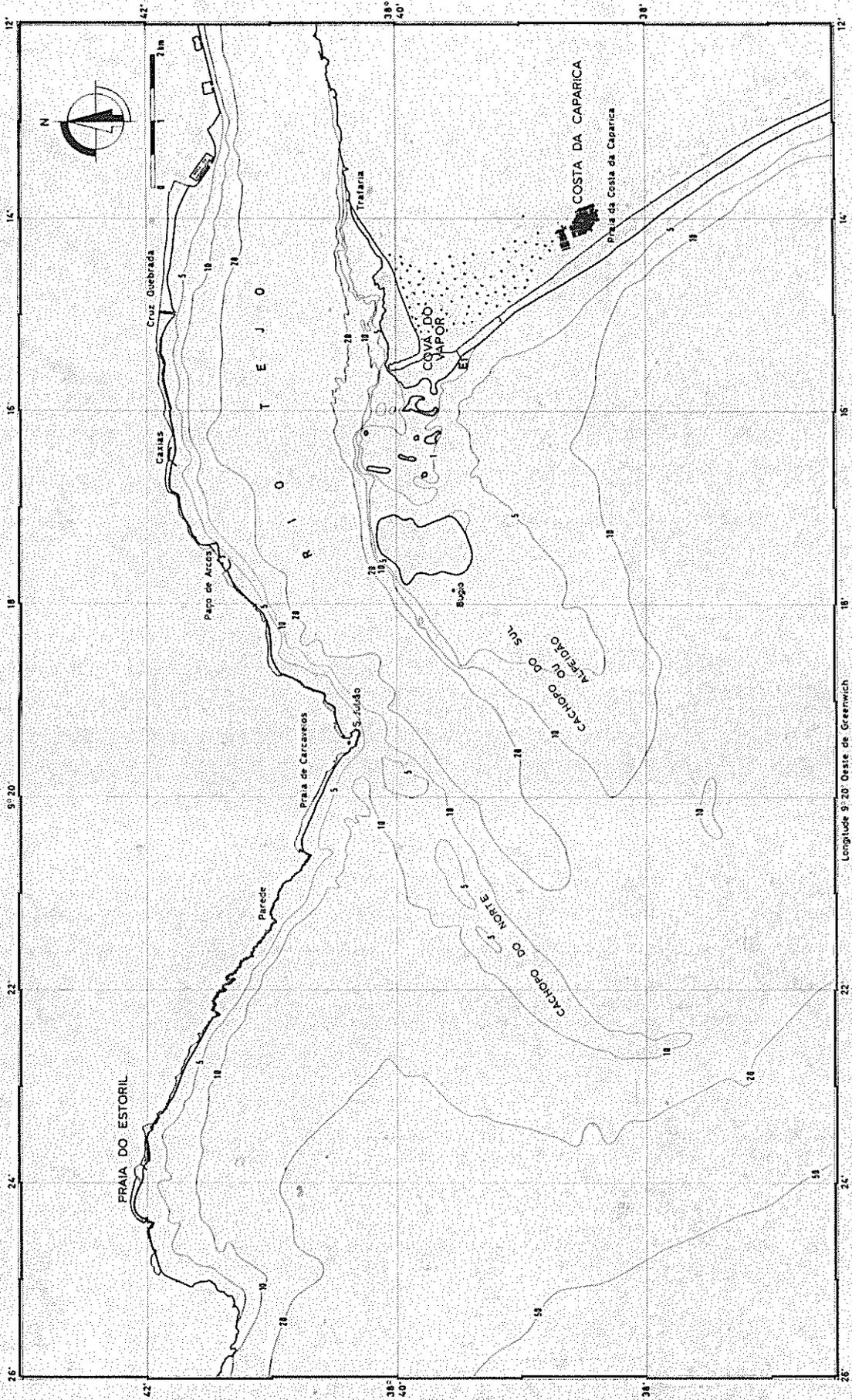




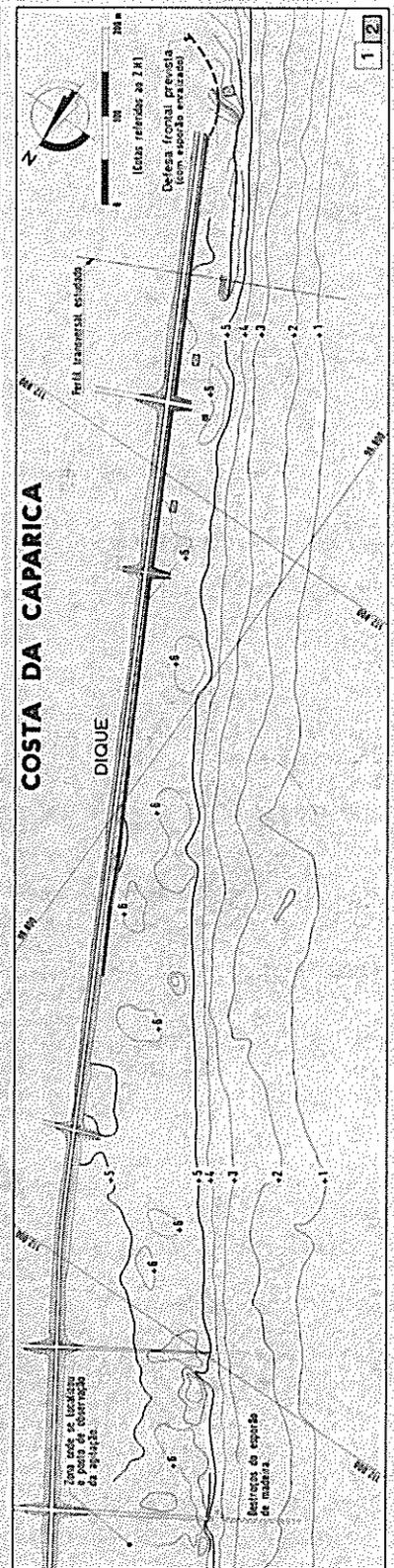
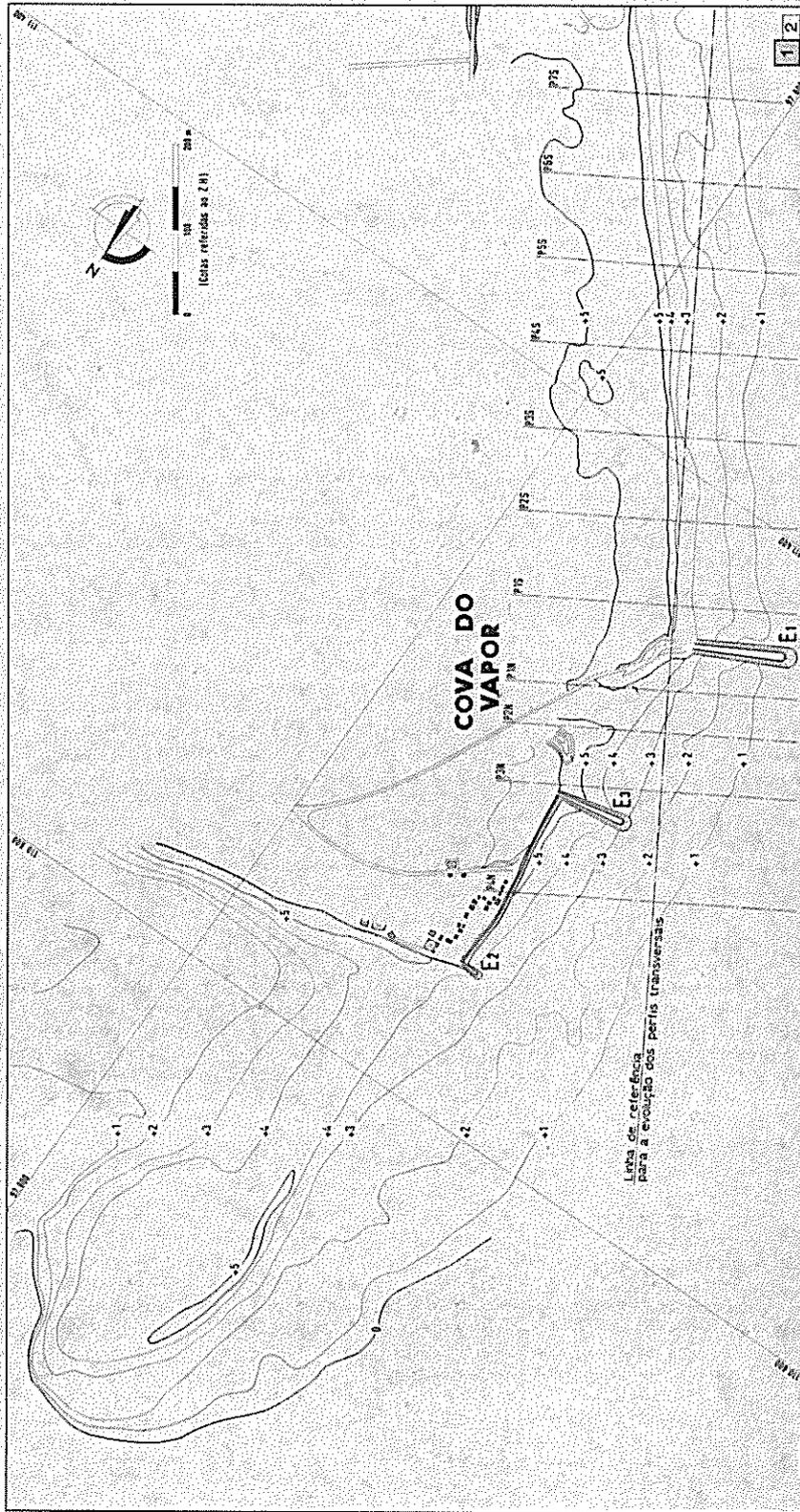




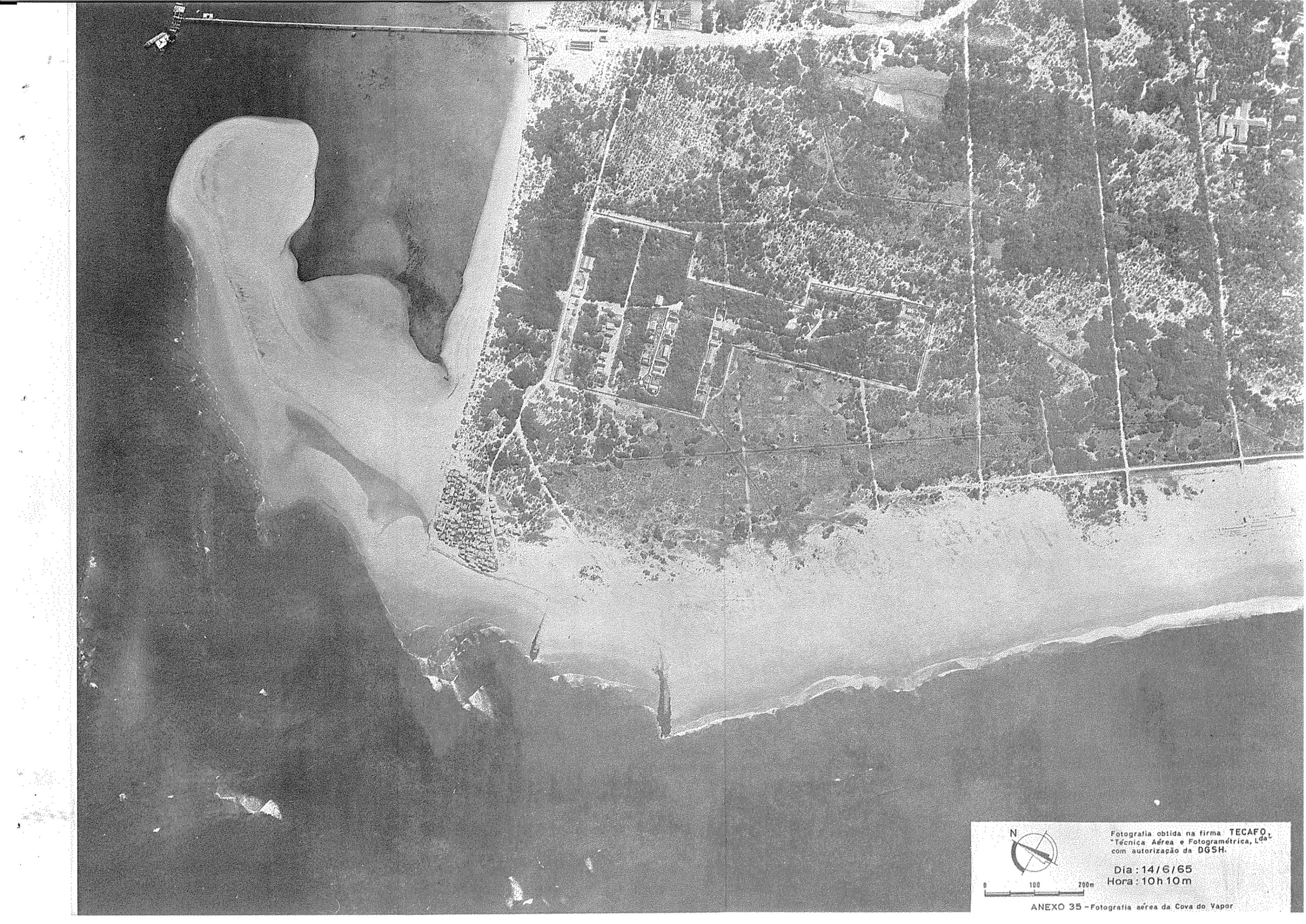
ANEXO 32 — PLANTA HIDROGRÁFICA DAS BARRAS DO PORTO DE LISBOA. 1929



ANEXO 33 — PLANTA HIDROGRÁFICA DAS BARRAS DO PORTO DE LISBOA, 1960



ANEXO 34 — PLANTA HIDROGRÁFICA DAS PRAIAS DA COVA DO VAPOR E COSTA DA CAPARICA (Escala: 1:50.000)

