

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS SEDIMENTOS  
DE FUNDO NA BAÍA DE SANTOS ENTRE  
JUNHO/80 E JUNHO/81

Divisão de Engenharia Ambiental/DERL.PD  
- Novembro/81 -  
DERL.PD-042/81

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS SEDIMENTOS  
DE FUNDO NA BAÍA DE SANTOS ENTRE  
JUNHO/80 E JUNHO/81

AUTORES

Jefferson Vianna Bandeira  
Virgílio Lopardi Bomtempo  
Pedro Edmundo Aun  
Paulo Sérgio Pelógia Minardi  
Amenônia Maria Ferreira Pinto

EQUIPE DE CAMPO

Jefferson Vianna Bandeira	Virgílio Lopardi Bomtempo
Lécio Hannas Salim	Ladislau Ferreira Miranda
Namir Souza Vieira	Ricardo da Silva Gomes
Antônio Fioravante Netto	Paulo Sérgio Pelógia Minardi
Duarte Augusto Costa	Geraldo Godinho Pinto

EQUIPE DE ANÁLISE

Virgílio Lopardi Bomtempo	Jefferson Vianna Bandeira
Pedro Edmundo Aun	Amenônia Maria Ferreira Pinto
Paulo Sérgio P. Minardi	Lécio Hannas Salim
Altair Drumond de Souza	Vera Lúcia Mendes Dias da Costa
Luiz Raphael Aun	

DIVISÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

CDTN - NUCLEBRÁS

- Novembro/1981 -



## ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS	
1.	INTRODUÇÃO 1.
1.1	Histórico 1.
1.2	Objetivos 3.
1.3	Descrição do Relatório 4.
2.	PROGRAMAÇÃO DOS ESTUDOS HIDRÁULICO-SEDIMENTOLÓGICOS 6.
2.1	Estudos Granulométricos e Reológicos dos Sedimentos de Fundo da Baía 6.
2.2	As Campanhas de Estudos da Movimentação de Sedimentos de Fundo com a Utilização de Traçadores Radioativos 8.
2.2.1	Considerações Sobre as Épocas para a Realização dos Estudos, Tendo em Vista as Condições Hidráulicas e Meteorológicas 8.
2.2.2	Os Locais de Lançamento dos Traçadores e a sua Representatividade 10.
2.2.2.1	Em Regime de Inverno 10.
2.2.2.2	Em Regime de Verão 13.
2.3	As Medições de Parâmetros Hidráulicos e Meteorológicos Durante os Estudos com Traçadores 16.

MZ

	Página
3. CARACTERÍSTICAS DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA BAÍA DE SANTOS	19.
3.1 Análise e Interpretação de Dados Granulométricos sobre Amostras da Superfície do Fundo da Baía de Santos	19.
3.1.1 O Trabalho Executado	19.
3.1.2 Distribuição das Frações Granulométricas na Baía de Santos	21.
3.1.3 Assimetria	24.
3.1.4 Curtose	27.
3.1.5 Grau de Seleção	29.
3.1.6 Conclusões	30.
3.2 Análise de Amostras da Superfície do Fundo da Baía de Santos com Altos Teores em Finos	33.
3.2.1 Colocação do Problema	33.
3.2.2 Caracterização do Sedimento	34.
3.2.3 Estudo das Velocidades de Queda	35.
3.2.4 Determinação das Características Reológicas das Amostras	36.
3.2.5 Comportamento do Sedimento Sob a Ação de Correntes	45.
3.2.6 Comportamento do Sedimento Sob a Ação de Ondas	47.

	Página	
4.	A MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS DE FUNDO NA BAÍA DE SANTOS	50.
4.1	Campanhas de Inverno	50.
4.1.1	PI <sub>1</sub> Inverno	52.
4.1.2	PI <sub>2</sub> Inverno	55.
4.1.3	PI <sub>3</sub> Inverno	57.
4.2	Campanhas de Verão	60.
4.2.1	Levantamento do Material Injetado no Re gime de Inverno	61.
4.2.1.1	PI <sub>1</sub> Inverno	61.
4.2.1.2	PI <sub>2</sub> Inverno	65.
4.2.1.3	PI <sub>3</sub> Inverno	66.
4.2.2	Os Lançamentos em Regime de Verão	67.
4.2.2.1	PI <sub>1</sub> Verão	69.
4.2.2.2	PI <sub>2</sub> Verão	75.
4.2.2.3	PI <sub>3</sub> Verão	80.
5.	ANÁLISE DE DADOS HIDRÁULICOS	85.
5.1	Considerações Preliminares	85.
5.2	Metodologia	90.
5.2.1	Correntes	90.
5.2.1.1	Técnicas de Correlação	91.
5.2.2	Ventos	94.
5.2.3	Ondas	96.

M

	Página	
5.3	Resultados	98.
5.3.1	Correntes	98.
5.3.2	Ventos	166.
5.3.3	Ondas	179.
5.3.3.1	Períodos	186.
5.3.3.2	Altura ( $H_1$ )	186.
5.3.3.3	Altura Significativa ( $H_s$ )	193.
5.3.3.4	Direção de Incidência das Ondas	194.
5.3.3.5	Conclusões Sobre Regime de Ondas	196.
5.4	Comparação com Resultados de Medições Anteriores	197.
5.4.1	Introdução	197.
5.4.2	Comparações na Região de $PL_1$	198.
5.4.3	Comparações na Região de $PL_2$	201.
6.	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS DE FUNDO À LUZ DOS AGENTES HIDRODINÂMICOS	203.
6.1	Conclusões Gerais sobre a Movimentação de Sedimentos de Fundo na Baía de Santos	203
6.2	Aplicação de Critério de Início de Movimento de Sedimentos Arenosos de Fundo Sob a Ação das Ondas Registradas na Baía de Santos	213.

*Ru*

		Página
7.	RESUMO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	219.
7.1	Histórico	219.
7.2	Características dos Sedimentos de Fundo na Baía de Santos	220.
7.3	Características Reológicas dos Sedimen <u>tos</u> de Fundo na Baía de Santos	224.
7.4	A Movimentação de Sedimentos de Fundo na Baía de Santos	226.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ME

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 - Locais de Injeção do Material Marcado (PI) e de Fundeio de Ondógrafo e Correntógrafos (PL)	12.
Figura 3.1 - Amostragem de Sedimentos da Superfície do Fundo da Baía de Santos em 4 e 5/6/1980	20.
Figura 3.2 - Distribuição da Fração Areia e (Silte + Argila) dos Sedimentos da Superfície do Fundo da Baía de Santos em Junho/80 (CDTN)	23.
Figura 3.3 - Distribuição da Assimetria em Junho/80	26.
Figura 3.4 - Distribuição da Curtose em Junho/80	28.
Figura 3.5 - Distribuição do Grau de Seleção em Junho/80	31.
Figura 3.6 - Curvas de Velocidade de Queda em Função da Concentração, em Meio Floculante	37.
Figura 3.7 - Relação entre o Torque ( $\tau_y$ ) e a Concentração ( $T_s$ ) para o Sedimento Puro e Bruto - Amostra 120	40.

M



	Página
Figura 3.8 - Relação entre o Torque ( $\tau_y$ ) e a Concentração ( $T_s$ ) para o Sedimento Puro e Bruto - Amostra 130	41.
Figura 3.9 - Relação entre o Torque ( $\tau_y$ ) e a Concentração ( $T_s$ ) para o Sedimento Puro e Bruto - Amostra 134	42.
Figura 3.10 - Influência dos Teores de Areia Sobre a Rigidez Inicial	44.
Figura 5.1 - Localização dos Pontos de Medições de Correntes	88.
Cronograma 2 - Períodos de Medições Hidráulicas para as Campanhas de Inverno/80 e Verão/81	89.
Figura 5.2 - Função Correlação Cruzada	93.
Figura 5.3 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente . Local: PL <sub>1</sub> . Período: 04/08 a 09/08/80	99.
Figura 5.4 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Corrente. Local: PL <sub>1</sub> . Período: 04/08 a 09/08/80	100.

	Página
Figura 5.5 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente . Local: PL <sub>1</sub> . Período: 04/08 a 09/08/80	102.
Figura 5.6 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Corrente. Local: PL <sub>2</sub> - Período: 04/08 a 09/08/80.	103.
Figura 5.7 - Correlação entre o Gradiente da Maré em Conceiçãozinha e a Componente WE da Corrente em PL <sub>1</sub> e PL <sub>2</sub> - Período: 04/08/80 a 09/08/80	105.
Figura 5.8 - Correlação entre o Gradiente da Maré em Conceiçãozinha e a Componente SN da Corrente em PL <sub>1</sub> e PL <sub>2</sub> - Período: 04/08/80 a 09/08/80	107.
Figura 5.9 - Correlação entre a Componente SN da Intensidade da Corrente em PL <sub>1</sub> e a Componente SN em PL <sub>2</sub> . Período: 04/08/80 a 09/08/80	112.
Figura 10 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de	

	Página
Corrente. Local: $PL_1$ . Período: 19/08 a 23/08/80	113.
Figura 5.11 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Corrente. Local: $PL_1$ . Período: 19/08 a 23/08/80	115.
Figura 5.12 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente. Local: $PL_2$ . Período: 19/08 a 23/08/80	116.
Figura 5.13 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Corrente. Local: $PL_2$ . Período: 19/08 a 23/08/80	117.
Figura 5.14 - Correlação entre o Gradiente da Maré em Conceiçãozinha e a Componente WE da Corrente em $PL_1$ e $PL_2$ . Período: 19/08/80 a 23/08/80	118.
Figura 5.15 - Correlação entre o Gradiente da Maré em Conceiçãozinha e a Componente SN da Corrente em $PL_1$ e $PL_2$ . Período: 19/08/80 a 23/08/80	119.

PS

	Página
Figura 5.16 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente. Local: PL <sub>2</sub> . Período: 04/09 a 10/09/80	122.
Figura 5.17 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Corrente. Local: PL <sub>2</sub> . Período: 04/09 a 10/09/80	123.
Figura 5.18 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente (Maré Enchente). Local: PL <sub>2</sub> . Período: 04/09 a 10/09/80	124.
Figura 5.19 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Corrente (Maré Enchente). Local: PL <sub>2</sub> . Período: 04/09 a 10/09/80	125.
Figura 5.20 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente (Maré Vazante). Local: PL <sub>2</sub> . Período: 04/09 a 10/09/80	126.

	Página
Figura 5.21 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Corrente (Maré Vazante). Local: PL <sub>2</sub> . Período: 04/09 a 10/09/80	127.
Figura 5.22 - Correlação entre o Gradiente da Maré na Ilha das Palmas e a Componente WE da Corrente em PL <sub>2</sub> . Período: 04/09/80 a 10/09/80	128.
Figura 5.23 - Correlação entre o Gradiente da Maré na Ilha das Palmas e a Componente SN da Corrente em PL <sub>2</sub> . Período: 04/09/80 a 10/09/80	129.
Figura 5.24 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente. Local: PL <sub>1</sub> . Período: 04/08 a 16/09/80	131.
Figura 5.25 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente. Local: PL <sub>2</sub> . Período: 04/08 a 16/09/80	132.

hr

	Página
Figura 5.26 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente. Local: PL <sub>1</sub> . Período: 10/02/81 a 09/03/81	134.
Figura 5.27 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Corrente. Local: PL <sub>1</sub> . Período: 10/02/81 a 09/03/81	135.
Figura 5.28 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente (Maré Enchente). Local: PL <sub>1</sub> . Período: 10/02/81 a 09/03/81	136.
Figura 5.29 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Corrente (Maré Enchente). Local: PL <sub>1</sub> . Período: 10/02/81 a 09/03/81	137.
Figura 5.30 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente (Maré Vazante). Local: PL <sub>1</sub> . Período: 10/02/81 a 09/03/81	138.

	Página
Figura 5.31 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Corrente (Maré Vazante). Local: PL <sub>1</sub> . Período: 10/02/81 a 09/03/81	139.
Figura 5.32 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente. Local: PL <sub>2</sub> . Período: 20/02/81 a 07/03/81	140.
Figura 5.33 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente (Maré Enchente). Local: PL <sub>2</sub> . Período: 20/02/81 a 07/03/81	141.
Figura 5.34 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente (Maré Vazante). Local: PL <sub>2</sub> . Período: 20/02/81 a 07/03/81	142.
Figura 5.35 - Correlação entre o Gradiente da Maré na Ilha das Palmas e o Cosseno da Direção da Corrente em PL <sub>1</sub> e PL <sub>2</sub> . Período: 20/02/81 a 07/03/81	144.

102

	Página
Figura 5.36 - Correlação entre o Gradiente da Maré na Ilha das Palmas e o Seno da Direção da Corrente em $PL_1$ e $PL_2$ . Período: 20/02/81 a 07/03/81	145.
Figura 5.37 - Correlação entre o Seno da Direção da Corrente em $PL_1$ e o Seno da Direção da Corrente em $PL_2$ . Período: 20/02/81 a 07/03/81	147.
Figura 5.38 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente. Local: $PL_1$ . Período: 21/03/81 a 09/04/81	148.
Figura 5.39 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Corrente. Local: $PL_1$ . Período: 21/03/81 a 09/04/81	149.
Figura 5.40 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente (Maré Enchente). Local: $PL_1$ . Período: 21/03/81 a 09/04/81	150.



- Figura 5.41 - Distribuição de Velocidades Mé  
dias pelas Direções para os Ré  
gistros de Corrente (Maré Enchen  
te). Local:  $PL_1$ . Período: 21/03/  
81 a 09/04/81 151.
- Figura 5.42 - Frequência de Ocorrência pelas  
Direções Independentemente de Ve  
locidades para os Registros de  
Corrente (Maré Vazante). Local:  
 $PL_1$ . Período: 21/03/81 a 09/04/  
81 152.
- Figura 5.43 - Distribuição de Velocidades pe  
las Direções para os Registros  
de Corrente (Maré Vazante). Lo  
cal:  $PL_1$ . Período: 21/03/81 a  
09/04/81 153.
- Figura 5.44 - Frequência de Ocorrência pelas  
Direções Independentemente de Ve  
locidades para os Registros de  
Corrente. Local:  $PL_2$ . Período:  
27/03/81 a 09/04/81 155.
- Figura 5.45 - Distribuição de Velocidades Mé  
dias pelas Direções para os Re  
gistros de Corrente. Local:  $PL_2$ .  
Período: 27/03/81 a 09/04/81 156.

	Página
Figura 5.46 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente (Maré Enchente). Local: PL <sub>2</sub> . Período: 27/03/81 a 09/04/81	157.
Figura 5.47 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Corrente (Maré Enchente). Local: PL <sub>2</sub> . Período: 27/03/81 a 09/04/81	158.
Figura 5.48 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Corrente (Maré Vazante). Local: PL <sub>2</sub> . Período: 27/03/81 a 09/04/81	159.
Figura 5.49 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Corrente (Maré Vazante). Local: PL <sub>2</sub> . Período: 27/03/81 a 09/04/81	160.
Figura 5.50 - Correlação entre o Gradiente da Maré na Ilha das Palmas e a Componente WE da Corrente em PL <sub>1</sub> e PL <sub>2</sub> . Período: 27/03/81 a 09/04/81	161.

M

	Página
Figura 5.51 - Correlação entre o Gradiente da Maré na Ilha das Palmas e a Componente SN da Corrente em $PL_1$ e $PL_2$ . Período: 27/03/81 a 09/04/81	163.
Figura 5.52 - Correlação entre a Componente WE da Intensidade da Corrente em $PL_1$ e a Componente WE em $PL_2$ . Período: 27/03/81 a 09/04/81	164.
Figura 5.53 - Correlação entre a Componente SN da Intensidade da Corrente em $PL_1$ e a Componente SN em $PL_2$ . Período: 27/04/81 a 09/04/81	165.
Figura 5.54 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Vento. Local: Ilha da Moela. Período: 04/08 a 09/08/80	167.
Figura 5.55 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Vento. Local: Ilha da Moela. Período: 04/08 a 09/08/80	168.

	Página
Figura 5.56 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Vento. Local: Ilha da Moela. Período: 19/08 a 23/08/80	169.
Figura 5.57 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Vento. Local: Ilha da Moela. Período:19/08 a 23/08/80	170.
Figura 5.58 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Vento. Local: Ilha da Moela. Período: 04/09 a 10/09/80	171.
Figura 5.59 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Vento. Local: Ilha da Moela. Período: 04/09 a 10/09/80	172.
Figura 5.60 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Vento. Local: Ilha da Moela. Período: 04/08 a 16/09/80	173.

	Página
Figura 5.61 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Vento. Local: Ilha da Moela. Período: 04/08 a 16/09/80	174.
Figura 5.62 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Vento. Local: Ilha da Moela. Período: 10/02/81 a 09/03/81	175.
Figura 5.63 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Vento. Local: Ilha da Moela. Período: 10/02/81 a 09/03/81	176.
Figura 5.64 - Frequência de Ocorrência pelas Direções Independentemente de Velocidades para os Registros de Vento. Local: Ilha da Moela. Período: 21/03/81 a 09/04/81	177.
Figura 5.65 - Distribuição de Velocidades Médias pelas Direções para os Registros de Vento. Local: Ilha da Moela. Período: 21/03/81 a 09/04/81	178.

	Página
Figura 5.66 - Variação da Distância entre o Nível Médio do Mar e a Antena do Ondógrafo - Registro de Maré em Conceiçãozinha	190.
Figura 5.67 - Frequência de Ocorrência de Direção Incidência de Ondas	195.
Figura 6.1 - Início de Movimento de Sedimentos Sob a Ação da Onda	215.

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS SEDIMENTOS  
DE FUNDO NA BAÍA DE SANTOS ENTRE  
JUNHO/80 E JUNHO/81

1. INTRODUÇÃO

1.1. Histórico

Para avaliar "in situ" o comportamento dos sedimentos de fundo da baía de Santos, dado indispensável aos estudos em curso no INPH - PORTOBRÁS para a manutenção econômica das profundidades do canal de acesso ao porto e à avaliação da contribuição de sedimentos do piso marinho ao estuário de Santos, a PORTOBRÁS - Empresa de Portos do Brasil S.A., firmou o Contrato de nº 80/038/00, datado de 08/05/80, com a NUCLEBRÁS - Empresas Nucleares Brasileiras S.A.

Os estudos foram contratados através do INPH - Instituto de Pesquisas Hidroviárias - PORTOBRÁS, tendo a execução dos mesmos ficado a cargo da Divisão de Radiosótopos, atual Divisão de Engenharia Ambiental, do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, da NUCLEBRÁS, sediado em Belo Horizonte. Eles tiveram início em junho de 1980, com a coleta de sedimentos de fundo em uma malha quadrada de 1 km de lado, cobrindo toda a baía.

As amostras foram analisadas granulometricamente, tendo sido também efetuados estudos reológicos das

*M*

frações silto-argilosas de algumas amostras e calculados vários parâmetros estatísticos das frações arenosas.

Estes trabalhos <sup>1,2</sup>/visavam a caracterização dos sedimentos do piso marinho, anteriormente ao estudo com traçadores. Tinha também por objetivo, através da comparação de resultados com trabalho semelhante efetuado pelo IPT em 1973, <sup>3</sup>/ o estudo de alterações na composição dos sedimentos do fundo da baía de Santos, devido à troca do local de despejo do material dragado no estuário que, anteriormente a 1975, se efetuava junto à Ponta de Itaipu, na parte W da baía, e passou a se efetuar em frente à ilha da Moela, a E da baía.

A continuação dos trabalhos incluía o estudo da movimentação de sedimentos de fundo em dois locais da baía, com a utilização de traçador radioativo, em regime de inverno (2 campanhas de deteções); análise do trabalho em condições de inverno; o mesmo trabalho em condições de verão; medições de ondas, correntes, ventos e marés durante os trabalhos de inverno e verão.

Em 10/07/80, em reunião havida no INPH - PORTO BRÁS, ficou acertado o lançamento de traçador radioativo em um terceiro local da baía, tanto nos estudos de inverno quanto nos estudos de verão.

Isto ficou acertado através do aditivo número 80/038/01 ao Contrato principal.

Os estudos com traçadores em regime de inverno

M



/<sup>4</sup>/se desenvolveram sobretudo em agosto e setembro de 1980, tendo ainda havido, em fevereiro e abril de 1981, detecções do material lançado no inverno do ano anterior.

