

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
**UFRGS** Instituto de Pesquisas Hidráulicas **UNESCO**  
CENTRO DE HIDROLOGIA APLICADA

# **Estudo Estatístico das Ondas ao Largo da Baía de Paranaguá**

Tese apresentada como um dos requisitos ao grau de  
Mestre em Ciência em Hidrologia Aplicada  
Por

**JEFFERSON VIANNA BANDEIRA**

JUNHO — 1974



PROGRAMA  
DAS NAÇÕES UNIDAS PARA  
O DESENVOLVIMENTO  
— U N D P —



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS  
HIDRAULICAS



ORGANIZAÇÃO DAS  
NAÇÕES UNIDAS PARA  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA  
E CULTURA  
— UNESCO —

**CENTRO DE HIDROLOGIA APLICADA**

TELEG. "HIDROCENTRO"  
TELEFONE: 23-33-94

SUA REF.:

NOSSA REF.:

CAIXA POSTAL 530  
PORTO ALEGRE - BRASIL

**ESTUDO ESTATÍSTICO DAS ONDAS  
AO LARGO DA BAIÁ DE PARANAGUÁ**

**TRABALHO APRESENTADO COMO PARTE DOS REQUISITOS  
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE**

**MESTRE EM CIÊNCIAS EM  
HIDROLOGIA APLICADA**

**OPÇÃO: ENGENHARIA MARÍTIMA**

**AUTOR: JEFFERSON VIANNA BANDEIRA**

**ORIENTADOR: PROF. VICTOR FREIRE MOTTA**

**EXAMINADORES:**

**PROF. GILBERTO CANEDO DE MAGALHÃES**

**PROF. JOSÉ CARLOS GRIJÓ**

**PROF. VICTOR FREIRE MOTTA**

## AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Victor Freire Motta, Professor do Centro de Hidrologia Aplicada e Chefe da Divisão Marítima do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, quero manifestar a minha gratidão pela precisa e dedicada orientação dispensada na elaboração deste trabalho.

Um agradecimento especial aos técnicos Luiza Gláucia Vorcaro Mourão da Costa e José Joaquim Lima de Campos, do Instituto de Pesquisas Radioativas de Belo Horizonte, pela colaboração na análise dos registros ondulatórios.

Aos técnicos Fábio Antônio da Silva e José Carlos Marques, do Instituto de Pesquisas Radioativas, quero agradecer a colaboração prestada, na parte do processamento de dados.

Ao técnico Luiz Raphael Aun e ao desenhista Geraldo Januário Martins, do Instituto de Pesquisas Radioativas, autores das ilustrações deste trabalho, quero expressar o meu reconhecimento.

À Gracinha especialmente agradeço pela presteza, dedicação e eficiência com que datilografou este trabalho.

---

## Í N D I C E

CAPÍTULOS	PÁGINAS
RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE SÍMBOLOS	
1. INTRODUÇÃO.	1
2. ANÁLISE DOS REGISTROS DE ONDAS DE PARANAGUÁ.	
2.1. A Campanha de Registros	4
2.2. Análise dos Registros de Ondas pelo Método de Draper	5
2.2.1. Considerações Prévias	5
2.2.2. Rotina de Análise	6
2.3. O Regime Ondulatório em Paranaguá	10
2.3.1. Períodos	10
2.3.2. Alturas	12
2.3.3. Parâmetro de Largura do Espectro	21
2.3.4. Direções de Incidência das Ondas	22
2.3.5. Conclusões sobre o Regime de Ondas	26
2.4. Análise dos Registros de Ondas, Considerando as Ondas Individuais do Espectro	27
2.4.1. Rotina de Análise	27
2.4.2. Escolha dos Registros	28

---

## CAPÍTULOS

## PÁGINAS

2.4.3. Comparação de Resultados Ob- tidos pelo Método de Draper com os Obtidos pelo Método das Ondas Individuais	30
2.5. Relação entre o Período Significati- vo ( $T_s$ ) e o Período ( $T_z$ )	33
2.6. Relação entre a Altura Significativa ( $H_s$ ) e o Período ( $T_z$ )	34
2.7. Intervalo de Recorrência das Alturas Máximas Registradas em Paranaguá	37
2.7.1. Comparação dos Valores Extra- polados da Curva de Freqüên- cias Acumuladas com os Valo- res Calculados por Fórmula Empírica	43
3. APLICAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA AOS PARÂMETROS ONDULATÓRIOS DE PARANAGUÁ.	
3.1. Considerações Prévias	45
3.2. Estudo Estatístico das Alturas de Ondas	46
3.2.1. Distribuição de Rayleigh	47
3.2.2. Aplicação da Distribuição de Rayleigh aos Registros Ondu- latórios de Paranaguá	50
3.2.2.1. Teste de Qui-Quadra- do	53
3.2.2.2. Teste da Distribui- ção de Rayleigh a través de Relações entre os Diversos Parâmetros de Altu- ras de Ondas	56

CAPÍTULOS

PÁGINAS

3.2.2.3. Comparação de Valores de  $H_{max}$  e  $H_s$   $\bar{Q}$  corridos Durante o Ano com os Calculados pelas Relações de Longuet-Higgins 61

4. CONCLUSÕES. 64

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AGRADECIMENTOS.

APÊNDICE.

CAPÍTULOS

PÁGINAS

3.2.2.3. Comparação de Valores de  $H_{max}$  e  $H_s$   $\bar{Q}$  corridos Durante o Ano com os Calculados pelas Relações de Longuet-Higgins 61

4. CONCLUSÕES. 64

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AGRADECIMENTOS.

APÊNDICE.

LISTA DE SÍMBOLOS

		DIMENSÃO
A	amplitude da maior crista de um registro ondulatório, medida a partir do nível médio do registro (linha zero)	L
B	amplitude da segunda maior crista de um registro ondulatório, medida a partir do nível médio do registro (linha zero)	L
C	amplitude do maior cavado de um registro ondulatório, medida a partir do nível médio do registro (linha zero)	L
C	valor crítico no teste de qui-quadrado (tabelado)	
d	profundidade de água	L
D	amplitude do segundo maior cavado de um registro ondulatório, medida a partir do nível médio do registro (linha zero)	L
g	aceleração da gravidade	$LT^{-2}$
$G(\theta)$	função de probabilidade	
$H_1 = A+C$		L
$H_2 = B+D$		L
$H_{1/n}$	altura média das 1/n ondas mais altas em um grupo de N ondas	L
$H_{1/3}, H_s$	altura média do terço das ondas mais altas (altura significativa)	L
$H_{1/10}$	altura média do décimo das ondas mais altas	L
$H_{max}$	altura máxima	L

DIMENSÃO

$H_{med, \mu}$	altura média	L
$H_{RMS}$	altura média quadrática	L
$L_0$	comprimento de onda a profundidade infinita	L
$M_T$	7ésimo momento em relação a origem	$L^7$
$N_c$	número de cristas de ondas em um registro ondulatório	
$N_z$	número de vezes em que o registro corta a linha zero, movendo-se para cima (interseções ascendentes)	
$p(H)$	função densidade de probabilidade de H	
$P(H)$	função distribuição de probabilidade de H	
$T_c$	período das cristas	T
$T_{med}$	período médio	T
$T_s$	período significativo	T
$T_z$	período das interseções com o nível médio do registro	T
$\alpha$	nível de significância (teste estatístico)	
$\epsilon$	parâmetro de largura do espectro	
$\Gamma$	coeficiente de correlação	
$\chi_0^2$	desvio quadrático - teste de qui-quadrado	

## RESUMO

O presente trabalho analisa o regime de ondas ao largo da entrada sul da baía de Paranaguá. No interior da baía está situado o principal porto marítimo do Estado do Paraná. A análise teve por base registros de ondas efetuados por emissor de ultra-sons, imediatamente ao sul da entrada sul da baía, em um ponto com profundidade de 10 metros (entre Abril de 1972 e Março de 1973).

Além da análise propriamente dita foram pesquisadas as relações entre diversos parâmetros ondulatórios obtidos dos registros.

É também apresentado um estudo estatístico, para pesquisar se a distribuição de alturas de ondas pode ser representada pela distribuição de probabilidades de Rayleigh e chega-se a conclusão que, para fins de Engenharia de Costas, tal distribuição se aplica.

## ABSTRACT

This thesis analyses the wave climate off Paranaguá bay entrance. The port of Paranaguá, the main port in the State of Paraná, Brazil, is sited inside the bay. The analysis was based on records taken by an inverted echosound at a 10 m depth of water, just south of the southern entrance, from April 1972 to March 1973.

In addition to the analysis itself the relationship between several parameters obtained from the records were investigated.

A statistical investigation was also carried out which was aimed at ascertaining whether the wave height distribution can be represented by Rayleigh's probability distribution. It was found that the latter is acceptable for Coastal Engineering purposes.

## I. INTRODUÇÃO

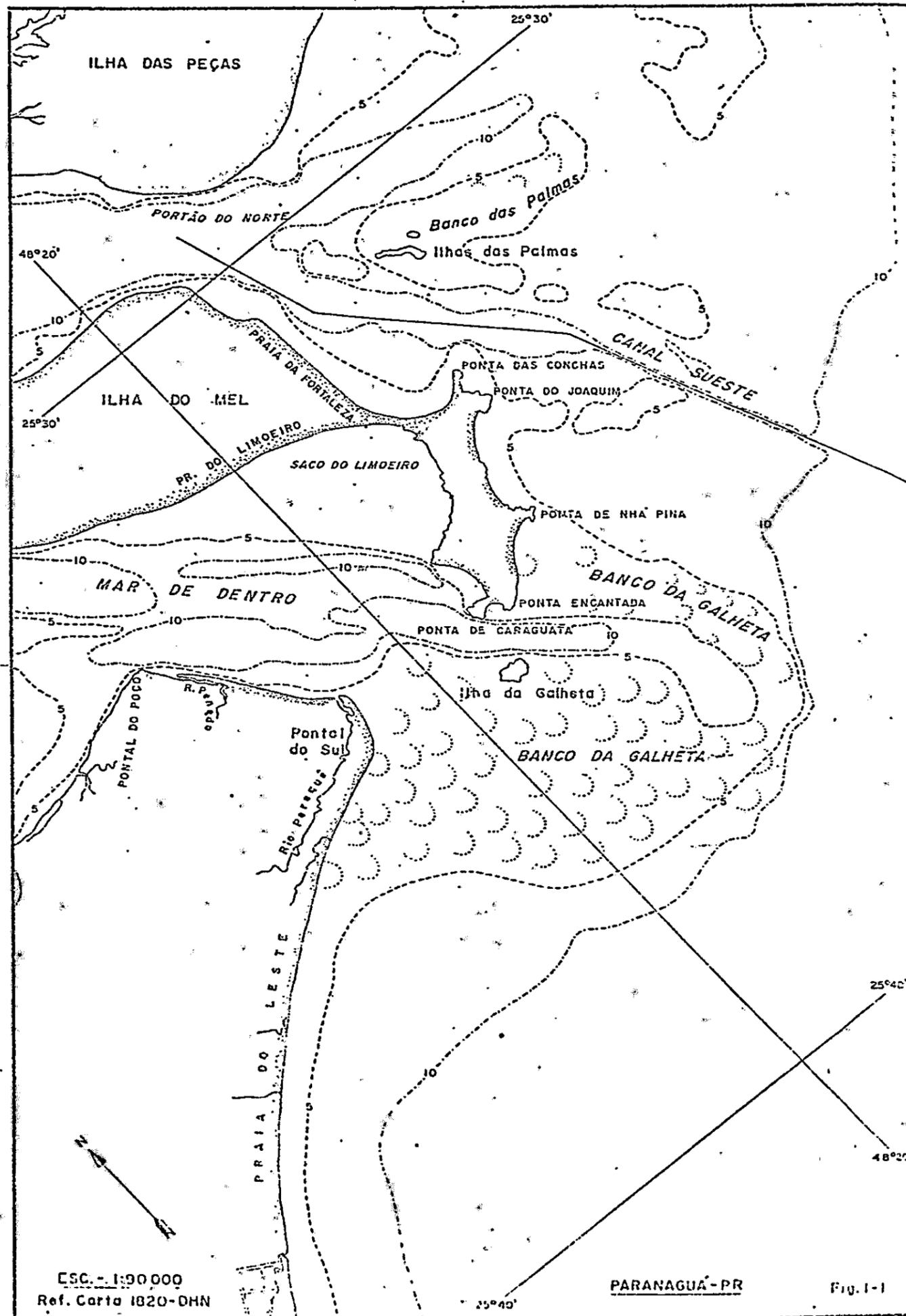
Como parte dos estudos efetuados para a dragagem de um canal de acesso, com profundidade de 12 metros, ao porto de Paranaguá no Estado do Paraná, o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH), órgão do Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis (DNPVN), efetuou registros de ondas ao largo de Paranaguá entre abril de 1972 e março de 1973.

Utilizou-se para tanto, um ondógrafo autônomo a ultra som da marca "Neyrpic", o qual foi fundeado a 10 metros de profundidade, em frente à Praia do Leste (Fig. 1.1.).

Os registros obtidos foram analisados na Divisão Marítima do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS em Porto Alegre, pelo método de Draper (Cap. 2 e ref. 6 e 7).

No presente trabalho, com base nos resultados da análise pelo método de Draper, procurou-se estudar o regime ondulatório de Paranaguá (Cap. 2). Além disso, uma parte dos registros de ondas foi analisada por um método baseado na consideração de ondas individuais do espectro, com dupla finalidade:

- a. Calcular diversos parâmetros ondulatórios de cada registro;  $H_{med}$  (altura média),  $H_{RMS}$  (altura média quadrática),  $H_{max}$  (altura máxima),  $H_{1/3}$  (altura média do terço de ondas mais altas),  $H_{1/10}$  (altura média do décimo



de ondas mais altas),  $T_{med}$  (período médio) e  $T_s$  (período significativo).

- b. Verificar se este método de análise e o de Draper, conduzem a resultados semelhantes para as condições ondulatórias de Paranaguá.

Com esta análise foi possível verificar experimentalmente várias relações que têm sido propostas para correlacionar os diversos parâmetros ondulatórios.

Em particular, pesquisou-se se a distribuição de alturas de ondas registradas em Paranaguá segue a função de distribuição de probabilidades de Rayleigh, como sugerem Longuet-Higgins (14) e outros, para outros locais.

O estudo estatístico apresentado neste trabalho ainda não havia sido tentado para as condições ondulatórias existentes nos diversos trechos da costa brasileira. Espera-se que este estudo possa ser útil no planejamento e anteprojeto de futuras construções marítimas situadas entre Tramandaí (RS) e o limite oeste da Baía de Ilha Grande (RJ), pois, a grandes profundidades, esta região costeira está submetida às mesmas condições ondulatórias (wave climate) de Paranaguá, segundo as "Sea and Swell Charts" do U.S. Navy Hydrographic Office (17).

## II. ANÁLISE DOS REGISTROS DE ONDA DE PARANAGUÁ

### 2.1. A CAMPANHA DE REGISTROS

A campanha de registros em Paranaguá desenvolveu-se entre 23/4/72 e 18/3/73. Foi utilizado um ondógrafo autônomo a ultra som, da marca "Neyrpic".

A minuteria do ondógrafo foi programada para que fossem feitos três registros diários: às 8:00, 16:00 e 24 horas, com duração de aproximadamente 12 minutos ca da registro. A velocidade de rotação do papel do registrador era de 6.5cm/min.

O ondógrafo foi fundeado a uma profundidade de 10 metros, em frente à praia do Leste (Fig. 1.1).

As direções de ondas foram observadas visualmente nos momentos dos registros diurnos, em um ponto à profundidade de 5 metros, materializado pela colocação de uma boia.

O planejamento inicial era a obtenção de três registros diários durante um ano completo. Para que o rendimento da campanha fosse de 100%, deveriam ter sido efetuados:  $365 \times 3 = 1095$  registros.

Condições precárias de navegação que impediam a saída da equipe de operadores ao mar, em certas épocas do ano, e defeitos ocorridos no ondógrafo durante a campanha impediram que se alcançasse este objetivo.

O quadro a seguir apresenta o número de registros obtidos em cada mes.

QUADRO 2-1

Mes	Nº de Registros	Mes	Nº de Registros
Abn-72	18	Out-72	62
Mai-72	32	Nov-72	61
Jun-72	42	Dez-72	78
Jul-72	92	Jan-73	0
Ago-72	88	Fev-73	52
Set-72	22	Mar-73	6

Durante toda a campanha foram obtidos 553 registros, sendo o rendimento de:  $\frac{553}{1095} \cdot 100 = 50.5\%$

## 2.2. ANÁLISE DOS REGISTROS DE ONDAS PELO MÉTODO DE DRAPER

### 2.2.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

O método de Draper, o qual utiliza estudos das propriedades estatísticas das ondas do mar efetuados pelo oceanógrafo matemático britânico Longuet-Higgins, é um método de análise dos registros ondulatórios bastante simples e pouco trabalhoso, o qual possibilita a obtenção de diversos parâmetros ondulatórios que serão vistos a se

guir.

Sua grande vantagem é que a análise dos registros, praticamente, não depende da interpretação do operador.

#### 2.2.2. ROTINA DE ANÁLISE

Analisa-se cada um dos registros da seguinte maneira (6, 7):

- a. Delimita-se uma duração do registro correspondente a 10 minutos e só se consideram as ondas nesse intervalo.
- 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:

$$H_1 = A + C$$

$$H_2 = B + D$$

$$T_c = \frac{\text{duração do registro em seg.}}{N_c} = \frac{600}{N_c} \text{ (período das cristas)}$$

$$T_z = \frac{\text{duração do registro em seg.}}{N_z} = \frac{600}{N_z} \text{ (período das interseções com o nível médio)}$$

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 "Neyropic" (registrador por emissão de ultra som), tem-se simplesmente:  $H_{max} = H_1$ .

- i. O período que mais convenientemente representa o registro é  $T_z$ .
- 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,  $N_c \gg N_z$  e  $T_z \gg T_c$ ; 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 ( $\epsilon = 0$ ).

OBS: O parâmetro  $\epsilon$  é bastante importante, pois através dele é possível saber se as ondas que atuam em um determinado local são sobre

tudo 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 de  $N_z$ . Esta tabela, que transcrevemos abaixo, se baseia na teoria matemático-estatística do oceanógrafo Longuet-Higgins sobre as relações entre características de ondas que compõem um dado espectro.

QUADRO 2-2

$N_z$	$H_s/H_1$	$N_z$	$H_s/H_1$
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

### 2.3. O REGIME ONDULATÓRIO EM PARANAGUÁ

Com os resultados da análise pelo método de Dra per dos registros de ondas, foram feitos gráficos percentuais anuais dos diversos parâmetros ondulatórios que são mostrados nas figuras (2-1 a 2-6).