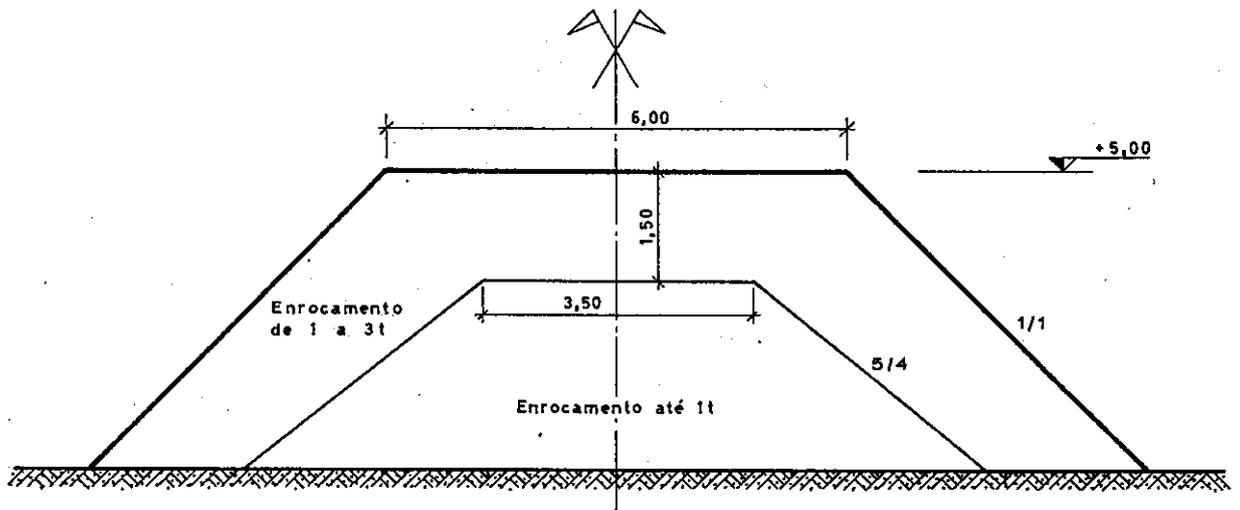


Fotografia obtida na firma TECAFO,
Técnica Aérea e Fotogramétrica, Lda,
com autorização da DGSH.