Em regime de verão /<sup>4</sup>/ os trabalhos tiveram lugar de fevereiro até abril de 1981, sendo posteriormente estendidos até junho do mesmo ano, com a realização de uma campanha adicional, acertada entre o CDTN e o INPH, do que resultou outro aditivo ao Contrato, de nº 80/038/00.

#### 1.2. Objetivos

Os principais objetivos do presente relatório, são:

a) Fazer um apanhado geral dos diversos estudos efetuados entre junho/80 e junho/81 na baía de Santos pela Divisão de Radioisótopos do CDTN - NUCLEBRÁS, em colaboração com o INPH - PORTOBRÁS;

b) Apresentar os resultados das análises dos parâmetros hidráulicos medidos quando das campanhas de estudo da movimentação de sedimentos de fundo com a utilização de traçadores radioativos, em regime de inverno e de verão;

c) Comparar os resultados das medições hidráulicas com os de campanhas anteriores efetuadas na baía e fazer a interpretação dos resultados da movimentação de sedimentos de fundo, em função dos agentes hidrodinâmicos.

### 1.3. Descrição do Relatório

Este relatório é dividido em sete capítulos. A p<sup>o</sup>s um breve histórico dos trabalhos e a enumeração dos objetivos principais, no capítulo introdutório, o capítulo 2 apresenta a programação dos vários estudos, a saber:

a) Granulométricos e reológicos dos sedimentos de fundo;

b) Movimentação de sedimentos de fundo em regime de inverno e de verão;

c) As medições de parâmetros hidráulicos e meteorológicos efetuadas durante os estudos com traçadores radioativos.

No terceiro capítulo é feito um resumo dos estudos granulométricos e reológicos, os quais já foram objeto de relatórios apresentados /<sup>1,2</sup>/ . O capítulo 4 mostra um resumo dos resultados obtidos nas campanhas de estudo da movimentação de sedimentos de fundo com a utilização de traçadores radioativos, em regimes de inverno e verão, referências /<sup>4</sup>/ e /<sup>5</sup>/ , respectivamente.

O capítulo 5, apresenta a análise de dados hidráulicos colhidos durante o período das duas campanhas (inverno e verão) de estudo do movimento de sedimentos de fundo. Estes estudos ainda não haviam sido mostrados em relatórios anteriores e, por isso, são aqui apresentados de um modo mais completo. São empregadas técnicas de cor

relação entre os parâmetros hidráulicos, para tentar obter informações sobre as relações causa-efeito na circulação de águas na baía.

Os resultados obtidos nas campanhas de medições hidráulicas de 80/81 são comparados com os de campanhas anteriores efetuados na baía de Santos. No capítulo 6 é feita a interpretação da movimentação de sedimentos de fundo, observada entre agosto de 80 e junho de 81, com a utilização de traçadores radioativos, em função dos agentes hidrodinâmicos atuantes na baía. No capítulo 7, finalmente, são apresentadas as conclusões gerais do trabalho. As informações acrescentadas com estes estudos são já disponíveis sobre o panorama hidráulico-sedimentológico da baía de Santos são de alto valor e serão muito úteis na continuação dos trabalhos desenvolvidos pelo INPH - PORTOBRÁS, visando a minimização do assoreamento do canal de acesso ao porto de Santos e aos estudos de melhoria para os estuários de Santos e São Vicente.

2. PROGRAMAÇÃO DOS ESTUDOS HIDRÁULICO-SEDIMENTOLÓGICOS

2.1 Estudos Granulométricos e Reológicos dos Sedimentos de Fundo da Baía

Em todo trabalho que visa o estudo da movimentação de sedimentos de fundo, uma providência básica e inicial é a caracterização dos sedimentos constituintes da superfície do fundo da região a ser estudada. Esta é feita através da coleta de sedimentos de fundo em vértices de malha convenientemente distribuída na região em estudo e da posterior análise dos mesmos em laboratório.

Para a caracterização dos sedimentos de fundo da baía de Santos, tres aspectos foram levados em consideração.

- a. A necessidade de se estudar a movimentação de sedimentos de fundo em tres regiões distintas da baía (logo a W do canal do acesso, no alinhamento da entrada do estuário; a E do canal de acesso entre este e a ilha das Palmas; na parte W da baía, próximo à Ponta de Itaipú).
- b. A existência de um estudo de caracterização dos sedimentos de fundo realizado pelo IPT, de julho de 1973 /<sup>3</sup>/, anteriormente à troca do local de despejo do material dragado no estuário, da Ponta de Itaipu, para um local em frente à ilha da Moela, a E da baía.

- c. O aproveitamento dos resultados da coleta de junho de 1980, para comparação com os resultados do IPT, de julho de 1973, tentando assim avaliar a influência que a troca do local de despejo, a partir de 1975, do material dragado no estuário, pudesse ter tido na distribuição e composição dos sedimentos de fundo da baía, em época de inverno.

Tendo em vista atender aos aspectos anteriormente apontados, foi programada uma coleta de sedimentos de fundo na mesma malha adotada pelo IPT na coleta de 1973, ou seja, malha quadrangular de 1 km de lado, cobrindo praticamente toda a baía, desde um alinhamento E-W passando pela Ponta de Itaipú até a entrada do estuário. Nos locais onde se intentavam fazer os estudos sedimentológicos com a utilização de traçadores, a amostragem foi mais pormenorizada. Além disso, em cada um de tres locais na parte E de baía, entre o canal de acesso e a ilha das Palmas, foram coletadas cerca de 20 kg de amostra de sedimentos de natureza silto-argilosa, para o estudo de suas propriedades reológicas, o que não havia ainda sido feito, em estudos anteriores. Através do estudo das características reológicas de materiais silto-argilosos, é possível prever a sua movimentação e comportamento quando sujeitos à ação de agentes hidrodinâmicos.

2.2 As Campanhas de Estudos da Movimentação de Sedimentos de Fundo com a Utilização de Traçadores Radioativos

2.2.1 Considerações Sobre as Épocas para a Realização dos Estudos, Tendo em Vista as Condições Hidráulicas e Meteorológicas.

O plano de trabalho previa o estudo da movimentação dos sedimentos de fundo da baía em duas campanhas distintas: uma no inverno (julho-setembro) e outra em verão (fevereiro-abril). O objetivo dessas duas campanhas era o de avaliar a influência dos agentes hidrodinâmicos, ocorrendo em cada época, sobre a intensidade e o sentido da movimentação de sedimentos de fundo. Os agentes hidrodinâmicos (ondas e correntes na baía de Santos) são, em maior ou menor grau, influenciados pelo regime meteorológico local ou de regiões mais distantes. As marés astronômicas locais se sobrepõem às marés meteorológicas, cujas causas principais são a ação dos ventos e a variação da pressão atmosférica. Às vagas e ondulações que adentram a baía de Santos e que são geradas longe da região, se sobrepõem vagas geradas pelos ventos locais. Estes, além de gerarem vagas e atuarem na componente meteorológica da maré, são responsáveis também pela geração de correntes de deriva, que se somam às correntes existentes na baía de Santos. O regime de correntes nessa baía já foi objeto de estudos em trabalhos anteriores /<sup>6</sup>/ e /<sup>7</sup>/.

Para uma melhor compreensão do regime meteorológico local e a sua influência sobre os níveis d'água na

baía e sobre os ventos locais, resumimos da referência /7/ as considerações que serão mostradas a seguir.

A baixada santista se constitui em uma exceção relativamente ao regime climático, dentro do esquema geral do Brasil. Isto se deve à situação especial da Serra do Mar, junto à costa, e aos frequentes encontros de massas de ar que ocorrem na região. As frentes frias que se formam ao longo da costa sul do Brasil se deslocam de forma mais ou menos rápida para o norte. Em certos casos, estas frentes podem se tornar estacionárias. Uma das causas é o seu barramento por serras. Quando isso ocorre na baixada santista, a situação de mau tempo na região se prolonga por um grande período. Em seguimento às frentes frias, os anticiclones de origem polar fazem com que se volte a situações de estabilidade, com a presença de ventos do quadrante sul.

Como consequência da aproximação do anticiclone polar e a chegada de frentes frias, o que faz com que o anticiclone atlântico se afaste na direção do oceano, acontecem na região da baixada santista perturbações meteorológicas bem marcadas, tais como: diminuição da pressão atmosférica e rápido aumento posterior, virada dos ventos dos quadrantes E e NE para S e diminuição de temperatura. Em consequência disto, ocorre uma elevação sensível do nível médio do mar entre um máximo que acontece quando da chegada da frente fria e um mínimo provocado pela passagem do centro de alta pressão, a partir de onde o nível se mantém ou diminui, conforme o regime seja ou não estacionário.

A sensível alteração do nível do mar produzida

pela passagem das frentes frias, influencia o comportamento hidráulico da baía e dos estuários de Santos e São Vicente, criando nestes condições para um maior armazenamento líquido durante os ciclos de maré e influenciando a intensidade e circulação das correntes. A passagem de frentes frias ocorre, na baixada santista, durante praticamente todo o ano /7/. Entretanto ela é bem mais frequente no período de inverno, onde podem ocorrer de uma a duas passagens por semana. A elas, como foi visto, está sempre associada a ocorrência de ventos do quadrante sul. No período do inverno, a a  o das ondas, na baía, é mais intensa. Assim, escolheu-se o período de inverno para a realização de uma das campanhas de estudo da movimentaa o de sedimentos de fundo com o emprego de traçadores para avaliar o comportamento desses sedimentos, sujeitos a ações hidrodinâmicas mais severas. O outro período escolhido foi o de verão, quando a passagem de frentes frias é bem menos frequente, sendo ocasião de maior frequência de ventos das direções E e NE. Nessa época, o estado de agitação do mar   também menor que no inverno.

## 2.2.2 Os Locais de Lançamento dos Traçadores e a sua Representatividade

### 2.2.2.1 Em Regime de Inverno

Nos estudos anteriores a 1980 realizados na baía de Santos, faltava a caracterização da movimentaa o de sedimentos de fundo e a sua possível quantificação, sobretudo nas imediações da curva do canal de acesso, junto à en



trada do estuário. Estas informações se faziam necessá-  
rias para a complementação dos estudos desenvolvidos pelo  
INPH-PORTOBRÁS para a possível construção de obras visando  
a minimizar o assoreamento no trecho do canal de acesso,  
próximo à Ponta dos Limões. Em reunião realizada no INPH,  
em 20.03.79, com a presença de técnicos daquele Instituto,  
do consultor do INPH para os estudos de Santos, Prof. D.M.  
McDowell e de técnicos do CDTN, ficou acertado, em princí-  
pio o lançamento de material nos pontos  $PI_1$  e  $PI_2$ , Figura  
2.1. O  $PI_1$  situa-se logo a W do canal de acesso e a sua  
localização visou o estudo do comportamento do material de  
fundo sob a ação direta das ondas e das correntes de maré  
que, nesta região, são bastante influenciadas pelo esco-  
amento através da embocadura do estuário de Santos. Além  
disso, o sedimento marcado e lançado nessa região, se se-  
guido por um tempo apreciável, poderia dar informações, pe-  
lo menos qualitativas, sobre o aporte de sedimentos de fun-  
do da baía para o estuário. Com o lançamento em  $PI_2$  estu-  
dar-se-ia o comportamento dos sedimentos de fundo na parte  
leste da baía, entre o canal de acesso e o costão rochoso  
do Morro da Barra. Logo antes do início das injeções de  
inverno, em reunião no dia 10.07.80, no INPH, contando com  
a presença de técnicos do INPH e CDTN e do consultor D.M.  
McDowell, ficou acertado o estudo em um terceiro ponto ( $PI_3$   
Figura 2.1).

O objetivo da inclusão do lançamento do mate-  
rial marcado nesse ponto, seria o estudo simultâneo do com-  
portamento (sentido de deslocamento e taxa de movimentação)  
do material de fundo da baía em seus lados E e W, conjugado  
com o comportamento do sedimento arenoso de fundo logo a W  
do alinhamento C do canal de acesso ao porto (ponto de in-



jeção  $PI_1$ ).

As coordenadas UTM dos pontos de injeção de traçador radioativo em regime de inverno são apresentadas na Tabela 1, juntamente com as coordenadas dos pontos de injeção em regime de verão, que trataremos a seguir. São apresentadas também na Tabela, as profundidades dos locais de lançamento, relativas ao zero hidrográfico da PORTOBRÁS no local e obtidas no desenho CBD-DT nº 1718, do levantamento batimétrico da baía efetuado entre 13.11.79 e 30.11.79, pela Companhia Brasileira de Dragagem - CBD, para a PORTOBRÁS.

#### 2.2.2.2 Em Regime de Verão

Os estudos em regime de verão foram iniciados em fevereiro de 1981 com a execução de levantamentos de ruído de fundo ("background") nos locais de lançamento em regime de inverno e nas imediações dos mesmos. Foi ainda detectada atividade nesses tres locais, porém não suficiente para o prosseguimento de estudos quantitativos. Estes levantamentos deram informações qualitativas interessantes, que serão abordadas no Capítulo 4, e permitiram a escolha dos pontos de lançamento em regime de verão. Em seguida foram feitos os lançamentos em  $PI_{1V}$ ,  $PI_{2V}$  e  $PI_{3V}$ , mostrados na Figura 2.1 e cujas coordenadas UTM são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 - Coordenadas UTM dos Pontos de Injeção e das Bases Utilizadas para Instalação das Antenas do Sistema Eletrônico de Posicionamento

PONTO DE INJEÇÃO	COORDENADAS UTM		Prof.Local Rel. Zero Hidr.Portobrás (m)
	N	E	
PI <sub>1</sub> (inverno)	7346048	363785	8,0
PI <sub>2</sub> (inverno)	7343206	364236	12,3
PI <sub>3</sub> (inverno)	7343178	360338	10,0
PI <sub>1</sub> (verão)	7345952	364367	7,6
PI <sub>2</sub> (verão)	7344150	364527	10,9
PI <sub>3</sub> (verão)	7343991	360334	9,3
Ed. São Domingos	7348089,95	365196,62	
Torre 2	7347970,66	365271,60	
Ed. Sete Mares	7347054,22	360678,68	

Como será visto no Capítulo 4, no regime de inverno o material marcado, nos tres locais de injeção, teve um deslocamento preferencial para N-NNW, no sentido de propagação das ondas que, nesse regime provinham quase que exclusivamente da direção S-SSE. Desse modo, os locais de lançamento de PI<sub>2v</sub> (lado E) e PI<sub>3v</sub> (lado W) foram posicionados mais para o interior da baía em locais de menores pro

M

fundidades, em seguimento ao caminhamento detectado do material marcado no período de inverno. Como já se tinha constatado que o agente hidrodinâmico principal na movimentação de sedimentos de fundo em regime de inverno eram as ondas, a escolha dos locais de  $PI_{2V}$  e  $PI_{3V}$  nos pareceu adequada por dois aspectos:

- a. Possibilidade do estudo sequencial da movimentação de sedimentos de fundo iniciada no inverno do ano anterior.
- b. No regime de verão as ondas da região são geralmente mais baixas e os períodos são relativamente mais curtos que no inverno /<sup>8</sup>/ . Assim, a possibilidade e a taxa de movimentação de sedimentos de fundo pela ação de ondas na mesma profundidade, tornam-se menores no verão que no inverno.

Com a escolha dos novos locais de lançamento e tendo em vista o papel desempenhado pelas ondas na movimentação do material de fundo, não haveria a possibilidade de mistura do material injetado no inverno, ainda presente na época do verão, com o novo sedimento marcado, lançado nessas duas regiões. Essa hipótese foi confirmada posteriormente, com os resultados dos estudos das campanhas de verão.

Devido à movimentação apresentada pelo material do  $PI_1$  de inverno, o  $PI_1$  de verão ( $PI_{1V}$ ) foi localizado mais a E dele, a cerca de 960m a W do ponto comum aos alinhamentos B e C do canal de acesso. Esta era uma região

M2

intermediária entre a nuvem radioativa que havia se espalhado desde o lançamento em agosto de 1980 e o canal de acesso. Nela não havia atividade devida ao lançamento de inverno, o que permitiu estudos quantitativos do deslocamento de material do fundo, lançado na região no regime de verão.

### 2.3 As Medições de Parâmetros Hidráulicos e Meteorológicos Durante os Estudos com Traçadores.

Para o estudo da correlação entre a movimentação observada de sedimentos de fundo com a utilização de traçadores radioativos, nos meses de inverno e de verão, foram programadas, simultaneamente com estes estudos, medições dos seguintes parâmetros hidráulicos e meteorológicos:

- a. Ondas,
- b. Correntes,
- c. Registro de marés, e
- d. Registro de intensidade e direção de vento.

Além do objetivo citado anteriormente, estas medições visavam também, juntamente com os resultados dos estudos com traçadores, auxiliar na calibração de modelos da baía, quer físicos ou matemáticos. O esquema de medições para as duas campanhas (inverno e verão), sugerido pelos técnicos do INPH e o consultor, Prof. D.M.McDowell, foi discutido com técnicos do CDTN na reunião havida no INPH, em 10.07.80 e é resumido a seguir:

ND

## a. Ondas

Instalação e operação de um ondógrafo durante as campanhas de inverno e verão a cerca de 2 km a SE da Ponta de Itaipú, em local de coordenadas geográficas:  $24^{\circ}01'48''S$  e  $46^{\circ}22'09''W$ . Observação visual diária de direção de incidência das ondas, às 8:00 e 17:00 horas, nas vizinhanças do local de fundeio do ondógrafo, através de teodolito instalado na 1<sup>a</sup> Bateria da Fortaleza de Itaipú.

Pretendia-se utilizar um ondógrafo a acelerometro Waverider Datawell, com transmissão de dados para terra, que efetuasse oito registros diários, com duração de 20 minutos cada um. Infelizmente tal aparelho não era disponível e o INPH forneceu para os registros, um ondógrafo autônomo a ultrassom da marca Neyrpic, o qual foi programado para efetuar três registros diários: às 8:00, 16:00 e 24:00 horas. Este aparelho, extremamente pesado, de difícil manuseio e baixa autonomia (cerca de 7 dias) não se adequou aos registros ondulatórios, sobretudo no regime de inverno, no local escolhido.

## b. Correntes

Instalação de um correntógrafo a meia profundidade, no local de lançamento do ondógrafo. Outro correntógrafo foi instalado a 1 metro do fundo, na região do ponto de injeção logo a oeste do canal de acesso (PI<sub>1</sub>). Ambos os correntógrafos foram programados para efetuar registros de intensidade e direção da corrente, a cada 30 minutos, durante o período das campanhas de inverno e verão.

102

## c. Marés

Funcionamento de um marégrafo na Ilha das Palmas, durante todo o período de operação dos correntógrafos nas campanhas de inverno e de verão.

## d. Ventos

Operação de um anemógrafo na Ilha da Moela, durante as campanhas de inverno e verão.



3. CARACTERÍSTICAS DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA BAÍA DE SANTOS

3.1. Análise e Interpretação de Dados Granulométricos sobre Amostras da Superfície do Fundo da Baía de Santos

3.1.1. O trabalho executado.

Este item apresenta os resultados da análise granulométrica de amostras de material da superfície do fundo da baía de Santos, coletadas entre 04/06/80 e 06/06/80. Nele é apresentada também uma comparação entre os resultados obtidos nesta campanha e os referentes a um estudo semelhante, efetuado em julho de 1973, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) da Universidade de São Paulo. [3] Os resultados do trabalho foram objeto do Relatório DERL.PD.-054/80, de outubro de 1980, intitulado: "Estudos Sedimentológicos na Baía de Santos: Análise e Interpretação de Dados Granulométricos". [1]

A coleta foi efetuada pela utilização de um amostrador, que consta de um tubo cilíndrico, fechado em uma das extremidades e dotado de uma haste pivotável presa ao fundo. Este instrumento, tracionado pela haste por intermédio de um cabo preso a uma embarcação, arrasta-se pela superfície do fundo, colhendo uma amostra. O deslocamento necessário para colher uma amostra da ordem de 300g era de, no máximo, 20m. O barco utilizado era posicionado por um sistema de radiolocalização (Motorola). A Fig. 3.1. mostra a localização dos pontos de coleta, com

M2

*Original - original está com  
Digo.*

FIGURA 3.1

OBSERVAÇÃO: O DESENHO SE ENCONTRA NA SECRETARIA DA  
DIEAM.

seus respectivos números. Foram adotadas a malha e a numeração utilizadas em 1973 pelo IPT, para facilidade de comparação de resultados. Nos locais das amostras 120, 130 e 134 foram coletadas maiores quantidades de material - cerca de 20ℓ - para a realização de análises específicas, apresentadas no item 3.2 deste relatório.