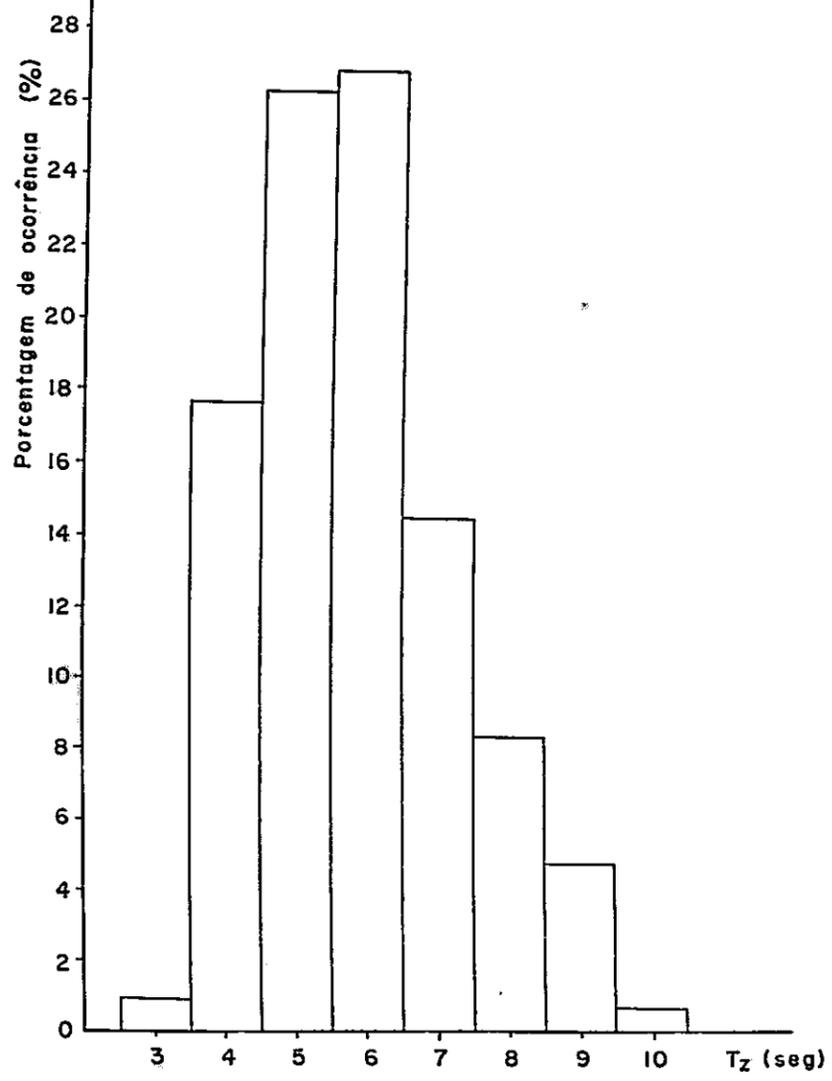
#### 2.3.1. PERÍODOS

O período das ondas variou de 3 a 10 segundos, sendo  $T_z = 6$  seg. o período mais frequente durante o ano (Fig. 2-1). As ondas são portanto, relativamente curtas. O quadro 2-3 mostra a variação percentual mensal dos períodos, tomando por base o número de registros do mês.

QUADRO 2-3

$T_z$ (seg)	3	4	5	6	7	8	9	10
Mes								
Abr.	---	---	---	44.44	38.89	5.56	---	11.11
Mai.	---	12.50	21.88	12.50	21.88	21.88	9.38	---
Jun.	---	2.38	11.90	21.43	19.05	26.19	19.05	---
Jul.	---	1.09	15.22	38.04	18.48	13.04	11.96	2.17
Ago.	---	6.82	15.91	28.41	29.55	14.77	4.55	---
Set.	4.55	18.18	31.82	45.45	---	---	---	---
Out.	---	17.74	40.32	32.26	8.06	1.61	---	---
Nov.	3.28	40.98	32.79	16.39	4.92	1.64	---	---
Dez.	1.27	43.04	31.65	20.25	3.80	---	---	---
Fev.	1.92	19.23	50.00	21.15	7.69	---	---	---
Mar.	---	33.33	50.00	16.67	---	---	---	---

DISTRIBUIÇÃO ANUAL DE PERÍODOS  $T_z$



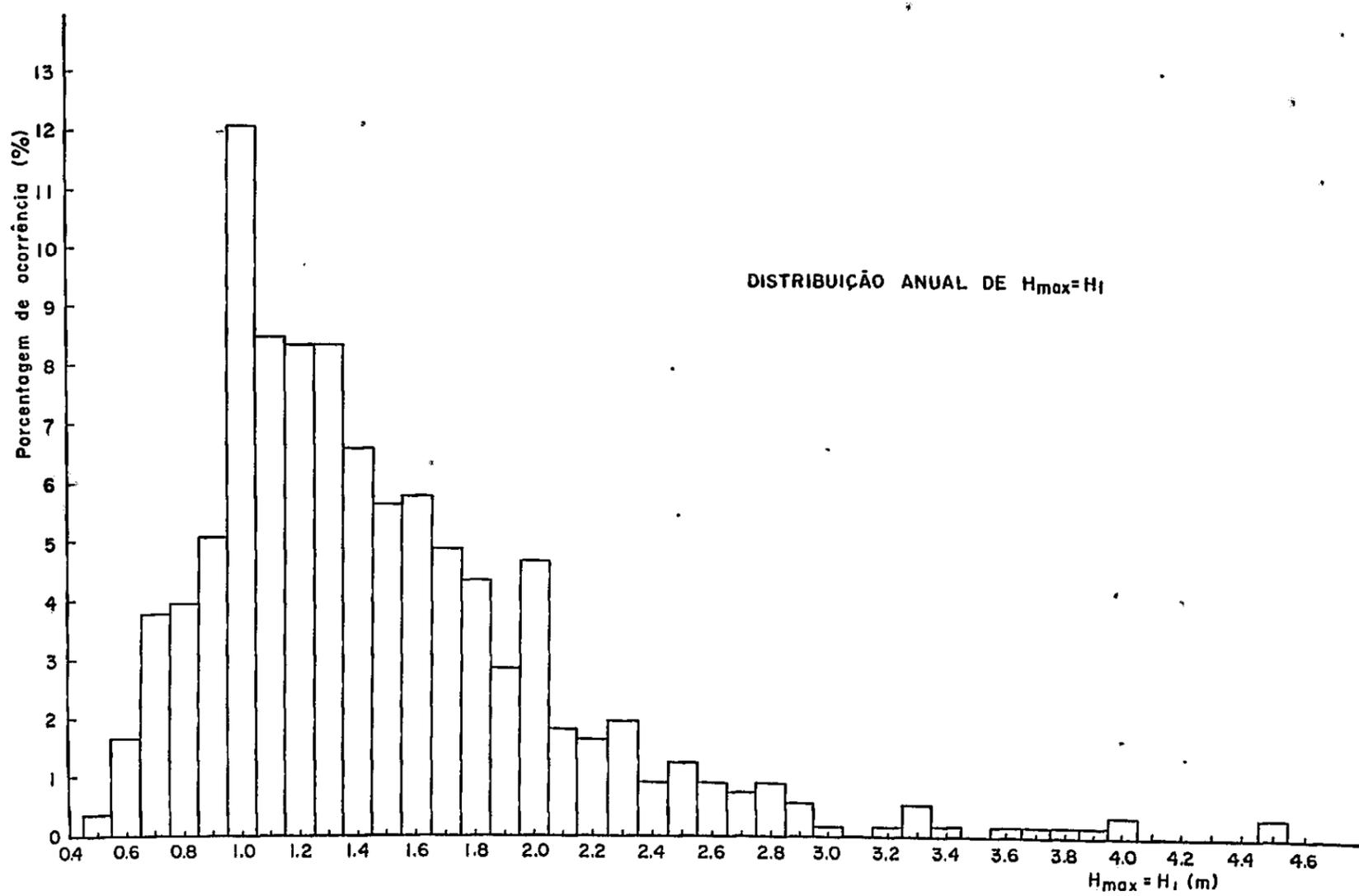
Constata-se que de abril a agosto as ondas são relativamente mais longas, pois menos de 35% das ondas têm períodos de 3, 4 e 5 segundos. De setembro a março, mais de 54% das ondas apresentam períodos de 3, 4 e 5 segundos, sendo este um intervalo em que as ondas são relativamente mais curtas.

### 2.3.2. ALTURAS

#### 2.3.2.1. ALTURA MÁXIMA

A altura máxima  $H_{\text{máx}} = H_1 = A+C$  variou de 0.5 a 4.5m ao longo do ano, sendo  $H_{\text{máx}} = H_1 = 1.0\text{m}$  o valor mais frequente, com 12.09% (Fig. 2-2).

O quadro 2-4 dá a variação percentual mensal das alturas máximas, tomando por base o número de registros de cada mês.



QUADRO 2-4

Mes	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Fev	Mar
0.5	---	---	---	---	1.14	---	---	---	---	1.92	---
0.6	---	3.13	7.14	2.17	1.14	---	1.61	---	---	1.92	---
0.7	11.11	9.37	9.52	4.35	1.14	---	6.45	3.28	---	1.92	---
0.8	11.11	12.50	11.91	5.43	1.14	---	---	---	---	9.62	---
0.9	11.11	3.13	4.76	4.35	6.82	---	9.68	1.64	1.27	9.62	---
1.0	22.22	18.75	21.43	9.78	12.50	13.63	6.45	13.11	6.33	13.46	16.67
1.1	---	6.25	11.91	6.52	9.09	---	8.06	6.56	11.39	11.54	33.33
1.2	16.67	3.13	7.14	11.96	10.22	4.55	9.68	8.20	5.06	5.77	---
1.3	11.11	---	11.91	10.87	9.09	18.18	4.84	9.84	7.59	3.85	---
1.4	---	3.13	7.14	3.26	10.22	4.55	3.23	13.11	6.33	9.62	---
1.5	---	9.37	---	7.61	5.68	---	3.23	9.84	6.33	3.85	16.67
1.6	---	18.75	---	5.43	3.41	4.55	4.84	6.56	10.13	3.85	---
1.7	11.11	---	2.38	8.70	3.41	9.09	1.61	4.92	6.33	3.85	---
1.8	5.56	---	2.38	2.17	2.27	4.55	3.23	8.20	7.59	5.76	16.67
1.9	---	---	---	3.26	3.41	---	8.06	---	5.06	1.92	---
2.0	---	6.25	---	4.35	4.54	4.55	6.45	6.56	6.33	1.92	16.67
2.1	---	3.13	2.38	1.09	1.14	---	3.23	4.92	1.27	---	---
2.2	---	---	---	3.26	1.14	---	---	1.64	3.80	1.92	---
2.3	---	3.13	---	1.09	3.41	4.55	3.23	---	3.80	---	---
2.4	---	---	---	---	---	---	1.61	---	2.53	3.85	---
2.5	---	---	---	2.17	1.14	4.55	3.23	1.64	---	---	---
2.6	---	---	---	1.09	1.14	4.55	---	---	1.27	1.92	---
2.7	---	---	---	---	---	4.55	1.61	---	2.53	---	---
2.8	---	---	---	1.09	---	4.55	4.84	---	---	---	---
2.9	---	---	---	---	1.14	---	---	---	1.27	1.92	---
3.0	---	---	---	---	---	---	---	---	1.27	---	---
3.2	---	---	---	---	---	---	1.61	---	---	---	---
3.3	---	---	---	---	1.14	4.55	1.61	---	---	---	---
3.4	---	---	---	---	1.14	---	---	---	---	---	---
3.6	---	---	---	---	---	4.55	---	---	---	---	---
3.7	---	---	---	---	1.14	---	---	---	---	---	---
3.8	---	---	---	---	---	---	---	---	1.27	---	---
3.9	---	---	---	---	1.14	---	---	---	---	---	---
4.0	---	---	---	---	1.14	---	1.61	---	---	---	---
4.5	---	---	---	---	---	4.55	---	---	1.27	---	---

Pelo quadro anterior observa-se que a ocorrência de ondas relativamente mais altas se dá entre os meses de julho a dezembro, inclusive os extremos, pois a soma das porcentagens mensais de ondas cuja  $H_{max}$  é maior que 1.0m, é mais que 70%. Para os outros meses do ano esta porcentagem é inferior a 62%, à exceção de março que possuindo apenas 6 registros e, portanto, não estando bem caracterizado, apresenta uma soma de porcentagens igual a 83.34%.

A figura 2-3 apresenta a distribuição percentual de  $H_{max} = H_1$  nos intervalos de fevereiro a junho e de julho a dezembro.

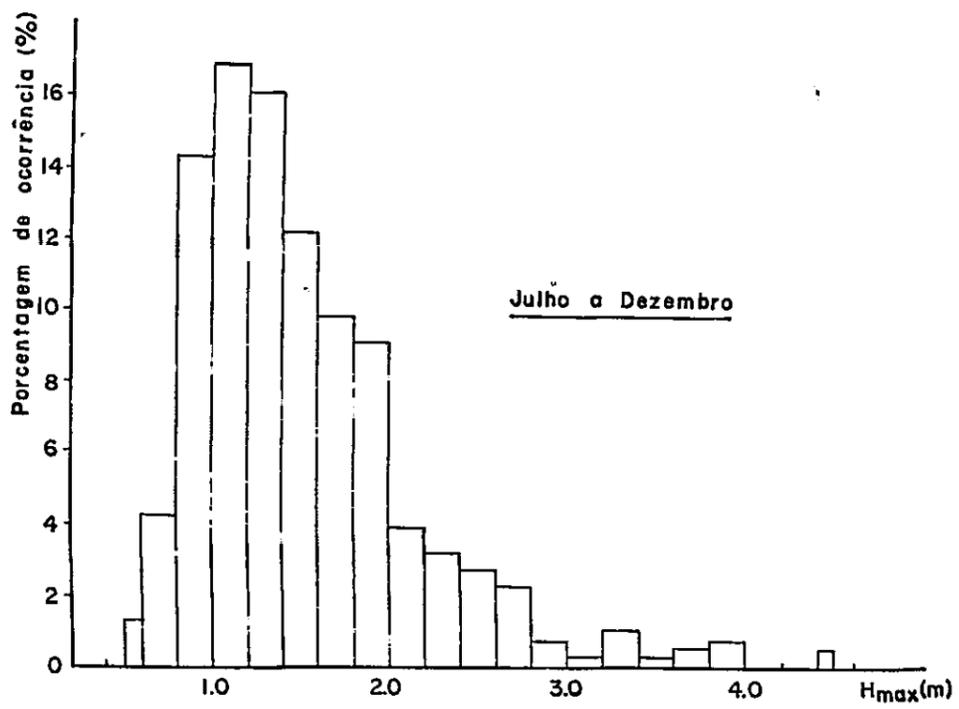
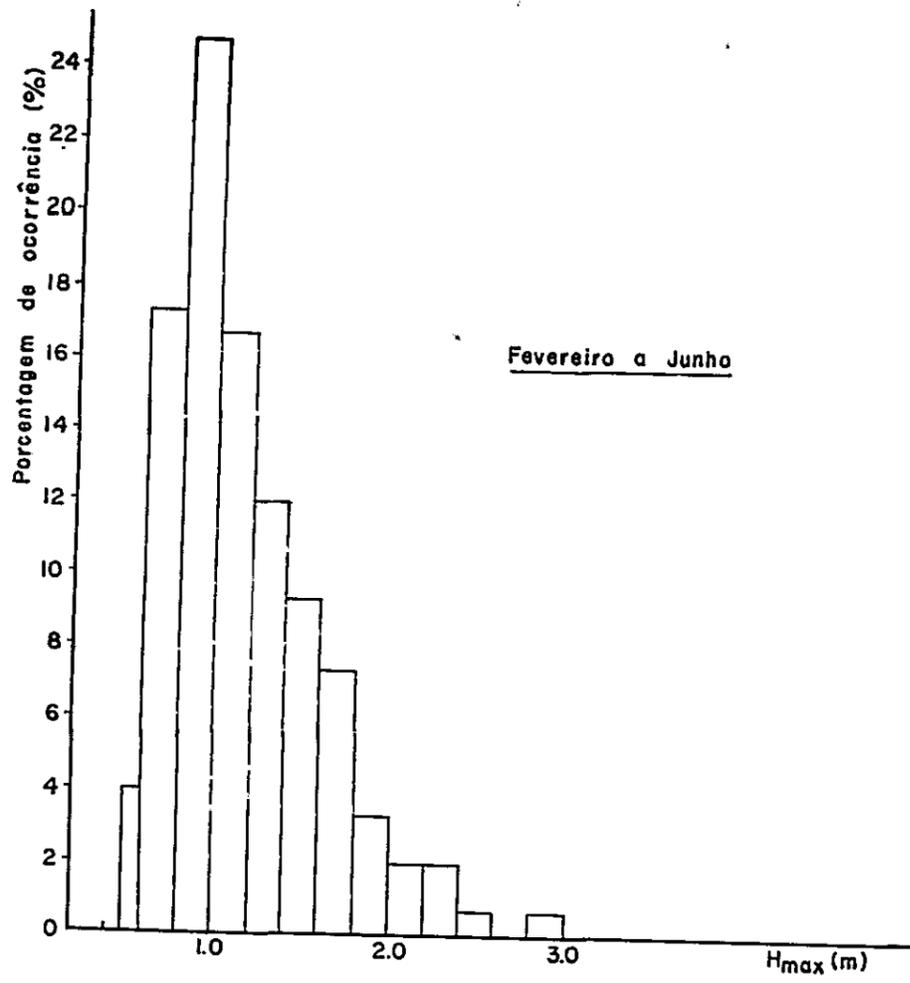
#### 2.3.2.2. ALTURA SIGNIFICATIVA

A altura significativa  $H_s$  variou entre 0.3 e 2.9m, sendo  $H_s = 0.8m$  a altura mais frequente ao longo do ano; (Fig. 2-4).

