

ESTE RELATÓRIO HIDRÁULICO
JÁ FOI TAMBÉM APRESENTADO
JUNTO COM A COMPARAÇÃO
DA INFLUÊNCIA DAS OBRAS HIDRÁ
ULICAS NO SEQUENCIAMENTO DE
E SONDAS NA 2ª PARTE
DO RELATÓRIO
PEDRO AON E OUTROS - AGOSTO/75
JEFFERSON 17.02.2015

ANÁLISE DAS MEDIÇÕES HIDRÁULICAS EFETUADAS AO
LARGO DO CORDÃO DE RECIFES EM SUAPE-PE, NO RE
GIME DE VERÃO, EM JANEIRO E FEVEREIRO DE 1975

novembro/1975

ANÁLISE DAS MEDIÇÕES HIDRÁULICAS EFETUADAS AO LARGO DO
CORDÃO DE RECIFES EM SUAPE - PE, NO REGIME DE VERÃO, EM
JANEIRO E FEVEREIRO DE 1975.

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Jefferson Vianna Bandeira

MEDIÇÕES HIDRÁULICAS

Equipe Técnica do Instituto Nacional de Pesquisas
Hidroviárias - D.N.P.V.N.

EQUIPE DE ANÁLISE

Jefferson Vianna Bandeira
José Joaquim Lima de Campos
Fábio Antonio da Silva
Luiz Raphael Aun

I N D I C E

RESUMO	PÁGINA
I. CONDIÇÕES HIDROGRÁFICAS - CAMPANHA DE MEDIÇÕES HIDRÁULICAS	1
II. ANÁLISE DOS REGISTROS DE ONDAS	4
2.1. Campanha de Registros de Ondas - Método de Análise	4
2.2. Resultados da Análise	5
2.3. Características Ondulatórias ao Largo de Suape em Janeiro e Fevereiro de 1975	8
2.4. Resumo das Características Ondulatórias	15
2.5. Comparação entre os Parâmetros Ondulatórios do Regime de Inverno e do Regime de Verão em Suape	15
2.6. Comparação entre os Regimes Ondulatórios de Suape-PE e de Aracaju-SE	17
III. VENTOS REGISTRADOS EM SUAPE EM JANEIRO E FEVEREIRO DE 1975	20
IV. ANÁLISE DOS REGISTROS DE CORRENTE	22
4.1. Campanha de Medições	22
4.2. Análise dos Registros - Resultados das Medições	22
4.2.1. Metodologia	22
4.2.2. Resultados das Medições de Corrente	23
4.3. Conclusões	30

V. CONCLUSÕES GERAIS

31

APÊNDICE I

Rotina de Análise de Registros Ondulatórios pe
la Sistemática de Tucker-Draper

APÊNDICE II

Cálculos Relativos a Correntes de Deriva e Cor
rentes de Transporte de Massa.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
1.1	- Situação dos aparelhos de medições hidráulicas - Batimetria ao largo do cordão de recifes em Suape	3
2.1	- Distribuição dos períodos T_z	10
2.2	- Distribuição das alturas máximas ($H_1 = H_{m\bar{x}}$)	11
2.3	- Distribuição das alturas significativas (H_s)	12
2.4	- Distribuição do parâmetro de largura do espectro (ϵ)	13
2.5	- Frequência de ocorrência de direções de onda a profundidade de 17 m, independentemente de períodos e alturas	14

R E S U M O

O presente relatório trata da análise, interpretação e comparação das medições hidráulicas de ondas e correntes efetuadas ao largo do cordão de recifes em Suape - PE, em janeiro e fevereiro de 1975.

Tais medições hidráulicas foram contratadas com o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) do Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis (DNPVN), pela Nuclebrás S/A. Elas foram realizadas durante o estudo da movimentação de sedimentos de fundo com a utilização de traçadores radioativos, executado pelo Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas da Nuclebrás, como parte do trabalho contratado com a Transcon S/A e a Companhia de Distritos Industriais de Pernambuco (DIPER).

A análise dos registros de ondas revelou serem as ondas relativamente curtas, com períodos da ordem de 6 a 7 segundos, tendo alturas máximas (H_{max}) compreendidas entre 1.4m e 2.6m, alturas significativas (H_s) entre 0.9m e 1.6m e direção de incidência a profundidade de 17m situados entre 104° e 125° , sendo, portanto, ondas do quadrante SE.

A intensidade das correntes registradas ao largo do cordão de recifes, não excedem de 0.30m/s, desenvolvendo-se estas paralelamente ao cordão de recifes.

I. CONDIÇÕES HIDROGRÁFICAS - CAMPANHA DE MEDIÇÕES HIDRÁULICAS

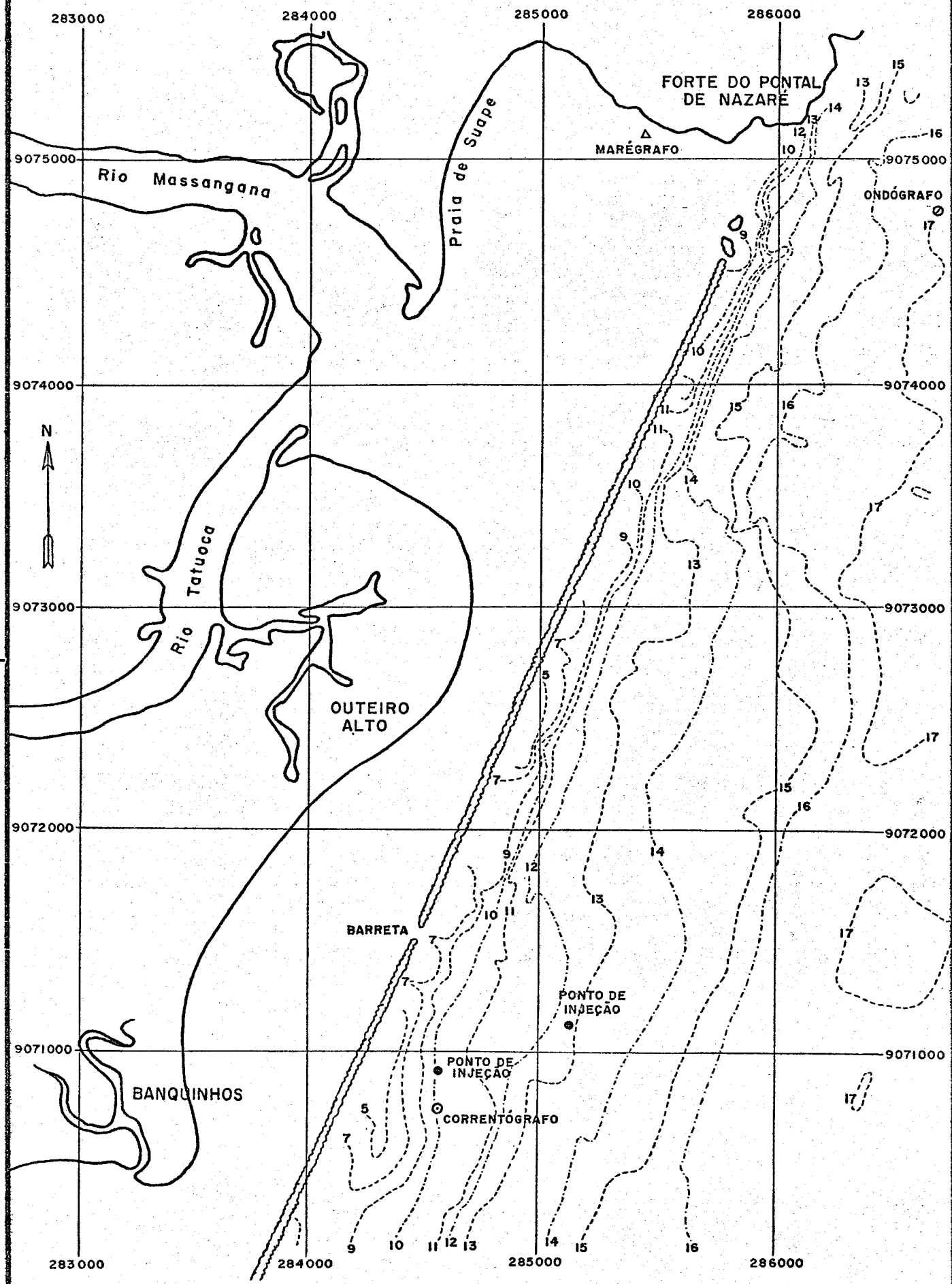
A linha de recifes em Suape se estende na direção SSW-NNE em uma extensão de aproximadamente 10 Km, fazendo com o norte verdadeiro um ângulo de 240° (Fig. 2.1). A face externa da barreira de recifes possui uma declividade bastante acentuada. As profundidades aumentam rapidamente em direção ao largo, sendo que a cerca de 100 metros do alinhamento dos recifes são encontradas profundidades de 8 a 10 metros. As isóbatas de -9m a -16m na região da Barreta (2 Km ao norte e 2 Km ao sul), seguem uma orientação geral paralela à barreira de recifes. Na região ao sul da Barreta, entre as isóbatas de -10m e -13m, foi efetuado o estudo da movimentação de sedimentos e a maioria dos trabalhos hidráulicos da campanha de verão.