O tratamento das amostras constou de:

- a) Separação das frações areia e silte-argila, por peneiramento a úmido, na peneira de 44µm.
- b) Determinação das porcentagens de areia e silte-argila de cada amostra.
- c) Determinação da granulometria da fração silte-argila pelo processo de pipetagem.
- d) Determinação da granulometria da fração arenosa, por peneiramento.

Em seguida, foram determinados os vários parâmetros estatísticos ligados à distribuição granulométrica, os quais foram comparados com os dados colhidos pelo IPT. Os resultados são comentados nos sub-itens seguintes.

### 3.1.2. Distribuição das frações granulométricas na baía de Santos.

As amostras foram selecionadas em 3 faixas, de

acordo com as porcentagens de ocorrência de areia e de silte-argila

- a) amostras com porcentagens de areia entre 97% e 100%
- b) amostras com porcentagens de areia entre 50% e 97%
- c) amostras com porcentagens de areia inferiores a 50%

Os resultados são apresentados na Fig. 3.2.

Da Figura, constam também o diâmetro mediano  $D_{50}$ , relativo à fração arenosa e o valor do coeficiente de graduação, definido por:

$$\sigma = \frac{1}{2} \left( \frac{D_{84}}{D_{50}} + \frac{D_{50}}{D_{16}} \right)$$

Quanto mais próximo da unidade é o valor de  $\sigma$ , tanto mais bem triada é a amostra. O material arenoso do fundo da baía mostrou-se bastante uniforme, com  $\overline{D}_{50}=0,096\text{mm}$  e bem triado, com  $\overline{\sigma} = 1,25$ .

As diferenças mais significativas observadas entre este trabalho e o realizado pelo IPT, foram:

- a) Próximo à Ponta de Itaipu, na parte oeste da baía, houve o desaparecimento de uma cunha de material silto-argiloso, passando o fundo

M2

Depto. - original - 100

FIGURA 3.2

OBSERVAÇÃO: A FIGURA SE ENCONTRA NA SECRETARIA DA DIEAM

a ser constituído unicamente de areia. Trata-se do material que era anteriormente despejado nesta região e que, com a mudança do local de despejo para a ilha da Moela, desapareceu.

- b) Na entrada do Canal do Porto e no contorno do morro da Barra com a face voltada para o interior da baía, as porcentagens de areia passaram de entre 50% e 97% para 100% de areia. Isso deve corresponder a um acréscimo das condições hidráulico-energéticas a que esta região está sujeita ou à extinção da fonte de material fino que alimentava esta área.

### 3.1.3. Assimetria.

Este parâmetro compara as posições relativas da média e da mediana de uma distribuição estatística, fornecendo uma indicação sobre a "normalidade" do sedimento. Ele é calculado por

$$Sk_1 = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)},$$

onde  $\phi = -\log_2$  (diâmetro em mm).

Ele varia entre -1 e +1 e pode fornecer indica

ções sobre as condições hidrodinâmicas do ambiente de sedimentação do material. Assim, uma assimetria negativa indica que a média encontra-se deslocada da mediana para o lado da curva de frequências relativo ao sedimento mais grosso. Isto corresponde à ocorrência de flutuações de energia próximas de valores elevados, mais frequentes do que o normal, retirando partículas finas do sedimento. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3.3.

Todo o lado oeste da baía apresenta uma faixa de assimetria negativa, que tende a acompanhar o contorno da costa desde a ponta de Itaipu até a ilha de Urubuqueçaba. Do lado leste, uma cunha de material com assimetria negativa avança, em faixa estreita, pelo interior da baía, como que dando continuidade ao canal. As duas regiões se caracterizam por apresentarem condições energéticas superiores às do restante da baía, seja por ação das ondas do quadrante sul, seja pela dominância da influência do estuário.

Em relação aos dados do IPT, constatou-se o desaparecimento de uma cunha de material com assimetria negativa que penetrava no interior da baía, entre a ponta de Itaipu e o morro da Barra. Além disso, a assimetria passou de positiva a negativa na faixa litorânea paralela à face do morro da Barra voltada para o interior da baía.

M2

*Cópia, original está em arquivo.*

FIGURA 3.3

OBSERVAÇÃO: A FIGURA SE ENCONTRA NA SECRETARIA DA DIEAM  
(AS CÓPIAS JÁ FORAM TIRADAS)



## 3.1.4. Curtose.

Este parâmetro mede a relação entre os espalhamentos na parte central e nas caudas das distribuições de frequência. Ela é interpretada como uma descrição do grau de agudez ou achatamento das curvas de frequência.

A curtose é definida por

$$k_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44 (\phi_{75} - \phi_{25})}$$

sendo  $\phi = -\log_2$  (diâmetro em mm).

Distribuições normais tem valores unitários de curtose e a distribuição é dita mesocurtica.

Valores superiores à unidade indicam que as flutuações energéticas permitiram a deposição de material, no local em estudo, preferencialmente numa faixa central estreita de diâmetros; neste caso, as distribuições são chamadas leptocurticas. Quando  $k_G < 1$ , as distribuições são platicurticas, o que corresponde a distribuições de frequência mais "achatadas". Parece ser aceito que a curtose representa uma somatória dos efeitos de movimentação e de deposição do sedimento. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3.4.

Partindo da entrada do estuário de Santos e contornando a baía pelo centro-leste, observa-se uma faixa

Handwritten text in Arabic script, oriented vertically. The text is partially legible and appears to be a signature or a note.

FIGURA 3.4

OBSERVAÇÃO: A FIGURA SE ENCONTRA NA SECRETARIA DA DIEAM  
(JÁ FORAM TIRADAS AS CÓPIAS)

estreita de sedimentos com curvas de frequência platicúrticas. Uma faixa adjacente à mencionada, pelo lado oeste, iniciando-se na entrada do canal do Porto e terminando no centro da baía, apresenta curvas muito leptocúrticas. Pelo lado leste, faceando o morro da Barra, há outra faixa com características leptocúrticas. As flutuações de energia, neste caso, ocorreram em torno da energia média do agente hidrodinâmico, fazendo com que somente partículas com diâmetros próximos ao diâmetro que se depositaria para valores médios da energia pudessem se depositar. O inverso ocorreu para a região de curvas platicúrticas.

As outras regiões da baía apresentam sedimentos com características mesocúrticas ou leptocúrticas.

Uma comparação com os resultados do IPT mostra que não houve alterações sensíveis no parâmetro curtose durante o período que separou as duas coletas de amostras.

### 3.1.5. Grau de seleção.

O grau de seleção de um sedimento representa sua tendência à homogeneidade granulométrica, resultante da ação de um agente de transporte e fornece indicações sobre os mecanismos e direções de transporte existentes na área.

O grau de seleção corresponde a uma dispersão em torno do valor médio dos diâmetros dos grãos, sendo calculado pelo desvio padrão relativo à média.

M2

Uma das expressões utilizadas em seu cálculo é:

$$\sigma_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$$

Os resultados relativos ao grau de seleção são mostrados na Figura 3.5. A maior ocorrência de sedimentos bem selecionados está localizada em uma faixa que acompanha o contorno da baía, a oeste e ao norte, e junto ao morro da Barra, no lado leste. São regiões, principalmente a primeira, em que predominam as ações hidrodinâmicas de natureza ondulatória. Há uma boa concordância entre as regiões de material bem selecionado com as regiões de fundo predominantemente arenoso.

A centro-leste, uma faixa de sedimentos pobremente selecionados penetra pela baía e se bifurca em direção aos estuários de Santos e de São Vicente.

O relatório do IPT observa a ocorrência de material bem selecionado a oeste da baía e sugere a divisão da mesma em dois setores, um a oeste e outro a leste, com diferentes padrões de circulação. Estas observações concordam com os resultados obtidos pelo CDTN.

### 3.1.6. Conclusões.

A granulometria dos sedimentos da superfície do fundo da baía de Santos na amostragem de junho de 1980 va

M

*Defer, original está no Arquivo.*

FIGURA 3.5

OBSERVAÇÃO: A FIGURA SE ENCONTRA NA SECRETARIA DA DIEAM  
(JÁ FORAM TIRADAS AS CÓPIAS)

ria predominantemente de silte até areia fina, indicando um ambiente de deposição sujeito a condições energéticas relativamente pouco intensas.

A baía mostra-se dividida em dois ambientes de deposição considerados adjacentes, em termos de mecanismos e processo de deposição. Uma faixa de areia bem selecionada, contornando as costas oeste e norte da baía, e na parte leste, junto ao Morro da Barra, apresenta características típicas de mar raso, tendo provavelmente, como agente hidrodinâmico principal, a ação das ondas. Na região centro leste da baía e entrada do canal do Porto, uma faixa contendo silte e argila, mal selecionada, apresenta características típicas de regime no qual ocorreu uma grande flutuação de energia através do espaço e do tempo.

A comparação com os resultados obtidos pelo IPT em julho/1973 mostra que o padrão geral de comportamento da baía foi mantido. As variações mais significativas nos parâmetros estatísticos ocorreram em pequenas regiões localizadas próximas à ponta de Itaipú e ao Morro da Barra.

Houve uma alteração da composição granulométrica com o desaparecimento de frações silto-argilosas nestas regiões. Isto pode ter sido consequência direta da mudança do local de despejo do material fino, dragado no estuário, que, a partir de 1975 passou a ser lançado na região em frente à Ilha da Moela, ao invés da região logo a SE da Ponta de Itaipú.

ND

### 3.2. Análise de Amostras da Superfície do Fundo da Baía de Santos com Altos Teores em Finos

#### 3.2.1. Colocação do problema.

Este item trata das análises realizadas sobre 3 amostras colhidas na superfície do fundo da baía de Santos, em uma região caracterizada pela presença simultânea, no fundo, de uma mistura de material granular e de finos (silte e argila). O item apresenta a caracterização dos sedimentos, a determinação de suas velocidades de queda sob diferentes condições do meio de decantação e o estudo das propriedades reológicas das amostras. Os resultados aqui resumidos foram apresentados no Relatório "Análise Reológica de Amostras de Material de Fundo da Baía de Santos, SP", com o número DERL.PD.-051/80. [2]

As amostras que foram colhidas têm os números 120, 130 e 134, Fig. 3.1, na malha geral montada para cobrir toda a região em estudo da baía de Santos. As suas posições aproximadas, em coordenadas UTM, são:

AMOSTRA	N	E
120	7344160	363890
130	7343220	363890
134	7342090	363900

M

As coletas foram realizadas em 4 e 5 de junho de 1980, sendo a embarcação que as realizou posicionada por um sistema de radio-localização (Motorola).

### 3.2.2. Caracterização do sedimento.

A caracterização granulométrica do sedimento foi feita por:

- peneiramento mecânico, para a fração superior a  $40\mu\text{m}$ .
- decantação em meio aquoso para a fração fina, inferior a  $40\mu\text{m}$ , a partir de uma suspensão inicialmente homogênea, à temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ .

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela abaixo.

AMOSTRA	% < $40\mu\text{m}$ (em peso de sólidos)	Mediana am. total (mm)	Mediana Fração > $40\mu\text{m}$ (mm)	Mediana Fração < $40\mu\text{m}$ (mm)
120	49,8	0,047	0,090	0,010
130	35,5	0,090	0,092	0,012
134	30,9	0,090	0,092	0,016

Dos resultados obtidos, foi possível concluir

M



- a) o teor de fração fina em qualquer das 3 amostras é suficientemente alto para que elas apresentem propriedades de coesão
- b) o material arenoso, classificado como areia fina, apresenta distribuições granulométricas muito semelhantes
- c) as curvas granulométricas relativas à fração fina são também bastante semelhantes.
- d) O material de fundo, na região estudada, parece ser constituído de misturas de material com mesma granulometria, com teores diferentes de areia e de finos.

A caracterização mineralógica das amostras foi feita por difratometria de raios X. O material predominante nas amostras é o quartzo, ocorrendo também feldspato, calcita, muscovita, caolinita e hornblenda.

### 3.2.3. Estudo das velocidades de queda.

A dinâmica de sedimentação de sedimentos coesivos é bastante mais complexa do que a referente a sedimentos granulares, já que a presença de partículas finas favorece a adsorção ou a absorção de diversos compostos químicos à superfície das partículas. Daí resulta a formação de um complexo solo-água cujas propriedades dependem da natureza do sedimento, das características do meio líquido, das concentrações do sedimento e de parâmetros tais como o pH, a temperatura, etc. Os sedimentos finos,

RZ

devido à presença de cargas elétricas à superfície das partículas, estão sujeitos ao fenômeno da floculação, através do qual várias partículas se unem para formar uma outra maior, o floco, que tem velocidade de decantação própria. Este fenômeno ocorre em meios nas quais as concentrações em sal são relativamente altas. A baía de Santos é um meio inteiramente floculante, com salinidades da ordem de 30g/l.

Para uma concentração de sólidos de 10g/l, em meio floculante, observou-se que, após um período inicial de decantação rápida, a velocidade de queda das partículas tende a decrescer. Após 24 horas, ainda restavam mais de 20% do material em suspensão. Verificou-se também, comparando as velocidades de queda correspondentes a 50% do material, para meio floculante e não floculante, que a vasca de Santos é pouco sensível ao fenômeno da floculação.

Variando-se as concentrações das amostras (Fig. 3.6), observou-se que as velocidades de queda crescem rapidamente com o aumento da concentração, até valores da ordem de 10g/l. A partir daí, as velocidades de queda em meio floculante voltam a decrescer. O fenômeno é habitual para as vasas, sendo explicado pela interferência entre os flocos durante a decantação, já que, em concentrações mais altas, o número de flocos formados é muito grande.

#### 3.2.4. Determinação das características reológicas das amostras.

Estudos desenvolvidos no Laboratoire Central

M2

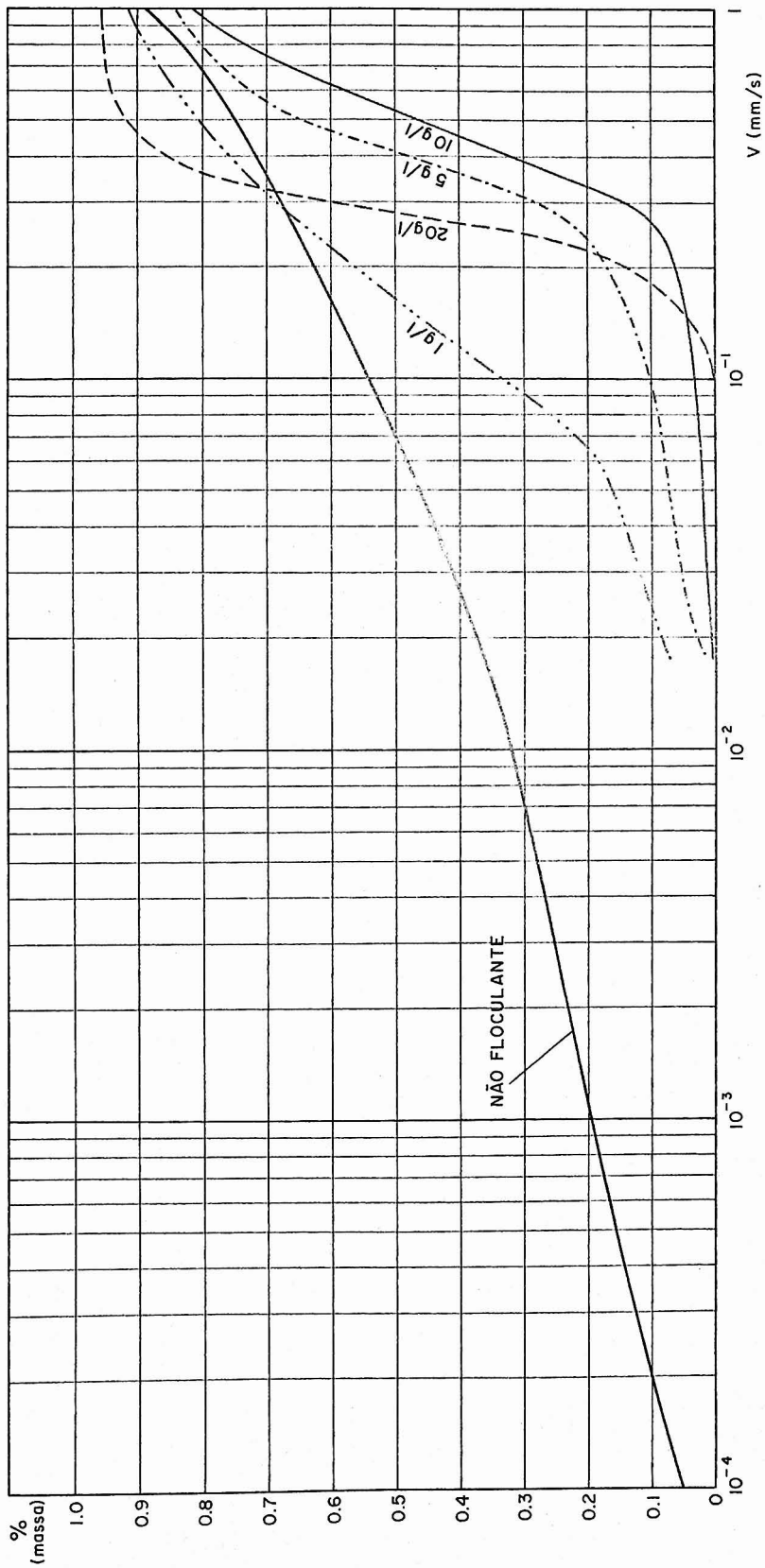


FIG. 3.6 - CURVAS DE VELOCIDADE DE QUEDA EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO, EM MEIO FLOCULANTE

PAW

d'Hydraulique de France demonstraram que a viscosidade e a rigidez inicial de uma vasa são parâmetros fundamentais para a caracterização do comportamento dela sob ações hidrodinâmicas. A viscosidade é uma medida do atrito interno de um fluido resultante do deslize de uma camada de fluido sobre outra. Se dois planos paralelos de um fluido, de mesma area A, distantes de  $\underline{dx}$ , deslocam-se na mesma direção com velocidades diferentes, a força F necessária para manter este deslocamento, no caso de um fluido newtoniano, é dada por

$$\frac{F}{A} = \eta \frac{dv}{dx}$$

$\eta$  é um parâmetro denominado viscosidade.

O gradiente de velocidades  $\frac{dv}{dx} = s$  é uma medida da velocidade à qual as diferentes camadas se deslocam umas em relação às outras e representa o cisalhamento ao qual o fluido é submetido.

Fazendo  $\frac{F}{A} = F'$ , obtém-se

$$\frac{F'}{s} = \eta$$

Para um fluido newtoniano, esta relação é constante. A maior parte das vasas não se comporta como um fluido newtoniano, mas como um fluido plástico. Neste tipo de fluidos, é necessária a aplicação de uma certa for

ça antes que o deslocamento das camadas do mesmo comece a ocorrer. Esta força é chamada "yield value", "rigidité i nitiale", rigidez inicial e é representada por  $\tau_Y$

Os estudos do LCHF já citados determinaram que a rigidez inicial  $\tau_Y$  e a viscosidade  $\eta$  variam com a concentração  $T_S$  de um dado sedimento segundo relações da forma:

$$\tau_Y = k_1 T_S^{n_1}$$

$$\eta = k_2 T_S^{n_2}$$

Os parâmetros  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $n_1$  e  $n_2$  variam com a natureza da vasa estudada.

As determinações da viscosidade e da rigidez inicial foram feitas utilizando-se um viscosímetro de corpo girante Brookfield.

Os primeiros estudos foram feitos sobre as amostras originais coletadas na baía em comparação com amostras de vasa pura, retiradas das originais por peneiramento, determinando-se a variação de  $\tau_Y$  em função da concentração.