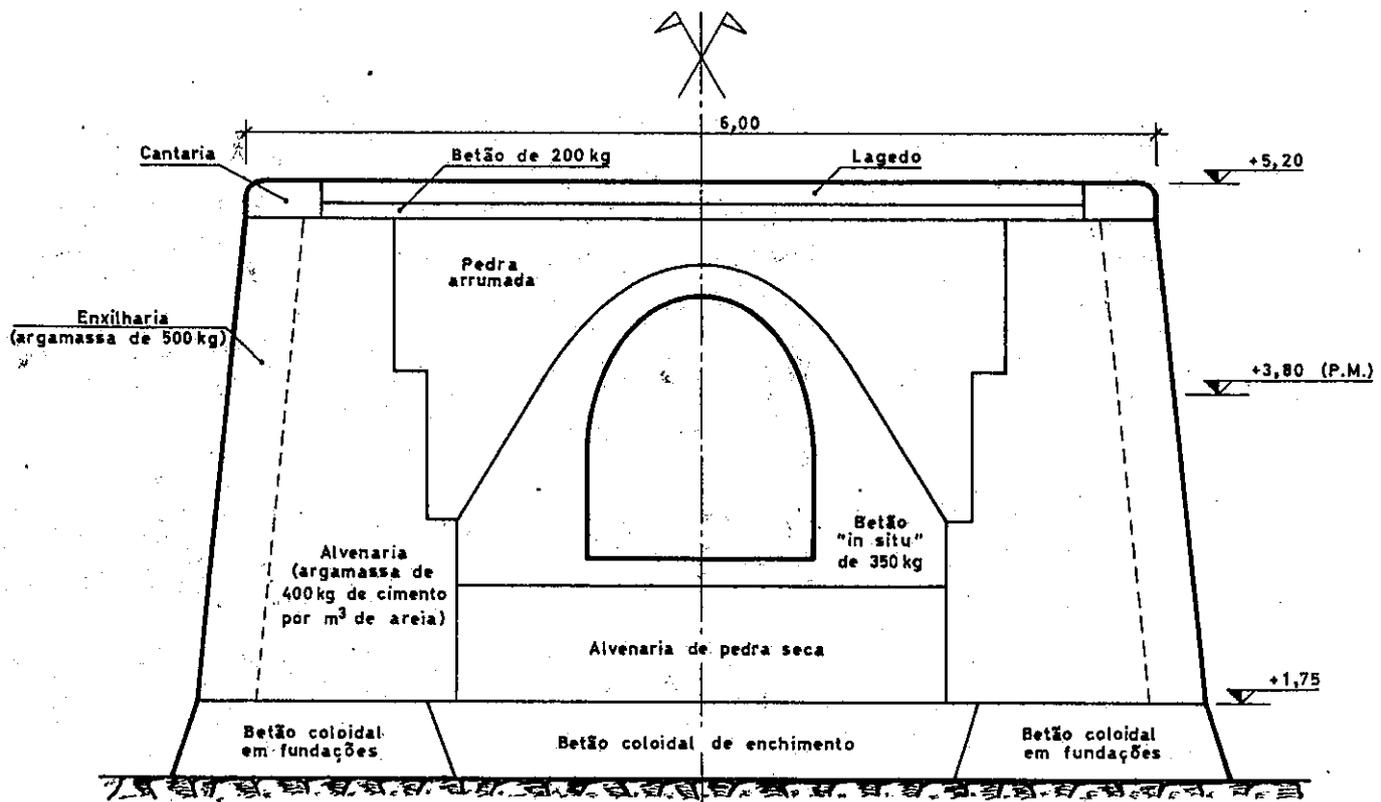
Dia : 14/6/65
Hora : 10h 10m

0 100 200m

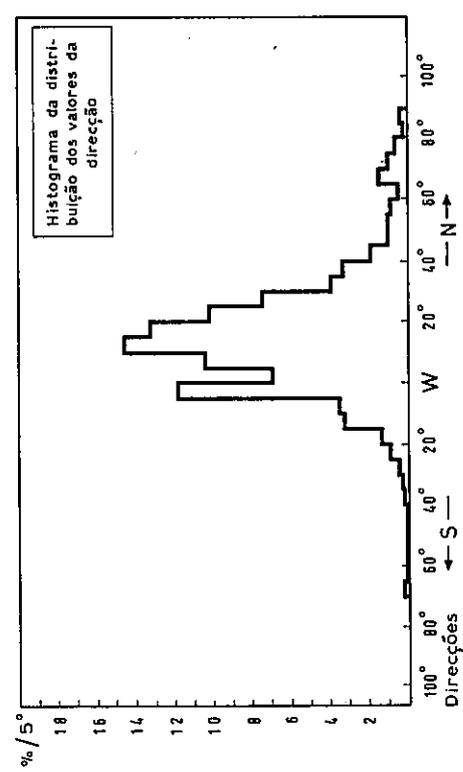
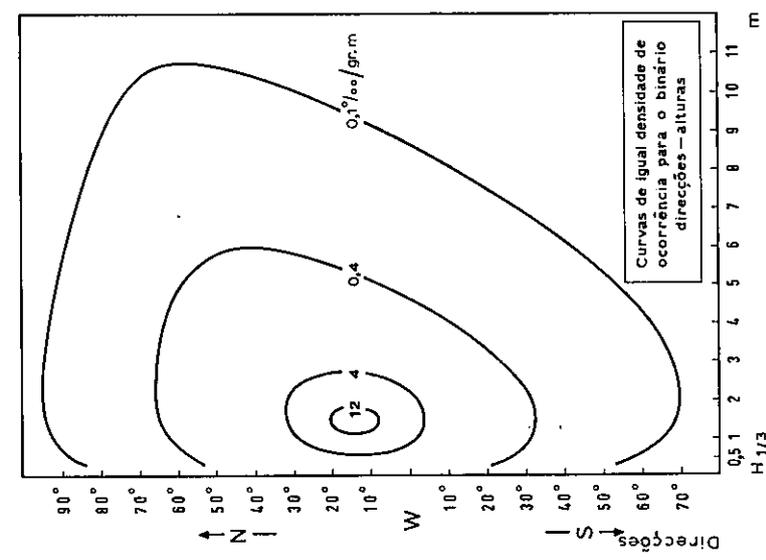
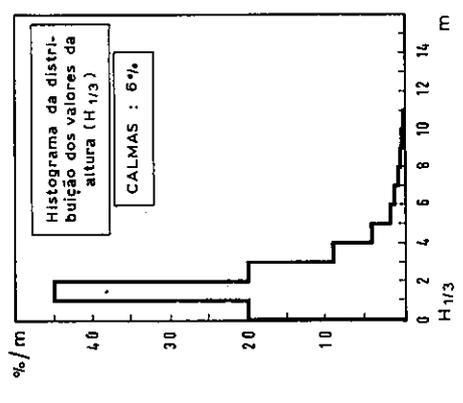
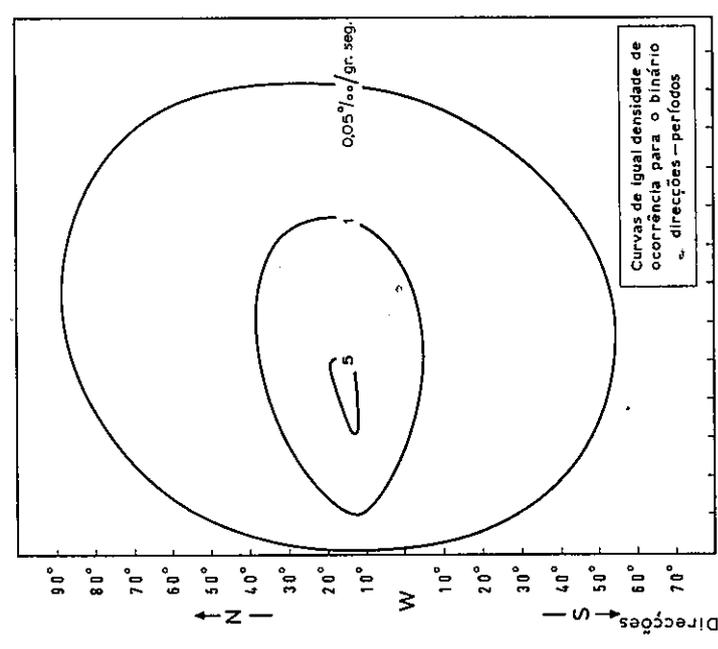
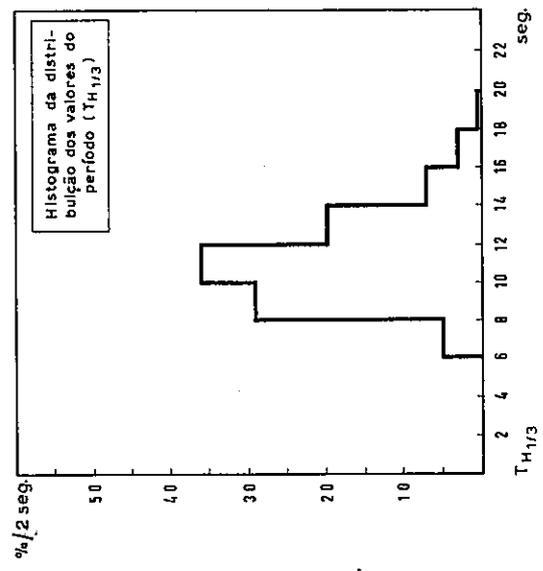
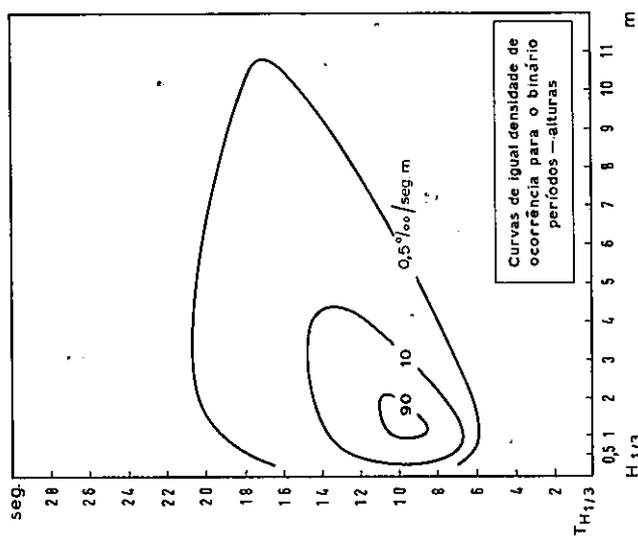
ANEXO 35 - Fotografia aérea da Cova do Vapor.