A campanha de medições hidráulicas foi executada por técnicos do INPH, no período de 9/1/75 a 12/2/75, e constou de:

- a. registro de ondas com a utilização de um ondógrafo autônomo à ultra som da marca Neyrpic, duas vezes por dia, com o aparelho fundeado à profundidade de 17 metros, no ponto assinalado na Figura 1.1. Observação de direção de ondas duas vezes por dia, nos momentos de registro de onda.
- b. medições de corrente nas proximidades do ponto de injeção do traçador radioativo injetado na profundidade de 10 metros (Fig. 1.1).

- i. As medições foram realizadas entre 17/1 e 12/2 em um ponto fixo situado a 0.4p da profundidade local, contada a partir do fundo. Para estas medições foi utilizado um correntôgrafo de registro fotográfico Mecabolier.
- c. medições de velocidade e direção de vento duas vezes por dia, através de um anemômetro portátil instalado no Forte de Nazaré, nos momentos de observação de direção de ondas.

Na análise e interpretação das medições de corrente foram utilizados os registros de maré de janeiro e fevereiro de 1975, registrados pelo marégrafo instalado na Bacia do Suape (Fig. 1.1).



LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE LANÇAMENTO
DE CORRENTÓGRAFO E ONDÓGRAFO

FIG. I.1

II. ANÁLISE DOS REGISTROS DE ONDAS

2.1. CAMPANHA DE REGISTROS DE ONDAS - MÉTODO DE ANÁLISE

Os registros de ondas foram efetuados por intermédio de um ondógrafo autônomo a ultra som, da marca Neyrpic, tendo a campanha de medições se estendido de 9/1/75 a 12/2/75. O aparelho esteve sempre fundeado nas proximidades do ponto indicado na Figura 1.1, sendo de 17 metros a profundidade de fundeio. A minuteria do ondógrafo foi programada para que o mesmo efetuasse dois registros diários, às 8:00 e 16:00 horas, sendo de cerca de 12 minutos a duração de cada registro.

Foram realizadas observações visuais de direção de ondas por intermédio de um teodolito instalado no Forte de Nazaré, no Cabo Santo Agostinho. Estas observações eram realizadas duas vezes por dia, às 8:00 e 16:00 horas, em um ponto correspondente à profundidade de 17 metros, materializado pela colocação de uma boia, na mesma região de fundeio do ondógrafo.

Os registros de ondas foram analisados pelo método de Tucker-Draper, o qual foi apresentado no trabalho: "The Analysis and Presentation of Wave Data. A Plea for Uniformity". (Proceedings of the 10th Conference on Coastal Engineering - Tokio, 1966). No Apêndice I encontra-se a rotina de aplicação do método cuja maior vantagem consiste em eliminar influências subjetivas na identificação das ondas individuais que constituem o registro.

2.2. RESULTADOS DA ANÁLISE

Apresentam-se na Tabela I os resultados da análise. As direções de ondas são referidas ao norte verdadeiro.

DATA	HORA	N_c	N_z	T_c (s)	T_z (s)	ϵ	H_1 (m)	H_s (m)	α (°)
28/1	8:00								107
	16:00								107
29/1	8:00								108
	16:00								111
30/1	8:00								108
	16:00								107
31/1	8:00								110
	16:00								110
1/2	8:00	95	86	6.3	7.0	0.42	1.6	1.0	-
	16:00	91	84	6.6	7.1	0.39	1.6	1.0	-
2/2	8:00	95	86	6.3	7.0	0.42	1.6	1.0	-
	16:00	103	102	5.8	5.9	0.14	1.7	1.1	-
3/2	8:00	101	96	5.9	6.3	0.31	1.9	1.2	110
	16:00	102	94	5.9	6.4	0.28	1.9	1.2	112
4/2	8:00	101	89	5.9	6.7	0.47	1.4	0.9	-
5/2	8:00								111
	16:00								109
6/2	8:00								110
	16:00								110
9/2	8:00	97	88	6.2	6.8	0.42	1.4	0.9	-
	16:00	119	98	5.0	6.1	0.57	1.5	0.9	-
10/2	8:00	107	86	5.6	7.0	0.59	1.4	0.9	-
	16:00	122	102	4.9	5.9	0.55	1.6	1.0	-

2.3. CARACTERÍSTICAS ONDULATÓRIAS AO LARGO DE SUAPE EM JANEIRO E FEVEREIRO DE 1975

Com os resultados da análise dos registros ondulatórios efetuados em janeiro e fevereiro de 1975 ao largo do cordão de recifes em Suape, foram elaborados gráficos percentuais dos diversos parâmetros ondulatórios, que são mostrados nas Figuras 2.1 a 2.5.

Períodos.

O período das ondas teve valores de 6 e 7 segundos, sendo $T_z = 6$ seg. o valor mais frequente (61.7%), Fig. 2.1.

Alturas.

Altura máxima.

A altura máxima $H_1 = H_{m\bar{a}x} = A + C$ variou de 1.4m a 2.6m, sendo $H_1 = 1.6m$, $H_1 = 1.9m$ e $H_1 = 2.0m$ os valores mais frequentes, com 14.7%, Fig. 2.2.

Altura significativa.

A altura significativa H_s variou entre 0.9m e 1.6m, sendo $H_s = 1.1m$ o valor mais frequente, com 14.7%, Fig. 2.3.

Parâmetro de Largura do Espectro (ϵ).

O valor de ϵ variou entre 0.14 e 0.59. No cálculo das porcentagens os valores de ϵ foram agrupados em intervalos de 0.05. Pelo histograma da Figura 2.4 pode-se observar que as ondas registradas em Suape são vagas em processo de transformação, mas com mais características de ondulação ($\epsilon < 0.5$).

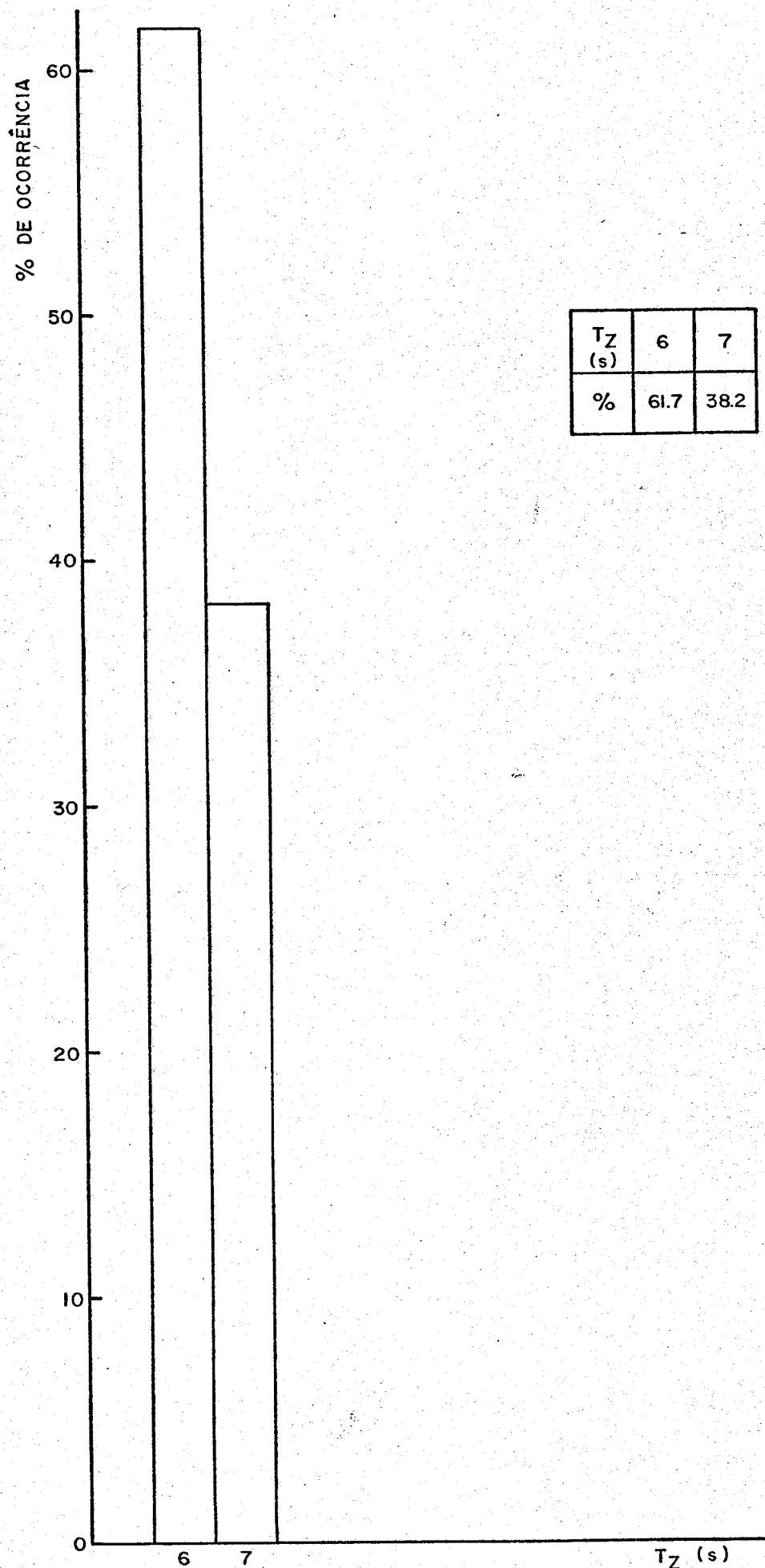
Direção de Incidência das Ondas.