Os resultados são apresentados nas Figuras 3.7, 3.8 e 3.9 . Os valores de  $k$  obtidos variaram entre  $2,05 \times 10^{-10}$  e  $2,35 \times 10^{-11}$ , sendo tanto maiores quanto menores os teores em areia. Os valores de  $n$  obtidos foram praticamente constantes, da ordem de 4,59; isto indica que as inclinações das retas apresentadas nas figuras são a

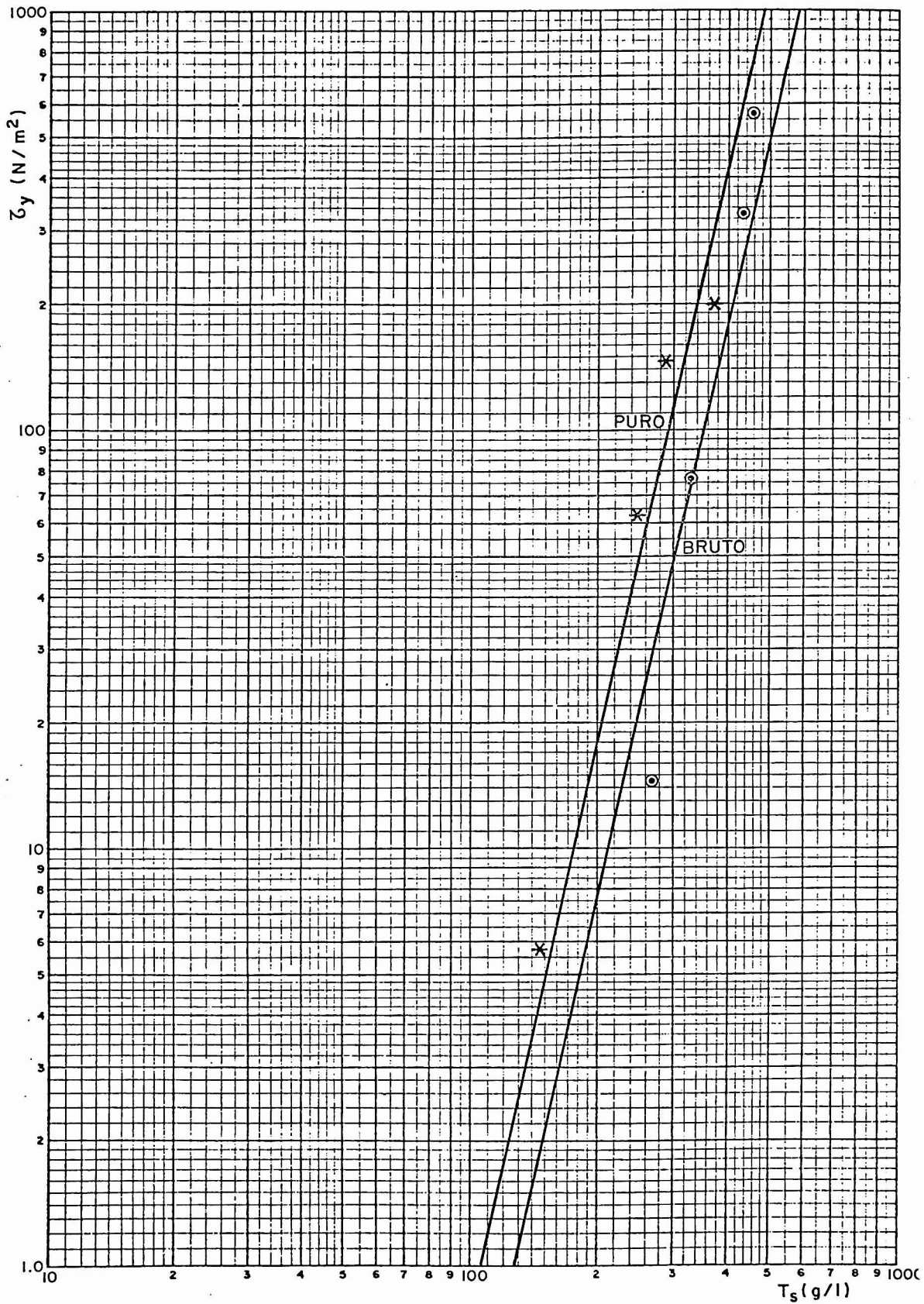


FIG. 3.7 - RELAÇÃO ENTRE O TORQUE ( $\tau_y$ ) E A CONCENTRAÇÃO ( $T_s$ ) PARA O SEDIMENTO PURO E BRUTO - AMOSTRA 120

12

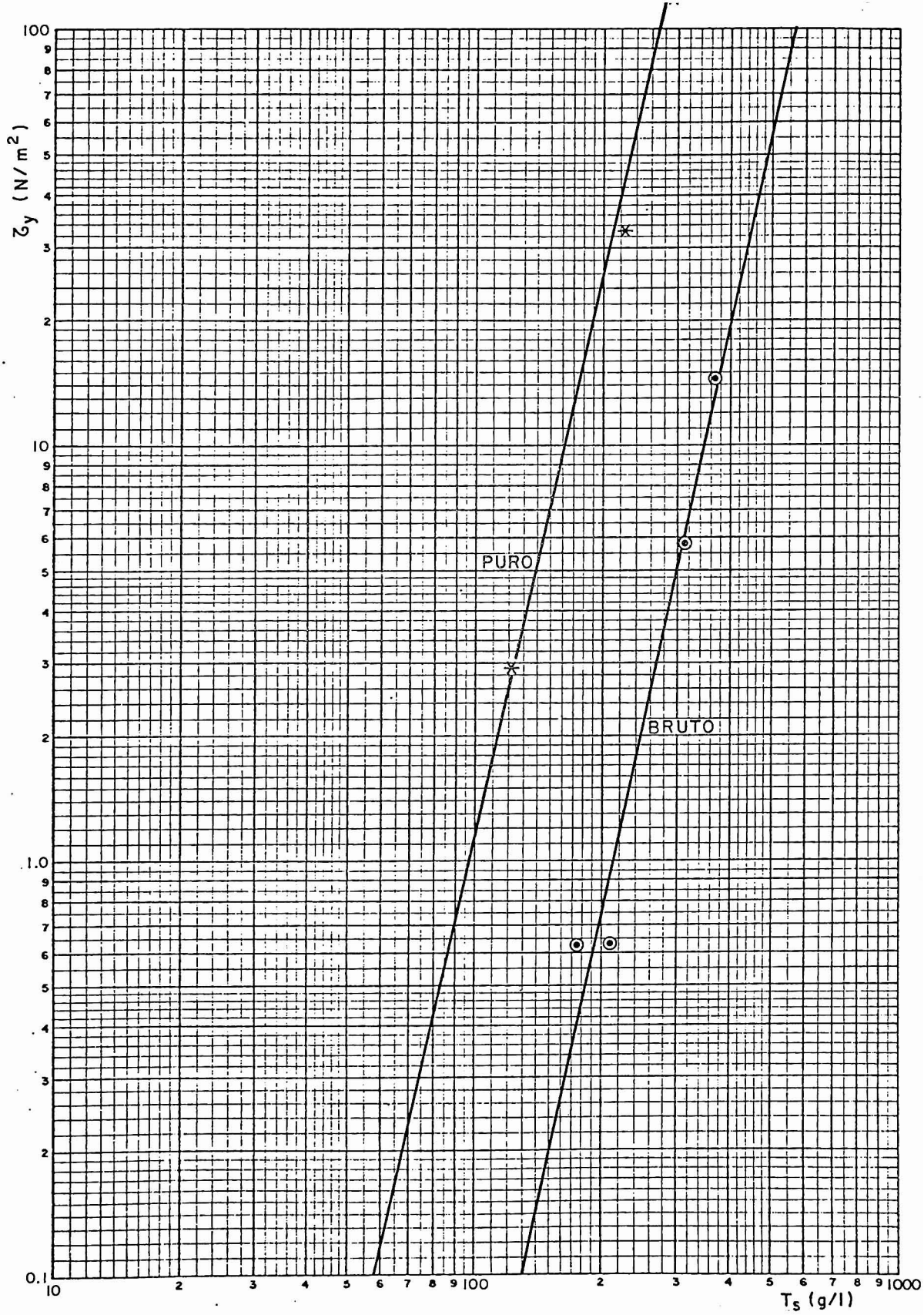


FIG. 3.8 - RELAÇÃO ENTRE O TORQUE ( $\zeta_y$ ) E A CONCENTRAÇÃO ( $T_s$ ) PARA O SEDIMENTO PURO E BRUTO - AMOSTRA 130

M

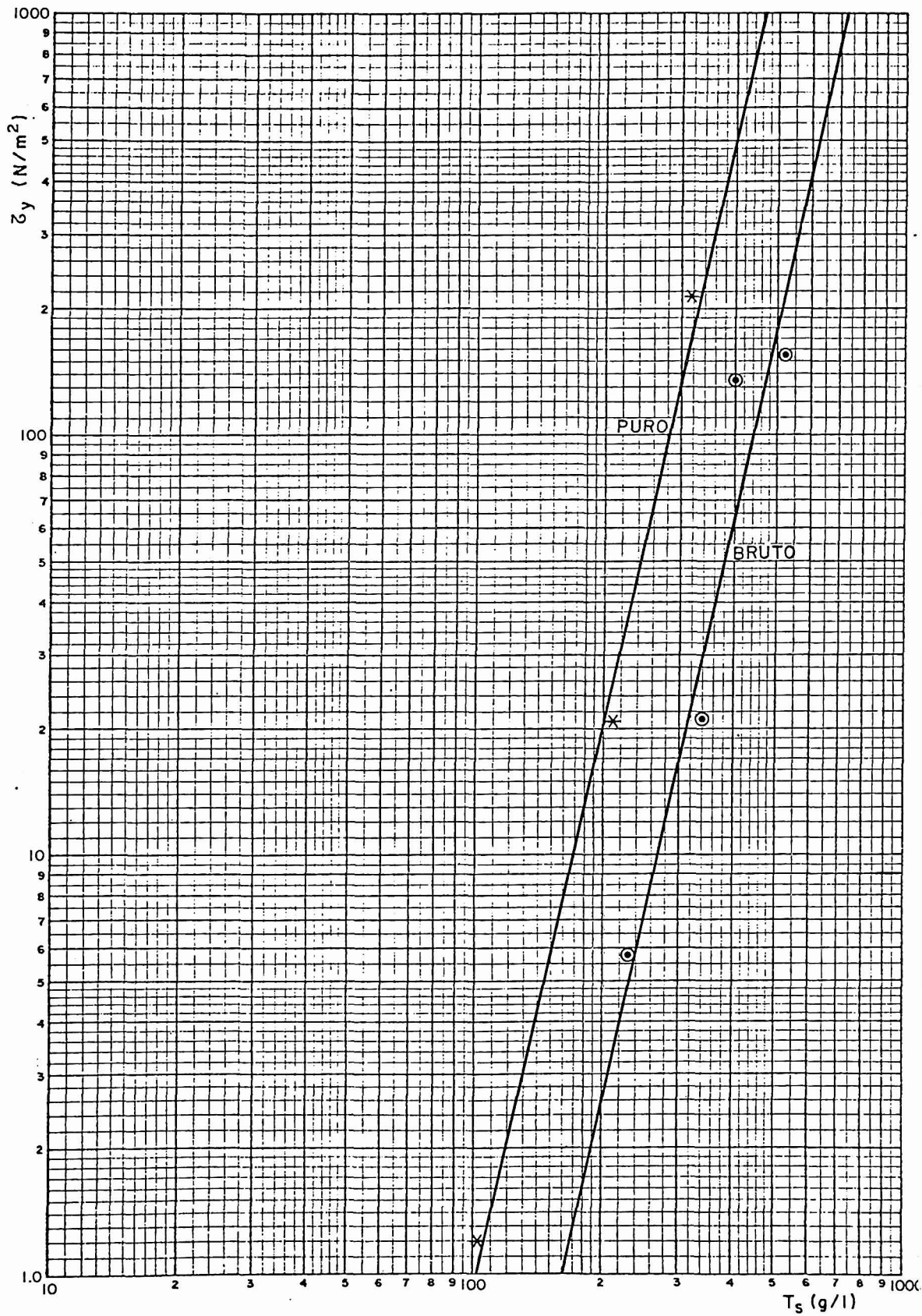


FIG. 3.9 - RELAÇÃO ENTRE O TORQUE ( $\zeta_y$ ) E A CONCENTRAÇÃO ( $T_s$ ) PARA O SEDIMENTO PURO E BRUTO - AMOSTRA 134

*M2*



proximadamente as mesmas.

Foi também estudada a influência do teor em a reia das amostras sobre o valor da rigidez inicial. Foi preparada uma amostra de vasa pura à qual se adicionava a reia em porcentagens variáveis. A porcentagem  $T^1$  de a reia é definida em relação à massa de finos presente na a mostra: assim, 10% de areia correspondem a uma quantida de de areia, em peso, igual a 10% da massa total da vasa contida naquela amostra. Os resultados são apresentados na Figura 3.10, observando-se que a rigidez inicial de cresce com o crescimento do teor em areia.

As inclinações das retas apresentadas no gráfico são praticamente as mesmas, correspondendo a um valor de 4,59. Isso sugere que, ao variar o teor de areia , variará também o valor de  $k$  na expressão

$$\tau_Y = k T_S^n$$

Procurou-se determinar esta relação entre  $k$  e  $T^1$  obtendo-se

$$k = e^{(1,83 - 0,024T^1)} 10^{-10}$$

É possível, pois, para o caso de Santos, obter-se uma expressão geral que liga a rigidez inicial  $\tau_Y$ , o teor de areia  $T^1$  e a concentração da vasa  $T_S$

$$\tau_Y = e^{(1.83 - 0.024T^1)} T_S^{4.59} \cdot 10^{-10}$$

WZ

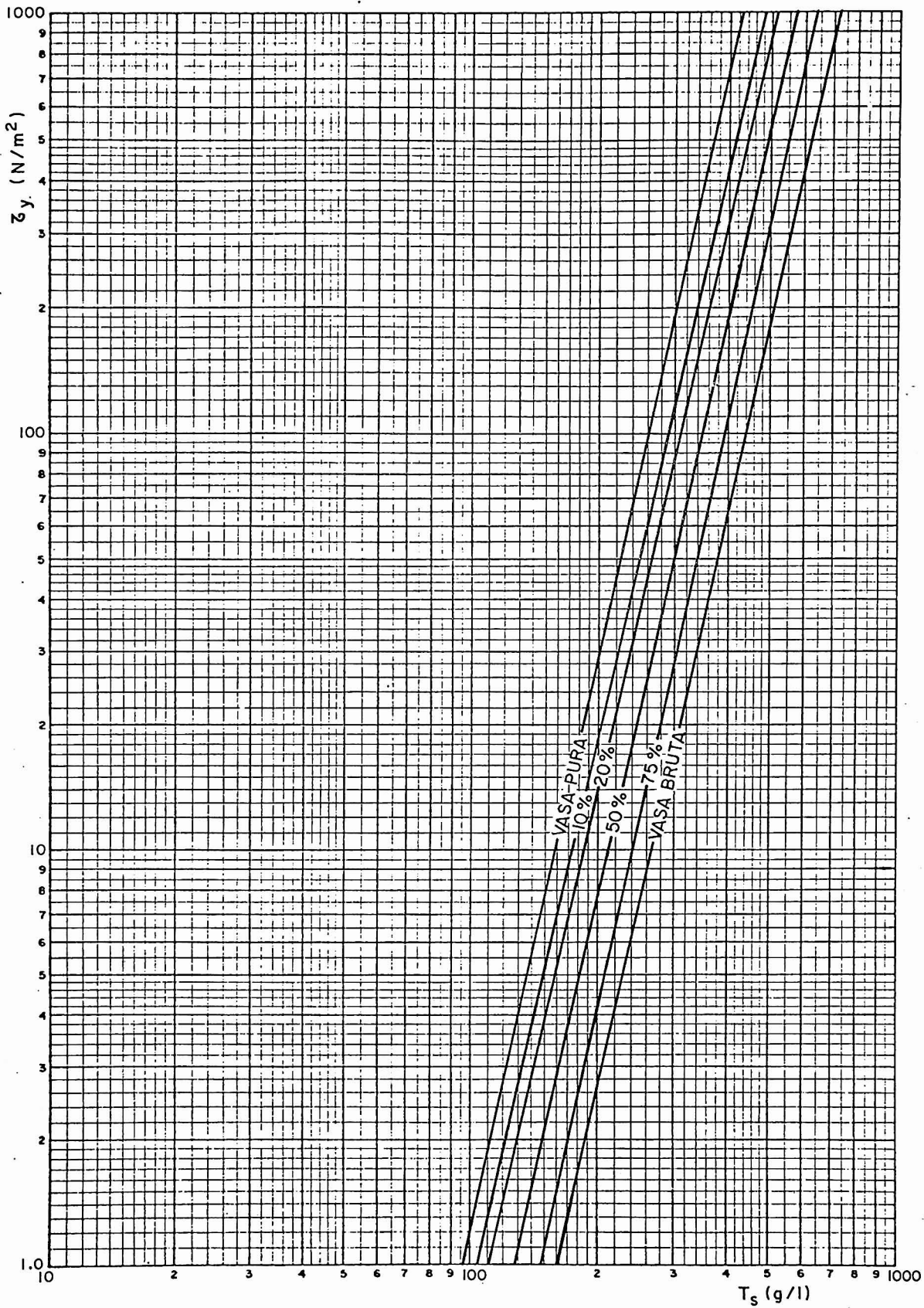


FIG. 3.10 - INFLUÊNCIA DOS TEORES DE AREIA SOBRE A RIGIDEZ INICIAL

102

Esta expressão é útil na generalização dos resultados obtidos, podendo ser utilizada até o valor  $\tau^1 = 150\%$  e permite calcular valores de  $\tau_y$  para amostras que não as analisadas. Deve ser lembrado que são os valores de  $\tau_y$  que definem o comportamento de um sedimento coesivo sujeito a ações hidrodinâmicas.

### 3.2.5. Comportamento do sedimento sob a ação de correntes.

A velocidade crítica de erosão de uma vasa sob a ação de correntes depende de suas propriedades físico-químicas e, em particular, de sua coesão. Esta pode ser caracterizada pelo valor da rigidez inicial  $\tau_y$ . Para uma dada vasa,  $\tau_y$  depende do seu estado de consolidação, o qual pode ser caracterizado pela concentração da vasa, tal como foi expresso em  $\tau_y = kT_s^n$

A relação entre a velocidade crítica de cisalhamento,  $u_{*crit}$  e  $\tau_y$  foi determinada experimentalmente pelo LCHF e tem a forma

$$u_{*crit} = 0,023 \tau_y^{0,25}$$

sendo  $\tau_y$  dado em  $N/m^2$  e  $u_*$  em  $m/s$ .

Para a maior parte das vasas naturais, são necessários valores de  $u_{*crit}$  da ordem de 2 a 3  $cm/s$  para iniciar o processo de erosão. A lei de distribuição de  $ve$

MZ

locidades em função da profundidade de Von Karman, para fundos lisos ou pouco rugosos, é dada por

$$\frac{U}{u_*} = 5,75 \log 800 y u_*$$

onde U é a velocidade de corrente observada à distância do fundo y. Aceitando-se como válida esta expressão, uma velocidade de 2 a 3 cm/s no fundo corresponde a valores de U, a 1m do fundo, da ordem de 50 a 60cm/s. Os dados coletados sobre correntes na baía de Santos indicam que, para profundidades totais de 8m, as velocidades máximas a 1m do fundo são da ordem de 40cm/s, o que corresponde a um valor de  $u_{*crit} = 1,4\text{cm/s}$ . Portanto, a ação isolada das correntes poderá colocar em suspensão apenas os sedimentos em concentrações tais que  $u_{*crit} = 1,4\text{cm/s}$ . Isto corresponde, para as 3 amostras analisadas, a concentrações entre 80g/l e 150g/l. Estas concentrações ocorrem em materiais recentemente depositados; os materiais já consolidados no fundo apresentam, em geral, concentrações entre 300g/l e 500g/l.

A conclusão final é que a pura ação das correntes não será capaz de movimentar, na baía de Santos, o material já consolidado. Elas poderão atuar, entretanto, sobre o material recentemente depositado, recolocando-o em suspensão, ou transportar o material colocado em suspensão por ação de ondas. Este fenômeno, provavelmente, ocorreria quando o rejeito do material dragado da região portuária de Santos era ainda depositado nas proximidades da

h2

ponta de Itaipu.