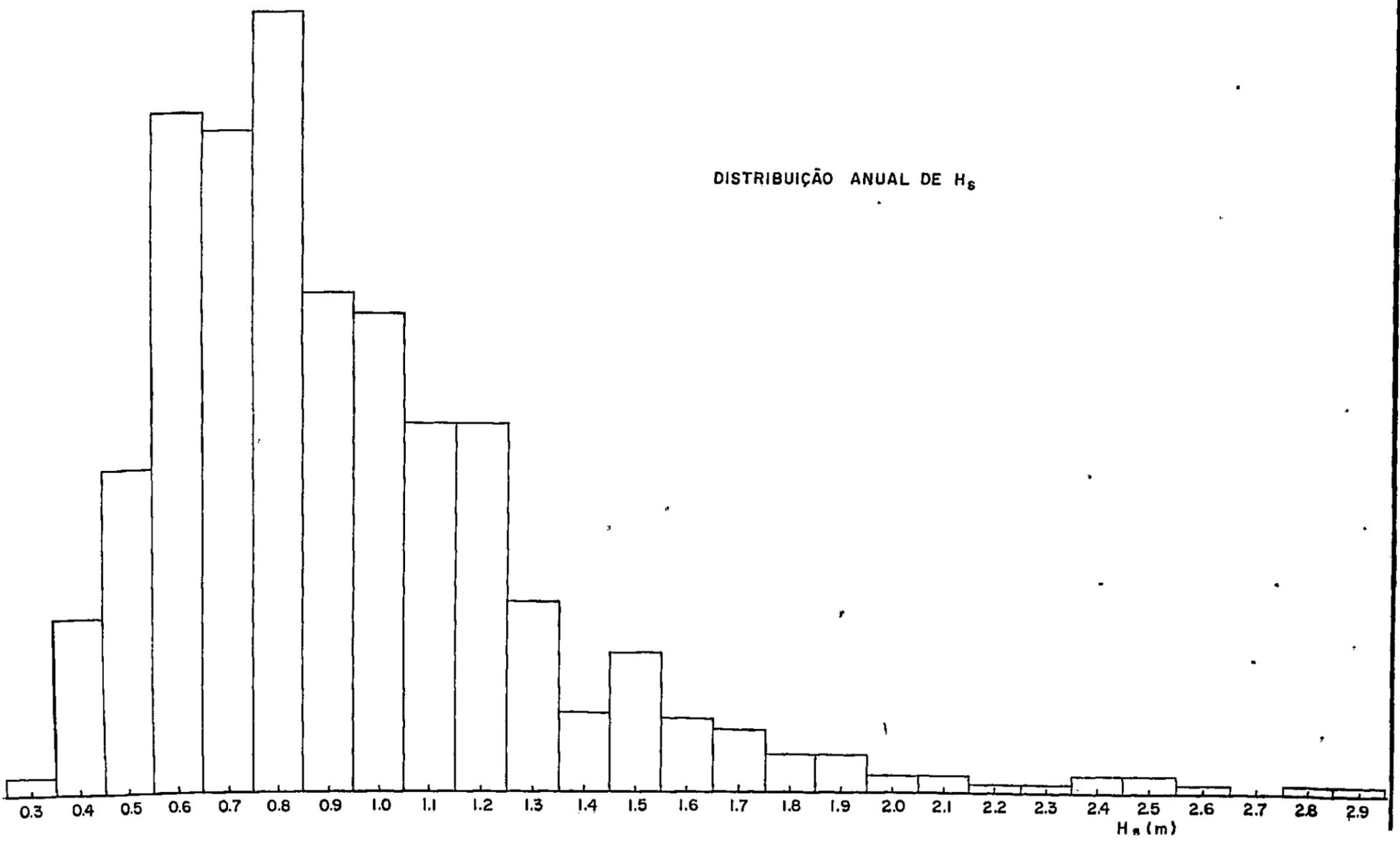
O quadro 2-5 apresenta a variação percentual mensal, com base no número de registros obtidos em cada mes, das alturas significativas.

Entre julho e dezembro as ondas são relativamente mais altas, sendo a soma das porcentagens mensais de ondas com  $H_s > 0.8m$ , sempre maior que 45%. Para os meses restantes do ano, à exceção de março, a soma das porcentagens de  $H_s > 0.8m$  é menor que 41%.

DISTRIBUIÇÃO DE  $H_{max}=H_I$  EM INTERVALOS



DISTRIBUIÇÃO ANUAL DE  $H_s$

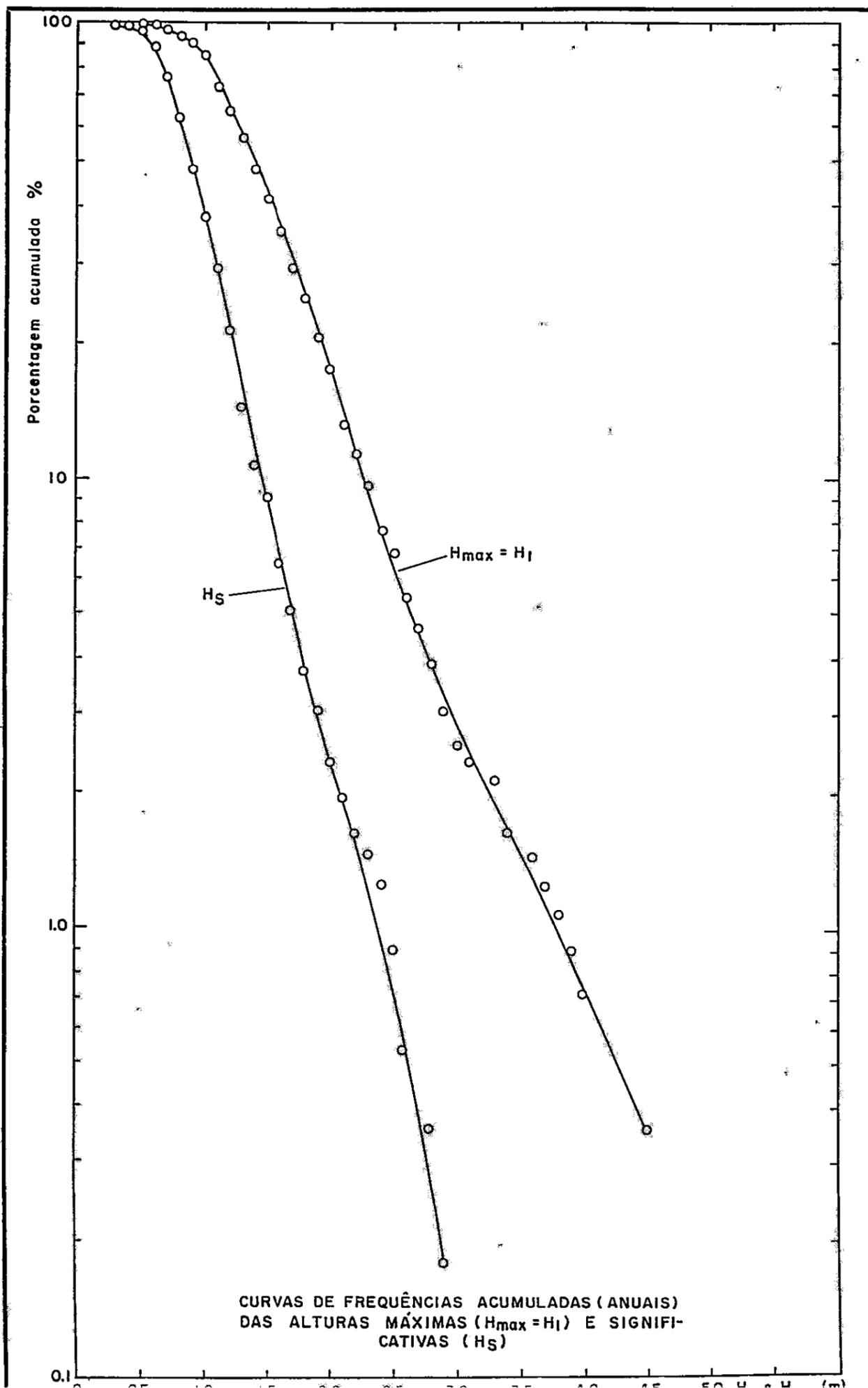


QUADRO 2-5

Mes H <sub>A</sub> (m)	Abx	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Fev	Mar
0.3	---	---	---	---	1.14	---	---	---	---	1.92	---
0.4	11.11	3.13	9.52	4.35	1.14	---	4.84	3.28	---	3.85	---
0.5	11.11	21.88	19.05	8.70	2.27	---	4.84	---	---	9.62	---
0.6	16.67	18.75	19.05	8.70	14.77	13.64	14.52	11.48	6.33	21.15	16.67
0.7	16.67	9.38	19.05	14.13	15.91	---	8.06	11.48	12.66	13.46	33.33
0.8	27.78	6.25	14.29	18.48	13.64	22.73	14.52	19.67	13.92	11.54	---
0.9	---	3.13	11.90	6.52	14.77	4.55	4.84	18.03	11.39	7.69	16.67
1.0	---	18.75	---	11.92	7.95	4.55	6.45	8.20	16.46	9.62	---
1.1	11.11	6.25	4.76	9.78	4.55	9.09	3.23	11.48	6.33	7.69	16.67
1.2	5.56	3.13	---	4.35	4.55	9.09	16.13	6.56	13.92	3.85	16.67
1.3	---	6.25	---	6.52	5.68	---	4.84	8.20	---	---	---
1.4	---	---	---	2.17	1.14	---	1.61	---	5.06	1.92	---
1.5	---	3.13	---	---	3.41	9.09	3.23	1.64	5.06	3.85	---
1.6	---	---	---	2.17	1.14	---	3.23	---	2.53	1.92	---
1.7	---	---	---	1.09	1.14	13.64	1.61	---	1.27	---	---
1.8	---	---	---	---	---	---	3.23	---	1.27	1.92	---
1.9	---	---	2.38	1.09	1.14	---	---	---	1.27	---	---
2.0	---	---	---	---	---	---	3.23	---	---	---	---
2.1	---	---	---	---	1.14	4.55	---	---	---	---	---
2.2	---	---	---	---	1.14	---	---	---	---	---	---
2.3	---	---	---	---	---	4.55	---	---	---	---	---
2.4	---	---	---	---	1.14	---	---	---	1.27	---	---
2.5	---	---	---	---	2.27	---	---	---	---	---	---
2.6	---	---	---	---	---	---	1.61	---	---	---	---
2.8	---	---	---	---	---	4.55	---	---	---	---	---
2.9	---	---	---	---	---	---	---	---	1.27	---	---

### 2.3.2.3. CURVAS DE FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE $H_{max}$ e $H_s$

A figura 2-5 mostra as curvas de frequências acumuladas anuais de  $H_{max}$  e  $H_s$ . Pôde-se determinar, a partir dessas curvas, a porcentagem do tempo em que  $H_{max}$  ou  $H_s$  excede uma dada altura. Dessa maneira o gráfico pode ser utilizado para determinar o número total provável de dias de trabalho no ano, quando as alturas das ondas não devam exceder uma altura particular que possa perturbar a construção de obras ou trabalhos de manutenção no mar.



2.3.3. PARÂMETRO DE LARGURA DO ESPECTRO ( $\epsilon$ )

O valor de  $\epsilon$  variou entre 0.17 e 0.94 para os registros do ano.

Observa-se pelo quadro 2-6 de variação percentual mensal do parâmetro de largura do espectro que esta grandeza não sofreu uma variação nítida ao longo do ano. Agruparam-se os valores de  $\epsilon$  em intervalos de 0.05, para o cálculo das porcentagens.

QUADRO 2-6

Mes $\epsilon$	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Fev.	Mar.
0.15	---	---	2.38	---	---	---	---	---	---	---	---
0.30	---	---	---	---	---	4.55	1.61	---	---	---	---
0.40	---	3.13	---	---	1.14	4.55	1.61	---	---	---	---
0.45	---	3.13	2.38	---	1.14	---	1.61	1.64	---	1.92	---
0.50	---	6.25	14.29	3.26	7.95	---	1.61	3.28	2.53	1.92	---
0.55	16.67	3.13	9.52	16.30	10.23	31.82	16.13	3.28	11.39	5.77	---
0.60	---	12.50	11.90	13.04	12.50	18.18	41.94	22.95	21.52	42.31	16.67
0.65	---	18.75	14.29	2.17	7.95	9.09	9.68	34.43	41.77	19.23	33.33
0.70	11.11	6.25	11.90	8.70	15.91	---	---	---	---	7.69	---
0.75	22.22	9.38	14.29	22.83	15.91	18.18	14.52	16.39	11.39	17.31	---
0.80	27.78	28.13	9.52	18.48	19.32	13.64	9.68	16.39	11.39	3.85	33.33
0.85	16.67	6.25	7.14	11.96	6.82	---	1.61	1.64	---	---	16.67
0.90	5.56	3.13	2.38	3.26	1.14	---	---	---	---	---	---

Na figura (2-6) onde aparecem as porcentagens dos valores de  $\epsilon$  relativamente ao número total de registros do ano, constata-se que as ondas ocorridas em Paranaguá têm mais características de vagas  $\epsilon > 0.5$  (93.32%) que de ondulações  $\epsilon < 0.5$  (2.34%).

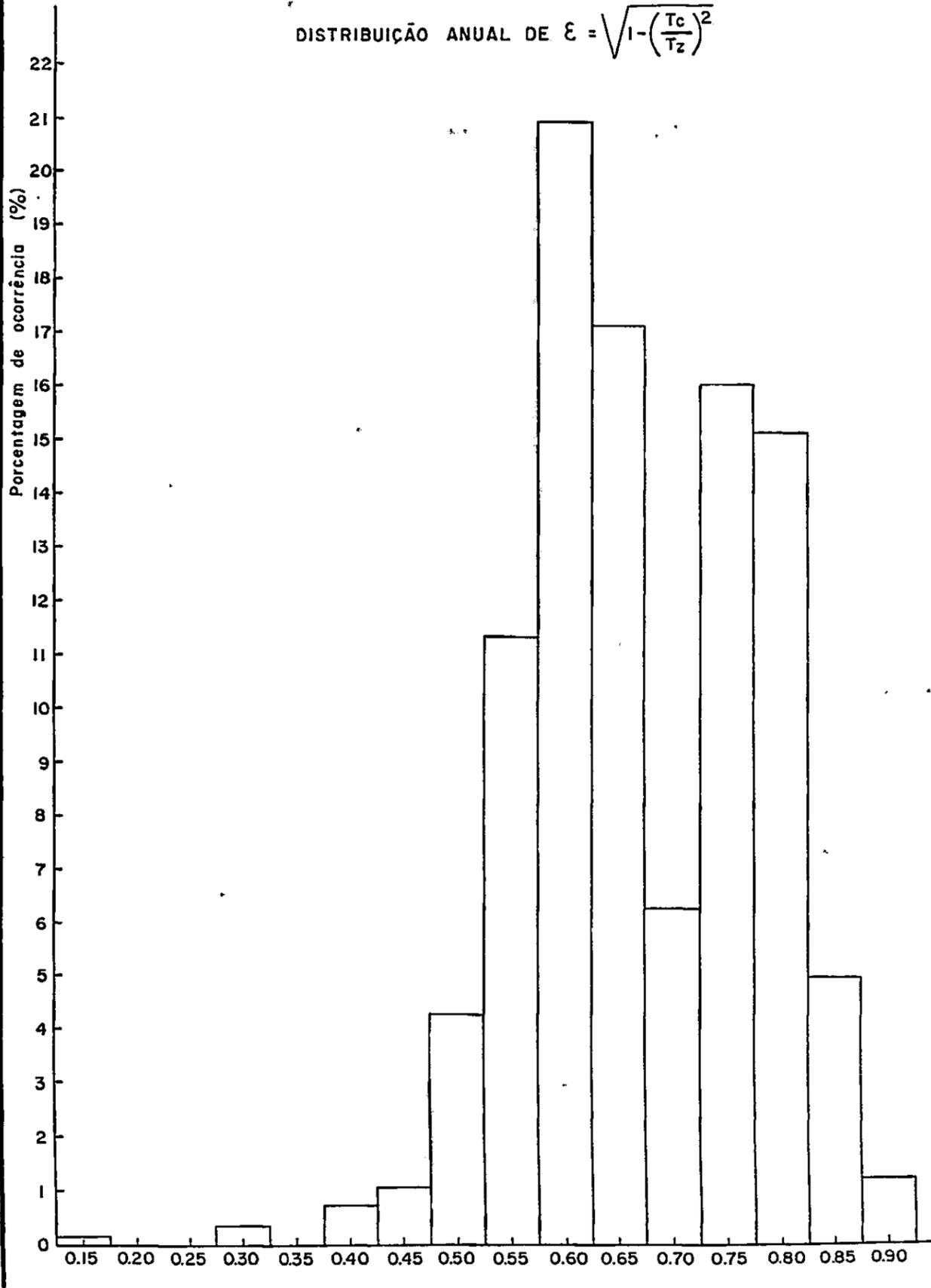
#### 2.3.4. DIREÇÕES DE INCIDÊNCIA DAS ONDAS

A direção do alinhamento da costa (profundidade zero) da Praia do Leste em Paranaguá, faz com o norte verdadeiro um ângulo de  $56^{\circ}$ , no quadrante NE. A normal à linha de costa cai no quadrante SE (azimute de  $146^{\circ}$ ). As observações de direções de ondas foram feitas em frente à Praia do Leste, em um ponto à profundidade de 5 metros.

Dos 553 registros de onda efetuados houve observações de direção de ondas 366 vezes, pois não havia observações correspondentes aos registros noturnos.

O quadro 2-7 apresenta as porcentagens de ocorrência mensal de direções de ondas independentemente de períodos e alturas, tomando por base o número de observações do mes. A linha N-S verdadeira serviu de referência para as medidas de direções de incidência das ondas, sendo estas contadas a partir do N. Para o cálculo das porcentagens agruparam-se as direções em categorias de 5 em 5 graus.

DISTRIBUIÇÃO ANUAL DE  $\varepsilon = \sqrt{1 - \left(\frac{T_c}{T_z}\right)^2}$



QUADRO 2-7

Mes Direção (°)	Abx	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Fev	Mar
95	36.36	8.00	---	---	---	---	---	2.44	4.44	5.71	---
100	54.55	24.00	3.45	---	---	---	---	4.88	4.44	5.71	25.00
105	9.09	4.00	3.45	---	1.75	---	2.50	7.32	11.11	8.57	---
110	---	8.00	13.79	4.92	1.75	5.56	---	7.32	22.22	14.29	---
115	---	4.00	10.34	13.11	17.54	5.56	2.50	17.07	13.33	20.00	25.00
120	---	4.00	6.90	18.03	22.81	11.11	20.00	24.39	4.44	11.43	---
125	---	4.00	13.79	27.87	10.53	5.56	15.00	12.20	13.33	14.29	---
130	---	---	6.90	11.48	7.02	5.56	32.50	4.88	8.89	---	25.00
135	---	12.00	20.69	8.20	12.28	16.67	15.00	4.88	8.89	---	---
140	---	---	6.90	4.92	1.75	16.67	2.50	4.88	4.44	5.71	---
145	---	4.00	3.45	4.92	5.26	16.67	5.00	7.32	---	2.86	---
150	---	4.00	10.34	3.28	7.02	16.67	2.50	2.44	2.22	---	25.00
155	---	---	---	1.64	8.77	---	2.50	---	2.22	8.57	---
160	---	8.00	---	1.64	1.75	---	---	---	---	---	---
165	---	16.00	---	---	1.75	---	---	---	---	---	---
Nº de Observ	11	25	29	61	57	18	40	41	45	35	4

À exceção do mes de abril no qual s̄o foram observadas ondas provenientes do lado norte da normal à praia, nos outros meses as direções de ondas ocorreram dos dois lados da normal à praia.

O quadro 2-8 dá as porcentagens de ocorrência de direções de ondas na profundidade de 5 metros, independentemente de períodos e alturas, de abril de 72 a março de 73.

Todas as ondas observadas durante o ano provieram do quadrante SE. Em relação à normal à linha de costa 89.61% das ondas provieram do lado norte e 10.39% do lado sul.

QUADRO 2-8

Direção (°)	Porcentagem	Direção (°)	Porcentagem
95	3.01	135	9.84
100	5.46	140	4.37
105	4.37	145	4.64
110	7.92	150	4.92
115	12.30	155	3.01
120	14.48	160	1.09
125	13.93	165	1.37
130	9.29		

### 2.3.5. CONCLUSÕES SOBRE O REGIME DE ONDAS

1. As ondas são relativamente mais longas de abril a agosto e relativamente mais curtas entre setembro e março. De julho a dezembro elas são relativamente mais altas e provêm dos dois lados da normal à praia.