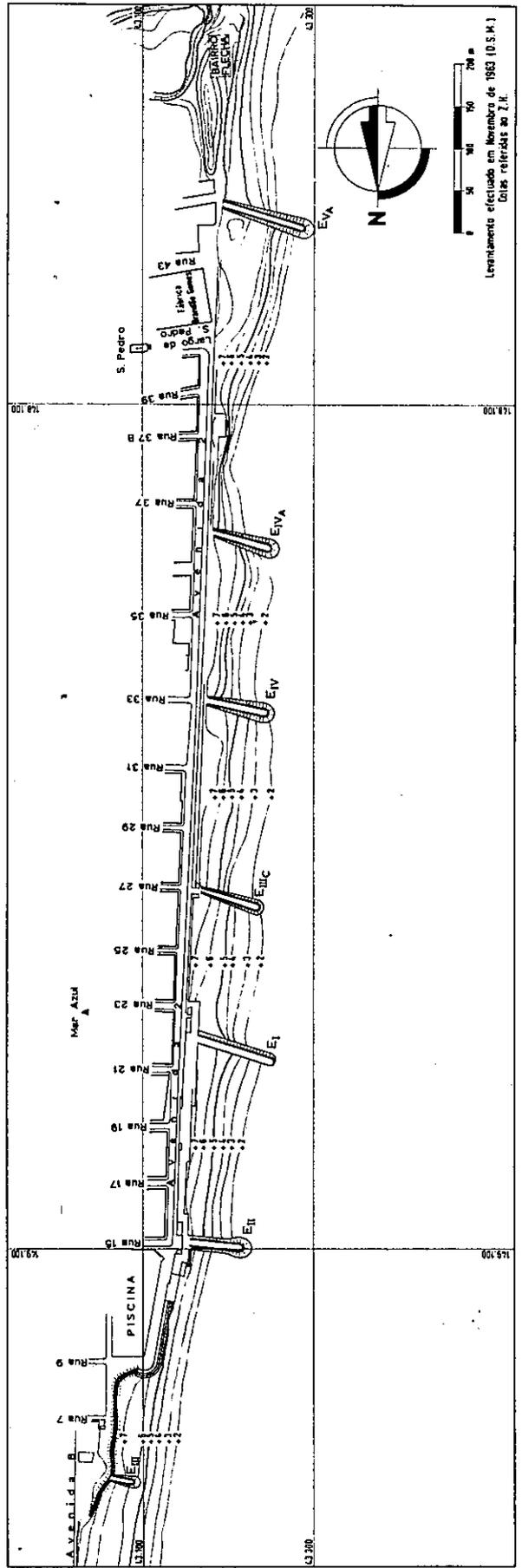
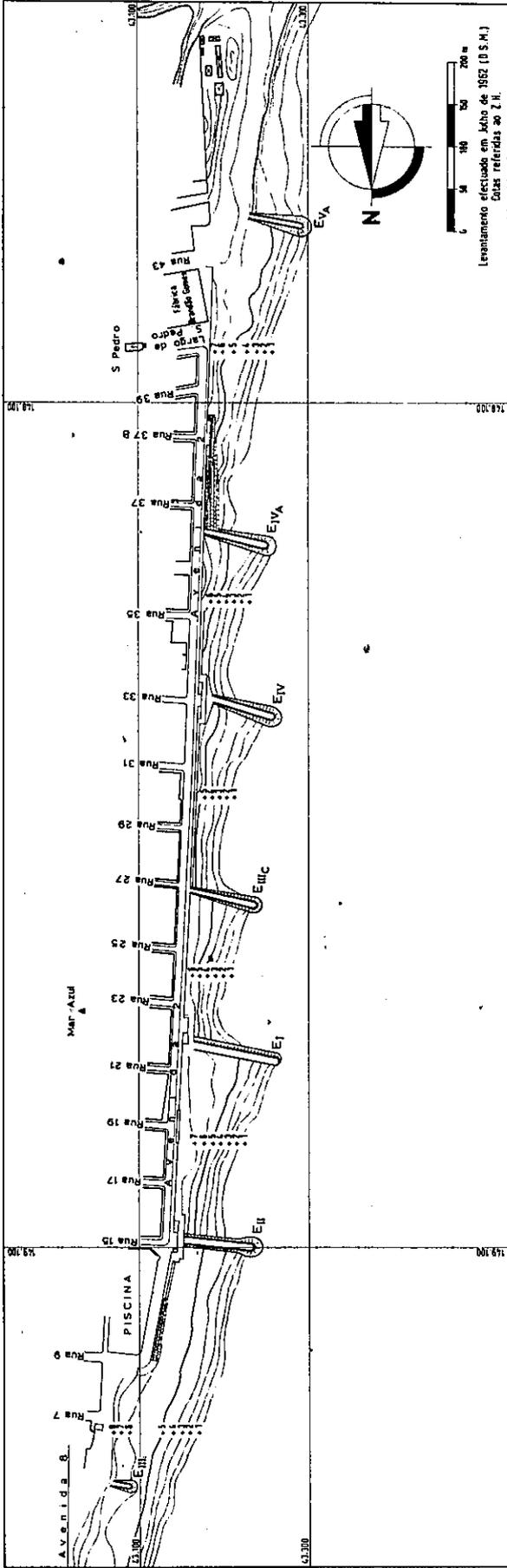
ESPORÕES DA COVA DO VAPOR