### 3.2.6. Comportamento do sedimento sob a ação de ondas.

O estudo da ação de ondas sobre os materiais coesivos ainda não apresentou um desenvolvimento tão completo como o referente à ação das correntes. A causa principal deste fato, além da maior complexidade do fenômeno, é a menor disponibilidade de dados experimentais. Os valores apresentados neste sub-item são, portanto, ordens de grandeza. É possível justificar, do ponto de vista hidrodinâmico, que as velocidades críticas para a reentrada em suspensão de uma vasa por ação de ondas sejam menores que as resultantes do efeito de correntes. A relação sugerida pelo LCHF tem a forma

$$u_{*crit} = 0,009 \tau_Y^{1/3}$$

Foram calculados os valores de  $u_{*crit}$  para 3 vasas, sendo que os maiores referem-se à amostra 120, que contém maior porcentagem de finos. Para ela, os valores de  $u_{*crit}$  são da ordem de 0,018m/s para uma concentração de 200g/l; de 0,032m/s, para uma concentração de 300g/l e 0,071m/s, para uma concentração de 500g/l.

O valor de  $u_*$  por ação de ondas foi calculado pelas expressões

$$U_0 = \frac{\Pi H}{T \operatorname{senh} 2\Pi \frac{d}{v}}$$

$$e u_*^4 = \frac{8\nu U_0^2}{\Pi T}, \text{ onde}$$

- H, L e T são respectivamente a altura da onda, o comprimento de onda e o período da onda
- d é a profundidade
- $\nu$  é a viscosidade cinemática do fluido

As conclusões obtidas indicam que o material de concentração até 200g/l poderá ser recolocado em suspensão por ação de ondas, às profundidades em que foram coletadas as amostras, da ordem de 10m. Entretanto, o material com concentrações de 500g/l não será recolocado em suspensão mesmo sob a ação de ondas com 4m de altura e 7s de período. Isto sugere que o processo de assoreamento da baía de Santos por materiais finos seja feito a partir de depósitos com pouca consolidação, provenientes de material de deposição recente.

Estas informações são confirmadas pelo transporte que ocorria com o material dragado outrora depositado na região próxima à ponta de Itaipu. Como se tratava de material recentemente depositado, em concentrações relativa

mente baixas, o efeito combinado de ondas e correntes era capaz de transportá-lo novamente para o interior da baía de Santos.

#### 4. A MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS DE FUNDO NA BAIJA DE SANTOS

Neste capítulo estão resumidos os resultados principais obtidos nos estudos da movimentação de sedimentos de fundo com o emprego de traçadores radioativos nos regimes de inverno e verão, referências /<sup>4</sup>/ e /<sup>5</sup>/, respectivamente. A metodologia de execução e análise dos trabalhos pode ser vista em detalhes nas referências citadas, bem como os resultados obtidos em cada campanha.

##### 4.1 Campanhas de Inverno

As campanhas de inverno se iniciaram pelo levantamento do ruído radioativo do fundo ("background") das regiões de injeção, em 01.08.80. Posteriormente foram efetuadas as injeções em  $PI_1$ ,  $PI_2$  e  $PI_3$  (inverno), Figura 2.1, cujas coordenadas são mostradas na Tabela 1 (2º capítulo). Após a injeção em cada ponto, foi efetuada uma detecção de "mise-en-place" cujo objetivo foi ver o espalhamento inicial do material injetado. A Tabela 2 apresenta o cronograma dos trabalhos efetuados nas duas campanhas de inverno.

Relativamente à composição granulométrica dos fundos da região das injeções pode-se afirmar, a partir das amostras de fundo colhidas em junho de 1980 /<sup>1</sup>/, que:

- a. O ponto de injeção  $PI_1$  situa-se em região cujo o fundo é composto quase que exclusivamente de areia fina, com diâmetro médio em tor



	TAREFA	DATA	OBSERVAÇÕES
1a. CAMPANHA	Levantamento de atividade natural nas regiões de PI <sub>1</sub> e PI <sub>2</sub>	01/08/80	Atividade idêntica nas 2 regiões: 6-7 contagens por segundo.
	Injeção em PI <sub>1</sub>	02/08/80	Hora: 14:23; lançamento efetuado a 3,0m do fundo.
	Deteção de "mise-en-place" em PI <sub>1</sub>	02/08/80	
	1a. Deteção em PI <sub>1</sub>	03/08/80	
	Levantamento da atividade natural na região do PI <sub>3</sub>	05/08/80	Semelhante às regiões de PI <sub>1</sub> e PI <sub>2</sub> .
	Injeção em PI <sub>3</sub>	05/08/80	Hora: 14:45; injeção a 1,0m do fundo.
	Deteção de "mise-en-place" em PI <sub>3</sub>	05/08/80	
	1a. Deteção em PI <sub>3</sub>	06/08/80	
	2a. Deteção em PI <sub>1</sub>	06/08/80	
	Injeção em PI <sub>2</sub>	07/08/80	Hora: 13:42; injeção a cerca de 0,50m do fundo.
	Deteção de "mise-en-place" em PI <sub>2</sub>	07/08/80	
	1a. Deteção em PI <sub>2</sub>	08/08/80	
	2a. Deteção em PI <sub>3</sub>	11/08/80	manhã
	3a. Deteção em PI <sub>1</sub>	11/08/80	tarde
2a. Deteção em PI <sub>2</sub>	12/08/80		
2a. CAMPANHA	1a. Deteção em PI <sub>1</sub>	17/09/80	
	1a. Deteção em PI <sub>2</sub>	18/09/80	
	1a. Deteção em PI <sub>3</sub>	19/09/80	
	2a. Deteção em PI <sub>1</sub>	22/09/80	
	2a. Deteção em PI <sub>2</sub>	23/09/80	

TABELA 2 - TRABALHOS DE CAMPO EM SANTOS. SEDIMENTOLOGIA DE FUNDO.

no de 0,10mm.

- b. Na região de  $PI_2$  existe areia e vasa, em proporção aproximada de 70% para 30% respectivamente. A fração arenosa é também fina, com diâmetro médio em torno de 0,10mm.
- c. O ponto de injeção  $PI_3$  está situado numa região de fundo arenoso, com diâmetro médio de 0,10mm.

Foi escolhido, para simular a fração arenosa dos locais de injeção, um vidro moído de mesma massa específica que a areia, contendo o elemento Irídio-191 em sua composição. Este elemento, ao ser ativado em um reator nuclear, transforma-se pela captura de um neutron, no isótopo radioativo Irídio-192 (Ir-192), com meia vida de 74 dias. A marcação é proporcional à massa de vidro, pelo fato do Ir-191 já estar incorporado a ele, em sua fabricação. Assim, a contagem radioativa detectada é proporcional à massa do sedimento e cálculos de vazões sólidas e de velocidades de transporte podem ser efetuados, a partir das detecções do material executadas nas diversas campanhas distanciadas no tempo.

As considerações sobre a natureza e a granulometria dos sedimentos dos locais de injeção levaram à composição das curvas granulométricas do vidro moído a ser injetado em cada ponto (Fig. 2, 3 e 4 - Ref.4). Reproduziu-se assim, praticamente, a mesma curva granulométrica do material natural do fundo. É digna de nota a homogeneidade da fração arenosa do fundo, nestas três regiões distintas da baía.

12

A estimativa do espalhamento esperado levou ao cálculo de 500 gramas como massa de vidro ideal a injetar em cada um dos pontos. Cada amostra foi ativada para fornecer cerca de 300 milicuries de Ir-192.

Na Figura 2.1, onde estão assinalados os pontos de injeção, apresenta-se também os contornos do espalhamento final da nuvem radioativa de cada lançamento. Observa-se que a direção geral predominante de caminhamento do material, nos três locais de injeção, foi para o N-NNW ou seja, no regime de inverno o material do fundo se desloca em direção ao interior da baía e o sentido de deslocamento das nuvens concorda razoavelmente bem com a direção de incidência das ondas no regime de inverno. Estas, na região de fundeio do ondógrafo, independentemente de períodos e alturas, entre 08.08.80 e 27.09.80, tiveram a direção de incidência compreendida entre  $119^{\circ}$  e  $209^{\circ}$ , com a direção mais frequente em torno de SE.

A seguir são feitos comentários sobre o comportamento do material de fundo em cada um dos pontos de injeção.

#### 4.1.1 $PI_1$ Inverno

O material radioativo foi lançado de cerca de 3,0m do fundo, às 14:23 horas do dia 02.08.80. Na ocasião, estava-se em início de enchente, de acordo com a previsão da tábua de marés da DHN para o Porto de Santos. O marégrafo da Ilha das Palmas estava fora de operação, na ocasião. O vento, registrado na Ilha da Moela, às 14:00 ho

ras, tinha intensidade média 1,4m/s e provinha da direção verdadeira  $150^{\circ}$ . A observação visual de ondas efetuadas a bordo da embarcação, na hora do lançamento, mostrava ondas com características típicas de ondulação bem regular, com altura igual ou inferior a 0,5m e períodos compreendidos entre 6 e 8 segundos. Elas provinham da direção S-SSE.

A detecção de "mise-en-place" permitiu estabelecer um eixo de transporte na direção N-NNW. Na primeira detecção, realizada no dia seguinte ao da injeção, constatou-se que a maior parte do material achava-se concentrada nas proximidades do local de lançamento, estando os pontos de maior atividade a um máximo de 30 metros do  $PI_1$ , na direção NNW. Foi detectada atividade, na primeira detecção, até a 440m do  $PI_1$ , na direção mencionada, tendo ainda uma pequena parte se deslocado para W-NW. Este espalhamento inicial parece ter sido influenciado pela ação da corrente de transporte de massa, de natureza ondulatória, na camada próxima ao fundo, atuando sobre o sedimento em seu processo de decantação, uma vez que ele foi lançado de uma altura de 3m sobre o fundo. Observe-se que a direção de incidência das ondas (S-SSE) no local, no momento do lançamento, coincide com o espalhamento inicial do traçador que foi para NNW.

O registro do correntôgrafo instalado a 1m do fundo em  $PL_1$  Inverno - Figura 2.1, próximo do  $PI_1$ , acusava às 14:00 horas,  $v = 0,16$  m/s e direção  $N_v = 244^{\circ}$  e, às 14:50 horas,  $v = 0,18$  m/s e direção  $N_v = 314^{\circ}$ . Assim, a corrente medida durante o lançamento tinha direção compreendida entre W e NW. O espalhamento inicial se conforma então às ações hidrodinâmicas atuantes por ocasião do lan

çamento. O acompanhamento do material no período de inverno se fez através de cinco detecções indicadas na Tabela 2, sendo a última efetuada em 22.09.80. Na Figura 2.1 aparece, em traço cheio, o contorno da curva de isocontagem mais externa da nuvem de  $PI_1$ , correspondente à última detecção de inverno. Em traço pontilhado, aparece o espalhamento do material injetado em agosto de 1980 (inverno) e detectado em fevereiro e abril de 1981, sobre o qual se falará no item 4.2.

Durante todo o período de inverno em que houve detecções (03.08.80 a 22.09.80), o material caminhou nitidamente na direção NNW, embora, entre a primeira e a segunda campanha de inverno (Tabela 2), tenha sido constatada uma expansão na largura da nuvem, com um visível espalhamento de grãos radioativos na direção W, o que indica uma componente nessa direção agindo sobre a nuvem /<sup>4</sup>/. Esta componente poderia ser o resultado de uma combinação do efeito das ondas junto ao fundo, com o das correntes de maré atuando nesta região da baía, logo a oeste da entrada do estuário.

Entre as duas campanhas de inverno ocorreram várias frentes frias na região e o estado de agitação do mar na baía de Santos foi muito intenso.

Os resultados quantitativos da movimentação de sedimentos de fundo na região do  $PI_1$  resumidos da referência /<sup>4</sup>/ são mostrados a seguir:

- a. O deslocamento do centro de gravidade das nuvens entre as detecções de 3.8.80 e 22.9.80 foi de 64m na direção NNW, resultando em

uma velocidade média 1,30m/dia.

- b. No período em questão, a vazão mássica de arraste está situada entre 0,15t/m/dia e 0,40 t/m/dia.

Pode-se adotar para fins de estudos futuros de engenharia, na região de  $PI_1$ , no regime de inverno, uma vazão mássica média de arraste da ordem de 0,27 t/m/dia ou de  $0,17 \text{ m}^3/\text{m/dia}$ , considerando a massa específica da areia submersa  $\rho = 1,65\text{t/m}^3$

#### 4.1.2 $PI_2$ (Inverno)

No ponto de injeção  $PI_2$  foi injetado vidro moído marcado com Ir-192, sendo a altura da injeção de 0,5m a partir do fundo. Esta injeção mais próxima ao fundo, relativamente à que havia sido feita em  $PI_1$ , foi para evitar que um grande espalhamento inicial de material, tal como o que ocorrera naquele ponto, viesse a dificultar o trabalho de deteção na região de  $PI_2$ , local de fundeio de grande número de navios que aguardam vaga no cais do porto. O lançamento foi efetuado às 13:42 horas de 07.8.80, praticamente em estofa de preamar.

A deteção de "mise-en-place", realizada, logo após a injeção, mostrou um certo espalhamento no sentido SSW. A baía estava extremamente calma, praticamente sem ondas. Atribui-se este espalhamento inicial às correntes de maré junto ao fundo, no início da vazante.

M2

Foram quatro as detecções efetuadas em  $PI_2$  na campanha de inverno (Tabela 2): dias 8.08, 12.08, 18.09 e 23.09.80. A última detecção (23.09.80) não foi considerada na análise, devido a não ter sido julgada de boa qualidade.

A primeira detecção (8.08) veio a confirmar o espalhamento inicial da nuvem para SSW, mostrando o material fortemente concentrado em torno de  $PI_2$ , entre 0 e 15 metros dele, mas com pequena atividade a até 250m a SSW do ponto de injeção. Na detecção seguinte, em 12.08.80, observou-se que o material radioativo continuava concentrado em torno do  $PI_2$ . Entretanto, não se encontrou atividade tão a SSW desse ponto, encontrando-se mais atividade a NNW do  $PI_2$ , um sinal claro da tendência de caminamento do material nessa região, para o interior da baía. Aliás, este espalhamento inicial fortuito para SSW na ocasião da injeção, e a posterior constatação do desaparecimento dessa atividade ao sul do ponto, com o caminamento do material marcado para NNW apenas 5 dias após a injeção, é uma constatação contundente do movimento preferencial dos sedimentos de fundo nessa região, para o interior da baía, no regime de inverno. Esta conclusão, como será visto no item 4.2, pode ser estendida para o comportamento do material de fundo de mesma região, no regime de verão. Isto foi constatado através de novo lançamento e acompanhamento de material marcado em regime de verão ( $PI_2$  (verão)-Fig.2.1) e através de monitoração, em 12.2.81, do resto do sedimento marcado injetado em  $PI_2$  (inverno) em 7.8.80, que mostra a existência de material radioativo somente a NNW do  $PI_2$  (inverno).

Voltando à campanha de inverno, a última dete

M

ção analisada (1<sup>a</sup> detecção da 2<sup>a</sup> campanha - Tabela 2) foi e fetuada em 18.9.80, cerca de 41 dias após a 1<sup>a</sup> detecção. A análise quantitativa do deslocamento do material entre 8.8.80 e 18.9.80 /<sup>4</sup>/ mostra uma velocidade média de deslocamento do centro de gravidade da nuvem de 0,71m/dia e uma vazão mássica de 0,35t/m/dia ou 0,21m<sup>3</sup>/m/dia. Estes valores são comparáveis, em ordem de grandeza, aos obtidos em PI<sub>1</sub> (inverno).

Com este comportamento observado do material injetado em PI<sub>2</sub> (inverno), pode-se afirmar que:

- a. O deslocamento de material para NNW (azimute do eixo de transporte igual a 335º - Figura 2.1) tem como causa principal a ação de ondas (que foi intensa) proveniente do quadrante sul, no regime de inverno.
- b. O sentido observado de deslocamento do material de fundo, na região entre o canal de acesso e o costão do Morro da Barra, faz com que o material que aí transita possa ser fator de assoreamento ao canal de acesso ao porto.

#### 4.1.3 PI<sub>3</sub> (Inverno)

O vidro moído na granulometria do material do fundo (Fig.2 - Ref.4) e marcada com Ir-192 foi lançado no dia 05.8.80 às 14:45 horas, no PI<sub>3</sub>(Inverno) - Fig. 2.1.



No instante da injeção o estágio de maré era de vazante. O correntôgrafo operando em  $PI_2$  Inverno - Figura 2.1 - a meia profundidade, registrou no dia 05.08.80 às 14:30 horas:  $v = 0,12\text{m/s}$  e direção  $219^\circ N_V$  e, às 15:00 horas:  $I = 0,10\text{m/s}$  com direção  $214^\circ N_V$  indicando, portanto, nessa profundidade, um fluxo paralelo ao costão rochoso de Itaipu, em direção à entrada da baía. Assim, o fluxo da corrente a 1,0m acima do fundo, baseando-se na circulação hidráulica na baía de Santos em fase de vazante, apresentado na referência /7/ Figura 6.17, também deveria ser dirigido para SW.

Como o material fora lançado em suspensão a 1,0m acima do fundo, em seu processo de decantação sofreu um espalhamento inicial para SSW, de acordo, portanto, com as ações hidrodinâmicas próximas do fundo. Na ocasião do lançamento, o estado de agitação do mar era mínimo e a ausência de ondas deve ter feito predominar a ação das correntes de vazante junto ao fundo. Assim, na detecção de "mise-en-place", realizada cerca de 1:00 hora depois da injeção, foi detectada atividade no fundo, embora pequena, até a 300m a SSW do  $PI_2$  Inverno. A maior parte da atividade ficou concentrada junto ao ponto de injeção.

A primeira detecção do  $PI_3$  Inverno foi realizada no dia seguinte, 06.08.80. Já não se encontrou mais atividade tão distante do  $PI_3$ , para SSW, como na véspera. Ainda assim, ficou caracterizado um pequeno espalhamento para SSW (Fig. 14 - Referência 4), acompanhando o sentido da corrente de vazante, existente no momento da injeção. O material estava ainda bastante concentrado no ponto de injeção. Chegou-se ao mesmo resultado na 2.<sup>a</sup> detecção, realizada cinco dias após a primeira, em 11.08.80. A distância

que separava o centro de gravidade dessa nuvem do C.G. da nuvem da detecção anterior era de apenas 3,0m. Isto pode ser atribuído a aproximações durante o processamento de da dos e está dentro da margem de variação de resultados ine rente ao processo.

Em 19.9.80, 44 dias após a segunda detecção, foi realizada mais uma detecção em  $PI_3$  (inverno). A configuração do material radioativo no fundo, nessa oportunidade, e ra bastante diferente da anterior. A atividade a SSW do ponto de injeção estava presente somente até a 18,0m do mesmo. Ainda havia grande concentração de material radio ativo próximo ao  $PI_3$ , mas em quantidade bem inferior à da detecção de 11.8.80. Grande parte do material havia se des locado para NNE e para E (Fig. 16 - referência 4 e Fig.2.1 desse relatório).

Atividade foi detetada a 210m a NNE e a cerca de 100m a E do  $PI_3$ . O centro de gravidade da nuvem radio ativa da detecção de 19.9.80, estava situado a 24,0m a NNE do centro de gravidade da detecção de 6.8.80.

Cálculos da vazão sólida de arraste <sup>4</sup>/ indica ram uma taxa média de 0,20t/m/dia ou 0,12m<sup>3</sup>/m/dia entre o dia 6.8.80 e 19.9.80. A velocidade média de deslocamento do material de fundo foi de 0,55m/dia.

Básicamente a movimentação observada em agosto e setembro de 80 mostrou um deslocamento predominante do material para NNE com um espalhamento sistemático da nuvem para E. Então, após sofrer um espalhamento inicial, ainda em suspensão, para SSW, devido ao fluxo da corrente de va

zante aliado à ausência de ondas no momento da injeção, uma vez depositado no fundo, o material passa a sofrer a influência posterior da ação das ondas, bastante severa no período entre as deteções de 6.08 e 19.9.80, e provenientes, todo o tempo, do quadrante sul. O espalhamento secundário observado para E, pode ser creditado à ação direta das ondas de SSW que ocorreram nesse período, sobretudo em ocasões de tempestade, e também à reflexão das ondas de S-SSE dessa mesma época no costão rochoso de Itaipú.