A direção de propagação das ondas observadas em um ponto correspondente à profundidade de 17 metros, em frente ao Cabo de Santo Agostinho variou de 104° a 125° , relativamente ao norte verdadeiro, entre 9/1/75 e 10/2/75.

No quadro a seguir são apresentadas as porcentagens de ocorrência de direção de ondas, independentemente de períodos e alturas. Para o cálculo das porcentagens as observações foram agrupadas em categorias de 5 em 5 graus.

α°	105	110	115	120	125
%	22.5	65.0	10.5	-	2.5

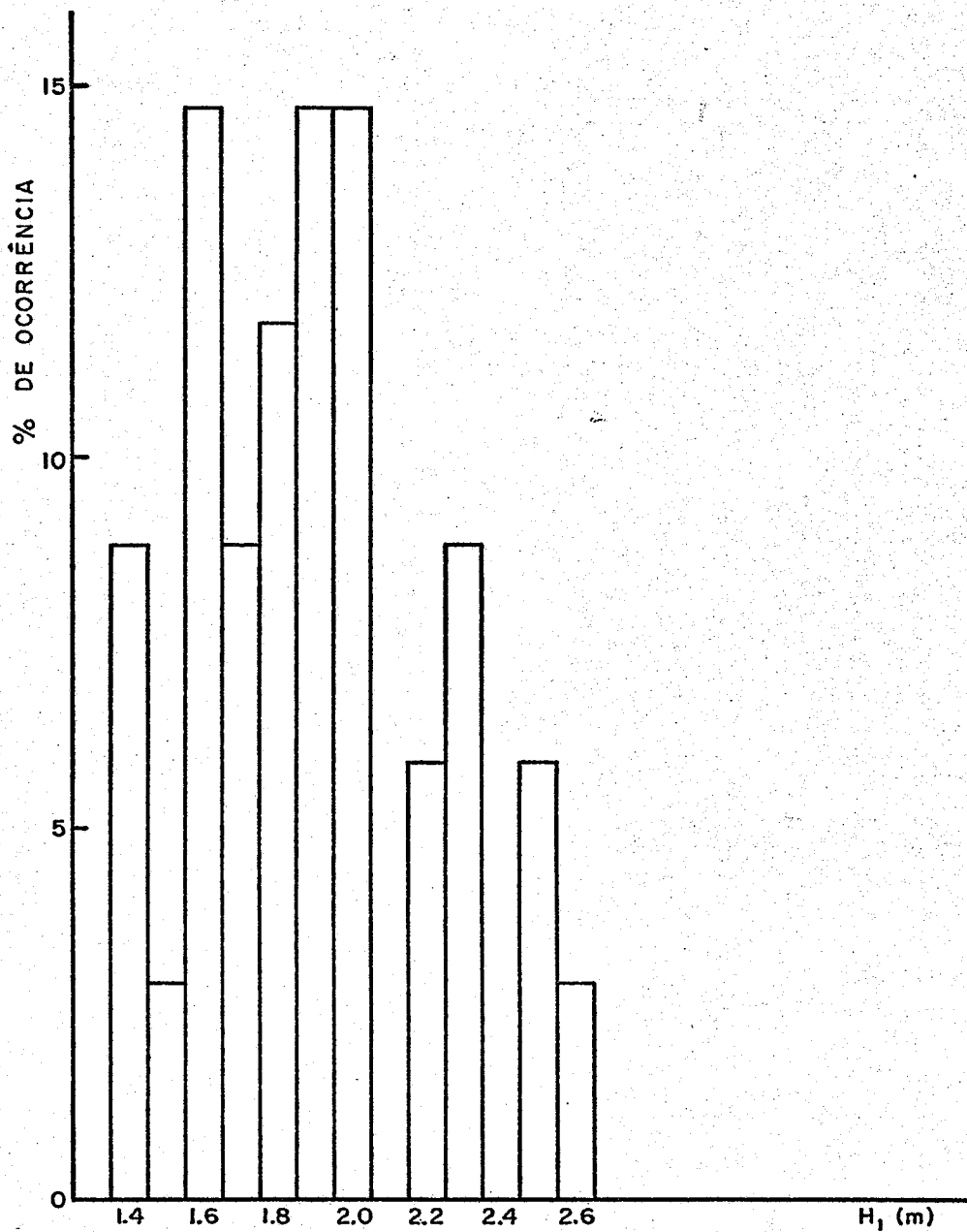
O quadro anterior está representado na Figura 2.5. Pode-se observar que a totalidade das ondas provém do quadrante S-E, sendo 110° a direção mais frequente (65.0%).



FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE ONDAS SEGUNDO O PERÍODO

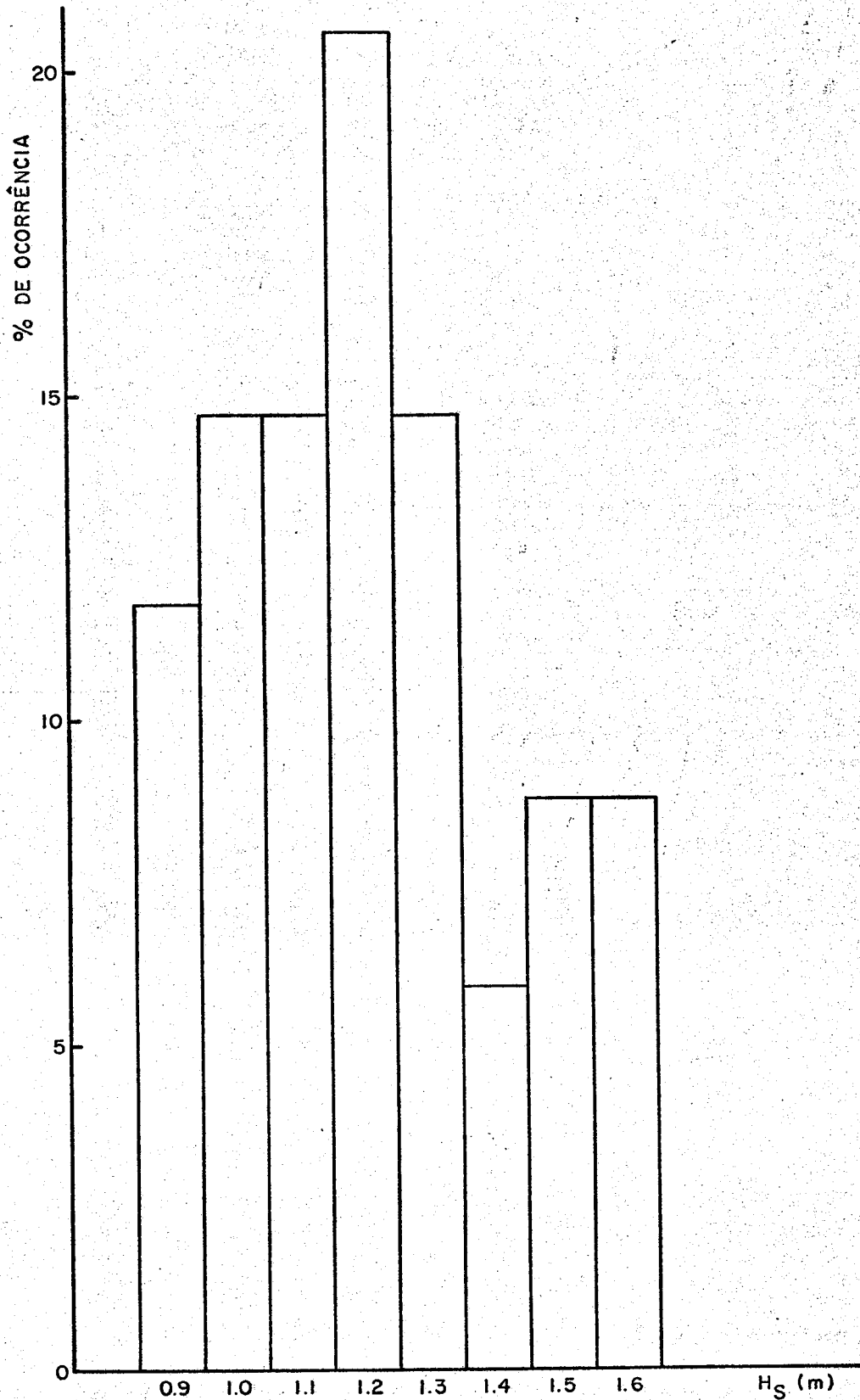
FIG. 2.1

H_1 m	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
%	8.8	2.9	14.7	8.8	11.8	14.7	14.7		5.9	8.8		5.9	2.9



FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE ONDAS
SEGUNDO A ALTURA MÁXIMA .