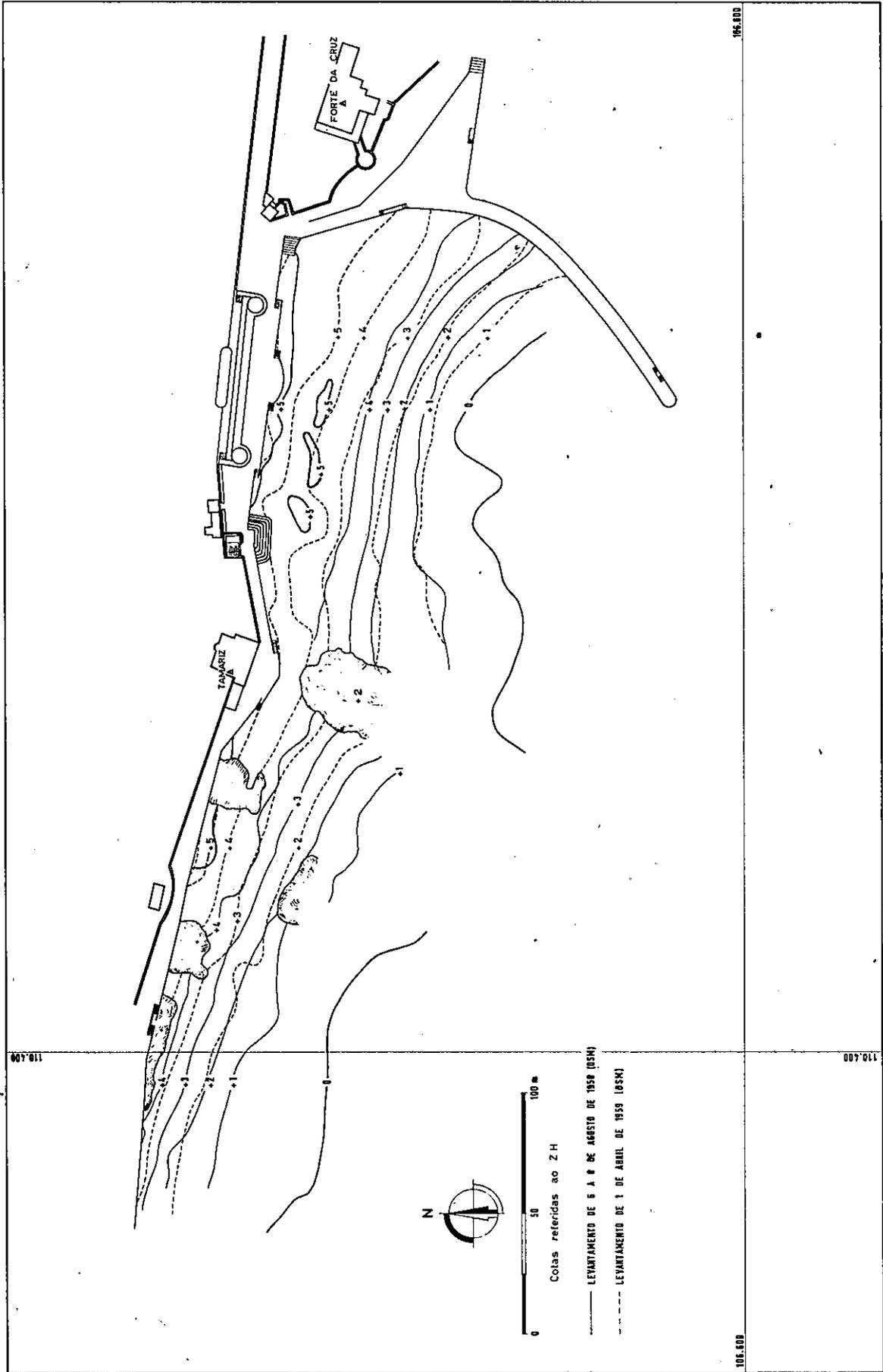


ESPORÃO DO ESTORIL



ANEXO 37 - CARACTERÍSTICAS DA ONDULAÇÃO AO LARGO DO PORTO DA FIGUEIRA DA FOZ (1954-1960)
 Profundidades superiores a meio comprimento de onda.