#### 4.2 Campanhas de Verão

O início das campanhas de verão se deu em 7.2.81 pelo levantamento do ruído de fundo na região de lançamento do  $PI_1$  (inverno). Foram realizadas, ao todo, tres campanhas de deteções, as quais se estenderam até 20.6.81. A terceira campanha (junho/81) foi acertada entre o INPH e o CDTN através de aditivo ao contrato inicial e teve por objetivo estender a integração da movimentação de sedimentos lançados em fevereiro de 81, até o início do regime de inverno. Assim, praticamente estudou-se o comportamento do material de fundo da baía de Santos ao longo de um ano. As atividades executadas nas campanhas de verão estão assinaladas na Tabela 3.

Foram efetuados tres lançamentos em regime de verão, tendo por base as informações obtidas com os estudos em regime de inverno e a expectativa das ações hidrodinâmicas presentes no verão. Os locais de injeção estão mostrados na Figura 2.1 e as coordenadas UTM dos pontos de lançamento aparecem na Tabela 1 (2º capítulo).

	TAREFA	DATA	OBSERVAÇÕES
1. <sup>a</sup> CAMPANHIA (FEV/81)	. Levantamento do "Background" na região do PI <sub>1</sub> <sub>inverno</sub>	07/02/81	
	. Injeção do traçador em PI <sub>1</sub> <sub>verão</sub> ; Detecção de "Mise-En-Place"	08/02/81	Hora : 10:57 h Prof.: 0,25m do fundo
	. 1. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>1</sub> <sub>verão</sub>	09/02/81	
	. Levantamento do "Background" na região do PI <sub>3</sub> <sub>inverno</sub>	09/02/81	
	. Término do "Background" na região do PI <sub>3</sub> <sub>inverno</sub>	11/02/81	
	. Injeção do traçador em PI <sub>3</sub> <sub>verão</sub> ; Detecção de "Mise-En-Place"	12/02/81	Hora : 11:37 h Prof.: 0,20m do fundo
	. Levantamento do "Background" na região do PI <sub>2</sub> <sub>inverno</sub>	12/02/81	
	. 1. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>3</sub> <sub>verão</sub>	13/02/81	
	. Injeção do traçador em PI <sub>2</sub> <sub>verão</sub> ; Detecção de "Mise-En-Place"	16/02/81	Hora : 13:23 h Prof.: 0,20m do fundo
	. 1. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>2</sub> <sub>verão</sub>	17/02/81	
	. 2. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>1</sub> <sub>verão</sub>	18/02/81	
	. 2. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>3</sub> <sub>verão</sub>	19/02/81	
	. 2. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>2</sub> <sub>verão</sub>	21/02/81	
	. 3. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>1</sub> <sub>verão</sub>	21/02/81	
2. <sup>a</sup> CAMPANHIA (ABR/81)	. 1. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>3</sub> <sub>verão</sub>	01/04/81	Necessidade de novo eixo de transporte.
	. 2. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>3</sub> <sub>verão</sub>	02/04/81	
	. 1. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>1</sub> <sub>verão</sub>	02/04/81	
	. 2. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>1</sub> <sub>verão</sub>	03/04/81	
	. 1. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>2</sub> <sub>verão</sub>	03/04/81	
	. 3. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>3</sub> <sub>verão</sub>	06/04/81	
	. 2. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>2</sub> <sub>verão</sub>	07/04/81	
. 3. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>1</sub> <sub>verão</sub> e novo levantamento em PI <sub>1</sub> <sub>inverno</sub>	08/04/81		
3. <sup>a</sup> CAMPANHIA (JUN/81)	. 1. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>2</sub> <sub>verão</sub>	19/06/81	
	. 1. <sup>a</sup> Detecção em PI <sub>1</sub> <sub>verão</sub>	20/06/81	
	. Levantamento em PI <sub>1</sub> <sub>inverno</sub>	20/06/81	
	. Levantamento em PI <sub>3</sub> <sub>verão</sub>	20/06/81	

TABELA 3 - TRABALHO DE CAMPO EM PERÍODO DE VERÃO.  
SEDIMENTOLOGIA

NR

#### 4.2.1 Levantamento do Material Injetado no Regime de Inverno.

##### 4.2.1.1 $PI_1$ (Inverno)

O material lançado em  $PI_{\text{inverno}}$  em 02.08.80 sofreu um espalhamento inicial para NNW, sobretudo em seu processo de decantação já que foi lançado de 3,0m acima do fundo. Este espalhamento inicial é creditado à corrente de transporte de massa, de natureza ondulatória, devido à ocorrência de ondas de SSE no momento da injeção, a qual foi feita praticamente em estufa de baixa mar. Na figura 2.1 é mostrada a posição ocupada pela nuvem radioativa em 22.09.80 (região hachurada com origem em  $PI_{\text{inverno}}$ ). A detecção de "background" realizada em 07.02.81, com o objetivo de pesquisar a radiação remanescente no fundo, na região próxima ao  $PI_{\text{inverno}}$ , com vistas à escolha do local para o lançamento em regime de verão, revelou um fato extremamente interessante e importante para a compreensão do padrão de circulação dos sedimentos de fundo na região. Nessa detecção ainda foi constatada a presença de pouco material radioativo perto do ponto de injeção e na região da última detecção de inverno (22.09.80), mas o fato novo é que parte da nuvem inflétira para leste, entre setembro de 1980 e fevereiro de 1981, sensivelmente acompanhando o alinhamento da costa, com tendência a interceptar o canal de acesso, já na altura do seu alinhamento C. O limite de espalhamento da nuvem detectada em 07.02.81, mostrado em linhas tracejadas na figura 2.1 a partir de  $PI_{\text{inverno}}$ , foi considerado como a envoltória da região que apresentava atividade igual ou superior a duas vezes a atividade

M2

natural do fundo arenoso na região. Observa-se que esta região onde foi detetado o material, tem o fundo exclusivamente composto de areia (Ref. 1 - Figura 3) e, portanto, de ruído de fundo constante. Não houve assim o mascaramento da determinação das baixas atividades pela presença de material silto-argiloso, cuja atividade natural é superior à da areia. Não foi possível a determinação quantitativa da vazão mássica de arraste para essa deteção, devido à grande área de espalhamento e às baixas contagens detetadas. Mas acredita-se que as informações qualitativas obtidas sejam de real importância para o planejamento das obras ou soluções corretivas que visem a diminuição da taxa de assoreamento no alinhamento "B" do canal de acesso ao porto de Santos. Elas também comprovam a colaboração de sedimentos arenosos de fundo da baía de Santos ao assoreamento no trecho inferior do estuário, uma vez que, ao chegar ao canal de acesso na entrada do estuário, eles irão se deslocar com a corrente do sistema estuarino cuja resultante, junto ao fundo, tem o sentido do interior do estuário /7/.

Para a comprovação desse comportamento, um novo rastreamento foi executado cuidadosamente na região, no dia 08.04.81, dois meses depois do primeiro levantamento. Ele teve a duração ininterrupta de 5 horas e mostrou que o limite da região com duas vezes a atividade natural do fundo ainda possuía a mesma configuração apresentada na deteção de 07.02.81, ou seja, o material se apresentava configurado em uma faixa de cerca de 600m de largura, paralela à praia, e com deslocamento na direção da entrada do estuário (Figura 2.1).

Comparando o contorno dos levantamentos nas duas épocas, observa-se também que houve um deslocamento relativamente homogêneo da nuvem em direção à praia (os limites sul e norte do levantamento de 08.04.81 estão mais ao norte dos correspondentes limites da detecção de 07.02.81). Houve também nova expansão para oeste, no trecho do contorno mais a oeste. Cálculos aproximados da velocidade média de deslocamento do contorno entre 07.02.81 e 08.04.81, foram feitos considerando três trechos do mesmo:

- a) O trecho situado mais próximo à praia e a E da interseção do eixo de transporte da nuvem correspondente ao material injetado em  $PI_{1 \text{ inverno}}$  (trecho A);
- b) O trecho situado a E do  $PI_{1 \text{ inverno}}$ , mais ao sul do referido anteriormente (trecho B);
- c) O trecho do contorno situado a W do eixo de transporte da nuvem correspondente ao  $PI_{1 \text{ inverno}}$  (trecho C).

A velocidade média de deslocamento do contorno em cada trecho considerado, foi obtida calculando-se a área delimitada pelas posições ocupadas pelo mesmo, em cada época, e dividindo-se o resultado pelo comprimento médio traçado na posição intermediária entre os dois contornos.

A seguir, este deslocamento médio resultante foi dividido por 60, o número de dias transcorrido entre os dois levantamentos (07.02 a 08.04.81).

hr

Obteve-se:

Va (velocidade no trecho A) = 2,4m/dia

Vb (velocidade no trecho B) = 1,6m/dia

Vc (velocidade no trecho C) = 1,0m/dia

Comparando entre si as velocidades de deslocamento das linhas limites das deteções, nos vários trechos do contorno, observa-se que a velocidade de deslocamento para o N no trecho A (2,4m/dia), foi superior à velocidade de deslocamento (1,6m/dia) do trecho B (praticamente paralelo ao primeiro, porém, mais ao sul). Isto se explica pelo trecho A estar situado em região de menores profundidades, onde a ação das ondas se faz mais intensa. Já a velocidade de deslocamento no sentido geral de oeste, do trecho C (1,0m/dia), foi menor que a dos outros dois. O deslocamento da areia do fundo nesse sentido deve ser comandado mais pela influência das correntes de maré, sobretudo em fase de vazante, nessa região da baía logo a oeste da entrada do estuário, do que pela ação das ondas, cuja corrente de transporte de massa tem o sentido de N-NNW, devido à direção de incidência das ondas nessa região da baía.

Estas velocidades correspondem à do sedimento da superfície do fundo, uma vez que os contornos delimitam áreas com atividade de apenas duas vezes o "background". Qualquer grão radioativo mais enterrado, transcorrido o tempo de 6 a 8 meses após a irradiação para o lançamento no PI<sub>1</sub> inverno, praticamente não seria detectado pela sonda, devido ao aumento da distância dele à sonda e à blindagem à radiação fornecida pela areia situada entre ele e a sonda.

102



Estas velocidades, obtidas com cálculos aproximados, são superiores à velocidade de deslocamento do centro de gravidade da nuvem da injeção em  $PI_2$  Verão, que foi de 0,47m/dia, entre 09/02/81 e 08/04/81, praticamente no mesmo intervalo de tempo considerado. Isto se explica porque, neste último caso, o deslocamento do centro de gravidade representa a movimentação da nuvem como um todo e não apenas dos sedimentos superficiais. A aplicação do "Metodo do Balanço das Taxas de Contagem" utilizado para a computação em (4) e (5), permite o cálculo da espessura em que se dá o transporte de material e, daí, com a velocidade média de deslocamento da nuvem, se infere a vazão mássica de ar raste. Para a injeção em  $PI_1$  Verão, a espessura média calculada em que se deu o transporte de sedimentos entre as detecções de 09/02/81 e 08/04/81 foi de 1,3cm. Além disso a profundidade onde se fez o lançamento em  $PI_1$  Verão é superior à dos trechos A e B, dos contornos detectados do material lançado no regime de inverno.

#### 4.2.1.2 $PI_2$ Inverno

No dia 12/02/81 foi feito um levantamento radioativo do fundo ("background"), na região do  $PI_2$  Inverno estendendo-se um pouco ao sul, e sobretudo cobrindo a área ao norte do mesmo, até depois da Ilha das Palmas, com vistas ao novo lançamento de vidro marcado no regime de verão. Constatou-se a presença de material radioativo, com baixa atividade, junto ao  $PI_2$  Inverno, mas suficiente para indicar, de forma qualitativa que:

- a) Imediatamente ao sul do  $PI_2$  Inverno não havia atividade superior à radiação natural do fun

do;

- b) As maiores atividades relativas foram encontradas cerca de 10m a NNW de  $PI_2$ , e decresciam de forma gradual mais para NNW, até se obter novamente contagens equivalentes à da radiação natural do fundo, a cerca de 350m do  $PI_2$  Inverno.

Estas observações indicam o padrão de movimentação homogênea dos sedimentos arenosos de fundo nessa região, no intervalo entre agosto de 80 e fevereiro de 1981, ou seja: o material de fundo nessa região se desloca exclusivamente para o interior da baía, na direção preferencial de NNW.

#### 4.2.1.3 $PI_3$ Inverno

A detecção de "background" na região de  $PI_3$  Inverno executada em 09/02 e 11/02/81 revelou que a radiação remanescente na região do  $PI_3$  Inverno se situava junto ao ponto e a N - NNE dele indicando que, entre agosto de 1980 e fevereiro de 1981, a resultante do transporte sólido de fundo é para o interior da baía na direção preferencial de NNE.

O levantamento de ruído de fundo efetuado em 09/02 e 11/02/81 cobriu uma extensa área, com vistas à escolha do local de lançamento do material marcado na região, em regime de verão ( $PI_3$  Verão). Assim, foi possível detectar atividade igual ou superior a duas vezes a radiação na

12

tural do fundo a até 1.400m a NNE do PI<sub>3</sub> Inverno, na região aproximadamente delimitada pelas linhas tracejadas partindo da nuvem detetada em 19/09/80. A E dessa região ou a ENE do PI<sub>3</sub> Inverno, ainda na região de fundo predominantemente arenoso, foram encontrados pontos com atividade cerca de duas vezes o ruído natural do fundo.

No dia 06/04/81, cerca de 8 meses após a injeção em PI<sub>3</sub> Inverno, foi realizado o último levantamento de natureza qualitativa nesse ponto. Ele se concentrou nas proximidades do ponto de injeção. Ainda foi detetada atividade significativa, toda ela ao norte do ponto.

Conclui-se assim, com essas observações, que a movimentação de sedimentos de fundo na região do PI<sub>3</sub> Inverno entre o inverno e o início do verão se faz para o interior da baía, na direção predominante de NNE, com um espalhamento secundário para E, sendo as ondas, sobretudo as que ocorrem nas tempestades de inverno, o agente hidrodinâmico principal.

#### 4.2.2 Os Lançamentos em Regime de Verão

Após os levantamentos de ruído de fundo em cada uma das três regiões em estudo, foram escolhidos os novos locais de lançamento para o regime de verão.

Na região logo a oeste do canal de acesso, devido ao espalhamento observado para o material lançado em agosto de 1980, resolveu-se realizar o lançamento em uma posição intermediária entre o PI<sub>1</sub> Inverno e a inflexão do

canal, entre os alinhamentos B e C (Figura 2.1).

O  $PI_1$  Verão ficou situado a cerca de 590m a E do  $PI_1$  Inverno, em uma região isenta de traços da atividade injetada em regime de inverno. A constituição do fundo na região é de cerca de 80% de areia e 20% de silte. O diâmetro médio da fração arenosa é de 0,10mm.

Dadas as ações hidrodinâmicas menos intensas esperadas para a baía de Santos nos meses de verão, e considerando-se o espalhamento do material radioativo lançado nas regiões E e W da baía ( $PI_2$  Inverno e  $PI_3$  Inverno, respectivamente), foram escolhidos os pontos do lançamento em regime de verão,  $PI_2$  Verão e  $PI_3$  Verão, assinalados na Figura 2.1.

Como já se tinha constatado que a ação das ondas junto ao fundo era o principal fator na movimentação do sedimento de fundo em regime de inverno, os locais escolhidos como o  $PI_2$  Verão e o  $PI_3$  Verão nos pareceram adequados pelos seguintes aspectos:

- a) Dado o regime ondulatório menos severo na época de verão, tanto a possibilidade de movimento como a taxa de movimentação de sedimentos de fundo pela ação de ondas na mesma profundidade, serão menores no verão que no inverno. Assim, a escolha de locais mais para o interior da baía, para a injeção no regime de verão, em regiões de menores profundidades em comparação aos lançamentos de inverno, compensaria, em parte, essa situação;

m2

- b) Possibilidade do estudo sequencial da movimentação de sedimentos de fundo iniciados no inverno do ano anterior;
- c) Ficaria diminuída a possibilidade de mistura do material injetado no inverno, ainda presente no verão, com o novo sedimento marcado lançado nessas duas regiões. Isto foi confirmado pelos resultados das campanhas de verão.

As coordenadas UTM dos pontos reais de lançamento em regime de verão, bem como as profundidades desses locais relativas ao zero hidrográfico da PORTOBRÁS na região, estão contidas na Tabela 1 (Capítulo 2).

#### 4.2.2.1 PI<sub>1</sub> Verão

O lançamento do vidro moído marcado com Ir-192 em PI<sub>1</sub> Verão foi efetuado no dia 08/02/81, um dia depois do levantamento de "background" na região. Este levantamento havia mostrado qualitativamente o caminhar paralelo à praia, em direção à entrada do estuário, do material lançado em 02/08/80, no PI<sub>1</sub> Inverno.

Dessa vez, para evitar um espalhamento inicial acentuado, tendo em vista a região relativamente restrita, sem atividade artificial, disponível para os estudos em regime de verão, o injetor foi aberto a apenas cerca de 0,25m do fundo, em lugar dos 3,0m utilizados no lançamento do inverno.

112

A hora do lançamento foi às 10:57 h, cerca de 39 minutos antes da baixamar astronômica, prevista pela tábua da DHN para junto à Torre Grande, no estuário de Santos (11:36 h). Na hora do lançamento predominava ainda , junto à superfície, a corrente da vazante. Isto ficou evidenciado pelo comportamento da boia de ponto lançada antes da injeção, que se afastou para oeste do barco até tensionar o cabo que a ligava à poita.

Entretanto, como esta região é ainda bastante influenciada pela circulação estuarina, dada sua posição logo a oeste da entrada do estuário, no prolongamento do alinhamento C do canal de acesso, a inversão do escoamento junto ao fundo dá-se primeiro que na superfície. Por isto, o lançamento foi antecipado, tentando-se alcançar uma situação de "estofa" junto ao fundo, quando seriam mínimas as correntes e, portanto, menor o espalhamento inicial.

Na hora da injeção, o mar apresentava-se calmo, com ondas de cerca de 0,4m, direção de propagação  $200^{\circ}$  Nm e períodos estimados entre 6 e 8 segundos. Não havia praticamente vento.

A detecção de "mise-en-place", feita a seguir , mostrou o material bastante concentrado junto ao  $PI_2$  Verão, evidenciando um ligeiro espalhamento inicial na direção SE, já com tendência para E. Isto comprova que o processo de enchimento junto ao fundo já havia começado. A nuvem se depositou em um círculo quase centrado em  $PI_1$  Verão (com o centro ligeiramente deslocado para SE), com raio estimado entre 160 e 180m.

NDL

A primeira detecção completa do material foi executada no dia 09/02/81, um dia após a injeção. O material mostrava-se altamente concentrado em torno do ponto de injeção, revelando o pequeno espalhamento para SE detectado no dia anterior e devido, certamente, à atuação das correntes junto ao fundo, na hora da injeção, sobre o sedimento em decantação. A figura 6 da referência 5 mostra este espalhamento.

A segunda detecção foi realizada em 18/02/81 e a configuração obtida foi praticamente a mesma da primeira detecção, com o material tendo um espalhamento para SE. O traçador estava praticamente todo ele concentrado junto ao ponto de injeção, resultado ainda das condições reinantes na hora do lançamento. A terceira e última detecção da primeira campanha, em 21/02/81 levou às mesmas conclusões que as duas anteriores.

Se esse fato limita conclusões quantitativas, induz, por outro lado, a se concluir pela relativa imobildade do material radioativo entre o dia da injeção (09/02/81) e o da última detecção da primeira campanha (21/02/81). Os centros de gravidade das nuvens se deslocaram muito pouco em direção a NW, afastando-se ligeiramente do ponto de injeção, na direção aproximada em que se esperava haver algum deslocamento, isto é, na direção em que se lançou o eixo de transporte.

Em 01/04/81, decorridos 40 dias da última detecção em PI<sub>1</sub> Verão, foi efetuada a primeira detecção da segunda campanha. A nuvem radioativa mostrou-se mais ampla se comparada com a última detecção da primeira campanha, o que

mostra a melhor distribuição do traçador na superfície do fundo. Além disso, a partir dessa detecção, o eixo de transporte foi deslocado para a direção NNW. Esta foi a direção preferencial de deslocamento obtida da observação da nuvem e do acompanhamento do deslocamento do seu centro de gravidade, em relação aos centros de gravidade obtidos nas detecções anteriores.