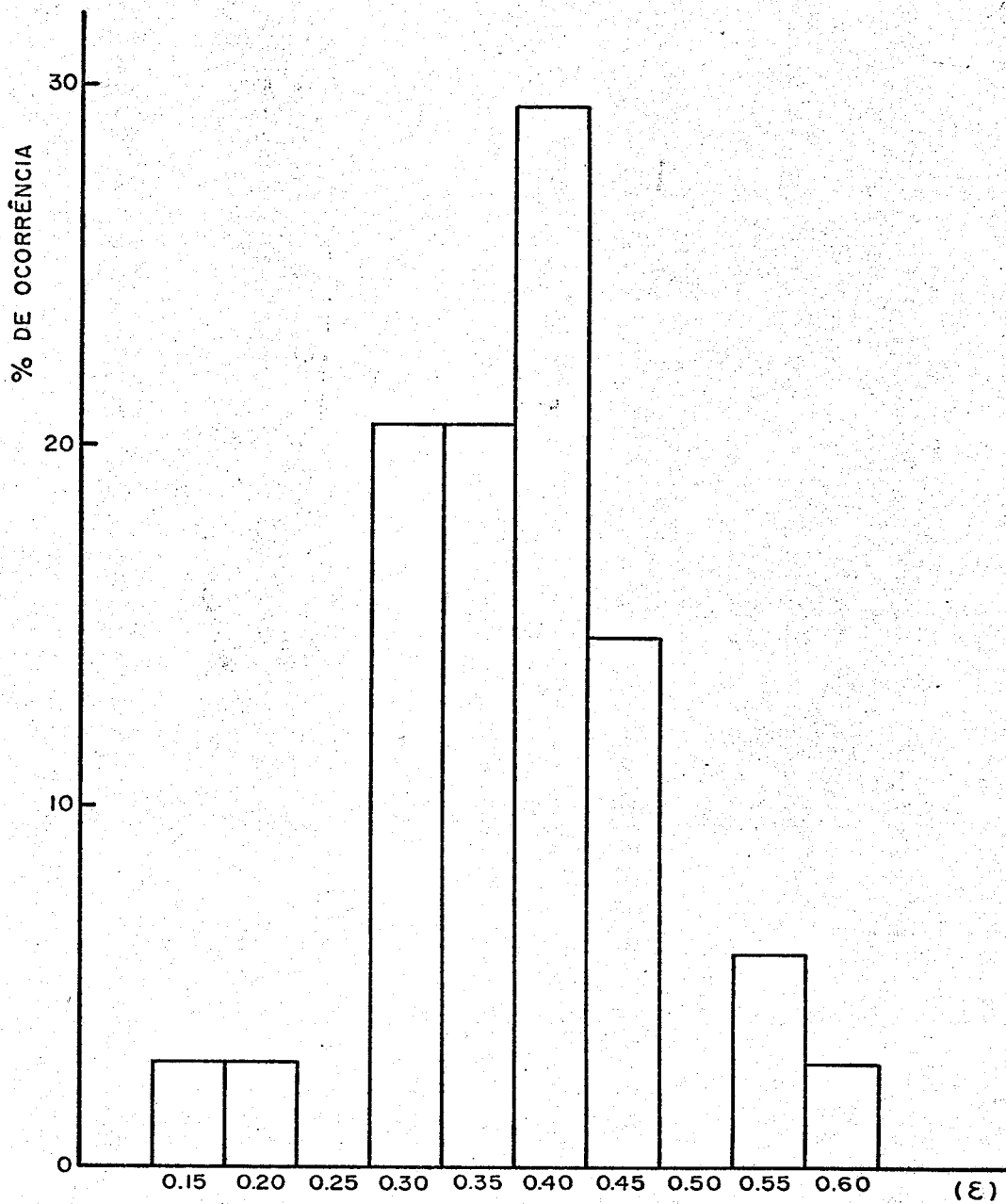
H_S (m)	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
%	11.8	14.7	14.7	20.6	14.7	5.9	8.8	8.8



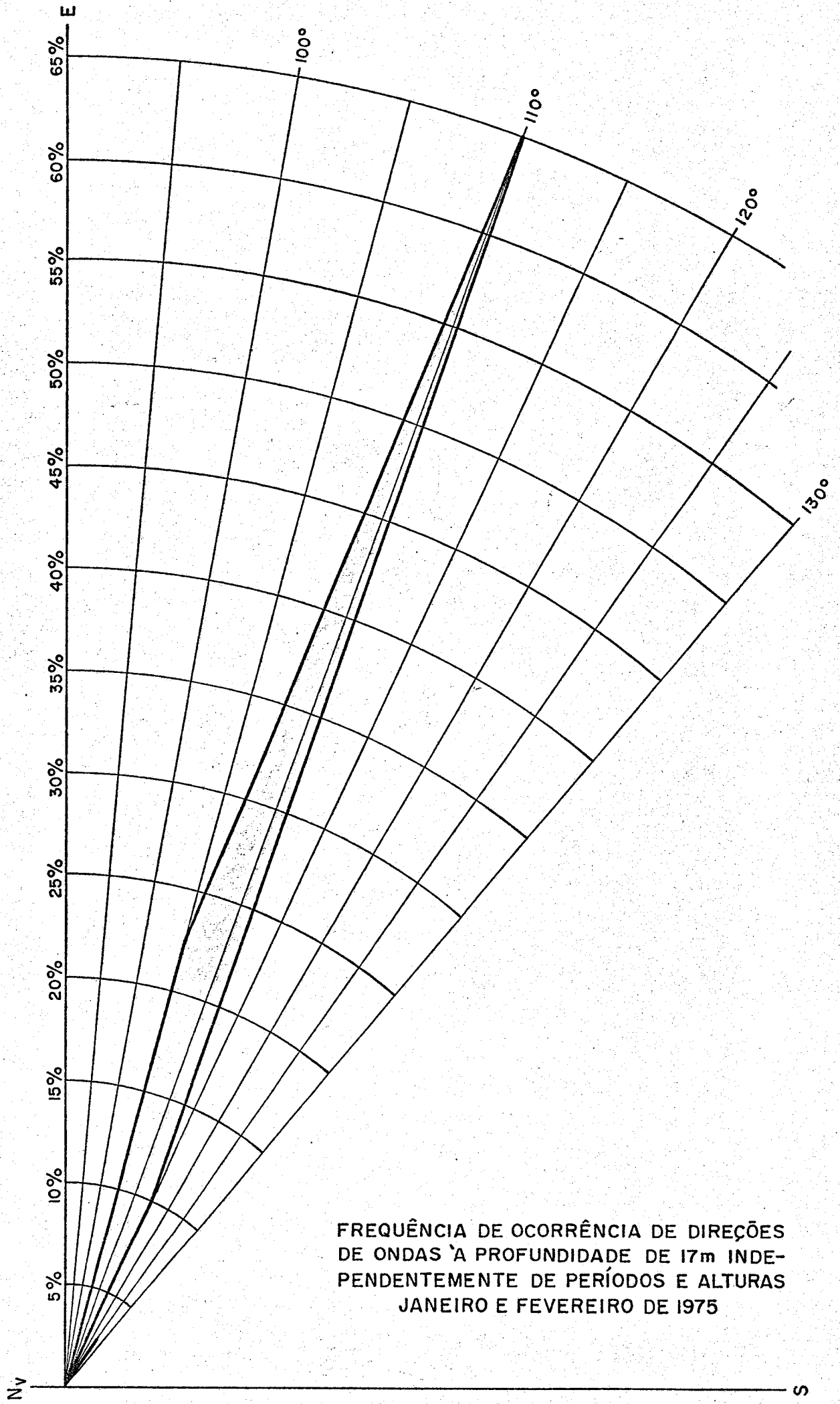
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE ONDAS
SEGUNDO AS ALTURAS SIGNIFICATIVAS

FIG. 2.3

ε	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
%	2.9	2.9		20.6	20.6	29.4	14.7		5.9	5.9



FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE
ONDAS EM RELAÇÃO A ε



FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE DIREÇÕES DE ONDAS À PROFUNDIDADE DE 17m INDEPENDENTEMENTE DE PERÍODOS E ALTURAS JANEIRO E FEVEREIRO DE 1975

2.4. RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS ONDULATÓRIAS

São apresentados a seguir, em resumo, os valores dos parâmetros ondulatórios deduzidos da análise dos registros de ondas, efetuados em Suape na campanha de verão.