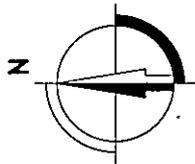




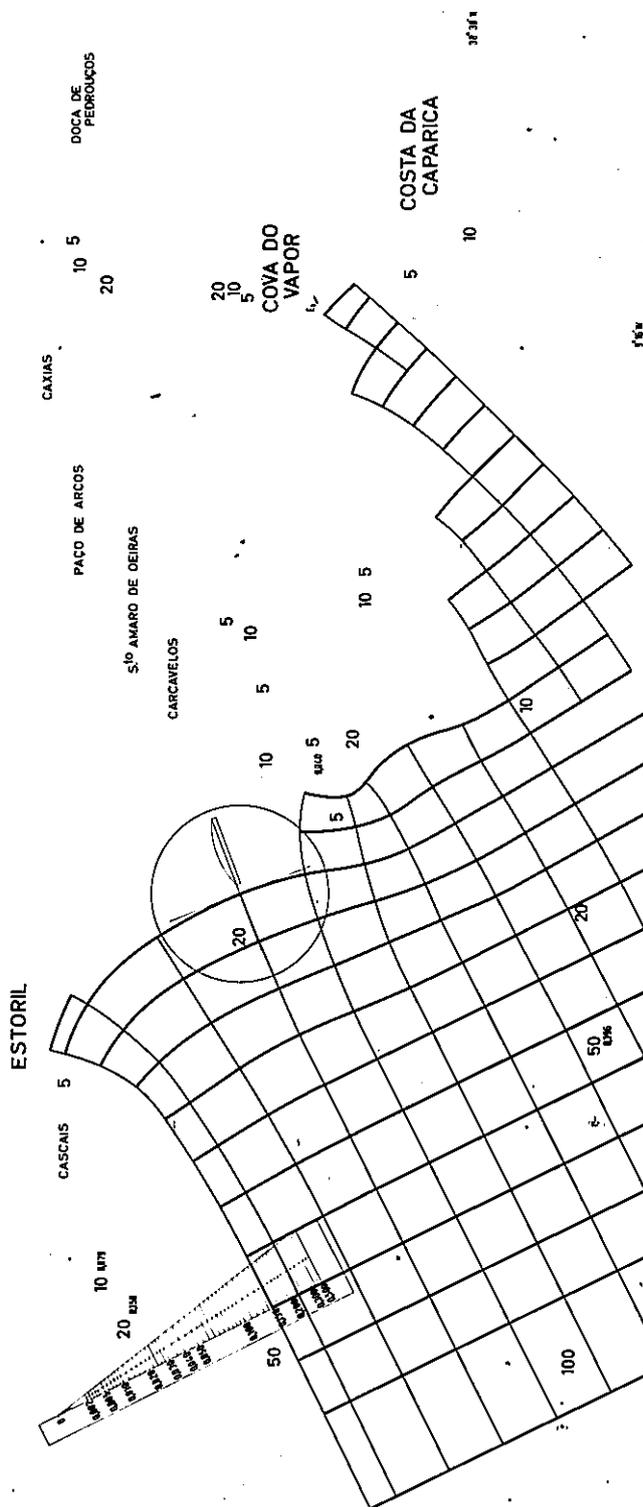
Cotas referidas ao Z H

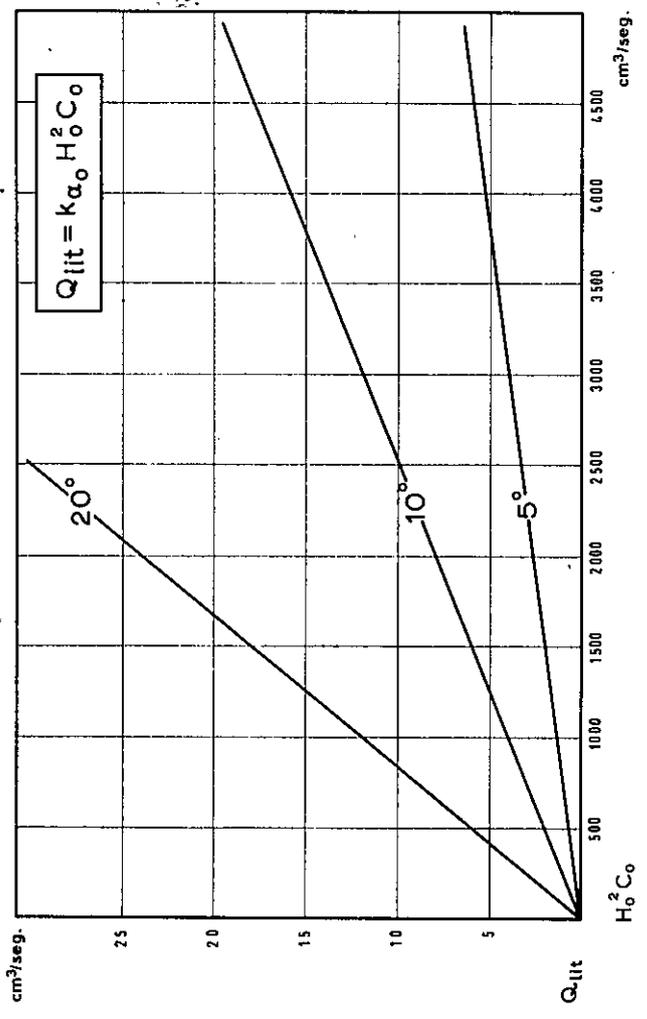
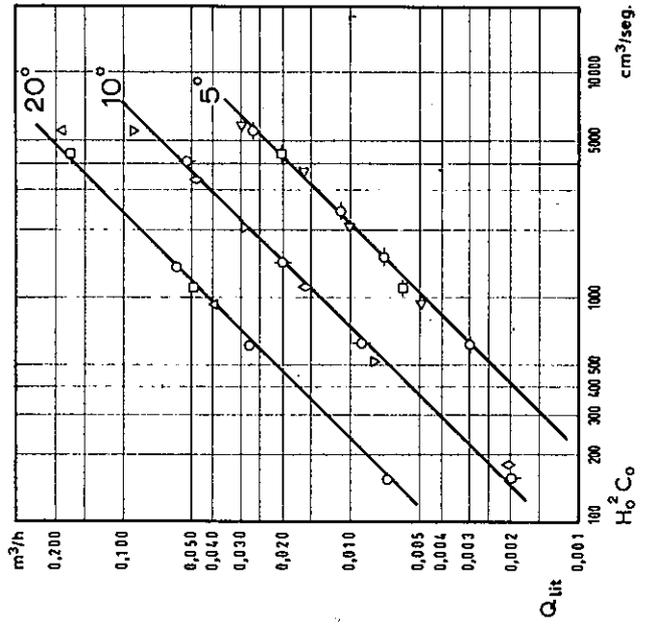
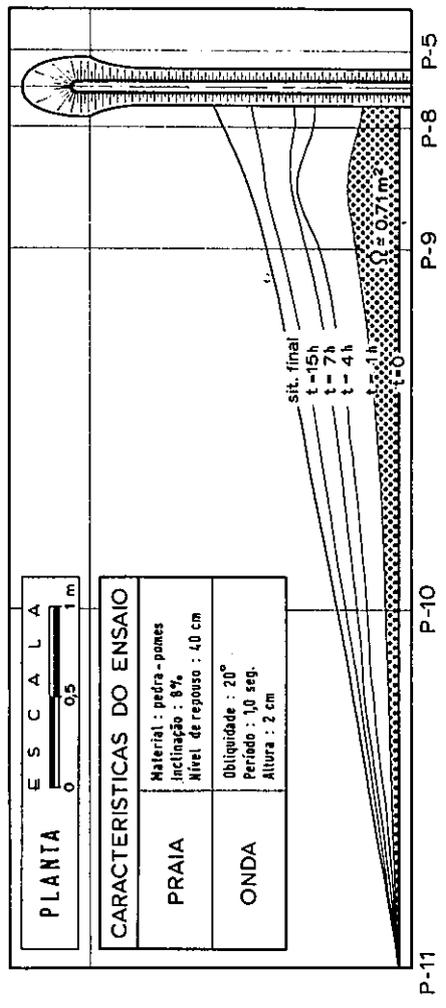
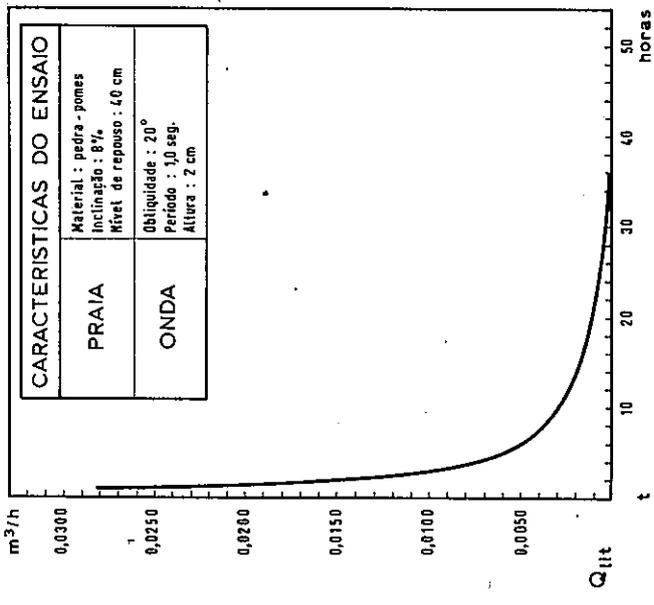
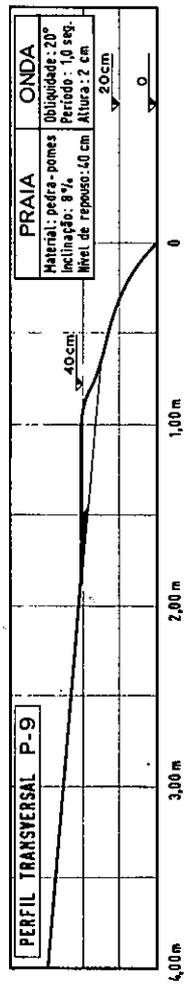
— LEVANTAMENTO DE 6 A 8 DE AGOSTO DE 1959 (DSM)