A segunda detecção da segunda campanha de verão foi realizada em 03/04/81. Foi de ótima qualidade e mostrou o acerto de se tomar como direção de transporte a direção NNW.

A nuvem radioativa nessa detecção tem o seu centro de gravidade distante de 3,6m do ponto de injeção, ficando a NW dele, enquanto a nuvem radioativa se expande para NNW, apresentando uma extensão máxima de 240m e uma largura máxima de 100m.

A detecção conseguiu fazer um bom recobrimento da nuvem e obteve-se uma recuperação de atividade praticamente igual à recuperação obtida na primeira campanha de verão, na detecção de 09/02/81.

Tendo sido semelhantes as recuperações de atividade para as detecções de 09/02/81 e 03/04/81, pode-se, em princípio, aceitar que a distribuição de material no fundo foi superficial e que, não tendo havido enterramento significativo da nuvem nesse período, o arraste de material no fundo foi pequeno.

A última detecção da segunda campanha foi reali-



zada em 08/04/81 e também foi de boa qualidade, apresentando uma distribuição espacial da nuvem semelhante à da detecção anterior. O seu centro de gravidade está afastado de 5,8m do centro de gravidade da nuvem anterior, ou de 9,4m do PI<sub>1</sub> Verão ou ainda de 27,0m do centro de gravidade da nuvem da primeira detecção da primeira campanha de verão (09/02/81) (Ref.5).

Todos estes pontos estão alinhados numa direção geral NW, que é praticamente a mesma indicada pela expansão da nuvem (NNW).

Entre 09/02/81 e 08/04/81, o deslocamento ocorreu sem que tenha havido praticamente perda ou enterramento de material radioativo. Isto é sugerido pela recuperação que se obteve em 08/04/81, da ordem de  $N = 1,04 \times 10^7 \frac{C}{S} \times m^2$ , praticamente igual às duas melhores recuperações anteriores.

O cálculo da vazão mássica do sedimento de fundo efetuado com base nas detecções de 09/02/81 e 08/04/81 (5), deu como ordem de grandeza pouco mais de 10 kg/m/dia, e uma espessura de enterramento da nuvem de apenas 1,33cm.

Na terceira campanha de rastreamento dos sedimentos lançados em regime de verão, efetuou-se uma detecção em PI<sub>1</sub> Verão no dia 20/06/81. A nuvem radioativa, representada por suas curvas de isocontagem, na Figura 1A da referência (5), apresenta uma forma bastante semelhante à nuvem da detecção de 08/04/81. Entretanto, o alongamento na direção NNW é bem maior, indicando que, entre 08/04/81 e 20/06/81, o material sofreu ações hidrodinâmicas que propi

ciaram seu espalhamento na direção mencionada.

O centro de gravidade da nuvem de 20/06/81 achava-se cerca de 28,0m a NNW do centro de gravidade da nuvem detetada em 08/04/81, o que dá uma taxa média de deslocamento de 0,46m/dia.

Cálculos de vazão mássica de arraste (5) indicam que, entre 08/04/81 e 20/06/81, houve um transporte de fundo da ordem de 20 kg/m/dia. Este valor é pequeno, mas é bastante compatível, em ordem de grandeza, com o valor estimado para o transporte nas duas campanhas de verão, de mais de 10 kg/m/dia.

A detecção de 20/06/81 confirmou o fato do transporte de fundo, na região logo a W do canal de acesso (alinhamento C), ter-se realizado preferencialmente na direção NNW, com o material caminhando lentamente em direção à praia. O mesmo, ao atingir profundidades entre 6 e 7 metros, poderá iniciar a inflexão para leste, terminando por se deslocar paralelamente à praia até atingir a entrada do estuário, tal como observado com o caminamento do material lançado em agosto de 1980.

Lembrando-se que o transporte sólido de fundo determinado na região do PI<sub>1</sub> Inverno, no regime de inverno, teve um valor médio da ordem de 270 kg/m/dia, conclui-se que ele é cerca de dezoito vezes maior que o valor médio desse mesmo transporte sólido de fundo determinado em regime de verão (cerca de 15 kg/m/dia).

#### 4.2.2.2 $PI_2$ Verão

Tendo por base o comportamento do material lançado em  $PI_2$  Inverno, o seu espalhamento verificado com o levantamento de "background" da região efetuado em 12/02/81, o espaço disponível para a continuação dos estudos em regime de verão, na parte leste da baía de Santos, entre o canal de acesso e o costão rochoso do Morro da Barra, e as ações hidrodinâmicas mais fracas, sobretudo de natureza ondulatória, presentes no regime de verão, escolheu-se como ponto de lançamento o  $PI_2$  Verão, indicado na Figura 2.1 e cujas coordenadas UTM são apresentadas na Tabela 1, Cap.2.

A injeção do material radioativo, com a mesma granulometria do material lançado no inverno (a fração arenosa do fundo nos dois pontos é homogênea), foi efetuada às 13:23 h do dia 16/02/81. O injetor foi aberto a cerca de 0,2m acima do fundo. O  $PI_2$  Verão tem a profundidade de 10,9m em relação ao zero hidrográfico da PORTOBRÁS para a baía de Santos.

A injeção foi efetuada 48 minutos antes da preamar teórica (14:11 h) prevista pela tábua de marés da DHN, para a região do estuário junto à Torre Grande.

Acredita-se que a maré já se encontrava em início de vazante junto ao fundo, pois, na deteção de "mise-en-place" efetuada após a injeção, detetou-se um espalhamento inicial do material na direção SSE. Foi encontrada atividade cerca de 9 a 10 vezes o "background" natural da areia até a 150m ou 200m do ponto de injeção.

112

A primeira detecção completa foi realizada em 17/02/81.

O material injetado achava-se muito concentrado junto ao PI<sub>2</sub> Verão, com um ligeiro espalhamento para SSE, já revelado no "mise-en-place".

A segunda e última detecção da primeira campanha foi realizada em 21/02/81, quatro dias após a primeira. A nuvem radioativa apresentou-se praticamente idêntica à da detecção anterior, em extensão e distribuição de atividade (Figura 17 - Ref. 5). A recuperação de atividade nas duas detecções foi da ordem de  $5 \times 10^6 \frac{C}{S} \times m^2$ , abaixo do esperado, tendo em vista a atividade injetada. Isto se deve à grande concentração de material radioativo junto ao PI<sub>2</sub> Verão, dificultando a passagem da sonda sobre os locais de maior atividade.

Na segunda campanha de verão, a primeira detecção em PI<sub>2</sub> Verão foi realizada em 03/04/81, 41 dias depois da última detecção da primeira campanha no mesmo local. A análise dos resultados mostrou várias semelhanças com o que ocorrera durante as duas campanhas de inverno. Primeiramente observou-se uma nítida movimentação do material marcado para NNW. Não havia, praticamente, mais atividade de a SSE do PI<sub>2</sub> Verão, resultado do espalhamento inicial devido à injeção. Isto comprova, de maneira categórica, o sentido dominante do transporte de fundo na região leste da baía, a leste do canal de acesso, no regime de verão. Aliás, foi o mesmo sentido observado no regime de inverno, na mesma região; ou seja: o material de fundo adentra a baía na direção NNW.

112

Tanto o espalhamento da nuvem quanto o deslocamento do centro de gravidade ocorreram na direção NNW, sendo o comprimento da nuvem nessa direção bem maior que a largura (Figura 19 - Ref. 5). Isto forneceu uma boa condição para cobertura da nuvem e a recuperação da atividade foi da ordem de  $N = 9,02 \times 10^6 \frac{C}{S} \times m^2$ , cerca do dobro dos valores obtidos na primeira campanha. Como não há a possibilidade de criação de material radioativo no local, deve-se aceitar que, devido ao pequeno espalhamento apresentado pelo material por ocasião da primeira campanha, não foram realizadas boas coberturas da nuvem.

No dia 07/04/81, foi realizada a segunda e última detecção no PI<sub>2</sub> Verão, nessa segunda campanha. Ela praticamente confirmou os resultados da detecção do dia 03/04/81.

Entre as duas detecções, houve apenas um pequeno deslocamento do centro de gravidade, dado o pequeno intervalo de tempo entre as duas detecções (4 dias). A essa altura, já se sabia que o transporte de fundo seria pequeno, se comparado com os resultados alcançados no regime de inverno do ano anterior.

O formato da nuvem é longilíneo, para NNW (Figura 21 - Ref. 5), e o seu centro de gravidade aparece a NNW do PI<sub>2</sub> Verão.

A recuperação da atividade é praticamente a mesma da detecção de 03/04/81, com  $N = 9,01 \times 10^6 \frac{C}{S} \times m^2$ . Isto confirma praticamente a mesma disposição do material entre as duas detecções, além de reassegurar que aquelas realiza-

das na primeira campanha de verão não conseguiram cobrir a nuvem de maneira completa, devido ao material radioativo encontrar-se, na ocasião, altamente concentrado.

Considerando as últimas detecções de cada uma das campanhas de verão (21/02/81 e 07/04/81), pode-se fazer uma estimativa razoável do transporte de fundo da região de PI<sub>2</sub> Verão.

Os centros de gravidade das nuvens detetadas nessas duas datas, separadas por 45 dias, encontravam-se afastados de 62m, o que corresponde a uma velocidade média de deslocamento de 1,38m/dia.

A aplicação do método do balanço das taxas de contagem (5) permitiu calcular a vazão mássica de arraste em 40 kg/m/dia, e a espessura em que se efetuou o transporte, em torno de 1,9cm, ou seja, o transporte em regime de verão praticamente se efetuou na superfície do fundo.

Durante a terceira campanha de rastreamento do material injetado em regime de verão, foi realizada, em 19/06/81, mais uma detecção do material lançado em PI<sub>2</sub> Verão.

O formato da nuvem pouco mudou em relação à detecção de 07/04/81, com o formato longilíneo na direção NNW, e com a região mais ativa ainda junto ao ponto de injeção. A largura máxima da nuvem era de 90m. A distância entre os centros de gravidade foi de apenas 15m, estando o CG da detecção de 19/06/81 ao norte do CG da detecção de 07/04/81. A recuperação da atividade na detecção de 19/06/81 foi de

$4,99 \times 10^6 \frac{C}{S} \times m^2$ , contra  $N = 9,01 \times 10^6 \frac{C}{S} \times m^2$  da detecção de 07/04/81.

Devido ao panorama observado anteriormente nas campanhas de verão, à forma das nuvens nesta campanha e nas campanhas anteriores, à pequena velocidade do CG da nuvem entre os 73 dias de 07/04/81 a 19/06/81 (0,21m/dia), ao pequeno transporte sólido de fundo observado em PI<sub>1</sub> Verão na mesma ocasião, não nos parece adequado atribuir essa diferença de recuperação ao enterramento da nuvem, caracterizando assim, um transporte bem mais acentuado do que aquele que se previa. O exame do diagrama de transporte das duas detecções (Figuras 22 e 4A - referência 5) reforça as considerações anteriores.

Cálculo efetuado com base no método do balanço das taxas de contagem (5) leva a uma estimativa de transporte de fundo semelhante à obtida para o período entre 21/02/81 e 07/04/81, ou seja, cerca de 40 kg/m/dia. Isto confirma, também para a região de PI<sub>2</sub>, que o transporte de fundo em regime de verão é bem inferior ao obtido em regime de inverno (cerca de 350 kg/m/dia).

Nesta última detecção, em 19/06/81, foi coberta uma área além daquela em que se encontrou atividade resultante da injeção, com a intenção de se pesquisar a atividade de fundo na região do canal de acesso. Foram feitas três linhas de navegação quase perpendiculares ao alinhamento A (Figura 2.1), a 175m, 350m e 450m ao sul do ponto de inflexão, onde começa o alinhamento B. Em todas elas, constatou-se um aumento da atividade natural do fundo, com o "background" correspondendo à presença de lama no fundo,

numa largura de 300m, tendo o eixo do canal como divisa da faixa.

#### 4.2.2.3 PI<sub>3</sub> Verão

O levantamento do ruído de fundo da região de PI<sub>3</sub> Inverno realizado em 11/02/81 e o movimento da nuvem observado em regime de inverno, levaram à escolha do local de lançamento do material marcado em regime de verão, em PI<sub>3</sub> Verão, situado a 818m ao norte de PI<sub>3</sub> Inverno. As coordenadas UTM de PI<sub>3</sub> Verão são apresentadas na Tabela 1. A profundidade no local de PI<sub>3</sub> Verão, relativamente ao zero hidrográfico da PORTOBRÁS para a baía de Santos, é de 9,3m.

A injeção de 292 gramas de vidro moído na granulometria da areia do fundo da região ( $D_{50} = 0,1\text{mm}$ ) e ativado em reator nuclear, foi feita em PI<sub>3</sub> Verão às 11:37 h de 12/02/81, cerca de 39 minutos antes da preamar astronômica de quadratura prevista para a Torre Grande (estuário de Santos) pela tábua de marés da DHN (12:16h). O maregrafo da Ilha das Palmas só entrou em operação às 18:00 h desse dia.

Na hora do lançamento, no local do mesmo, a observação do estado do mar, feita de bordo da embarcação, revelou que soprava um vento fraco de SSE e as ondas, com altura estimada entre 0,2 e 0,3m, provinham também de SSE.

O injetor foi aberto a cerca de 0,2m do fundo, sendo a profundidade do local, na hora do lançamento de

02



cerca de 10m.

A detecção de "mise-en-place", realizada logo após a injeção, revelou que o material se achava bastante concentrado junto ao local de lançamento, apresentando um ligeiro espalhamento a até 100m de  $PI_3$  Verão, na direção geral de W. A leste do  $PI_3$  Verão, praticamente não foi encontrada atividade, embora a cerca de 50m a SSW do mesmo tenha sido encontrada uma pequena atividade.

No dia 13/02/81, à tarde, foi realizada a primeira detecção completa de  $PI_3$  Verão.

Foi confirmado o espalhamento inicial para W, conforme observado na detecção de "mise-en-place". O material estava, entretanto, bastante concentrado em torno do pico da nuvem, o qual não se conseguiu detetar. Tal fato influenciou bastante no valor da recuperação da atividade, tendo sido obtido o valor de  $N = 2,36 \times 10^6 \frac{C}{S} \times m^2$ .

A detecção seguinte em  $PI_3$  Verão foi realizada 6 dias após, em 19/02/81. Nela foi observada quase que a mesma situação da detecção anterior: um ligeiro espalhamento para W, o material fortemente concentrado em torno do pico e este muito próximo ao ponto de injeção. O pico detetado foi novamente baixo, resultando daí um valor de recuperação igualmente pequeno. Observa-se entretanto, com esta detecção, a tendência inicial da nuvem em se deslocar para o quadrante N, num comportamento aproximado ao observado com os estudos em regime de inverno, nessa mesma região. As curvas de isocontagem da detecção de 19/02/81 podem ser vistas na Figura 24 da referencia 5.

A segunda campanha de verão na região oeste da baía iniciou-se em 01/04/81, 40 dias após a última detecção anteriormente mencionada, com uma nova detecção, a qual deixou claro que o deslocamento do material se fez para N. Isto nos obrigou a alterar a direção do eixo de transporte para a detecção seguinte, realizada em 02/04/81, uma vez que, na detecção de 01/04/81, utilizou-se o mesmo eixo de transporte da detecção de 19/02/81, o qual era orientado para WNW. A detecção de 01/04/81 apresentou valores de recuperação de atividade um pouco melhores que as obtidas nas detecções da primeira campanha de verão, mas ainda um pouco baixos, talvez devido à distorção causada por se supor a movimentação da nuvem numa direção diferente da real.

No dia 02/04/81, pela manhã, foi realizada a segunda detecção da segunda campanha de verão em PI<sub>3</sub>, já utilizando o novo eixo de transporte (azimute 349°, Fig. 2.1). Ela apresentou bons resultados. A observação das curvas de isocontagens (Figura 25 - Ref. 5) indicam o alongamento da nuvem na direção aproximada do eixo de transporte e o deslocamento do seu centro de gravidade na mesma direção.

A recuperação de atividade alcançada:  $N = 3,74 \times 10^6 \frac{C}{S} \times m^2$ , foi bem melhor que a obtida nas detecções precedentes, prova de que nas anteriores, os picos de maiores atividades não foram bem detetados. Entretanto, essa recuperação não pode ser considerada ótima e nem como indicatória de grande enterramento da nuvem, tendo em vista a atividade injetada e as recuperações anteriores, menores do que a atual.

Foi realizada uma terceira detecção na mesma regi

102

ão, em 06/04/81. Nesse dia havia barcos camaroneiros arastando redes na área sobretudo na direção E-W), local proibido pela Marinha para pesca de arraste.

Observou-se um espalhamento atípico acentuado da nuvem na direção E-W mais para E do PI<sub>3</sub> Verão, o qual foi atribuído ao arraste de redes. Esse arraste pode ter colocado material radioativo em suspensão, o qual, ao sofrer a influência da corrente de transporte de massa das ondas junto ao fundo e das correntes da maré, se espalhou em diversas direções até mesmo na direção norte, onde também se constatou um espalhamento do material, depois da detecção de 02/04/81. As ondas na região de fundeio do ondógrafo em regime de verão (PL<sub>2</sub> Verão - Figura 2.1) e na região do PI<sub>3</sub> Verão provieram do quadrante S entre 02/04 e 06/04/81 (azimute aproximado de 170°).

No entanto, como o espalhamento na direção N já havia sido detetado nas campanhas de inverno e verão, e resultados homogêneos haviam sido obtidos até 02/04/81, é de se esperar que o arraste no local de PI<sub>3</sub> Verão tenha sido feito somente após 02/04/81. Pode-se, pois, supor que o transporte na direção norte, até esta data, tenha sido causado apenas pelos agentes hidrodinâmicos naturais. Entre 02/04/81 e 06/04/81 não houve nenhum temporal ou estado de mar agitado na baía de Santos que justificasse essa movimentação. Se tivesse havido algum temporal os seus resultados também apareceriam, nas regiões de PI<sub>1</sub> Verão e PI<sub>2</sub> Verão.

Para o cálculo da taxa de transporte na região

M<sub>2</sub>

de  $PI_3$  Verão utilizaram-se as informações obtidas nas detecções de 19/02/81 e 02/04/81, entre as quais houve um intervalo de 42 dias. O centro de gravidade das nuvens se encontravam afastados de 25m, o que dá uma velocidade média de transporte de 0,6m/dia. Considerando-se a recuperação de atividade conseguida para a detecção de 02/04/81, chega-se a uma espessura de transporte da ordem de 1cm e a um valor da vazão mássica de arraste, em ordem de grandeza, de 10 kg/m/dia. Este valor é pequeno, mas é bastante semelhante ao obtido para a vazão sólida na região do  $PI_1$  Verão. Aliás, os valores obtidos para o transporte de arraste, nas regiões logo a oeste do canal de acesso ( $PI_1$ ) e na parte oeste da baía, próximo à costa rochosa de Itaipu ( $PI_3$ ), nas campanhas de inverno, também foram comparáveis e bem maiores que os valores do transporte sólido de fundo obtido no regime de verão.

Na terceira campanha de detecção do material injetado em regime de verão, em 20/06/81, foi pesquisada a atividade do fundo na região do  $PI_3$  Verão. Não se encontrou atividade alguma acima do ruído de fundo natural. Isto se deve, provavelmente, à continuação dos arrastes e ao espalhamento por ele provocado, associado ao decaimento do material ativado lá injetado. Entretanto, as informações obtidas com as duas primeiras campanhas de verão foram suficientes para quantificar e esclarecer o comportamento do material de fundo na parte oeste da baía de Santos, em regime de verão.

## 5. ANÁLISE DE DADOS HIDRÁULICOS

### 5.1 Considerações Preliminares

No presente capítulo são abordadas as medições hidráulicas efetuadas durante os estudos com traçadores radioativos em 1980 e 1981.

Elas envolveram registros de correntes, ondas, marés e ventos.

Seu objetivo foi o de obter informações sobre os parâmetros hidrodinâmicos, simultaneamente com os estudos da movimentação de sedimentos de fundo com a utilização de traçadores radioativos. Assim, havia possibilidade de se estabelecer uma correlação e interpretar os resultados da movimentação de sedimentos de fundo à luz dos agentes hidrodinâmicos.