PARÂMETROS ONDULATÓRIOS - REGIME DE VERÃO (SUAPE-PE)

Grandeza	Intervalo de Variação	Valor mais Frequente	% de Ocorrência
T_z	6 a 7 seg.	6 seg.	61.7
$H_1 = H_{m\bar{x}}$	1.4 a 2.6 m	1.6, 1.9 e 2.0m	14.7
H_s	0.9 a 1.6 m	1.1 m	14.7
ϵ	0.14 a 0.59	0.40	29.4
Dir. de Inc.Ondas	104 a 125°	110°	65.0

2.5. COMPARAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS ONDULATÓRIOS DO REGIME DE INVERNO E DO REGIME DE VERÃO EM SUAPE

Transcrevemos a seguir o quadro que apresenta, em resumo, os valores dos parâmetros ondulatórios deduzidos da análise dos registros de ondas, efetuados em Suape na profundidade de 17 metros, na campanha de inverno (*).

(*) Porto de Suape - Relatório Final do Estudo Sedimentológico em Regime de Inverno - CBTN - Belo Horizonte - Dez. 1974.

PARÂMETROS ONDULATÓRIOS - REGIME DE INVERNO (SUAPE-PE)

Grandeza	Intervalo de Variação	Valor mais Frequente	% de Ocorrência
T_z	5 a 10 seg.	7 seg.	52.0
$H_1 = H_{m\bar{a}x}$	1.5 a 3.8 m	2.7 m	12.0
H_s	0.9 a 2.4 m	1.6 m	16.0
ϵ	0.25 a 0.68	0.50 e 0.55	22.7
Dir. de Inc.Ondas	117 a 168 ⁰	130 ⁰	33.1

Pela comparação dos valores aī apresentados com os que se encontram no quadro resumo dos parâmetros ondulatorios do regime de verão, pode-se concluir o seguinte:

a. A gama de variação dos períodos (T_z) é maior em regime de inverno (5 a 10 seg.) que no regime de verão (6 a 7 seg.), embora os valores mais frequentes sejam da mesma ordem: $T_z = 7$ seg. (regime de inverno) e $T_z = 6$ seg. (regime de verão).

b. Em regime de inverno as ondas são mais altas: $H_1 = H_{m\bar{a}x}$ variou entre 1.5 e 3.8 m, com valor mais frequente igual a 2.7m; H_s variou entre 0.9 e 2.4 com valor mais frequente igual a 1.6m. Em regime de verão: $H_{m\bar{a}x}$ teve valores compreendidos entre 1.4 e 2.6 m sendo o maior valor inferior ao valor mais frequente ocorrido em regime de inverno ($H_{m\bar{a}x} = 2.7$ m). H_s variou entre 0.9 m e 1.6 m, sendo $H_s = 1.1$ m o valor mais frequente.

c. As ondas em regime de verão possuem mais característica de ondulação, relativamente às ondas regis-

tradas no regime de inverno. A comparação dos valores do parâmetro de largura do espectro (ϵ) nos dois regimes, mostra isso. Tal fato pode ser explicado, em parte, pela ocorrência de fortes ventos locais soprando durante um tempo considerável na época do inverno. Assim são geradas vagas locais de altura não desprezível, as quais se superpõem às vagas e ondulações que chegam do largo.

d. Nos dois regimes, predominam as ondas com direção de propagação na profundidade de 17 metros maior que 90° . Em regime de inverno a direção mais frequente é SE ($130^\circ - 135^\circ$), enquanto que no regime de verão a direção mais frequente é E-SE (110°).

2.6. COMPARAÇÃO ENTRE OS REGIMES ONDULATÓRIOS DE SUAPE-PE E ARACAJU-SE

Foram efetuados registros de ondas ao largo da Praia de Atalaia em Aracaju durante cerca de 1 ano, entre setembro de 1965 e agosto de 1966, por intermédio de um ondógrafo Neyrpic fundeado na profundidade de 20 metros. Tais registros foram efetuados como parte dos estudos para o Terminal Oceânico de Aracaju.

A análise do regime ondulatorio ao largo de Aracaju pode ser vista em detalhes em (1) e (2).

Em resumo, os parâmetros ondulatorios em Aracaju tiveram as seguintes variações e valores mais frequentes, nas épocas do ano correspondentes aos registros de ondas de Suape:

-
- (1) Motta, V. F. "Relatório sobre Observações de Ondas, Ventos e Correntes para o Terminal Oceânico de Aracaju" - Relatório apresentado à Petrobrás S/A - Porto Alegre - Out. de 1966.
 - (2) Bandeira, J. V. "Estimativa do Transporte Litorâneo em Torno da Embocadura do Rio Sergipe" - Tese de Mestrado publicada pelo Instituto de Pesquisas Radioativas - Belo Horizonte - Nov. de 1972.

PARÂMETROS ONDULATÓRIOS - ARACAJU-SE

Grandeza	(Regime de Verão) JANEIRO E FEVEREIRO		(Regime de Inverno) JUNHO, JULHO E AGOSTO	
	Intervalo de Variação	Valor mais Frequente	Intervalo de Variação	Valor mais Frequente
T_z	5 a 8 seg.	6 seg.	5 a 9 seg.	7 seg.
$H_1 = H_{\max}$	1.2 a 2.7 m	1.7 e 1.8m	1.2 a 4.0 m	2.3 e 2.4m
H_s	0.7 a 1.7 m	1.1 m	0.8 a 2.5 m	1.4 e 1.5m
ϵ	0.50 a 0.85	0.55	0.55 a 0.80	0.70
Dir. de Inc.Ondas Prof.Inf.	75 a 130°	95°	95 a 145°	120°

OBS.: Para as direções de onda em regime de inverno levou-se em conta as observações de junho a setembro, pois foi nesse intervalo que elas foram observadas em Suape, em regime de inverno.

Em primeira aproximação, não é fora de propósito comparar as ondas registradas em Aracaju na profundidade de 20 metros com as ondas registradas em Suape na profundidade de 17 metros.

As ondas em sua maioria e principalmente as mais altas, são relativamente curtas (períodos de 6 e 7 segundos). Ainda que as profundidades de 17 e 20 metros sejam profundidades intermediárias relativas às ondas de períodos 6 e 7 seg., a variação de altura que as ondas sofrem, devido ao processo de empinamento, ao se propagarem da profundidade de 20 metros para 17 metros é relativamente pequena, comparada com a altura inicial da onda. Aliado a isto, o fato de a maioria das ondas terem, nessas profundidades, as cristas pouco inclinadas relativamente às isó

batas que são sensivelmente paralelas entre si, tanto em Aracaju quanto em Suape, faz com que sejam de pouca importância as alterações em direção de propagação das ondas devido ao processo de refração.

A comparação, através dos quadros resumo, dos intervalos de variação e valores mais frequentes dos parâmetros ondulatórios de Suape e Aracaju, em meses do regime de inverno e do regime de verão, permite concluir que as características ondulatórias nos dois locais são bastante semelhantes. Há praticamente coincidência no que se refere a alturas significativas e períodos.

Também os valores mais frequentes das direções de propagação concordam nos seguintes aspectos:

- a. A maioria das ondas nos dois locais e para os dois regimes têm direção de propagação fazendo um ângulo com o norte verdadeiro maior que 90° .
- b. As ondas do regime de inverno nos dois locais são mais ondas SE.

O fato dos regimes ondulatórios de Suape e Aracaju serem muito parecidos é uma informação que pode ser aproveitada em estudos futuros na costa do nordeste.

Outros dados de ondas da região que poderiam ser cotejados com os de Aracaju e Suape, são os registros ondulatórios efetuados ao Largo de Maceió-AL, pelo "Danish Hydraulic Institute" de Copenhagen - Dinamarca, durante a fase de estudos para a implantação de um porto na região. Infelizmente, tais dados que seriam úteis, não são disponíveis no momento.

III. VENTOS REGISTRADOS EM SUAPE EM JANEIRO E FEVEREIRO DE 1975

Nas ocasiões em que eram observadas as ondas, a partir de um local no Forte de Nazaré, também eram medidas a velocidade e direção do vento através de um anemômetro portátil lá instalado.

Foram efetuadas 39 observações de velocidade e direção de vento durante a campanha de verão. Da análise desses poucos dados que não representam uma boa estatística, pode-se concluir o seguinte:

1. Os ventos ocorrem principalmente entre 30° e 120° em relação ao norte verdadeiro, portanto sempre sopram do mar para a terra.

2. Considerando como: ventos NE (22° a 67°), ventos E (68° a 113°) e ventos SE (114° a 159°), tem-se no quadro a seguir as porcentagens de ocorrência de ventos NE, E e SE durante o período de medições.

VENTO	NE	E	SE
%	20.5	74.4	5.1

Os ventos de maior frequência são os ventos E, sendo pois, os ventos reinantes.

3. Os ventos registrados tiveram velocidades na faixa de 4.0 a 16.4 nós.

O quadro a seguir apresenta as porcentagens de ocorrência de velocidades de ventos registrados na

campanha de verão, independentemente de direções:

Faixa (nós)	% de Ocorrência
4.0 a 6.0	12.8
6.1 a 8.1	17.9
8.2 a 10.2	20.5
10.3 a 12.3	23.1
12.4 a 14.4	15.4
14.5 a 16.5	10.3

4. Dos ventos registrados de NE e E, 25% dos ventos NE e 24.1% dos ventos E apresentaram velocidades maiores que 12 nós. Não se pode concluir que haja uma dominância de ventos de uma determinada direção.