2. Não há uma variação nítida no regime de ondas durante o ano que permita separá-lo em partes de características comuns, relativamente aos parâmetros ondulatórios, tal como na costa de Sergipe (1) (15), onde existem dois regimes para as ondas: verão (novembro a abril) e inverno (maio a outubro).

3. As alturas máximas ( $H_{max} = H_1$ ) e significativa ( $H_s$ ) mais frequentes ao longo do ano à profundidade de 10m são, respectivamente:  $H_{max} = 1.0m$ , com 12.09% e  $H_s = 0.8m$ , com 15.34%.

4. O período ( $T_z$ ) mais frequente ao longo do ano, é:  $T_z = 6$  seg., com 26.90% sendo que o período  $T_z = 5$  seg. apresenta uma porcentagem de 26.35%.

5. A direção de incidência mais frequente ao longo do ano à profundidade de 5 metros e independentemente de períodos e alturas é de  $120^\circ SE$ , com 14.48%.

6. A maior parte das ondas registradas entre abril de 72 e março de 73 tem mais características de vagas,  $\epsilon > 0.5$  (com 93.32%) em processo de transformação.

#### 2.4. ANÁLISE DOS REGISTROS DE ONDAS CONSIDERANDO AS ONDAS INDIVIDUAIS DO ESPECTRO

Define-se como onda individual de um espectro registrado, a porção do registro compreendida entre duas interseções ascendentes e consecutivas do mesmo, com a linha tomada como nível médio do registro.

##### 2.4.1. ROTINA DE ANÁLISE

No presente trabalho a análise de cada registro se desdobrou nas seguintes etapas:

- a. Identificação das ondas individuais num intervalo correspondente a 10 minutos de registro. Para tal fim traça-se a linha correspondente ao nível médio do registro (linha zero).
- b. Contagem do número n de ondas de cada registro.
- c. Medida direta, na escala adequada, das alturas das ondas individuais.
- d. De cada registro, os valores das alturas das ondas individuais e o número de ondas individuais foram dados de entrada em um programa escrito em linguagem FORTRAN o qual, processado em um computador IBM/360, calculava os

seguintes parâmetros ondulatórios:

$d_1$  - Altura média ( $H_{med}$ ).

$d_2$  - Altura média quadrática ( $H_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n H_i^2}{n}}$ )

$d_3$  - Altura média do terço de ondas mais altas ( $H_{1/3}$ ).

$d_4$  - Altura média do décimo de ondas mais altas ( $H_{1/10}$ ).

$d_5$  - Altura máxima ( $H_{max}$ ) - altura da maior onda individual do registro.

e. Foi calculado o período médio ( $T_{med}$ ) de cada registro escolhido. O período médio é o quociente da duração do registro pelo número de ondas registradas.

f. Para um certo número de registros determinou-se o período significativo ( $T_s$ ), que é o período médio do terço das ondas mais altas.

#### 2.4.2. ESCOLHA DOS REGISTROS

Foram analisados pelo método das ondas individuais 204 registros do total de 553 obtidos na campanha, utilizando-se do seguinte critério de escolha:

a. De cada mes foram analisados aproximadamente

$\frac{204}{553}$  .  $N$  registros, onde  $N$  é o número de registros obtidos no mes considerado.

O quadro abaixo apresenta o número de registros analisados pelo método das ondas individuais, em cada mes.

QUADRO 2-9

Mes	Nº Registro	Mes	Nº Registros
Abr-72	7	Out-72	22
Mai-72	13	Nov-72	23
Jun-72	15	Dez-72	29
Jul-72	33	Fev-73	20
Ago-72	32	Mar-73	2
Set-72	8		

- b. Os registros foram escolhidos de tal forma que a distribuição dos valores de  $\epsilon$ ,  $T_z$  e  $H_{max} = H_1$ , calculados para os registros em questão pelo método de Draper, seguisse os histogramas anuais desses parâmetros ondulatórios (Figs. 2-6, 2-1 e 2-2).

2.4.3. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS OBTIDOS PELO MÉTODO DE DRAPER COM OS OBTIDOS PELO MÉTODO DAS ONDAS INDIVIDUAIS

Os valores de  $H_{1/3}$ ,  $T_{med}$  e  $H_{max}$  obtidos na análise dos 204 registros pelo método que considera as ondas individuais foram comparados, respectivamente, com os valores de  $H_s$ ,  $T_z$  e  $H_1$  obtidos pelo método de Draper para os mesmos registros.

O quadro 2-10 apresenta, em resumo, esta comparação.

QUADRO 2-10

	Nº O conveniência	%		Nº O conveniência	%		Nº O conveniência	%
$T_z < T_{med}$	128	62.7	$H_s < H_{1/3}$	46	22.5	$H_1 < H_{max}$	---	---
$T_z = T_{med}$	65	31.9	$H_s = H_{1/3}$	84	41.2	$H_1 = H_{max}$	41	20.1
$T_z > T_{med}$	11	5.4	$H_s > H_{1/3}$	74	36.3	$H_1 > H_{max}$	163	79.9

2.4.3.1. PERÍODOS ( $T_z$  e  $T_{med}$ )

Há uma nítida predominância no sentido de  $T_z < T_{med}$ , mas como pode ser visto no apêndice, o qual contém os resultados da análise dos 204 registros pelos

dois métodos, nos casos de desigualdade a diferença de valores é quase sempre de 1 a 2 segundos para cada registro.

#### 2.4.3.2. ALTURAS MÁXIMAS ( $H_1$ e $H_{max}$ )

A altura  $H_1 = A + C$  é sempre maior ou igual à altura  $H_{max}$  da maior onda individual do registro. O caso de igualdade só acontece quando a maior crista e o cavado mais baixo fizerem parte da mesma onda. Nos registros ondulatórios de Paranaguá houve uma tendência dos valores  $H_1$  serem ligeiramente maiores que a mais alta das ondas individuais de cada respectivo registro.

#### 2.4.3.3. ALTURAS SIGNIFICATIVAS ( $H_s$ e $H_{1/3}$ )

Os valores de  $H_s$ , dados pelo método de Draper, e os de  $H_{1/3}$  fornecidos pela consideração das ondas individuais são bastante concordantes. Considerando os registros analisados pelos dois métodos, a maior porcentagem de ocorrência se dá para o caso da igualdade de  $H_s$  e  $H_{1/3}$  com 41.2%. Nos casos da diferença entre os valores das alturas significativas, esta quase nunca passa de 0.1m a 0.2m para a gama de valores assumidos por  $H_s$  e  $H_{1/3}$ .

Dos resultados apresentados anteriormente, podemos concluir que os dois métodos de análise concordam razoavelmente bem.

2.4.3.4. TESTE DOS VALORES DA RELAÇÃO  $H_{\delta}/H_1$  (TABELA DE DRAPER, QUADRO 2-2), COM  $H_{\delta} = H_{1/3}$  FORNECIDO PELO MÉTODO DAS ONDAS INDIVIDUAIS

Pelo método de Draper a razão  $H_{\delta}/H_1$  é função somente de  $N_z$ , isto é:  $T_z$ . Na Fig. (2-1) que apresenta a distribuição anual de períodos  $T_z$  considerando os 553 registros obtidos, observa-se que  $T_z$  ocorre com maior frequência na faixa de 4 a 7 segundos. Os valores de  $N_z$  correspondentes, são:  $600/4 = 150$  e  $600/7 = 86$ . Para esta faixa de valores de  $N_z$ , Draper (6) e o quadro 2-2 dão a razão  $H_{\delta}/H_1$  variando entre 0.63 e 0.60.

Para testar se a razão  $H_{1/3}/H_1$  ( $H_{1/3}$  é a altura significativa calculada pelo método das ondas individuais) concorda com os valores fornecidos pelo quadro 2-2, os 204 pares de valores  $H_{1/3}$  e  $H_1$  dos registros analisados pelo método que considera as ondas individuais, foram introduzidos em uma calculadora programável HEWLETT PACKARD 9100 B que ajustou uma reta aos pares de valores, pelo processo dos mínimos quadrados.

Obteve-se a seguinte equação:

$$H_{1/3} = 0.59 H_1 - 0.05 \quad (2.1)$$

O coeficiente de correlação foi de 0.963.

O coeficiente de correlação é dado pela expressão:

$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{onde } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{e}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

O coeficiente  $\Gamma$  dá a indicação do ajuste da reta e varia entre  $-1 \leq \Gamma \leq 1$ , onde o sinal corresponde à inclinação da reta. Se  $\Gamma = 0$ , não há correlação e se  $\Gamma = \pm 1$  há correlação perfeita ou perfeito ajuste (8).

Omitindo o coeficiente linear  $-0.05$  a equação 2-1 se reduz a  $H_{1/3} = 0.59 H_1$  a qual concorda com a relação dada por Draper (quadro 2-2).

Este teste mostra claramente que o método de Draper concorda muito bem com o método que considera ondas individuais e pode ser aplicado aos registros de ondas obtidos ao largo de Paranaguá.

Tucker (16) recomenda que em muitos casos de construções costeiras que sofrem impactos de ondas, considera-se  $H_1$  como a altura representativa e  $T_z$  como o período representativo do registro.

## 2.5. RELAÇÃO ENTRE O PERÍODO SIGNIFICATIVO ( $T_s$ ) E O PERÍODO ( $T_z$ )

O período significativo ( $T_s$ ) é o período médio

do terço das ondas mais altas. Este parâmetro ondulatorio é frequentemente considerado em projetos de obras marítimas sujeitas à ação de ondas.

Como foi visto anteriormente, o período  $T_z$  é facilmente calculável de qualquer registro ondulatorio. Para pesquisar uma possível relação entre  $T_s$  e  $T_z$  para as ondas de Paranaguá, calculou-se o período  $T_s$  de cerca de 32 registros de ondas. Estes registros foram escolhidos de tal forma que a distribuição percentual dos valores de  $T_z$  fosse semelhante à distribuição percentual anual desse parâmetro, considerando todos os registros obtidos na campanha, e que eles abrangessem todos os meses em que houve registros. Aos pares de valores de  $T_s$  e  $T_z$ , ajustou-se uma reta pelo processo dos mínimos quadrados, e obteve-se a seguinte equação:

$$T_s = 1.187T_z + 0.25 \quad (2.2)$$

O coeficiente de correlação foi de 0.875.

A Fig. (2-7) ilustra a relação entre os dois períodos.

#### 2.5. RELAÇÃO ENTRE A ALTURA SIGNIFICATIVA ( $H_s$ ) E O PERÍODO ( $T_z$ )

A Fig. (2-8) mostra a relação entre a altura significativa  $H_s$ , calculada pelo método de Draper, e o período  $T_z$ , para todos os registros do ano. Os números dentro dos retângulos representam o número de ocorrências, ex

Período significativo - Ts (seg.)

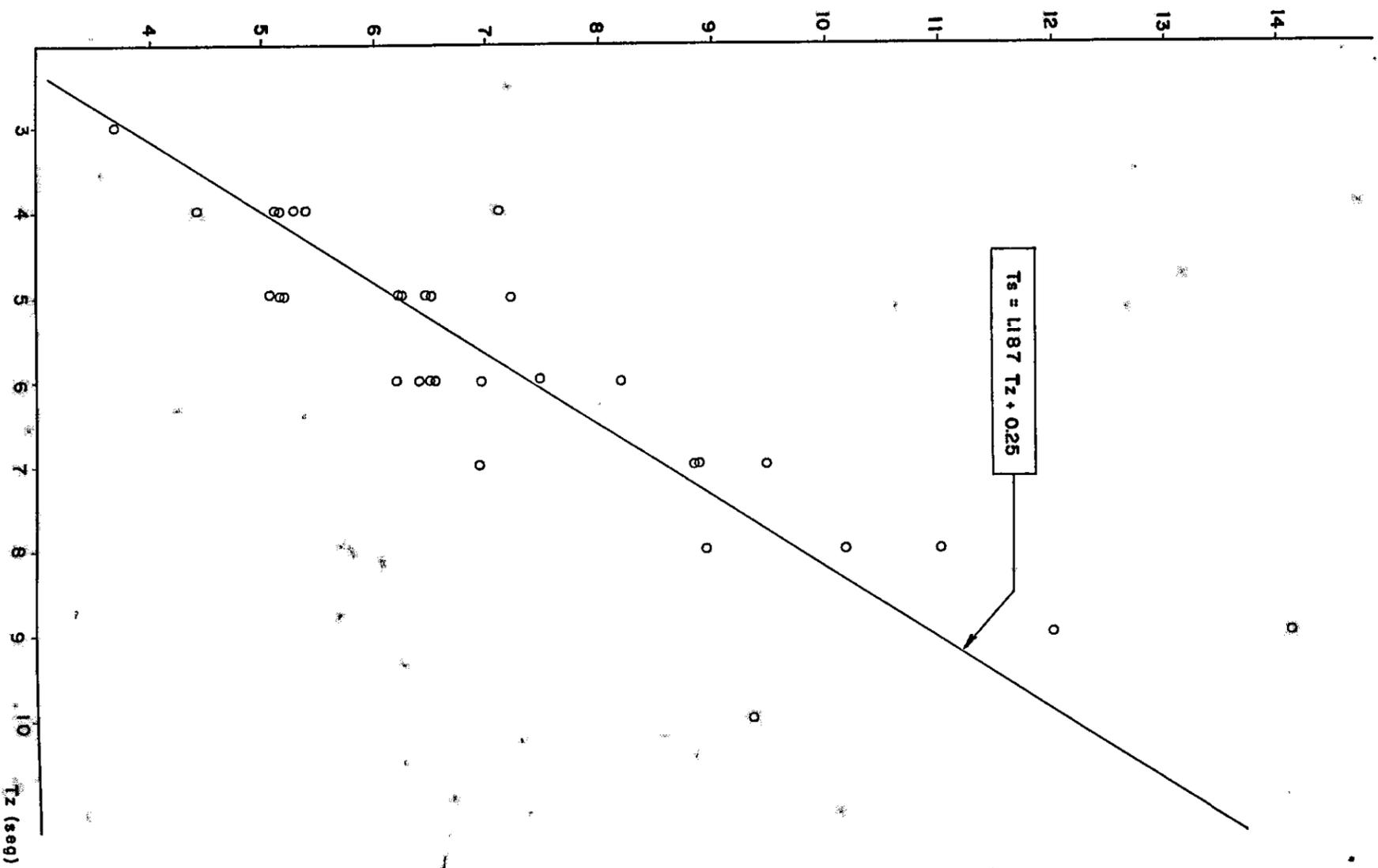


FIG. 2-7

2.9			1.8				
2.8			1.8				
2.7							
2.6				1.8			
2.5				3.6			
2.4				1.8			
2.3		1.8	1.8				
2.2				1.8			
2.1			1.8	1.8			
2.0		1.8	1.8				
1.9			3.6		1.8		
1.8	3.6				1.8		
1.7	1.8		9.0	1.8			
1.6	1.8	3.6	1.8	7.2		1.8	
1.5		10.8	7.2	1.8	3.6		
1.4	3.6	9.0	9.0	1.8			
1.3	10.8	5.4	12.6	9.0		3.6	
1.2	21.6	19.8	14.4	9.0	3.6	1.8	
1.1	9.0	19.8	23.4	7.2	5.4	5.4	3.6
1.0	1.8	23.4	25.2	23.4	10.8	9.0	3.6
0.9	1.8	25.2	21.6	34.2	7.2	5.4	9.0
0.8		19.8	50.5	34.2	28.8	10.8	3.6
0.7	3.6	14.4	34.2	27.0	30.6	18.0	5.4
0.6		27.0	48.6	36.0	9.0	5.4	9.0
0.5		7.2	7.2	10.8	9.0	9.0	5.4
0.4		5.4	5.4	9.0	5.4	5.4	
0.3					1.8	1.8	
	3	4	5	6	7	8	9

T<sub>Z</sub> (seg.)<sup>10</sup>  
Fig. 2 - 8

pressas em partes por mil, correspondentes a cada par de valores de  $H_{\delta}$  e  $T_z$ . Pela Fig. (2.8) pode ser visto claramente que as ondas mais altas não estão associadas aos períodos mais longos. As alturas crescem à medida que o período aumenta, até a um valor máximo de  $H_{\delta}$  e então decrescem com um aumento posterior do período. A esta mesma conclusão já haviam chegado Harris (10) e Dattatri (4). As combinações de valores de  $H_{\delta}$  e  $T_z$  mais frequentes durante o ano, com ocorrência maior que 26 p.p. mil, são:

$$a - H_{\delta} = 0.6m, \text{ com } : 4 \leq T_z \leq 6 \text{ seg.}$$

$$b - H_{\delta} = 0.7m, \text{ com } : 5 \leq T_z \leq 7 \text{ seg.}$$

$$c - H_{\delta} = 0.8m, \text{ com } : 5 \leq T_z \leq 7 \text{ seg.}$$

$$d - H_{\delta} = 0.9m, \text{ com } : T_z = 6 \text{ seg.}$$

## 2.7. INTERVALOS DE RECORRÊNCIA DAS ALTURAS MÁXIMAS REGISTRADAS EM PARANAGUÁ

Nesta seção fazemos o cálculo dos intervalos de recorrência provável em que as alturas máximas sejam iguais ou superiores a um determinado valor. Calcula-se, com esta finalidade, as porcentagens acumuladas de ocorrência das alturas máximas, levando-se em conta a maior onda individual registrada em cada dia, durante toda a campanha de registros. Para cada altura máxima, a porcentagem acumulada de ocorrência é a porcentagem do ano em que  $H_{max}$  é igual ou superior ao valor considerado. Para

um dado valor de  $H_{max}$ , a correspondente porcentagem acumulada de ocorrência pode ser considerada também como a probabilidade do valor dado ser atingido ou ultrapassado durante um número de dias por ano, determinado pela porcentagem em questão.

O quadro (2-11) apresenta as porcentagens acumuladas das alturas máximas registradas. Os valores de  $H_{max}$  e das porcentagens acumuladas foram plotados em papel log-normal Fig. (2-9) tal como recomendado por Draper (5) e em papel semi-logarítmico Fig. (2-10), tal como feito em (15).

Foram traçadas retas, em traço cheio, para um ano de observações. A extrapolação dessas retas nos permite determinar das Figs. (2-9 e 2-10) a altura máxima de onda mais provável de ocorrer pelo menos uma vez, em 10 anos, 20 anos, etc.