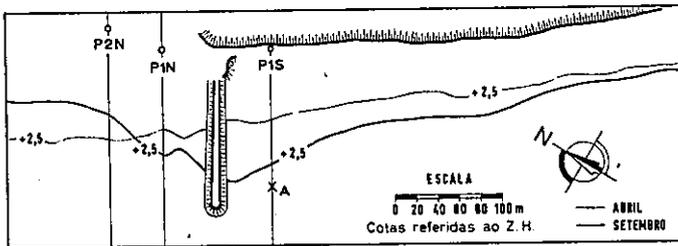
- - - - - LEVANTAMENTO DE 1 DE ABRIL DE 1959 (DSM)



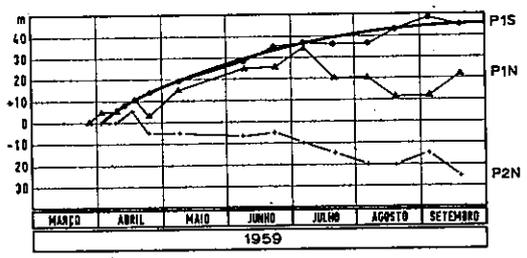
Direcção à profundidade 100 m : W-25°-S
Período : T = 9 seg.
Nível : Z H



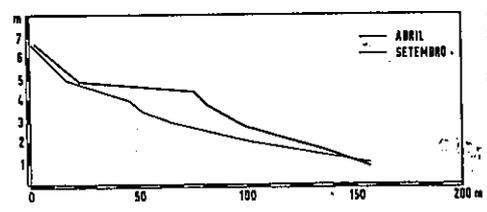




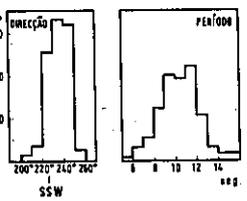
Planta



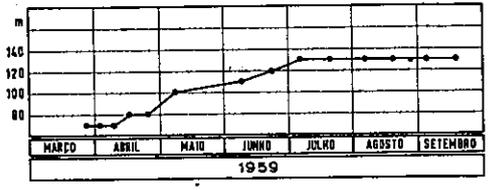
Evolução dos perfis transversais



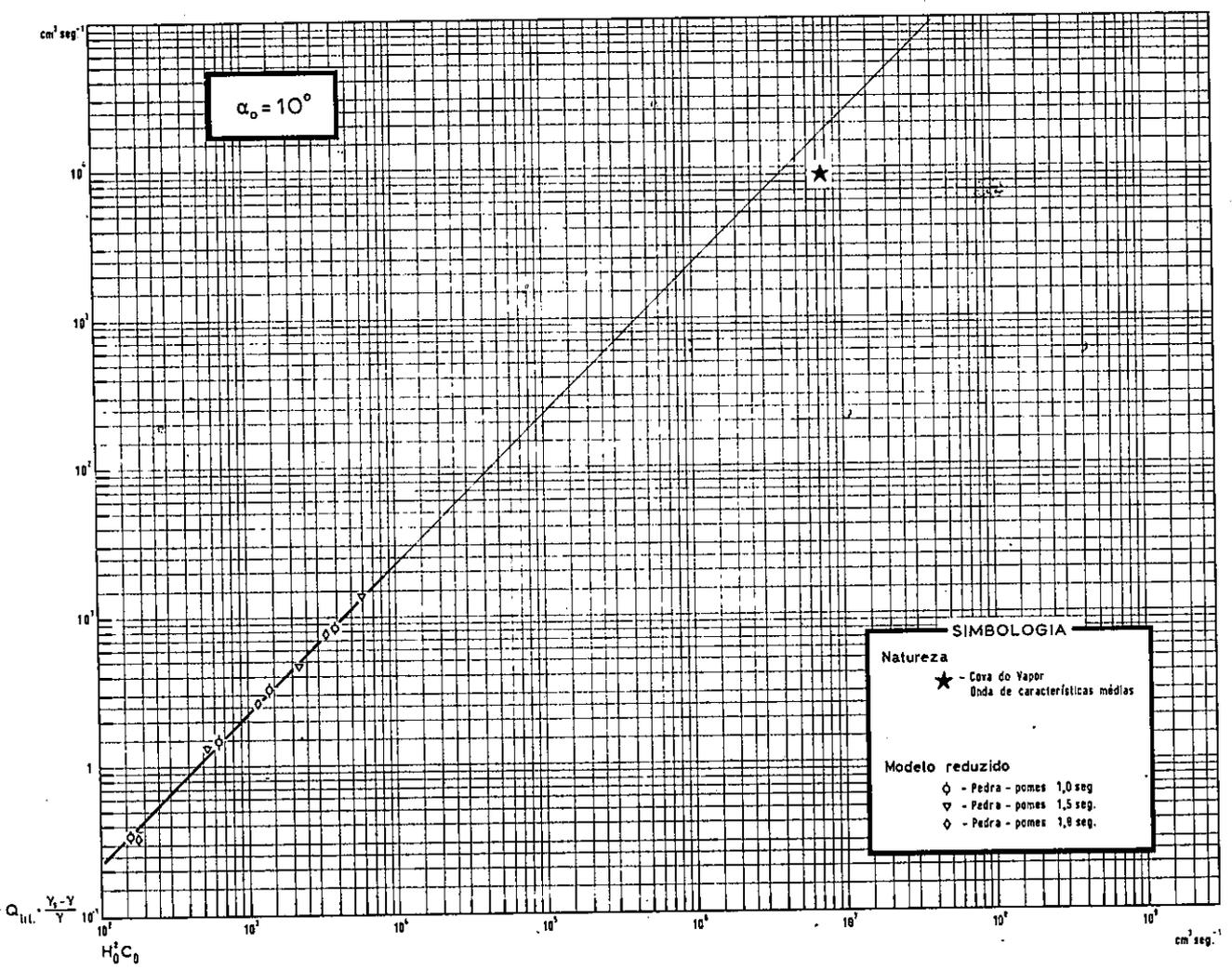
Perfil P1S



Características da onda



Construção do esporão



E R R A T A S

Página	Linha	Onde se lê	Deve ler-se
21	10	regisdos	registos
62	13	qualquer divergência	divergência significativa
62	16	$\frac{1}{2} \rho g H_0 C_0 b_0$	$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{8} \rho g H_0^2 C_0 b_0$
62	17	$n \rho g H^2 C_b$	$n \cdot \frac{1}{8} \rho g H^2 C_b$