IV. ANÁLISE DOS REGISTROS DE CORRENTE

4.1. CAMPANHA DE MEDIÇÕES

A campanha de medições de corrente constou de medições a correntôgrafo nas proximidades do ponto P_1 (profundidade de 10m), onde foi efetuada uma das injeções de traçador radioativo da campanha de verão (Fig. 1.1). O aparelho utilizado foi um correntôgrafo de registro fotográfico da marca Mecabolier, sendo o mesmo colocado a 0.4p da profundidade local, contada a partir do fundo. O correntôgrafo foi programado para registrar a corrente em intervalos de 6 minutos e efetuou registros entre 17/1 e 12/2.

4.2. ANÁLISE DOS REGISTROS - RESULTADOS DAS MEDIÇÕES

4.2.1. Metodologia

Procurou-se interpretar os registros de corrente com o objetivo de encontrar uma possível relação entre a velocidade e direção da corrente com os diversos instantes da maré local. Para tanto, foi pesquisado se a ocorrência de valores relativamente altos da velocidade correspondiam a determinados instantes característicos do ciclo de maré, e os valores relativamente baixos ou nulos correspondiam a outros determinados instantes característicos da maré registrada em Suape. Investigou-se também se as velocidades eram, em média, maiores em maré de sizígia e

menores em maré de quadratura, como também a possível relação entre a variação de direção e inversões de corrente com os instantes característicos do ciclo de maré. Foi realizado um estudo da variação da intensidade e direção da velocidade da corrente relativamente aos ventos que ocorreram na região, bem como em relação às ondas registradas na campanha.

4.2.2. Resultados das Medições de Corrente

Entre 17/1 e 12/2/75 o correntôgrafo registrou as correntes durante 14 ciclos completos de maré de sizígia, 10 ciclos completos de maré de quadratura e 22 ciclos completos de maré de quarto. Deve ser ressaltado, de início, que a maior velocidade de corrente registrada a 4 metros do fundo, durante todo esse intervalo de tempo, foi de 0.24 m/s, sendo que a maioria das intensidades registradas foi inferior a 0.10 m/s, sendo as correntes, portanto, de fraca intensidade.

i. Entre 17/1 e 25/1 predominou a corrente para SE, S e SW, com direções mais frequentes compreendidas entre 143° e 205° . Nesse intervalo a velocidade da corrente variou entre 0 m/s e 0.24 m/s.

i-1. Influência da maré

As marés nesse intervalo foram de quadratura e de quarto, com amplitudes variando entre 0.9 e 2.0 m. Foram constatadas seis inversões no sentido da corrente, dirigindo-se estas para NE, durante curtos intervalos de tempo, e com velocidade sempre inferior a 0.07 m/s. Os instantes dessas inversões não corresponderam a ocasiões definidas do ciclo da maré (preamar, baixamar, meia maré, etc.). Os valores máximos de velocidade registrados em cada ciclo de maré, bem como as ocasiões em que a corrente

se anulou, não corresponderam a instantes definidos do ciclo de maré. Os intervalos de tempo de ocorrência desses valores (máximos e nulos), não foram semelhantes. Pesquisou-se também se as velocidades eram, em média e em valores máximos, sempre maiores em uma das fases (enchente ou vasante) dos vários ciclos de maré, cobertos pelas medições de corrente. Pretendia-se com isto detectar uma possível influência nas correntes, do escoamento através da Barreta e da Barra de Suape, próximo às quais estava fundado o correntôgrafo. Não foi constatada uma tendência das velocidades de corrente serem sempre maiores, em média e em valores máximos, em enchente ou vasante, comparando-se as velocidades, média e máxima, de cada vasante com as da enchente seguinte.

i-2. Influência do vento e das ondas

Entre 17/1 e 25/1 os registros de vento acusaram ventos com velocidade entre 4.0 e 16.4 nós, sendo, praticamente, ventos do quadrante N-E. A análise dos registros de onda, efetuados no mesmo período a profundidade de 17 metros, revelou que as alturas máximas de onda variaram entre 1.7 e 2.5 m, as alturas significativas tiveram valores compreendidos entre 1.1 e 1.6 m, os períodos tiveram valores de 6 e 7 segundos. A direção de propagação das ondas ficou compreendida entre 106° e 115°.

A força tangencial resultante da ação do vento na superfície do mar é responsável pela geração de uma corrente (corrente de deriva) que é função da duração, velocidade e direção do vento, da latitude do local e da relação H/D , onde H é a profundidade local e D é a profundidade teórica na qual a corrente de deriva se anula. Por outro lado, com a propagação ondulatória ocorre um deslocamento de massa líquida na direção da propagação das on-

das (transporte de massa). A corrente de transporte de massa \bar{u} , em linhas gerais, função das características ondulatórias e da profundidade na qual as ondas se propagam.

É possível calcular a velocidade e direção das correntes de deriva e transporte de massa, para condições ideais. Assim, os cálculos de corrente de deriva são baseados na ação de um vento gerador de direção e velocidade constantes, atuando em um mar de densidade constante, em local de profundidade infinita (o fundo não interfere na corrente de deriva), e soprando o tempo suficiente para estabelecer um movimento permanente. Por outro lado, os estudos que permitem o cálculo da velocidade da corrente de transporte de massa têm como base, a corrente gerada por um trem de ondas regulares se propagando em profundidade constante. As condições reais, tais como as de Suape, são bem mais complexas. As ondas são irregulares; existe a barreira de recifes na qual as ondas se refletem parcialmente, compondo-se com as que vêm atrás; a profundidade não é constante; o vento tem direção e velocidade variáveis, ainda que a direção não varie muito, e a sua ação na superfície do mar, além de gerar a corrente de deriva, gera vagas locais que se sobrepõem às vagas e ondulações vindas do largo. Além disso, num caso real, o vento e as ondas atuam simultaneamente sobre a mesma massa líquida, causando interferências mútuas às suas ações.

Existem, entre outros, estes aspectos que diferenciam a situação na natureza, das condições particulares utilizadas na obtenção de expressões para o cálculo de correntes de deriva e de transporte de massa. Ainda que as correntes registradas em Suape traduzam o efeito de várias ações superpostas, a título de comparação de ordem de grandeza e de direção, foram calculadas as componentes correntes de deriva e transporte de massa geradas, respec

tivamente, por ventos e ondas de características semelhantes às registradas em Suape. Utilizou-se no cálculo, a onda com $H = 2.5\text{m}$ e $T = 7$ seg., e vento com velocidade de 16.4 nós (a maior velocidade de vento registrada). A profundidade considerada foi de 10 metros. Esses valores para as características de ondas e ventos foram escolhidos com o objetivo de se calcular as maiores velocidades teóricas de correntes, possíveis de serem geradas com as ondas e os ventos registrados no regime de verão.

Como resultado, obteve-se:

a. Corrente de transporte de massa

$v = -0.051$ m/s a 4m do fundo (o sinal - indica que a corrente é no sentido contrário ao da propagação das ondas).

$v = 0.056$ m/s a 1m do fundo, no sentido de propagação das ondas.

b. Corrente de deriva

$v = 0.052$ m/s a 4m do fundo, defletida de 5° para a esquerda, em relação à direção do vento gerador.

$v = 0.012$ m/s a 1m do fundo, defletida de 5.5° para a esquerda.

Mais detalhes relativamente aos cálculos podem ser vistos no Apêndice II. As velocidades de correntes registradas a 4m do fundo, no regime de verão em Suape, são da mesma ordem de grandeza, para fins de engenharia, que as componentes correntes de deriva e transporte de massa calculadas com base, respectivamente, em ventos e ondas registrados no local.

O azimute da normal à barreira de recifes é 114° . A predominância das fracas correntes registradas para SE, S e SW, entre 17/1 e 25/1, está de acordo com a direção de

ventos NE que ocorreram no mesmo período. As direções de incidência das ondas registradas nesse período, em um local cuja profundidade era de 17m, ficaram ligeiramente à esquerda da normal à barreira de recifes ($\alpha < 114^\circ$). Considerando ainda que as isóbatas na região de estudo são sensivelmente paralelas à linha de recifes, as ondas de períodos 6 e 7 seg. ao se propagarem da profundidade de 17m para a profundidade de registro de correntes (10m) (zona de profundidade intermediária para ondas de $T = 6$ e 7 seg.), sofrem o processo de refração no sentido de as cristas se tornarem paralelas à linha de recifes, ou a direção de propagação tendendo a coincidir com o azimute da normal à praia. Como resultado disso, as fracas correntes de transporte de massa têm a direção da normal à barreira de recifes. Junto ao fundo elas são dirigidas para a barreira de recifes e, a 4m do fundo o seu sentido é para o largo.