QUADRO 2-11

$H_{max}$	Nº Reg.	%	% Acc	$H_{max}$	Nº Reg.	%	% Acc
0.6	1	0.50	100.00	2.2	3	1.49	13.47
0.7	5	2.49	99.55	2.3	4	1.99	11.98
0.8	14	6.97	97.06	2.4	1	0.50	9.99
0.9	8	3.98	90.09	2.5	4	1.99	9.49
1.0	18	8.96	86.11	2.6	1	0.50	7.50
1.1	20	9.95	77.15	2.7	2	1.00	7.00
1.2	19	9.45	67.20	2.9	2	1.00	6.00
1.3	18	8.96	57.75	3.0	1	0.50	5.00
1.4	11	5.47	48.79	3.1	1	0.50	4.50
1.5	16	7.96	43.32	3.2	2	1.00	4.00
1.6	5	2.49	35.36	3.3	1	0.50	3.00
1.7	11	5.47	32.87	3.4	1	0.50	2.50
1.8	8	3.98	27.40	3.5	2	1.00	2.00
1.9	3	1.49	23.42	3.9	1	0.50	1.00
2.0	10	4.98	21.93	4.0	1	0.50	0.50
2.1	7	3.48	16.95				

Como foi considerada a maior onda individual registrada durante cada dia em que houve registro, no cálculo dos intervalos de recorrência,  $H_{max} = 4.0m$  (maior onda registrada no ano) tem então uma probabilidade de ocorrência de  $\frac{1}{365} \times 100 = 0.274$ .

Do mesmo modo, a maior onda que poderá ocorrer em 10 anos tem a probabilidade de  $\frac{1}{(10 \times 365)} \times 100 = 0.0274$ ,

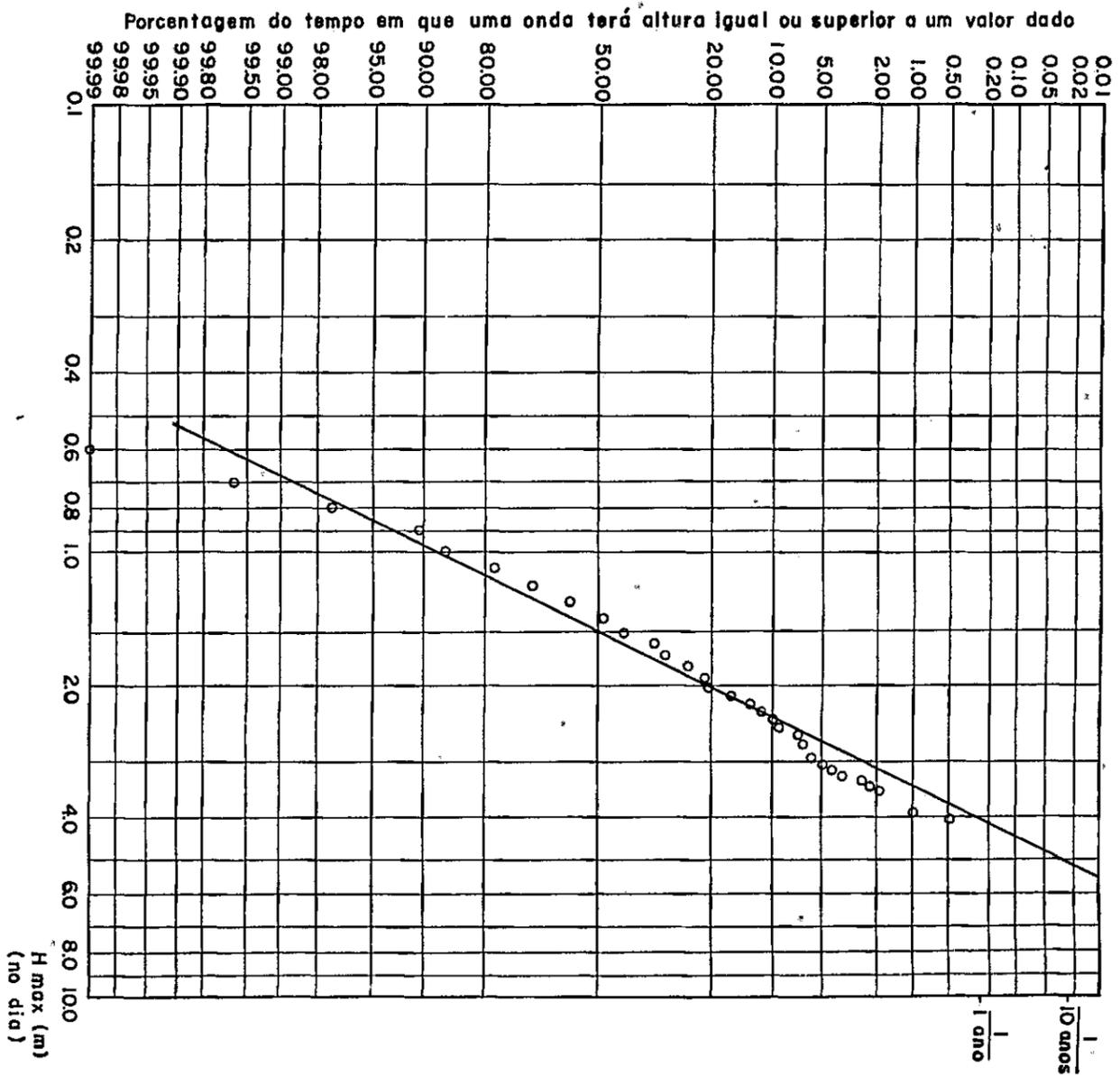
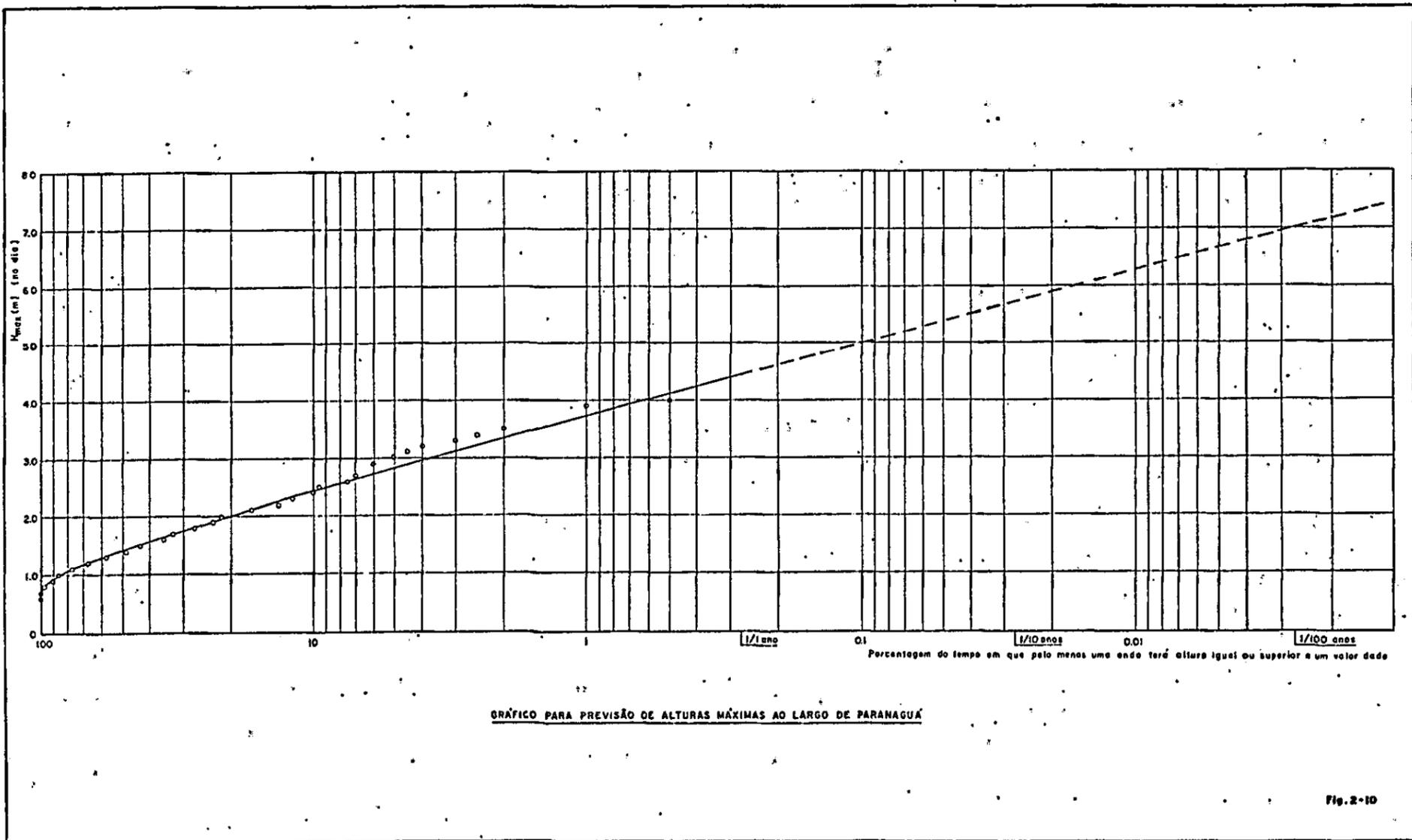


Fig. 2 - 9



e assim por diante. Levando-se estes valores de probabilidade nos gráficos das Figs. (2-9) ou (2-10) pode-se calcular  $H_1$  ano,  $H_{10}$  anos, etc, onde  $H_n$  anos é a maior altura de onda que poderá ocorrer em Paranaguá pelo menos uma vez em  $n$  anos.

As alturas máximas são consideradas para fins de projeto de estruturas marítimas, como por exemplo: molhes para regularização de embocaduras, espigões e terminais marítimos.

O quadro 2-12 resume os resultados dos valores de  $H_1$  ano,  $H_{10}$  anos e  $H_{100}$  anos calculados pela extrapolação das retas das Figs. (2-9) e (2-10).

QUADRO 2-12

$H_{max}$ Método	$H_1$ ano	$H_{10}$ anos	$H_{100}$ anos
Medida	4.0	----	----
Extrap. Log-normal (Fig.2-9)	4.0	5.1	----
Extrap. Semi-Log (Fig.2-10)	4.4	5.7	7.0
Calculada (J. Larras)	----	5.6	7.1

2.7.1. COMPARAÇÃO DOS VALORES EXTRAPOLADOS DA CURVA DE FREQUÊNCIAS ACUMULADAS COM OS VALORES CALCULADOS POR FÓRMULA EMPÍRICA

Considerando uma função logaritmica para a probabilidade de que as alturas das ondas excedam um certo valor, Larras (15) obteve as seguintes relações:

$$H_{10 \text{ anos}} = 1.39 H_1 \text{ ano} e$$

$$H_{100 \text{ anos}} = 1.78 H_1 \text{ ano}$$

Estas extrapolações, particularmente  $H_{10 \text{ anos}}$ , foram conferidas por Larras o qual utilizou observações de longa duração coletadas em diversos portos da Europa, obtendo resultados bastante satisfatórios.

A altura máxima obtida dos registros de Paranaquã é  $H_{\text{máx}} = H_1 \text{ ano} = 4.0\text{m}$ . Utilizando as relações de Larras, podemos calcular:

$$H_{10 \text{ anos}} = 1.39 \times 4.0 = 5.6\text{m}$$

$$H_{100 \text{ anos}} = 1.78 \times 4.0 = 7.1\text{m}$$

Estes valores calculados foram assinalados no quadro 2-12 para efeito de comparação com os mesmos valores obtidos pela extrapolação da curva de frequências acumuladas.

Para  $H_{10 \text{ anos}}$ , os desvios relativos dos valores extrapolados tendo em vista o valor de  $H_{10 \text{ anos}}$  calcula

dos por Larras, são:

$$\Delta_1 = \frac{5.1 - 5.6}{5.6} \times 100 = - 8.93\% \text{ (extrapolação log-normal)}$$

$$\Delta_2 = \frac{5.7 - 5.6}{5.6} \times 100 = 1.79\% \text{ (extrapolação semi-log)}$$

### III. APLICAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA AOS PARÂMETROS ONDULATÓRIOS DE PARANAGUÁ

#### 3.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

Nos projetos de estruturas marítimas tais como: molhes, espigões, quebra-mares, terminais oceânicos, etc., é imprescindível o conhecimento do regime ondulatório do local onde uma tal estrutura pretenda ser construída. A través desse conhecimento e levando-se em conta aspectos econômicos e outros fatores, é possível fazer a escolha criteriosa da onda de projeto de uma determinada estrutura. O conhecimento das alturas de ondas de uma dada região onde se pretenda construir um terminal oceânico permite, entre outras coisas, determinar a operacionalidade do terminal.

Outro aspecto que é considerado frequentemente na construção de obras marítimas e na dragagem de canais de acesso a portos, em costa aberta e arenosa é o do transporte de areia pela ação de ondas, em particular, o transporte litorâneo gerado pela arrebentação de ondas oblíquas à praia. Para cálculos apriorísticos da intensidade do transporte litorâneo, é necessário conhecer os valores dos parâmetros ondulatórios da região em estudo.

Se as alturas de ondas que ocorrem em um determinado local puderem ser representadas por uma distribuição estatística, então as diversas alturas características poderão ser relacionadas teoricamente entre si e, portanto, estimadas a partir da previsão ou do cálculo de uma

altura característica. Será possível, por exemplo, estimar a altura máxima de onda que poderá ocorrer em um determinado local, num intervalo de tempo de 1 ano, 10 anos, etc, e utilizar este valor como a altura da onda de projeto.

No presente trabalho, as ondas em estudo, às quais se tentará o ajuste de uma distribuição estatística, são as ondas de gravidade, que por definição são as ondas geradas pelas tensões tangenciais que os ventos provocam na superfície do mar.

### 3.2. ESTUDO ESTATÍSTICO DAS ALTURAS DE ONDAS

Estudos estatísticos têm sido realizados com vistas à análise e previsão do comportamento das ondas do mar. Longuet-Higgins (14) utilizando resultados de Rice, verificou que a distribuição de probabilidades de Rayleigh é representativa para a ocorrência de alturas das ondas.

Em (14) Longuet-Higgins considera as ondas se propagando em profundidade infinita\*, sendo estas geradas longe da região em estudo. Supõe que a zona de geração (Fetch) tem uma grande área, e considera esta área dividida em um grande número de regiões. Considerando que cada região da zona de geração é bem maior, comparada com os comprimentos de onda das ondas geradas, Longuet-Higgins supõe que as fases das contribuições das diversas regiões do "Fetch", são independentes umas das outras. Supondo que o espectro de energia possui uma única faixa estreita

---

\* Diz-se que uma onda está em profundidade infinita quando  $d/L_0 \geq 1/2$ , onde  $L_0$  é o comprimento de onda a profundidade infinita dado por:  $L_0 = gT^2/2\pi$  (teoria das ondas de oscilação, ondas de pequena amplitude) e  $d$  é a profundidade do local considerado.

de frequências e que as ondas são o resultado da superposição de muitos componentes senoidais de fase aleatória, Longuet-Higgins mostrou que a função envoltória das amplitudes das cristas das ondas segue a distribuição de Rayleigh.

Longuet-Higgins adota a aproximação de se considerar a distribuição estatística de amplitudes das ondas como representada pela função envoltória e, considerando as alturas das ondas como proporcionais à amplitude, então as alturas das ondas são consideradas como seguindo a distribuição de Rayleigh.

Alguns trabalhos foram feitos (4) (9) com o propósito de verificar se a distribuição das alturas de ondas registradas em alguns locais no mundo, bem como das ondas geradas em modelo reduzido (2) pela ação de túneis de vento, pode ser representada, para fins de engenharia, pela distribuição de Rayleigh. No presente trabalho fazemos esta verificação para as ondas registradas ao largo de Paranaguá.

### 3.2.1. DISTRIBUIÇÃO DE RAYLEIGH

Nesta seção fazemos um resumo dos tópicos da distribuição de Rayleigh que são utilizados neste trabalho.

A função densidade de probabilidade de Rayleigh é dada por:

$$p(H) dH = \frac{2H}{H_{RMS}^2} e^{-H^2/H_{RMS}^2} dH \quad (3.1)$$

onde:

$H$  = altura da onda.

$p(H)dH$  = probabilidade de  $H$  estar entre  $H$  e  $H + dH$ .

$H_{RMS}$  = altura média quadrática relativa a um registro contendo  $N$  ondas individuais.

A função distribuição de probabilidade é obtida pela integração de (3-1) de 0 a  $H$ :

$$P(H) = \int_0^H \frac{2H}{H_{RMS}^2} e^{-H^2/H_{RMS}^2} dH = 1 - e^{-H^2/H_{RMS}^2} \quad (3.2)$$

Relativamente à altura média das ondas de um registro, a equação (3.1) é escrita da seguinte forma:

$$p(H)dH = \frac{\pi}{2} \frac{H}{\mu^2} e^{(-\pi/4)(H^2/\mu^2)} \quad (3.3)$$

Utilizando as propriedades dos momentos de primeira e segunda ordem  $M_1$  e  $M_2$  da distribuição de probabilidades, onde o  $\Gamma^{\text{ésimo}}$  momento é por definição:

$$M_{\Gamma} = \int_0^{\infty} H^{\Gamma} p(H)dH, \text{ obtêm-se a seguinte relação:}$$

$$\sqrt{M_2} = \left( \frac{2}{\sqrt{\pi}} \right) \mu = 1.128\mu \quad (3.4)$$

A altura média quadrática  $H_{RMS}$  pode ser estimada pela raiz quadrada do valor do momento de segunda ordem, ou:  $\sqrt{M_2} = H_{RMS}$ .

$$H_{RMS} = 1.128\mu \text{ ou } H_{RMS} = 1.128M_1 = 1.128 H_{med} \quad (3.5)$$

Longuet-Higgins deduziu uma expressão para  $H_{1/n}$ , a altura média das  $1/n$  ondas em um grupo de  $N$  ondas.

A expressão é dada por:

$$H_{1/n} = H_{RMS} \left\{ \sqrt{\ell_n \bar{n}} + \frac{n\sqrt{\pi}}{2} \left[ 1 - G(\sqrt{\ell_n \bar{n}}) \right] \right\} \quad (3.6)$$

onde  $G(\theta)$  é a função de probabilidade:

$$G(\theta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\theta e^{-\theta^2} d\theta \quad (3.6.1)$$

Para obter as relações teóricas entre a altura média quadrática  $H_{RMS}$  e as alturas características  $H_{1/3}$  e  $H_{1/10}$ , basta substituir os valores de  $1/n$  na equação 3.6.

Obtem-se:

$$H_{1/3} = 1.416H_{RMS} \quad \text{ou} \quad H_{\Delta} = 1.416H_{RMS} \quad (3.7)$$

$$H_{1/10} = 1.8H_{RMS} \quad (3.8)$$

$H_{1/10}$  é a altura média do décimo das ondas mais altas e  $H_{1/3}$ , que é conhecida por altura significativa  $H_{\Delta}$ , é a altura média do terço das ondas mais altas em um grupo de  $N$  ondas.

A relação entre  $H_{RMS}$  e  $H_{méd}$  pode ser obtida substituindo  $1/n = 1$  em (3.6).

### 3.2.2. APLICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE RAYLEIGH AOS REGISTROS ONDULATÓRIOS DE PARANAGUÁ

Como primeira verificação para ver se as ondas registradas em Paranaguá seguem a distribuição de Rayleigh, consideremos a equação (3.2):

$$P(H) = 1 - e^{-H^2/H_{RMS}^2} \quad (3.2)$$

Substituindo  $H_{\Delta}/H_{RMS} = 1.416$  em (3.2), obtem-se:

$$P(H) = 1 - e^{-2.0051 H^2/H_{\Delta}^2} \quad (3.9)$$

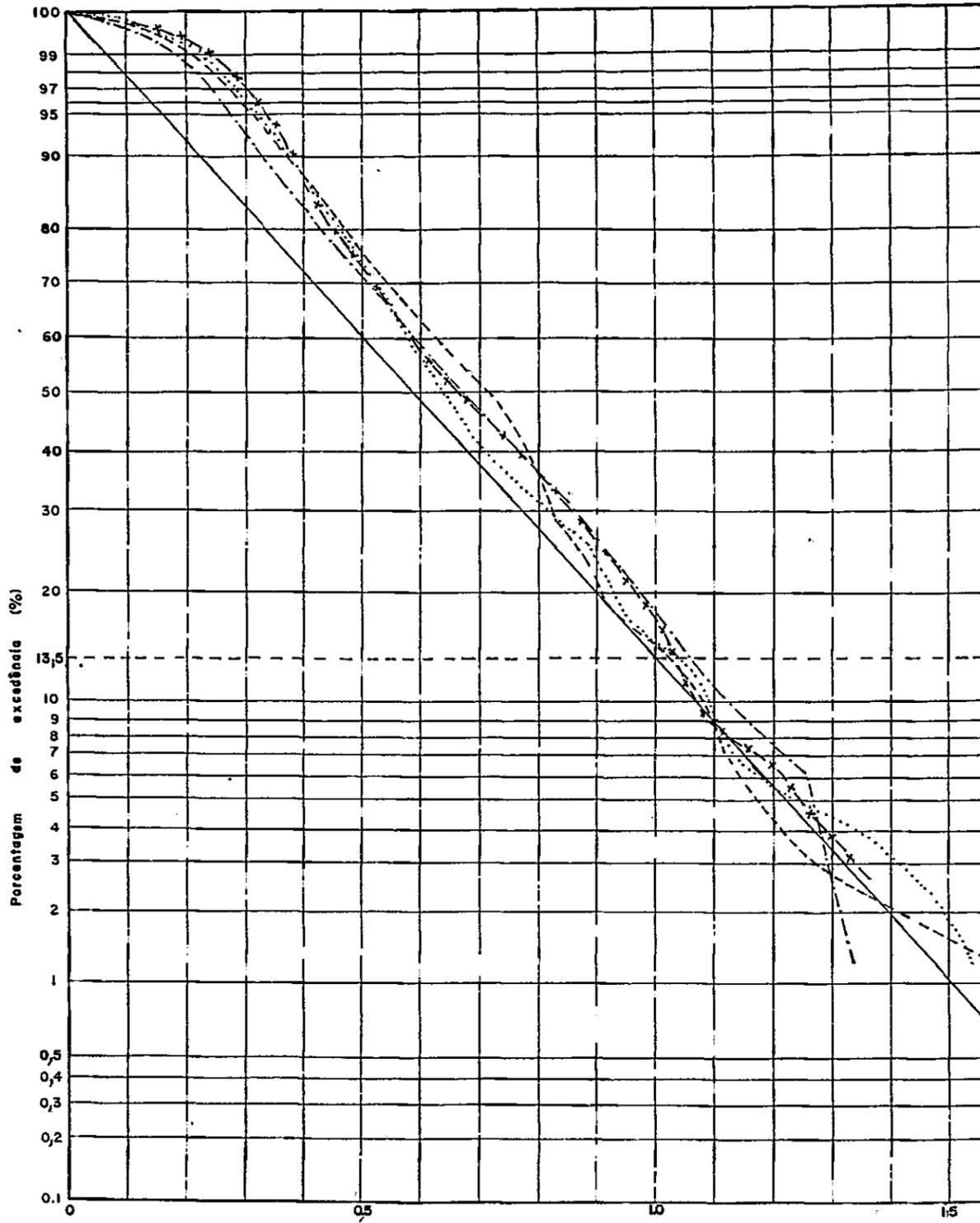
Consideremos a Figura (3.1) que apresenta em ordenadas a escala de probabilidades de Rayleigh e, em abcissas, a escala linear. A reta em traço cheio é a representação gráfica da distribuição acumulada de alturas de ondas, em termos de excedência:

$$P_1(H) = 1 - P(H) \quad \text{ou}$$

$$P_1(H) = e^{-2.0051 H^2/H_s^2} \quad (3.10)$$

Dos 204 registros analisados pelo método das ondas individuais, quatro foram plotados na Fig. (3.1). No eixo das abcissas encontra-se a razão entre a altura individual ( $H_I$ ) e a altura significativa do registro, calculada pelo método das ondas individuais, o que permite uma fácil comparação. Fazendo  $H_I = H_s$  em (3.10), obtêm-se:  $P_1(H) = 0.135$ , o que significa que a altura significativa de um registro é excedida, teoricamente, por 13.5% das ondas individuais do registro em questão. Observa-se pela Figura (3.1) que as razões acumuladas ( $H_I/H_s$ ) seguem razoavelmente bem a distribuição de Rayleigh. As discrepâncias em relação a reta teórica podem ser atribuídas ao fato de não ser totalmente verdadeira a consideração de Longuet-Higgins, quanto ao fato do espectro de energia possuir uma faixa estreita de frequências.

A consideração de uma faixa estreita de frequências para o espectro de energia, hipótese utilizada por Longuet-Higgins para a aplicação da distribuição de



Relação entre a altura individual e a altura significativa ( $H_i/H_s$ )

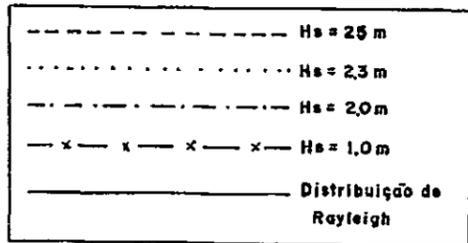


Fig. 3-1

Rayleigh às alturas das ondas, implica em que o parâmetro de largura do espectro ( $\epsilon$ ) deve tender para zero, ou seja: que as ondas devem constituir ondulação pura ou quase pura. Tal fato não ocorre; em geral, para as ondas registradas no mar, como é o caso da campanha de registros de Paranaguá e outras efetuadas em diversos locais (1) (4).

### 3.2.2.1. TESTE DE QUI-QUADRADO.

Para testar o ajuste entre as alturas de ondas registradas em Paranaguá e a distribuição de Rayleigh, foi feito o teste de qui-quadrado para nove registros escolhidos, de tal forma que as alturas médias e significativas dos registros cobrisse a gama de variação desses parâmetros ao longo do ano, sendo estes registros obtidos em seis meses diferentes. Os registros que foram comparados com a relação teórica de Rayleigh, Fig. (3.1), foram incluídos nos testes de qui-quadrado. Os intervalos de classe foram escolhidos de maneira a se ter, tanto quanto possível, intervalos de igual probabilidade. Os registros testados possuíam ondas registradas num intervalo de 10 minutos.

Um dado conjunto de valores de um parâmetro que se queira testar, através do teste de qui-quadrado, com uma determinada distribuição de probabilidades segue esta distribuição, quando o valor de  $\chi_0^2$  calculado é menor que o valor crítico  $C$ , dado por uma tabela de distribuição de qui-quadrado, em função do nível de significância do teste e do grau de liberdade (11). São apresentados no quadro 3.1, os valores de  $H_{med}$ ,  $H_s$ ,  $\chi_0^2$ ,  $C$  e do grau de li

berdade para cada registro. Dos nove registros em estudo, cinco satisfazem a relação  $\chi_0^2 < C$ , sendo o nível de significância (grau de confiança) do teste:  $\alpha = 0.05$  ou  $1-\alpha = 0.95$  ou (95%).

A expressão da distribuição de Rayleigh usada no cálculo das probabilidades, foi:

$$P(H) = 1 - e^{-0.7859 H^2 / H_{med}^2} \quad (3.11)$$

QUADRO 3-1

Data	Hora	$H_{med}$	$H_s$	$\chi_0^2$	C	G. Liberd
14/12/72	8.00	1.7	2.5	8.63	14.07	7
4/8 /72	24.00	1.5	2.3	11.70	12.59	6
13/8 /72	24.00	1.4	2.0	8.97	18.31	10
15/10/72	8.00	1.2	1.8	16.63	12.59	6
4/7 /72	24.00	1.1	1.5	23.76	14.07	7
20/6 /72	8.00	0.7	1.0	2.16	11.07	5
28/6 /72	16.00	0.5	0.7	10.90	12.59	6
27/12/72	8.00	0.4	0.6	15.38	9.49	4
11/2 /73	8.00	0.4	0.5	13.15	9.49	4

Os resultados do teste de qui-quadrado mostram ser questionável a consideração das alturas das ondas registradas em Paranaguá, serem representadas pela distribuição de Rayleigh.

Entre os fatores que podem afetar o ajuste entre as alturas de ondas medidas e a distribuição de Rayleigh, podemos citar: o número de ondas de cada registro (tamanho da amostra), o grau de agitação do mar, as técnicas de obtenção dos dados e a posição da zona de geração em relação ao local onde são registradas as ondas.

Goodknight e Russel (9) dizem que até a época em que foi feito seu trabalho, ainda não havia sido descoberta uma correlação entre o grau de ajuste das alturas de ondas registradas com uma distribuição de probabilidades, e o estado de agitação do mar ou a posição da zona de geração. Sugerem estes autores que um caminho promissor na procura dessa correlação é a utilização da distribuição de probabilidades de Rice generalizada, a qual considera uma faixa ampla de frequências para o espectro de energia, ao contrário da distribuição de Rayleigh que, considerando uma faixa estreita de frequências, é um caso particular da distribuição de Rice. Na bibliografia a que tivemos acesso, não encontramos qualquer estudo relativo à aplicação da distribuição de Rice relativamente às ondas do mar.

### 3.2.2.2. TESTE DA DISTRIBUIÇÃO DE RAYLEIGH ATRAVÉS DE RELAÇÕES ENTRE OS DIVERSOS PARÂMETROS DE ALTURAS DE ONDAS

É possível testar o ajuste da distribuição de Rayleigh com as alturas das ondas registradas em Paranaguã, através das relações teóricas entre as alturas de ondas dadas pela distribuição e os valores calculados dos registros. Estes testes são recomendados em (2, 4 e 9).

Nas figuras 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 estão plotados, respectivamente, os parâmetros  $H_{méd}$ ,  $H_s = H_{1/3}$ ,  $H_{1/10}$  e  $H_{máx}$ , todas em relação a  $H_{RMS}$ . As linhas em traço cheio representam as relações teóricas deduzidas por Longuet - Higgins (14) para a distribuição de Rayleigh. As linhas tracejadas nas figuras são as retas ajustadas pelo processo dos mínimos quadrados aos 204 pares de valores de alturas plotados em cada figura, e obtidos pela análise dos registros pelo método das ondas individuais. Os pontos assinalados são relativos aos diversos pares de alturas dos registros de Paranaguã.

As relações entre as alturas, na ordem apresentada nas figuras representam, progressivamente, testes mais rigorosos, tendo em vista as alturas de ondas registradas serem representadas pela distribuição de Rayleigh.

Isto se deve a natureza relativa dos parâmetros utilizados no cálculo das razões, isto é: a primeira razão ( $H_{RMS}/H_{méd}$ ) emprega todas as alturas de ondas do registro, enquanto a segunda ( $H_{1/3}/H_{RMS}$ ) é calculada com um terço das alturas do registro, e assim por diante.