Embora de um modo simplificado, as considerações anteriores fornecem uma noção da importância relativa de agentes hidráulicos e meteorológicos, em relação às correntes registradas em Suape, no regime de verão.

Pelas relações observadas entre as intensidades e direções das correntes registradas e a ocorrência de ventos e ondas, pode-se afirmar que as correntes ao largo do cordão de recifes, são comandadas mais pela influência desses dois agentes superpostos que pela influência da maré.

ii. Entre 26/1 e 30/1 predominou a corrente para NE, com direções mais frequentes compreendidas entre 80° e 73° . Nesse intervalo a velocidade da corrente variou entre 0 m/s e 0.14 m/s, sendo, em média, de 0.06 m/s.

ii-1. Influência da maré

As marés nesse intervalo foram de sizígia, com

amplitudes variando entre 2.1 e 2.6m. Não foram constatadas inversões no sentido da corrente. Da mesma forma que para o intervalo de 17/1 a 25/1, os valores máximos de velocidades registradas em cada ciclo de maré, assim como as ocasiões em que a corrente se anulou, não corresponderam a instantes definidos do ciclo de maré. Também não foram semelhantes os intervalos de tempo de ocorrência desses valores (máximos e nulos). As velocidades de corrente não eram, em média e em valores máximos, sempre maiores em uma das fases (enchente ou vassante) dos vários ciclos de maré, cobertos pelas medições de corrente. Embora as amplitudes de maré tenham sido maiores nesse intervalo, relativamente ao intervalo de 17/1 a 25/1, as correntes foram relativamente menores do que naquele período.

ii-2. Influência do vento e das ondas

Entre 26/1 e 30/1 os registros de vento acusaram velocidades variando entre 3.2 e 10.3 nós, sendo os ventos de E e SE. O ondógrafo, devido à pena de registro ter-se soltado, não funcionou nesse período, sendo apenas observadas as direções de propagação das ondas em um ponto à profundidade de 17 m. A direção de propagação das ondas ficou compreendida entre 107° e 111° .

O fato de as velocidades de corrente entre 26/1 e 30/1 serem relativamente menores que no intervalo de 17/1 a 25/1, está de acordo com as mais fracas intensidades do vento entre 26/1 e 30/1. A predominância das correntes para NE pode ser parcialmente explicada pela ocorrência, entre 26/1 e 30/1, de ventos SE.

iii. Entre 1/2 e 12/2 predominou, a 4 m do fundo, a corrente para S e SW, com direções mais frequentes compreendidas entre 181° e 260° . A velocidade da corrente variou entre 0 m/s e 0.18 m/s sendo, em média, de 0.05m/s.

iii-1. Influência da maré

As medições de corrente abrangeram marés de quarto (amplitudes variando entre 1.3 e 2.0 m), marés de quadratura (amplitudes variando entre 0.9 e 1.3 m) e marés de sizígia de lua nova (amplitudes variando entre 1.8 e 2.0 m). Entre 1/2 e 12/2 foram constatadas cinco inversões, tendo a corrente se dirigido nessas oportunidades para NW, durante intervalos de tempo nunca superiores a duas horas. Os instantes dessas inversões não corresponderam a ocasiões definidas do ciclo da maré. Os valores máximos de velocidade registrados em cada ciclo de maré, assim como as ocasiões em que a corrente se anulou, não corresponderam a instantes definidos do ciclo de maré, nem foram semelhantes os intervalos de tempo de ocorrência desses valores. As correntes também não foram, em média e em valores máximos, sempre maiores em uma das fases (enchente ou vasante) dos vários ciclos de maré, cobertos pelas medições de corrente.

iii-2. Influência do vento e das ondas

Entre 1/2 e 12/2 as medições de vento acusaram ventos com velocidade entre 7.6 e 13.7 nós, sendo os ventos de E e NE. A análise dos registros de ondas colhidos nesse período revelou que as alturas máximas ($H_{m\acute{a}x}$) variaram entre 1.4 e 1.9m, as alturas significativas (H_s) variaram entre 0.9 e 1.2m, os períodos (T_z) tiveram valores de 6 e 7 segundos, e as direções de propagação observadas ficaram compreendidas entre 110° e 112°.

A predominância nesse intervalo das correntes para S e SW pode ser explicada, em última análise, pelo fato de os ventos reinantes e dominantes terem sido de NE.

4.3. CONCLUSÕES

1. As correntes registradas ao largo do cordão de recifes em Suape entre 17/1/75 e 12/2/75 (regime de verão), a 4 m do fundo, em um local de profundidade total igual a 10 m, tiveram baixas intensidades, não excedendo de 0.24 m/s. Estima-se que, junto ao fundo, as correntes não tenham excedido a 0.10 m/s.

2. Não houve variação de corrente (velocidade e direção) relativamente ao ciclo da maré. As inversões o corridas e as variações de intensidade da corrente não se relacionam com instantes definidos dos ciclos de maré. Não foi constatada uma relação direta entre as maiores velocidades registradas e a amplitude da maré. Estas observações, entre outras, permitem concluir que as correntes locais não são influenciadas, de modo acentuado, pela maré.

3. Entre 17/1 e 25/1 predominaram as correntes para SE, S e SW. Entre 26/1 e 30/1 as correntes tiveram o sentido de NE. Entre 1/2 e 12/2 predominaram novamente as correntes para S e SW. Há uma nítida concordância entre ventos do quadrante N-E e correntes para SE, S e SW de um lado, e ventos do quadrante S-E e correntes para NE.

4. Uma vez que, devido à direção de propagação das ondas, as correntes por elas induzidas têm a direção da normal à barreira de recifes, é a ação do vento incidindo à esquerda ou à direita da normal à barreira de recifes, o principal responsável pela orientação das correntes.

V. CONCLUSÕES GERAIS

1. As correntes ao largo do cordão de recifes são de baixa intensidade, tanto no regime de inverno quanto no de verão, e são comandadas mais pela influência de ventos e ondas, que pela influência da maré.

2. Em regime de verão os ventos reinantes são os ventos E. A maior velocidade de vento observada na campanha de verão, foi de 16.4 nós. Não há dominância de ventos de uma determinada direção.

3. Os registros de onda obtidos em regime de verão permitiram constatar que as ondas provêm de E-SE, com os parâmetros ondulatórios variando entre:

- a) $H_{m\acute{a}x}$ (altura máxima) - 1.4 m a 2.6 m
- b) H_s (altura significativa) - 0.9 m a 1.6 m
- c) T_z (período médio) - 6 s a 7 s
- d) α (direção de incidência) - 104° a 125° com uma predominância nítida para 110°

4. São bastante semelhantes as características ondulatórias de Suape e de Aracaju-SE, tanto em regime de inverno quanto em regime de verão. Tal informação deve-se à comparação de resultados da análise de registros de ondas efetuados nos dois locais, nos mesmos meses, mas em anos diferentes.

APÊNDICE I

ROTINA DE ANÁLISE DE REGISTROS ONDULATÓRIOS PELO MÉTODO
DE TUCKER-DRAPER

ROTINA DE ANÁLISE

Analisa-se cada um dos registros de onda da seguinte maneira:

- a. Delimita-se uma duração do registro correspondente a 10 minutos e só se consideram as ondas nesse intervalo. (T_R)
- b. Traça-se a olho, a linha correspondente ao nível médio do registro (linha zero).
- c. Conta-se o número de cristas (N_c). Define-se crista como sendo os pontos em que o nível d'água passa por um máximo, diminuindo para ambos os lados. Pode haver cristas abaixo do nível médio.
- d. Conta-se o número de vezes (N_z) em que o registro corta a linha zero, movendo-se para cima (interseções ascendentes).
- e. Medem-se, a partir do nível médio, as amplitudes da crista mais alta (A) e da crista seguinte em altura (B).
- f. Medem-se, a partir do nível médio, as amplitudes do cavado mais baixo (C) e do cavado seguinte em altura (D), tomando ambas as quantidades como positivas.

g. A partir dessas medições, determinam-se:

$$H_1 = A + C$$

$$H_2 = B + D$$

$$\bar{T}_c = \frac{\text{duração do registro em seg.}}{N_c} = \frac{T_R}{N_c} \quad (\text{período das cristas})$$

$$\bar{T}_z = \frac{\text{duração do registro em seg.}}{N_z} = \frac{T_R}{N_z} \quad (\text{período das interseções com o nível médio})$$

h. Se o aparelho tiver seu funcionamento baseado no registro da variação de pressões, as alturas H_1 e H_2 devem ser corrigidas para a frequência de resposta do aparelho registrador de ondas e também para a atenuação da pressão ondulatória com a profundidade.