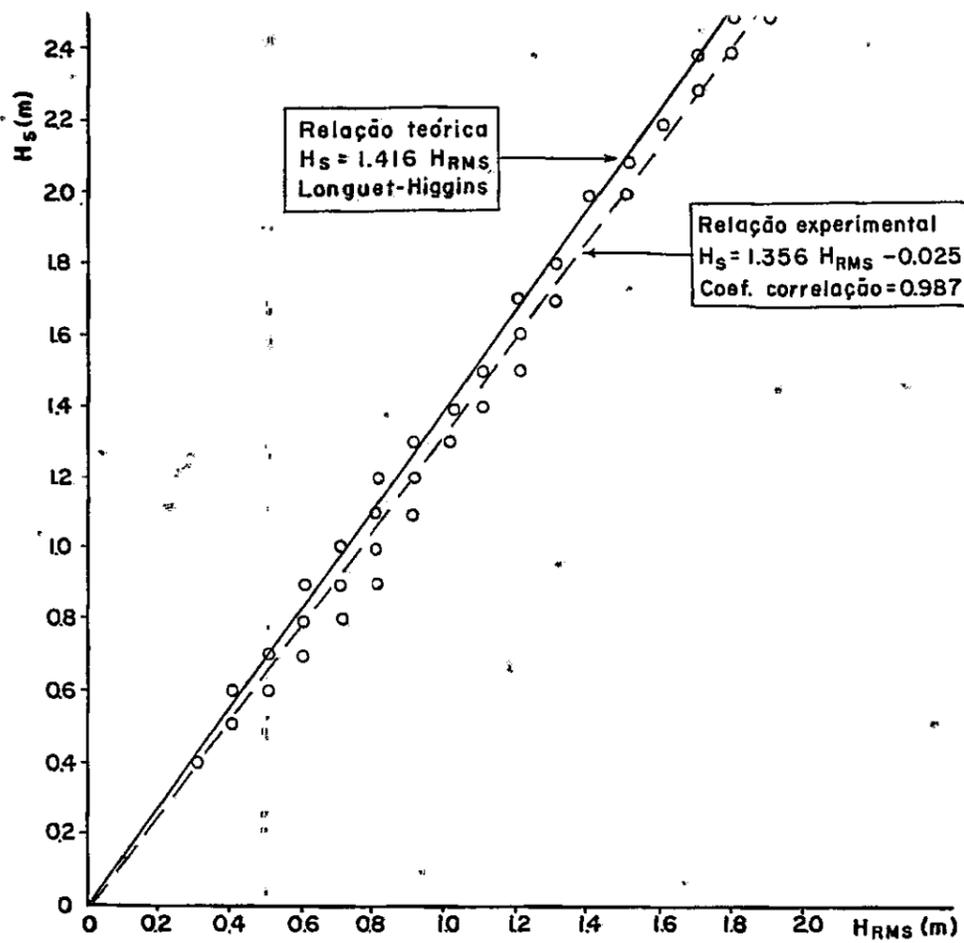


Fig. 3 - 3

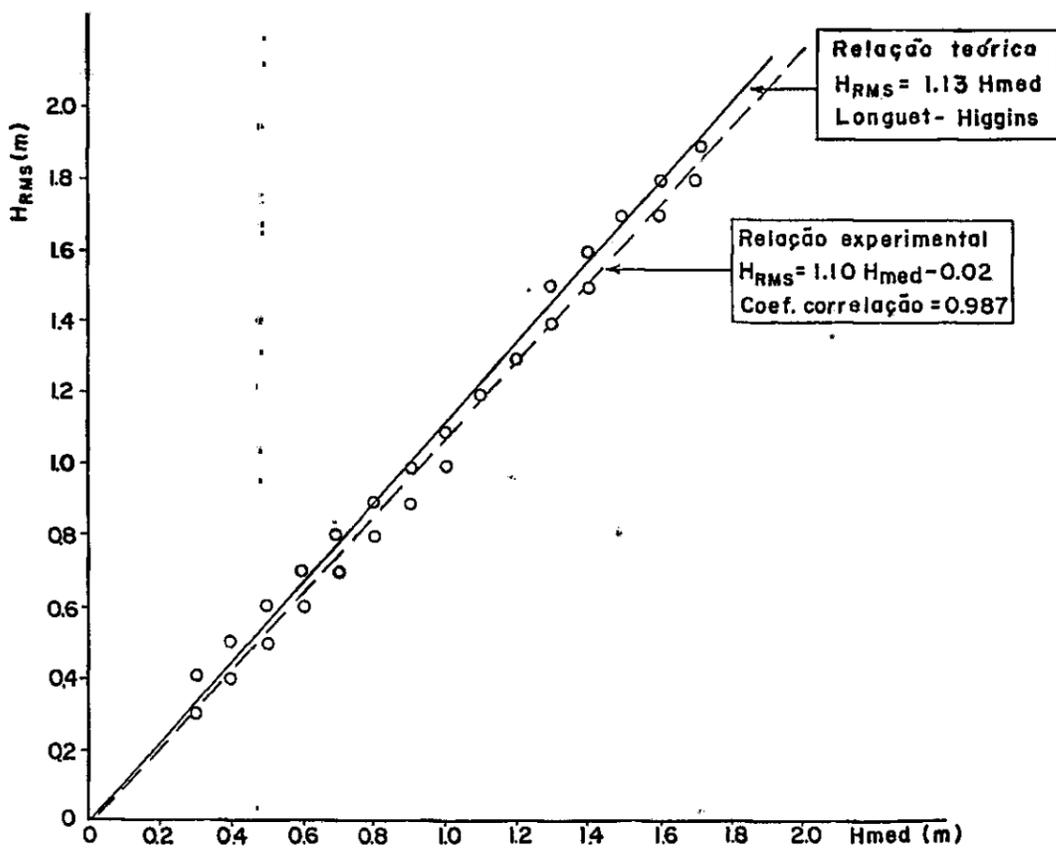


Fig. 3 - 2

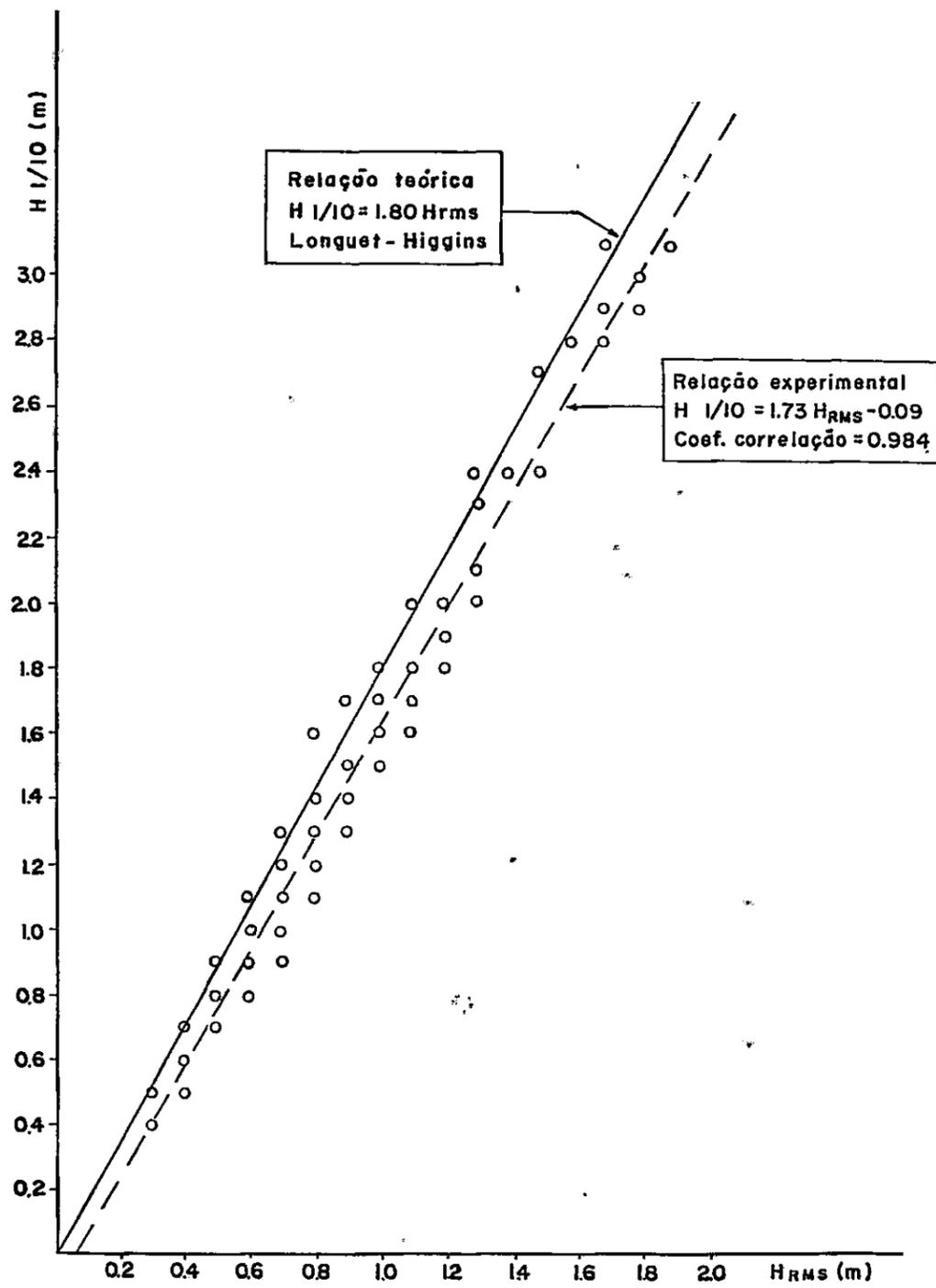


Fig. 3-4

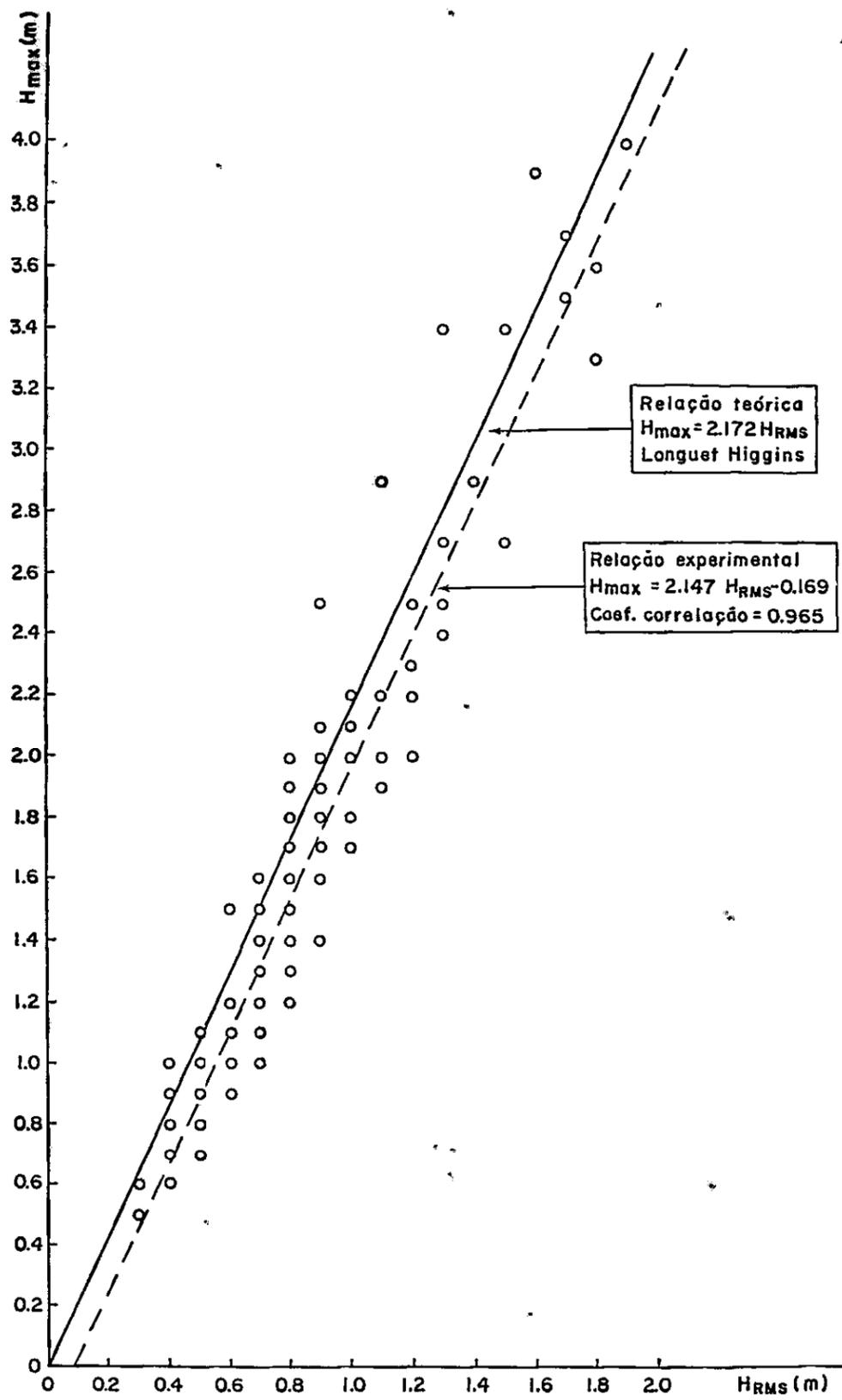


Fig. 3-5

A concordância entre os resultados teóricos e experimentais observada nas Figs. 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 é bastante boa para podermos concluir que, para fins práticos, as alturas de ondas registradas em Paranaguá podem ser representadas pela distribuição de Rayleigh.

Esta informação pode ser utilizada em anteprojetos de Engenharia de Costas executados na região da costa brasileira entre Tramandaí (RS) e o limite oeste da Baía de Ilha Grande (RJ), a qual, a grandes profundidades, possui as mesmas condições ondulatórias de Paranaguá (17), bem como na simulação em laboratório, das ondas que atuam nessa mesma região.

Constatações semelhantes já foram obtidas em outros trabalhos realizados para registros de ondas de outros locais, tais como: o de Goodknighit e Russel (9) para as ondas provocadas por furacões no Golfo do México, o de Dattatri (4) para as ondas registradas na costa oeste da Índia e o de Colonnell e Perry (2) para ondas geradas por vento atuando sobre a superfície da água, em canais de laboratório.

Convém ser ressaltado aqui que o parâmetro de largura do espectro ( $\epsilon$ ) variou entre 0.17 a 0.94 para todos os registros do ano, com a maioria dos registros possuindo o valor de  $\epsilon > 0.5$  (Cap. 2). A distribuição de Rayleigh considera uma faixa estreita de frequências, ou seja: o valor de  $\epsilon$  deve tender para zero. No presente estudo, mesmo com valores elevados de  $\epsilon$ , a distribuição de Rayleigh, como foi visto anteriormente, se aplica às alturas das ondas registradas em Paranaguá.

A Fig. (3.6) apresenta razões entre as alturas características dos registros em função do parâmetro de largura do espectro, levando em conta os 204 registros analisados pelo método das ondas individuais. As linhas em traço cheio dão os valores das razões para a distribuição de Rayleigh, ou seja: para  $\epsilon = 0$ . As razões  $H_{méd}/H_{RMS}$  e  $H_{1/3}/H_{RMS}$  parecem ser independentes do parâmetro de largura do espectro. Esta constatação leva a crer que a distribuição de alturas de ondas não depende muito de  $\epsilon$ . Dattatri (4), Colonnell and Perry (3) e Liu and Housley (13) chegaram a mesma conclusão de que a distribuição de alturas de ondas não é muito sensível ao parâmetro de largura do espectro.

Como assinala Dattatri (4), esta pode ser uma das razões pelas quais a distribuição de Rayleigh pode representar adequadamente a distribuição de alturas de ondas em diferentes locais e sob diversas condições.

### 3.2.2.3. COMPARAÇÃO DOS VALORES MÁXIMOS DE $H_{máx}$ E $H_{\delta}$ OCORRIDOS DURANTE O ANO COM OS CALCULADOS PELAS RELAÇÕES DE LONGUET-HIGGINS

Os valores máximos de  $H_{máx}$  e  $H_{\delta}$  ocorridos durante o ano, tal como dado pelo método que considera as ondas individuais, são, respectivamente:  $H_{máx} = 4.0m$  e  $H_{\delta} = 2.5m$ .

O maior valor da altura média quadrática  $H_{RMS}$  dos registros do ano, é:  $H_{RMS} = 1.9m$ .

Com este valor de  $H_{RMS}$  e utilizando as relações

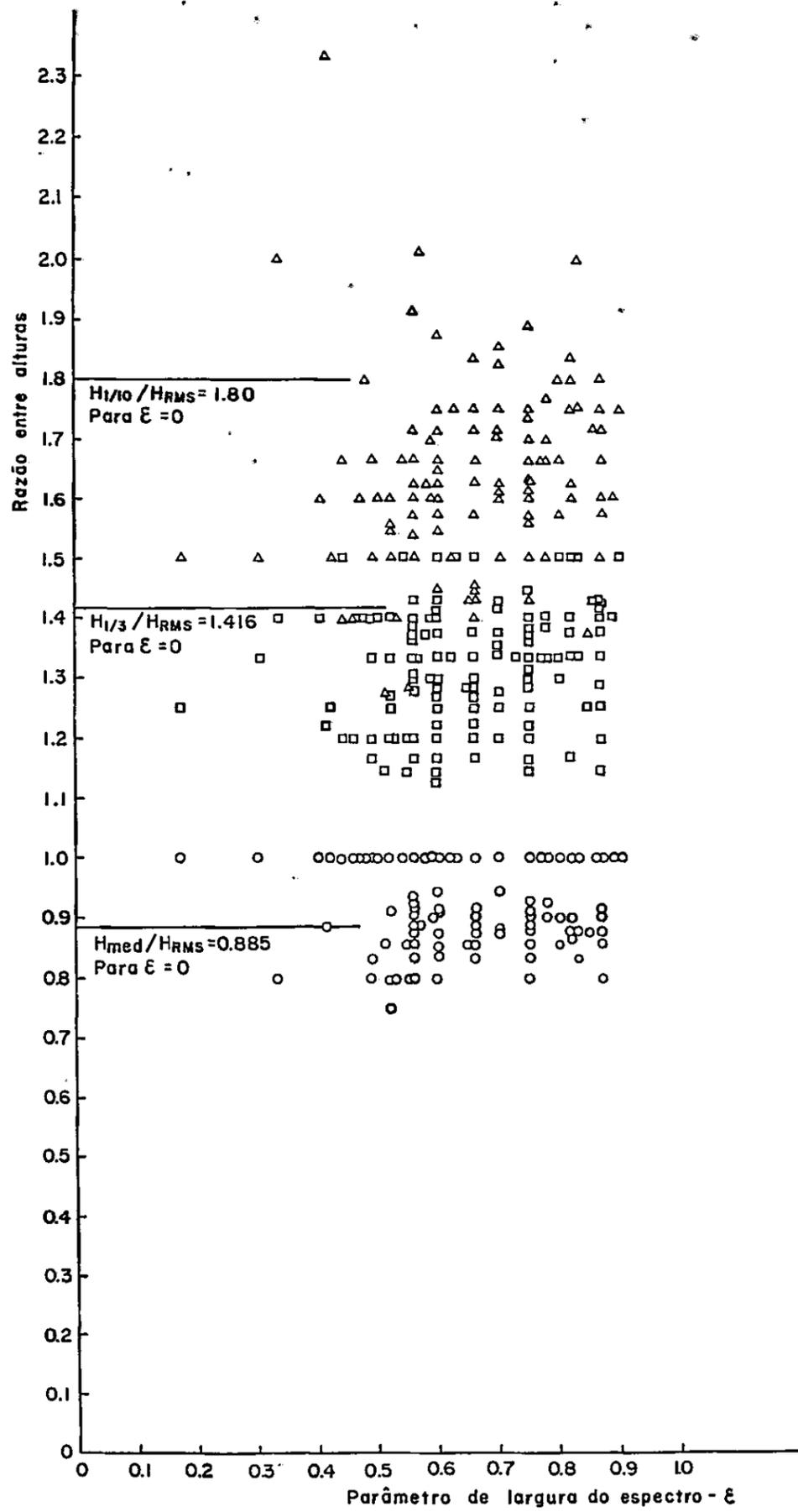


Fig. 3 - 6

de Longuet-Higgins anteriormente citadas, temos:

$$\frac{H_{\text{m\`ax}}}{H_{\text{RMS}}} = 2.172 \quad \text{ou} \quad H_{\text{m\`ax}} = 2.172 \times 1.9 = 4.1\text{m}$$

$$\frac{H_{\Delta}}{H_{\text{RMS}}} = 1.416 \quad \text{ou} \quad H_{\Delta} = 1.416 \times 1.9 = 2.7\text{m}$$

Estes valores se comparam bastante bem com as alturas m\`axima e significativa realmente medidas.

#### IV. CONCLUSÕES

1. Não há em Paranaguá, uma variação nítida no regime de ondas durante o ano, que permita separá-lo em partes de características comuns, relativamente aos parâmetros ondulatorios.

2. Os resultados das análises dos registros de ondas com a utilização do método de Draper e do método baseado na consideração de ondas individuais dos registros, concordam razoavelmente bem.

3. Para fins de Engenharia de Costas, as alturas das ondas registradas em Paranaguá podem ser representadas pela distribuição de probabilidades de Rayleigh.

4. Os valores de  $H_{10 \text{ anos}}$  e  $H_{100 \text{ anos}}$  calculados pelas relações propostas por Larras concordam com os mesmos valores obtidos pela extrapolação das curvas de frequências acumuladas.

5. As ondas mais altas registradas em Paranaguá, não estão associadas aos maiores períodos. Elas estão associadas a valores intermediários de períodos.

6. O parâmetro de largura do espectro ( $\epsilon$ ) tem valores elevados nos registros ondulatorios de Paranaguá e a distribuição de alturas de ondas parece não depender do valor de  $\epsilon$ , ao contrário do que é suposto na distribuição de Rayleigh. Tal fato merece uma investigação mais detalhada.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BANDEIRA, J. V.  
*"Estimativa do Transporte Litorâneo em Torno da Embocadura do Rio Sergipe"* - Publicação do Instituto de Pesquisas Radioativas, Belo Horizonte, Nov. 1972.
2. COLONELL, M.J.; AND PERRY, B.  
*"Laboratory Simulation of Sea Waves"* - *Journal of the Waterways and Harbors Division, ASCE, Vol. 94, Nº WW2, Proc. Paper 5941, May, 1968, pp. 159-174.*
3. COLONELL, M.J.; AND PERRY, B.  
*Closure to "Laboratory Simulation of Sea "Waves" Journal of Waterways and Harbors Division, ASCE, Vol. 96, Nº WW1, Proc. Paper 7049, Fev. 1970, pp. 147-149.*
4. DATTATRI, J.  
*"Waves off Mangalore Harbor - West Coast of India"* - *Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, ASCE, Vol. Nº WW1, Proc. Paper 9532, February 1973, pp. 39-58.*
5. DRAPER, L.  
*"Derivation of a 'Design Wave' from Instrumental Records of Sea Waves"*, *Proceedings, The Insti*

*tution of Civil Engineers, London, England,  
Vol. 26, Oct. 1963, pp. 291-303.*

6. DRAPER, L.  
"The Analysis and Presentation of Wave Data.  
A Plea for Uniformity" - Proceedings, 10<sup>th</sup>  
Conference on Coastal Engineering, ASCE, Sept.  
1966, Tokyo, Japan, Vol. 1, pp. 1-11.
7. DRAPER, L.  
"Waves at Sekondi, Ghana," - Proceedings, 10<sup>th</sup>  
Conference on Coastal Engineering, ASCE, Sept.  
1966, Tokyo, Japan, Vol. 1, pp. 12-17.
8. FREUND, J.E.  
"Mathematical Statistics" - Prentice Hall, 1962
9. GOODKNIGHT, R.G., AND RUSSEL, T.L.  
"Investigation of Statistics of Wave Heights"  
Journal of the Waterways and Harbors Division,  
ASCE, Vol. 89, No. WW2, Proc. Paper 3524, May,  
1963, pp. 29-54.
10. HARRIS, D.L.  
"Characteristics of Wave Records in The Coastal  
Zone" - Advanced Seminar on Waves and Beaches,  
Academic Press, New York, N.Y. 1972.
11. KREYSZIG, E.  
"Introductory Mathematical Statistics - Princi  
ples and Methods" - New York, J. Wiley, 1970.

12. LARRAS, J.  
*"Probability of Appearance of Waves with Amplitude Greater than a Given Value" - Translated by D. D. Bidde in "Translations of four French papers on Ocean Wave Climate Distribution;" Technical Report, Hydraulic Engineering Laboratory 1-15, University of California, Berkeley, Calif., May, 1970.*
13. LIU, P.C., AND HOUSLEY, J.G.  
*Discussion of "Laboratory Simulation of Sea Waves" - Journal of Waterways and Harbors Division, by Joseph Colonell and Byrne Perry, ASCE, Vol. 94, No. WW4, Proc. Paper 5941, Nov. 1968, pp. 529-532.*
14. LONGUET-HIGGINS, M.S.  
*"On the Statistical Distribution of the Heights of the Sea Waves" - Journal of Marine Research, Vol. II, 1952, pp. 245-266.*
15. MOTTA, V.F.  
*"Relatório Sobre Observações de Ondas, Ventos e Correntes para o Terminal Oceânico de Aracaju" - Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, Porto Alegre, 1966, apresentado à Petrobrás S.A.*
16. TUCKER, M.J.  
*"Analysis of Records of Sea Waves" - Proceedings The Institution of Civil Engineers, London, England, Vol. 26, Oct. 1963, pp. 305-316.*

17. U.S. NAVY HYDROGRAPHIC OFFICE  
*"Sea and Swell Charts"*, Washington, D.C. 1948.

APENDICE

MFS= ABRIL

NUM.	HMED	H1/3	Hs	H1/10	HRMS	EPS	HMAX	TZ	TMED
1	0.6	0.9	.8	1.1	0.7	0.87	1.2	1.0	1.0
2	0.4	0.5	.4	0.6	0.4	0.75	0.6	.6	.9
3	0.8	1.1	1.2	1.3	0.8	0.82	1.5	.7	.8
4	0.7	1.0	1.1	1.2	0.7	0.87	1.6	1.0	.9
5	0.6	0.8	1.1	1.0	0.7	0.75	1.1	.6	.8
6	0.6	0.8	.8	1.0	0.7	0.87	1.2	.6	.7
7	0.6	0.7	.7	0.9	0.6	0.82	1.0	.7	.8

OBS: Os valores de  $T_z$  e  $T_{Med}$  devem ser multiplicados por 10.

MES= MAI()

NUM.	HMED	H1/3	Hs	H1/10	HRMS	EPS	HMAX	TZ	TMED
1	0.7	1.1	1.3	1.4	0.8	0.82	1.9	.7	.9
2	0.8	1.0	1.0	1.2	0.8	0.75	1.5	.6	.8
3	0.4	0.6	.6	0.6	0.4	0.83	0.7	.9	1.0
4	0.3	0.5	.5	0.5	0.4	0.52	0.6	.7	.9
5	0.5	0.6	.5	0.7	0.5	0.44	0.8	.4	.5
6	0.4	0.6	1.1	0.7	0.4	0.90	1.0	.9	1.3
7	0.6	0.8	1.2	0.9	0.6	0.78	1.0	.8	1.4
8	0.5	0.6	.7	0.8	0.5	0.70	1.0	.7	1.2
9	0.4	0.5	.7	0.7	0.4	0.87	0.7	.8	1.2
10	0.4	0.5	.5	0.6	0.4	0.66	0.7	.8	1.2
11	0.4	0.5	.4	0.6	0.4	0.52	0.6	.7	1.0
12	0.7	1.1	1.3	1.4	0.8	0.66	1.7	.4	.5
13	0.7	1.2	1.5	1.4	0.8	0.60	1.8	.5	.5

MES = JUNHO

NUM.	HMED	H1/3	Hs	H1/10	HRMS	EPS	HMAX	TZ	TMED
1	0.4	0.6	.7	0.7	0.5	0.49	0.8	.4	.5
2	0.5	0.8	.9	0.9	0.6	0.83	1.0	.9	.9
3	0.7	1.1	1.1	1.4	0.8	0.75	1.7	.6	.6
4	0.7	1.0	1.1	1.2	0.7	0.70	1.3	.7	.8
5	0.9	1.4	1.9	1.7	1.0	0.70	2.1	.8	.8
6	0.6	0.9	.8	1.1	0.7	0.66	1.3	.8	.8
7	0.5	0.7	.7	0.7	0.5	0.49	0.8	.8	.8
8	0.4	0.5	.5	0.6	0.4	0.17	0.7	.9	1.0
9	0.4	0.6	.6	0.7	0.4	0.83	0.8	.9	.8
10	0.4	0.6	.5	0.7	0.4	0.63	0.8	.9	.9
11	0.3	0.4	.4	0.5	0.3	0.56	0.6	.6	.6
12	0.3	0.4	.4	0.4	0.3	0.49	0.5	.8	.9
13	0.5	0.7	.7	0.8	0.5	0.89	0.9	.9	.9
14	0.5	0.8	.8	0.9	0.6	0.60	1.0	.5	.5
15	0.4	0.6	.6	0.8	0.5	0.87	0.9	.6	.6

MES- NUM.	JULHO HMED	H1/3	Hs	H1/10	HRMS	EPS	HMAX	TZ	TMED
1	0.5	0.7	.7	0.9	0.5	0.48	1.1	.8	.9
2	0.6	0.9	.8	1.0	0.6	0.77	1.0	.8	.9
3	0.6	0.9	1.0	1.1	0.7	0.56	1.5	.6	.8
4	1.1	1.5	1.4	1.9	1.2	0.60	2.3	.5	.5
5	0.7	0.9	1.1	1.1	0.8	0.60	1.2	.5	.6
6	0.7	0.8	1.0	0.9	0.7	0.60	1.0	.5	.6
7	0.7	0.9	1.1	1.2	0.7	0.56	1.5	.6	.8
8	0.6	0.8	1.3	0.9	0.7	0.55	1.0	.4	.6
9	0.8	1.1	1.1	1.3	0.8	0.82	1.4	.7	.7
10	0.7	1.2	1.3	1.6	0.8	0.83	1.8	.9	.7
11	0.7	1.1	1.1	1.4	0.8	0.75	1.7	.9	1.1
12	0.6	0.8	.8	1.0	0.6	0.78	1.2	.8	1.1
13	0.8	1.2	1.3	1.5	0.9	0.56	2.0	.6	.6
14	0.7	1.0	1.2	1.2	0.7	0.56	1.5	.6	.6
15	0.8	1.2	1.3	1.5	0.9	0.75	1.8	.6	.5
16	0.7	0.9	.9	1.1	0.7	0.60	1.3	.5	.6
17	0.4	0.6	.6	0.8	0.5	0.56	0.9	.6	.6
18	0.4	0.6	.7	0.7	0.5	0.52	1.1	.7	.7
19	0.6	0.8	.9	1.0	0.6	0.56	1.2	.6	.8
20	0.7	1.1	1.0	1.2	0.8	0.56	1.4	.6	.7
21	1.2	1.7	1.6	2.0	1.3	0.56	2.5	.6	.6
22	0.9	1.3	1.7	1.7	0.9	0.75	2.5	.6	.6
23	0.8	1.1	1.1	1.3	0.8	0.56	1.6	.6	.7
24	0.7	1.0	1.0	1.2	0.8	0.70	1.3	.7	.8
25	0.7	1.0	.9	1.1	0.8	0.85	1.2	.6	.8
26	0.6	0.8	.9	1.0	0.6	0.75	1.2	.6	.6
27	0.5	0.7	.8	0.8	0.5	0.82	1.0	.7	.7
28	0.6	0.9	.8	1.1	0.6	0.82	1.2	.7	.9
29	0.6	0.8	1.0	1.0	0.6	0.78	1.2	.8	.8
30	0.7	1.1	1.0	1.3	0.8	0.60	1.5	.5	.6
31	0.5	0.7	.7	0.8	0.5	0.52	0.9	.7	.8
32	0.6	0.8	.8	1.0	0.6	0.80	1.2	.5	.7
33	0.4	0.6	.6	0.6	0.5	0.55	0.7	.6	.7

MES = AGOSTO

NUM.	HMED	H1/3	Hs	H1/10	HRMS	EPS	HMAX	TZ	TMEI
1	0.5	0.7	.7	0.8	0.5	0.56	1.1	.6	.7
2	0.6	0.9	.7	0.9	0.6	0.60	1.0	.5	.6
3	0.5	0.7	.6	0.8	0.5	0.60	0.9	.5	.6
4	0.5	0.9	.8	0.9	0.6	0.70	1.2	.7	.7
5	1.0	1.4	1.5	1.6	1.0	0.47	2.0	.5	.6
6	1.3	2.1	2.1	2.7	1.5	0.82	3.4	.7	.6
7	1.5	2.4	2.5	3.1	1.7	0.70	3.7	.7	.7
8	1.7	2.3	2.4	2.9	1.8	0.70	3.6	.7	.8
9	0.9	1.4	1.5	1.8	1.0	0.87	2.1	.8	.7
10	1.5	2.3	2.5	2.9	1.7	0.70	3.5	.7	.7
11	1.1	1.6	1.6	2.0	1.2	0.87	2.5	.6	.6
12	0.7	1.1	1.2	1.3	0.8	0.70	1.5	.7	.7
13	0.7	1.0	1.3	1.3	0.7	0.70	1.4	.7	.7
14	0.7	1.0	1.0	1.2	0.7	0.86	1.4	.8	.8
15	0.7	1.0	1.0	1.2	0.8	0.60	1.4	.5	.6
16	0.4	0.6	.6	0.7	0.4	0.66	0.9	.4	.5
17	0.3	0.4	.3	0.5	0.3	0.49	0.5	.8	.8
18	0.5	0.8	.8	0.9	0.6	0.60	1.2	.5	.5
19	0.5	0.6	.6	0.8	0.5	0.75	0.9	.6	.6
20	0.5	0.7	.7	0.8	0.5	0.56	1.0	.6	.6
21	0.7	0.9	1.0	1.2	0.7	0.66	1.3	.4	.4
22	1.4	2.0	1.9	2.4	1.5	0.56	2.7	.6	.6
23	1.1	1.7	1.6	2.0	1.2	0.87	2.2	.8	.6
24	0.9	1.4	1.3	1.8	1.0	0.82	2.1	.7	.6
25	0.6	0.9	.9	1.1	0.7	0.75	1.3	.6	.6
26	0.6	0.8	.8	1.0	0.6	0.49	1.0	.6	.7
27	0.6	0.8	.9	1.1	0.6	0.66	1.2	.8	.7
28	0.9	1.3	1.3	1.7	1.0	0.59	2.1	.4	.5
29	0.9	1.3	1.2	1.5	1.0	0.66	1.7	.4	.5
30	0.5	0.7	.6	0.8	0.6	0.56	1.0	.6	.6
31	0.9	1.2	1.1	1.4	0.9	0.52	1.8	.4	.5
32	0.5	0.7	.7	0.8	0.5	0.40	0.9	.6	.6

---

MES = SETEMBRO

NUM.	HMED	H1/3	Hs	H1/10	HRMS	EPS	HMAX	TZ	TMED
1	0.7	1.1	1.2	1.2	0.8	0.60	1.5	.5	.5
2	1.2	1.8	2.3	2.4	1.3	0.56	3.4	.6	.6
3	1.4	2.2	2.4	2.8	1.6	0.56	3.9	.6	.6
4	1.1	1.6	1.7	1.9	1.2	0.56	2.3	.6	.6
5	1.0	1.5	2.1	2.0	1.1	0.56	2.9	.6	.6
6	0.8	1.2	1.5	1.5	0.9	0.57	1.9	.4	.4
7	0.8	1.1	1.6	1.4	0.9	0.41	2.1	.3	.4
8	0.4	0.7	.8	0.8	0.5	0.33	1.0	.4	.5

MES= OUTUBRO

NUM.	HMED	H1/3	Hs	H1/10	HRMS	EPS	HMAX	TZ	TMED
1	0.4	0.5	.6	0.6	0.4	0.42	0.8	.4	.5
2	0.5	0.7	.6	0.8	0.5	0.47	0.9	.4	.5
3	1.3	2.0	2.0	2.4	1.4	0.56	2.9	.6	.6
4	0.9	1.2	1.3	1.4	0.9	0.75	1.6	.6	.6
5	0.7	0.9	1.1	1.1	0.7	0.56	1.5	.6	.6
6	0.5	0.7	.8	0.8	0.6	0.60	1.0	.5	.5
7	0.5	0.7	.7	0.3	0.5	0.56	0.9	.6	.7
8	0.5	0.6	.6	0.7	0.5	0.56	0.8	.6	.8
9	1.0	1.4	1.7	1.7	1.0	0.75	2.2	.6	.5
10	1.2	1.8	1.8	2.3	1.3	0.78	2.7	.8	.3
11	1.6	2.4	2.6	2.8	1.7	0.60	3.5	.7	.8
12	1.2	1.8	1.7	2.1	1.3	0.75	2.4	.6	.7
13	1.0	1.5	1.6	1.8	1.1	0.75	2.2	.6	.7
14	0.8	1.1	1.2	1.3	0.8	0.60	1.4	.5	.7
15	0.6	0.8	.8	0.9	0.6	0.60	1.0	.5	.8
16	0.6	0.8	.8	0.9	0.6	0.62	1.2	.4	.5
17	0.4	0.6	.6	0.7	0.5	0.60	1.0	.5	.6
18	0.5	0.7	.7	0.8	0.5	0.59	0.9	.4	.5
19	0.4	0.5	.4	0.6	0.4	0.60	0.7	.5	.6
20	0.4	0.5	.5	0.7	0.4	0.60	0.7	.5	.6
21	0.3	0.4	.4	0.5	0.3	0.56	0.5	.6	.8
22	0.6	0.8	.8	0.9	0.6	0.30	1.1	.5	.6

MES= NOVENBRO

NUM.	HMED	H1/3	ds	H1/10	HRMS	EPS	HMAX	TZ	TMED
1	0.5	0.7	.9	1.0	0.6	0.75	1.5	.6	.5
2	0.6	0.9	.9	1.0	0.6	0.44	1.2	.4	.4
3	1.0	1.4	1.3	1.7	1.1	0.52	2.0	.4	.5
4	0.7	1.1	1.3	1.3	0.8	0.66	2.0	.4	.4
5	0.8	1.1	1.2	1.3	0.8	0.58	1.7	.4	.5
6	0.6	0.9	.7	1.1	0.7	0.80	1.3	.5	.5
7	0.4	0.6	.7	0.7	0.5	0.75	0.9	.6	.6
8	0.6	0.9	.9	1.1	0.7	0.66	1.3	.4	.5
9	0.5	0.6	.6	0.7	0.5	0.66	0.9	.4	.5
10	0.5	0.7	.6	0.8	0.5	0.50	1.0	.4	.5
11	0.6	0.9	1.1	1.1	0.7	0.60	1.3	.5	.6
12	0.6	1.3	1.2	1.6	1.0	0.75	1.8	.6	.7
13	0.7	1.1	1.1	1.4	0.8	0.87	1.4	.8	.8
14	0.7	1.1	1.1	1.3	0.8	0.82	1.8	.7	.7
15	0.7	0.9	1.1	1.1	0.7	0.60	1.3	.5	.5
16	0.6	0.8	.8	1.0	0.6	0.66	1.1	.4	.5
17	0.4	0.6	.7	0.7	0.5	0.56	0.8	.6	.7
18	0.4	0.6	.6	0.6	0.4	0.60	0.8	.5	.6
19	0.6	0.9	.9	1.0	0.7	0.65	1.1	.4	.4
20	0.6	0.9	.9	1.0	0.6	0.54	1.2	.3	.3
21	0.6	0.9	.9	1.1	0.7	0.65	1.2	.4	.4
22	0.6	0.8	.8	0.9	0.6	0.66	1.0	.4	.5
23	0.7	0.9	1.0	1.0	0.7	0.66	1.3	.4	.5

MES= DEZEMBRO

NUM.	HMED	H1/3	Hs	H1/10	HRMS	EPS	HMAX	TZ	TMED
1	0.8	1.1	1.0	1.3	0.9	0.66	1.4	.4	.6
2	0.8	1.1	1.2	1.3	0.8	0.60	1.6	.5	.6
3	0.9	1.1	1.1	1.3	0.9	0.60	1.7	.5	.7
4	0.9	1.3	1.4	1.6	1.0	0.80	2.2	.5	.6
5	1.0	1.4	1.5	1.7	1.1	0.60	2.0	.5	.6
6	0.6	0.8	.8	0.9	0.6	0.80	1.2	.5	.7
7	0.6	0.8	.8	0.9	0.6	0.56	1.0	.6	.8
8	0.6	0.9	.9	1.1	0.7	0.60	1.3	.5	.7
9	0.5	0.7	.7	0.8	0.6	0.60	0.9	.5	.8
10	0.6	0.8	.7	0.9	0.6	0.66	1.0	.4	.5
11	0.5	0.7	.6	0.8	0.6	0.66	1.0	.4	.5
12	0.8	1.1	.9	1.3	0.8	0.66	1.5	.4	.4
13	1.1	1.5	1.5	1.8	1.2	0.66	2.0	.4	.5
14	1.6	2.5	2.3	3.0	1.8	0.56	3.3	.5	.6
15	1.7	2.5	2.8	3.1	1.9	0.75	4.0	.6	.8
16	1.0	1.3	1.2	1.6	1.0	0.56	1.7	.6	.8
17	0.7	0.9	.9	1.1	0.7	0.60	1.2	.5	.6
18	0.5	0.6	.6	0.7	0.5	0.60	0.8	.5	.6
19	0.6	0.8	.8	0.9	0.6	0.66	1.1	.4	.5
20	0.5	0.7	.6	0.8	0.5	0.60	0.9	.5	.6
21	0.7	1.0	1.0	1.2	0.7	0.60	1.5	.5	.6
22	0.9	1.2	1.2	1.5	0.9	0.66	1.7	.4	.6
23	0.6	0.8	.8	1.0	0.6	0.60	1.2	.5	.5
24	1.0	1.3	1.1	1.6	1.0	0.60	1.8	.5	.6
25	0.6	0.8	.7	0.9	0.6	0.60	1.1	.5	.6
26	0.6	0.8	.7	0.9	0.7	0.51	1.1	.4	.6
27	0.5	0.7	.7	1.0	0.6	0.56	1.2	.6	.6
28	0.5	0.6	.7	0.7	0.5	0.56	0.8	.6	.7
29	0.4	0.6	.6	0.7	0.5	0.53	0.8	.7	.7

MFS = FEVEREIRO

NUM.	HMED	H1/3	Hs	H1/10	HRMS	EPS	HMAX	TZ	TMED
1	0.5	0.7	.6	0.8	0.5	0.60	0.9	.5	.6
2	0.5	0.7	.8	0.8	0.5	0.60	1.0	.5	.6
3	0.4	0.6	.5	0.7	0.5	0.75	0.9	.6	.7
4	0.4	0.6	.6	0.6	0.4	0.75	0.7	.6	.6
5	0.5	0.6	.7	0.8	0.5	0.60	0.9	.5	.7
6	0.4	0.5	.5	0.6	0.4	0.70	0.7	.7	.8
7	0.4	0.5	.5	0.5	0.4	0.75	0.6	.6	.8
8	0.4	0.5	.5	0.7	0.4	0.66	0.7	.4	.8
9	0.4	0.5	.7	0.7	0.4	0.70	0.9	.7	.8
10	0.6	0.8	.7	0.9	0.6	0.63	1.0	.3	.6
11	0.6	0.8	.8	1.0	0.6	0.80	1.1	.5	.6
12	1.0	1.4	1.2	1.6	1.1	0.66	1.9	.4	.6
13	0.9	1.2	1.2	1.5	0.9	0.60	1.8	.5	.7
14	0.8	1.1	1.0	1.3	0.9	0.75	1.4	.6	.7
15	0.7	0.9	.8	1.0	0.7	0.60	1.3	.5	.6
16	0.7	0.9	.9	1.1	0.7	0.75	1.3	.6	.7
17	0.5	0.7	.8	0.9	0.6	0.49	1.0	.5	.8
18	0.5	0.8	.8	1.0	0.6	0.56	1.2	.6	.6
19	0.5	0.6	.6	0.8	0.5	0.56	0.8	.5	.7
20	0.5	0.6	.4	0.7	0.5	0.46	0.8	.4	.6

MES = MARCO

NUM.	HMED	H1/3	Hs	H1/10	HRMS	EPS	HMAX	TZ	TRFD
1	0.8	1.1	1.1	1.2	0.8	0.87	1.4	.6	.7
2	0.5	0.8	.9	1.0	0.6	0.66	1.2	.4	.5

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**UFRGS**

Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
CENTRO DE HIDROLOGIA APLICADA

**UNESCO**

# **Estudo Estatístico das Ondas ao Largo da Baía de Paranaguá**

Tese apresentada como um dos requisitos ao grau de  
Mestre em Ciência em Hidrologia Aplicada  
Por

**JEFFERSON VIANNA BANDEIRA**

**JUNHO — 1974**