No caso do ondógrafo "Neyrpic" (registrador por emissão de ultra som), tem-se simplesmente:

$$H_{\max} = H_1.$$

i. O período que mais convenientemente representa o registro é \bar{T}_z .

j. O grau de pureza do registro é dado pelo parâmetro de largura do espectro:

$$\epsilon = \sqrt{1 - \left(\frac{T_c}{T_z}\right)^2}$$

Se as ondas registradas distribuem-se em uma ampla faixa de frequências, as ondas mais curtas "cavalgam" as ondas mais longas e, como consequência, há muito mais cristas que interseções do registro com o nível médio movendo-se para cima. Neste caso $N_c \gg N_z$ ou $T_z \gg T_c$; então $\epsilon \rightarrow 1$ e trata-se mais de vagas. Para $\epsilon = 1$ tem-se somente vagas, isto é: o registrador se encontrava na zona de geração das ondas.

Por outro lado, se as ondas do registro cobrem apenas uma pequena faixa de frequências, $N_c \geq N_z$ e $T_z \geq T_c$; então $\epsilon \rightarrow 0$ e tem-se mais ondulações. No caso de a cada interseção do registro com o nível médio movendo-se para cima corresponder a uma crista, estamos em presença de ondulação pura.

OBS: O parâmetro ϵ é bastante importante, pois através dele é possível saber se as ondas que atuam em um determinado local são sobretudo vagas (SEA), geradas pelos ventos locais, ou ondulações (SWELL) geradas longe da zona onde é feito o registro.

k. A altura significativa do registro (H_s) é tirada de uma tabela que fornece o fator H_s/H_1 em função da N_z . Esta tabela, que se transcreve a baixo, se baseia na teoria matemático-estatística do oceanógrafo Longuet-Higgins sobre as relações entre características de ondas que compõem um dado espectro.

N_z	H_s/H_1	N_z	H_s/H_1
20-21	0.77	64-73	0.65
22-23	0.76	74-85	0.64
24-25	0.75	86-100	0.63
26-27	0.74	101-118	0.62
28-29	0.73	119-139	0.61
30-32	0.72	140-166	0.60
33-35	0.71	167-202	0.59
36-39	0.70	203-253	0.58
40-44	0.69	254-315	0.57
45-49	0.68	316-390	0.56
50-55	0.67	391-488	0.55
56-63	0.66	489-615	0.54

./mgs.

APÊNDICE II

CÁLCULOS RELATIVOS A CORRENTES DE DERIVA E CORRENTES DE
TRANSPORTE DE MASSA

A força tangencial produzida pela ação do vento na superfície do mar, gera uma corrente (corrente de deriva) que é função da velocidade do vento, da latitude local e da relação H/D, onde H é a profundidade local e $D = 3.9Vn\bar{o}s/\sqrt{\text{sen}\phi}$ (V = velocidade do vento em n\bar{o}s e ϕ = latitude). O parâmetro D é a profundidade teórica na qual a corrente de deriva se anula. A velocidade da corrente de deriva na superfície é, segundo Ekman e Mohr:

$$U_0 \text{ cm/s} = 0.013V \text{ cm/s} / \sqrt{\text{sen}\phi}$$

É possível calcular o valor da intensidade da corrente de deriva nos vários n\bar{i}veis de profundidade. A direção da corrente nos vários n\bar{i}veis de profundidade (espiral de Ekman) tende a se aproximar tanto mais da direção do vento gerador, quanto menor a latitude, menor a profundidade e maior a velocidade do vento.

Calculemos a corrente de deriva a 4 m do fundo em um local com profundidade de 10 m, na região de Suape, gerada por um vento com velocidade $V = 16.4$ n\bar{o}s (a maior velocidade registrada na campanha de ver\bar{a}o). Teremos:

$$\phi = 8.3^{\circ} \text{ sul}, \quad H = 10 \text{ m}$$

$$U_0 = \frac{0.013 \times 51.4 \times 16.4}{\sqrt{\text{sen}8.3^{\circ}}} = 29.0 \text{ cm/s (na superfície e com } H/D = 1)$$

$$D = \frac{3.9 \times 16.4}{\sqrt{\text{sen}8.3^{\circ}}} = 168.3 \text{ m}$$

$$\frac{H}{D} = \frac{10}{168.3} = 0.06 \sim 0.1$$

Para este valor da relação H/D, a intensidade da corrente de deriva nos vários n\bar{i}veis de profundidade é ob

tida multiplicando-se o valor de U_0 pelo fator K' do quadro a seguir. A direção teórica da corrente nos diversos décimos da profundidade sofre desvios angulares para a esquerda, em relação à direção do vento gerador, que são indicados no mesmo quadro.

Nível Sup.	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
K'	0.44	0.39	0.35	0.30	0.26	0.22	0.18	0.13	0.08	0.04
Des. ($^{\circ}$)	3.7	3.9	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.2	5.4	5.5

Teoricamente então, um vento de velocidade $V = 16.4$ nós geraria uma corrente a 4 m do fundo em um local de profundidade total igual a 10 m, na região de Suape ($\phi = 8.3^{\circ}$ sul), cujo valor é: $U_{4m} = U_0 \times 0.18 = 29.0 \times 0.18 = 5.2$ cm/s. Esta corrente estaria defletida para a esquerda de 5° , relativamente à direção do vento gerador. Esse mesmo vento geraria uma corrente de intensidade: $U_{1m} = 29.0 \times 0.04 = 1.2$ cm/s a 1 m do fundo, defletida de 5.5° para a esquerda, em relação à direção do vento gerador.

Para efeitos práticos, a corrente gerada por um vento com velocidade de 16.4 nós ou maior, soprando na região de Suape, tem sensivelmente a mesma direção do vento em todos os níveis de profundidade, em locais com profundidade igual ou menor que 10 metros.

Com a propagação ondulatória ocorre um deslocamento de massa líquida na direção de propagação das ondas, conhecido como transporte de massa.

A análise dos registros ondulatórios efetuados no verão, em Suape, revelou que as ondas registradas tiveram períodos médios de 6 e 7 segundos. Na profundidade de 10 metros as relações d/L (onde d é a profundidade e L é o comprimento de onda à profundidade d) têm o seguinte valor: $d/L = 1/4.8$ (para onda de $T = 6$ s.) e $d/L = 1/6.0$ (para onda de $T = 7$ s.).

O cálculo da velocidade de transporte de massa em uma profundidade z , a partir da superfície, pode ser efetuado com a utilização da expressão

$$\bar{U}_z = \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 \frac{C}{2} \frac{\cosh 2k(d+z)}{\sinh^2 kd} = \bar{U}_0 \cosh 2k(d+z) \quad (\text{eq.1})$$

Tal expressão aparece na teoria de Stokes que é uma das teorias das ondas de amplitude finita, e é utilizada para a faixa $d/L > 1/10$.

Segundo RUSSEL e OSORIO (1) obtém-se valores mais aproximados da velocidade da corrente de transporte de massa, na faixa de $1.5 > 2\pi d/L > 0.7$ ou $1/4.2 > d/L > 1/9.0$, utilizando-se para o cálculo a equação de condução desenvolvida na teoria de LONGUET-HIGGINS (2). A sua expressão, é:

$$2 \frac{\bar{U}_z}{\bar{U}_0} = 2 \cosh 2k(d+z) + 3 + kd \left[3 \left(\frac{z}{d}\right)^2 + 4 \left(\frac{z}{d}\right) + 1 \right] \sinh 2kd + 3 \left[\frac{\sinh 2kd}{2kd} + \frac{3}{2} \right] \left[\left(\frac{z}{d}\right)^2 - 1 \right] \quad (\text{eq.2})$$

$$\text{com } U_0 = \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 \frac{C}{2 \sinh^2 kd}$$

-
- (1) RUSSEL, R.C.H. and J.D.C. OSORIO, An Experimental Investigation of Drift Profiles in a Closed Channel. Proc. Sixth Conf. Coastal Eng., Berkeley, California (1958) pp. 171-93.
- (2) LONGUET-HIGGINS, M.S., Mass Transport in Water Waves, Phil. Trans., Roy. Soc. (London), ser. A, 245, 903 (March 31, 1953), pp. 525-81.

onde

z = distância vertical com origem na superfície

k = número de onda = $2\pi/L$

d = profundidade local

C = celeridade da onda = $\sqrt{\frac{g}{k} \operatorname{tgh} kd}$

H = altura da onda

A maior onda registrada em Suape na campanha de verão, teve por altura: $H = 2.5\text{m}$ na profundidade de 17 metros. O período médio do registro correspondente foi de 7 segundos. Considerando que essa onda ao se propagar da profundidade de registro (-17m) até a profundidade de 10 metros sofreu apenas o processo de empinamento (shoaling), a sua altura à profundidade de 10 metros seria praticamente a mesma: $H = 2.48\text{m} \approx 2.5\text{m}$.

A velocidade da corrente de transporte de massa a 4 metros do fundo gerada por um trem de ondas regulares de altura $H = 2.5\text{m}$ e período $T = 7$ seg., propagando-se numa profundidade constante de 10 metros, é (eq.2): $U_{z=6} = -5.1 \text{ cm/s}$ (*). A cerca de 1m do fundo a velocidade seria da ordem de: $U_{z=9} = 5.6 \text{ cm/s}$.

(*) O sinal (-) indica que o sentido da corrente é o oposto ao da propagação das ondas.