Não se objetivava definir o padrão geral de circulação da Baía de Santos, uma vez que esse fora suficientemente estudado na referência (7). Entretanto essas medições se somam às feitas em outras épocas e ajudam a confirmar o padrão de circulação já definido. No item 5.4 os resultados das medições de correntes serão comparados com os obtidos em campanhas anteriores nas mesmas regiões da Baía.

Os locais para essas medições foram determinados pela equipe técnica do INPH, em conjunto com o seu consultor (D.M. McDowell), encarregado dos estudos em Santos. Na tabela 4 são apresentadas as coordenadas UTM dos locais

TABELA 4 - LOCAIS DE MEDIÇÕES DE CORRENTES E ONDAS

CORRENTÓGRAFO	PONTO	CAMPANHA	COORDENADAS		UTM	PROFUNDIDADE DO LOCAL EM RELAÇÃO AO ZERO HI DROGRÁFICO DA PORTOBRÁS (m)	ALTURA, A PARTIR DO FUNDO DE OBSERVAÇÃO DAS CORRENTES (m)
			E	N			
CORRENTÓGRAFO	PL <sub>1</sub>	Inverno/80	363350	7346200	7,9	1,0	
		Verão /81	363220	7346230	7,9		
CORRENTÓGRAFO	PL <sub>2</sub>	Inverno/80	360350	7341868	10,9	6,0	
		Verão /81	361625	7345060	9,0		
ONDÓGRAFO	PL <sub>2</sub>	Inverno/80	360450	7341868	11,0	-	
		Verão /81	361670	7345070	9,0		

de medição de corrente e ondas nas campanhas de inverno e verão, bem como as profundidades de instalação dos equipamentos e do local escolhido. Na Figura 5.1 é mostrada a localização dos pontos na baía.

Os registros de vento foram efetuados através de anemógrafo instalado na Ilha da Moela, a E da baía de Santos, enquanto os registros de nível d'água foram efetuados através de marégrafo instalado na Ilha das Palmas. Tanto o anemógrafo, quanto o marégrafo foram operados pelo INPH, que forneceu os dados horários ao CDTN.

Em algumas ocasiões, por falta de dados de maré da Ilha das Palmas, no estudo de correlação entre maré e corrente (ítems 5.2.1 e 5.3.1), foram utilizados dados de maré obtidos no estuário, em Conceiçãozinha, pela CODESP.

Os períodos de operação do anemógrafo, marégrafos e correntógrafos são apresentados nos cronogramas 1 e 2.

A campanha de registros de onda não apresentou bom rendimento, devido sobretudo ao tipo de equipamento usado (ondógrafo a ultra-som da marca Neyrpic). O que havia sido recomendado pelo consultor do INPH era uma boia acelerômetro "Waverider Datawell". Assim, só foram obtidos registros de ondas entre 08/08/80 e 19/08/80 no período de inverno e entre 14/03/81 e 09/04/81 no regime de verão. A observação visual de direções de incidência de ondas com a utilização de teodolito, foi feita por um período maior.

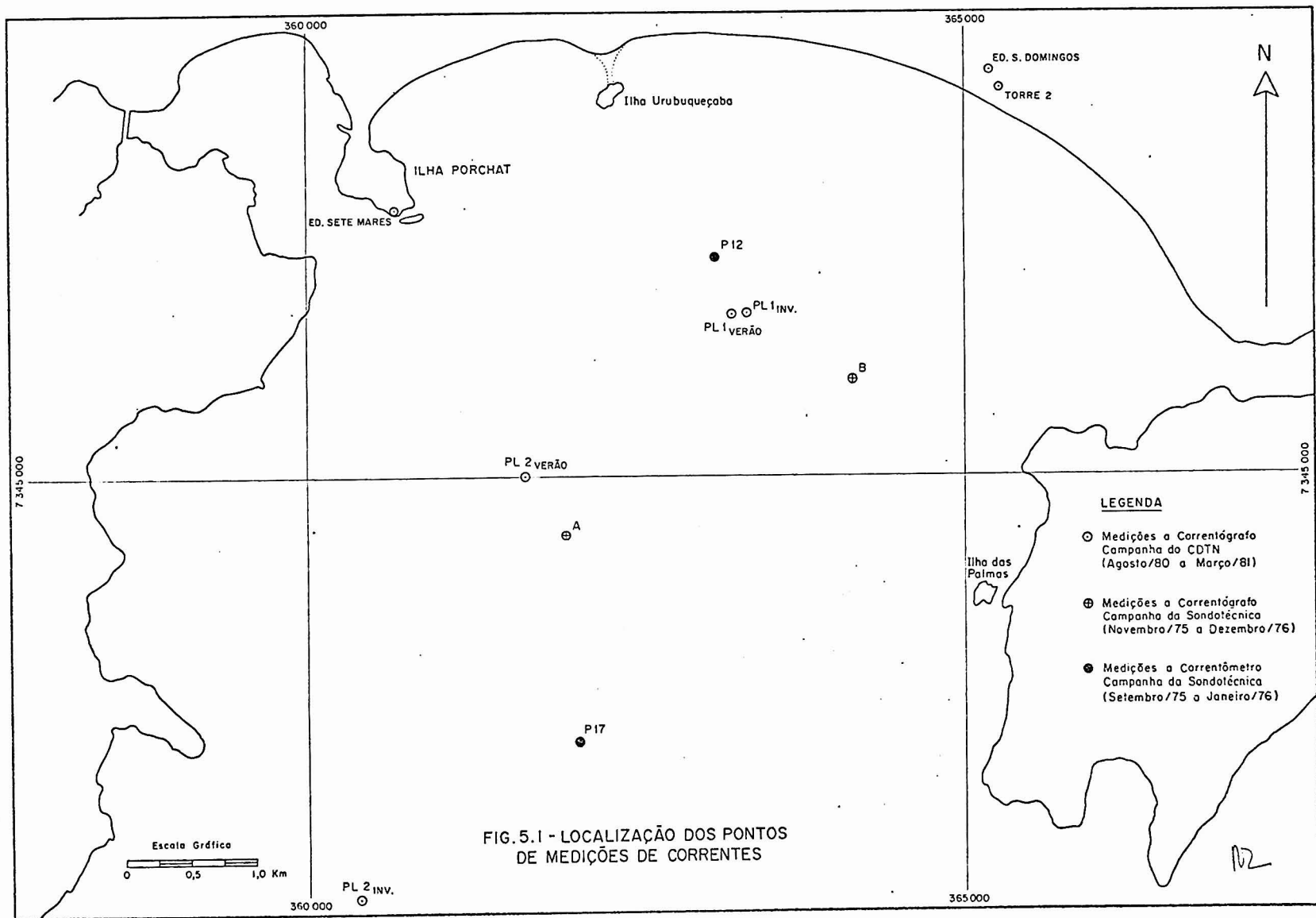


FIG. 5.1 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÕES DE CORRENTES





As medições hidráulicas seriam também utilizadas pela PORTOBRÁS para a implementação de modelos matemáticos, entre os quais, modelos de circulação de sedimentos na baía de Santos e nas suas vizinhanças.

Assim, além de algumas análises apresentadas no presente relatório, serão fornecidos em separado ao INPH, para posterior utilização, os registros originais de ondas e correntes.

## 5.2 Metodologia

### 5.2.1 Correntes

As correntes foram medidas pelo CDTN, com o emprego de correntógrafos HIDROCEAN, à 1,00 metro do fundo no ponto  $PL_1$  e a meia profundidade em  $PL_2$ , tanto no regime de inverno quanto no regime de verão.

Foram elaborados diagramas de frequência de ocorrência pelas direções e diagramas de velocidades médias pelas direções para as correntes, durante vários intervalos de tempo. Procurou-se também estabelecer relações de causa-efeito entre as marés registradas na Ilha das Palmas ou em Conceiçãozinha e as correntes medidas nos pontos  $PL_1$  ou  $PL_2$ . Foram utilizadas, para isto, técnicas de correlação. Entre os dois correntógrafos, pesquisou-se relações de similaridade entre os vários componentes do vetor corrente segundo os eixos NS e WE do sistema UTM para os períodos nos quais os registros foram simultâneos.

M

### 5.2.1.1 Técnicas de Correlação

A seguir passamos a discutir as técnicas de correlação empregadas neste trabalho.

A correlação, como um recurso de estabelecer similaridade, pode ser considerada uma técnica de domínio do tempo, usada em trabalhos estatísticos para estabelecer conexão entre eventos aparentemente sem relação.

Uma maneira fácil e confiável de se medir a similaridade entre dois parâmetros ou funções variáveis com o tempo é multiplicar ordenada por ordenada de cada sequência e adicionar os produtos para o intervalo de duração das mesmas. Assim, obtem-se um número que é uma medida da similaridade entre os dois eventos. Sendo a correlação uma técnica de domínio do tempo, um evento que seja função do tempo, definido para o instante  $t$ , pode ser correlacionado com outro, que também seja função do tempo, em um instante  $t + \tau$ , onde  $\tau$  é o tempo de deslocamento ou defasagem.

Essa forma de correlação é chamada correlação cruzada, sendo seus valores obtidos através da função de correlação cruzada, que descreve a dependência das ordenadas de um evento a um tempo com as ordenadas de outro a outro tempo, como uma função do tempo de defasagem entre eles.

A função de correlação cruzada pode ser aproximada por:

M

$R_{xy}(\tau) \approx \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x(k \Delta t) y(k \Delta t + \tau)$ , função que se aproxima da função exata de correlação cruzada quando  $T \rightarrow \infty$  e  $\Delta t \rightarrow 0$ :

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) y(t+\tau) dt$$

Para o caso da função discretizada a escolha de  $\Delta t$  não requer cuidados especiais. O intervalo  $\Delta t$  pode, inclusive, ser escolhido de maneira a nos parecer grande quando comparado com o tempo de deslocamento  $\tau$  e não precisa necessariamente ser constante através do processo.

A Figura 5.2 ilustra o processo de correlação cruzada.

Como principais propriedades apresentadas pela função de correlação cruzada pode-se citar:

1. Simetria com  $x$  e  $y$  invertidos:  $R_{xy}(-\tau) = R_{yx}(\tau)$ ;
2. Não apresenta necessariamente um valor máximo para  $\tau=0$ ;
3. Não é função par:  $R_{xy}(\tau) \neq R_{xy}(-\tau)$ , em geral;
4.  $|R_{xy}(\tau)|^2 \leq R_{xx}(0) R_{yy}(0)$ ;
5.  $|R_{xy}(\tau)| \leq \frac{1}{2} [R_{xx}(0) + R_{yy}(0)]$ ;
6. As funções de correlação cruzada de dois sinais periódicos de igual frequência serão também periódicas e apresentam a mesma frequência dos sinais que originaram.

12

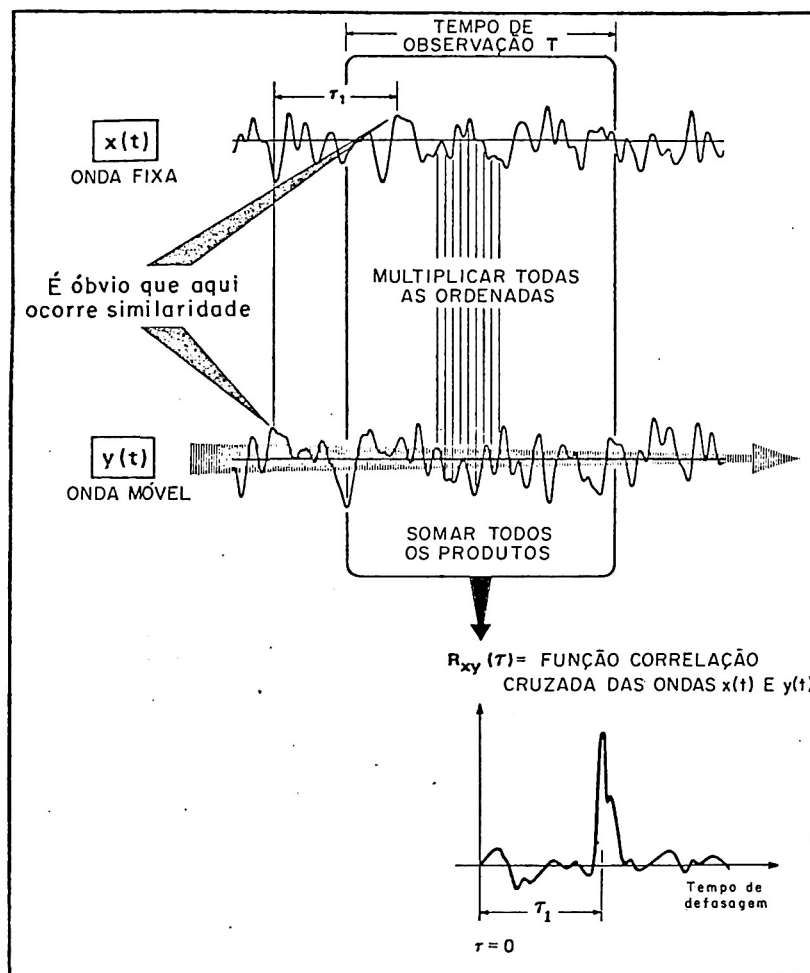


FIG. 5.2 - FUNÇÃO CORRELAÇÃO CRUZADA

m

Como as funções de correlação cruzada podem assumir quaisquer valores, geralmente se faz uma normalização dessas funções, para que elas variem entre valores conhecidos e possam ser comparadas.

Neste trabalho, como fator de normalização, adotou-se dividir os valores das funções de correlação cruzada por:

$$R_{xx}(0) R_{yy}(0)$$

onde  $R_{xx}(0)$  e  $R_{yy}(0)$  são os valores das funções de autocorrelação em  $\tau = 0$  para as funções  $x(t)$  e  $y(t)$  respectivamente. Denomina-se função de autocorrelação à função de correlação cruzada obtida ao se correlacionar uma função no instante  $t$  com sua própria versão no instante  $t+\tau$ .

### 5.2.2 Ventos

Durante as campanhas de estudos com traçadores radioativos o INPH-PORTOBRÁS operou um anemógrafo de marca HIDROLOGIA no topo da Ilha da Moela. A altura aproximada dele em relação ao nível do mar era de 70 metros.

Apesar dos registros terem sido efetuados em uma altura superior à normalmente utilizada para cálculos de corrente de deriva (a qual é normalmente de 10 a 15 metros em relação ao nível do mar), fez-se uma tentativa de estabelecer relações de causa-efeito entre o vento medido na Ilha da Moela e as correntes registradas na Baía.

Deve-se acrescentar que as condições reais de

102

ventos e correntes na região costeira de Santos se afastam muito das condições teóricas imaginadas na dedução da teoria de EKMAN e MOHR para correntes geradas pelo vento, e que foi utilizada(9). Assim, a duração do vento não é suficiente para se estabelecer um movimento permanente; não é só o vento que influi na circulação das águas da Baía, havendo sobre a mesma massa líquida a superposição de efeitos de outros agentes hidrodinâmicos (ondas, marés, etc.); o "fetch" é limitado e há diferenças de comprimentos segundo as direções nas quais o vento sopra na Baía; as profundidades nas vizinhanças dos pontos de medições de correntes são variáveis e inferiores, para algumas intensidades de ventos registrados, à profundidade limite na qual o vento atua (D); a intensidade e direção do vento não são constantes.

As correlações obtidas entre correntes de deriva calculadas a partir dos registros horários de ventos na Ilha da Moela e os registros horários de correntes registrados em PL<sub>1</sub> e PL<sub>2</sub> foram próximas de zero, não variando significativamente a ponto de se poder estabelecer regras quanto à influência do vento local na circulação de águas na Baía.

A influência do vento se faz sentir através da variação do nível d'água (marés meteorológicas), assunto bastante estudado na referência (7).

Assim, para o vento, no item 5.3.2, apresentamos apenas os diagramas de frequências de ocorrências e os diagramas de velocidades médias pelas direções, para os períodos nos quais foram registradas as correntes na Baía de

M2

Santos.

### 5.2.3 Ondas

Para a campanha de registros de ondas simultaneamente com os estudos da movimentação de sedimentos de fundo empregando traçadores radioativos, o consultor do INPH para os trabalhos de Santos recomendara a utilização de ondógrafo a acelerômetro do tipo "Waverider Datawell", devido à sua alta eficiência, decorrente de grande autonomia e da transmissão de registros para terra. Isto possibilitaria a obtenção de grande número de dados, sobretudo o registro de ondas em ocasiões de tempestade no regime de inverno.

Entre outras aplicações, estes dados, após devido tratamento no INPH, seriam utilizados na implementação de modelos matemáticos de circulação de sedimentos na baía pelo efeito combinado de ondas e correntes.

Infelizmente, devido a não estar disponível uma boia a acelerômetro, o INPH colocou à disposição do CDTN, para operação em Santos, um ondógrafo a ultra-som da marca Neyrpic. Este aparelho, de baixa autonomia (cerca de 7 dias) e de difícil manuseio, causado pelo seu elevado peso (cerca de 500 kg no ar), não se mostrou adequado para a campanha, sobretudo para o registro das ondas em ocasião de tempestade (regime de inverno).

Em agosto de 1980 o ondógrafo foi fundeado na posição indicada na figura 5.1 (PL<sub>2</sub> Inverno), cujas coordenadas UTM são apresentadas na tabela 4. O local tem a pro

M



fundidade de 11,0 m, relativamente ao zero hidrográfico da Portobrás, e encontra-se a SE da Ponta de Itaipú, quase no limite sul da baía. Devido ao seu peso excessivo e à presença de material silto-argiloso subjacente à areia fina da superfície do fundo na região, o ondógrafo se enterrou após o segundo lançamento, quando ocorreu uma tempestade em Santos. Assim, o último registro obtido na campanha de inverno foi no dia 20/08/80, quando o ondógrafo registrou ondas individuais com altura superior a 4,0 m. Crê-se que a tempestade desse dia tenha contribuído para ajudar a enterrar o ondógrafo. Os serviços de resgate foram extremamente trabalhosos e demorados, tendo sido o ondógrafo recuperado somente em 02/10/81. Nessa época já haviam terminado as campanhas de inverno de estudos com traçadores e o mar já se encontrava mais calmo, sem a ocorrência de fortes tempestades. Como, com a utilização do ondógrafo a ultra-som, os entendimentos entre o INPH e o CDTN só previam observações de ondas durante as campanhas com traçadores, o ondógrafo não mais foi lançado, voltando a operar somente durante a campanha de verão.

Nessa campanha, o ponto de fundeio do ondógrafo, como consequência de novos entendimentos entre o CDTN e o INPH, foi alterado e passou a ser feito em PL<sub>2</sub> Verão, mais no interior da baía, a SE da Ilha Porchat, em local de profundidade 9,0m relativamente ao zero hidrográfico da PORTOBRÁS. As coordenadas UTM do ponto podem ser vistas na tabela 4 e a sua localização na baía é mostrada na Figura 5.1.

Devido a problemas técnicos com o ondógrafo, os registros só foram iniciados em 14/03/81 e se estenderam



até o fim da 2.<sup>a</sup> campanha de verão com traçadores, em 09/04/81. Para a campanha adicional de rastreamento do material radioativo acertada entre o INPH e o CDTN para junho de 1981, não foram continuadas as medições hidráulicas.

No presente relatório são apresentados os resultados das análises dos registros de onda, obtidos pelo método de Tucker-Draper (10), apenas para dar uma idéia dos parâmetros ondulatórios que se conseguiram registrar nas campanhas de inverno e verão e para se aplicar critério de início de movimento de sedimento arenoso sob a ação de ondas, o que será feito no Capítulo 6.

A digitalização dos registros e análise mais detalhada dos mesmos, para aplicação em outros modelos matemáticos, poderá ser feita no INPH, pois serão enviados para lá os originais dos registros de onda.

### 5.3 Resultados

#### 5.3.1 Correntes

a) Período: 04/08/80 a 09/08/80

As correntes em PL<sub>1</sub> Inverno a 1m do fundo se apresentaram em quase todas as direções com frequências de ocorrências geralmente inferiores a 5%. As direções ESE, SE e ENE predominaram muito fracamente, com frequências de ocorrências nunca superiores a 8% (Figura 5.3). As intensidades das correntes foram próximas de 0,12 m/s sofrendo poucas variações em todo o período (Figura 5.4).

M

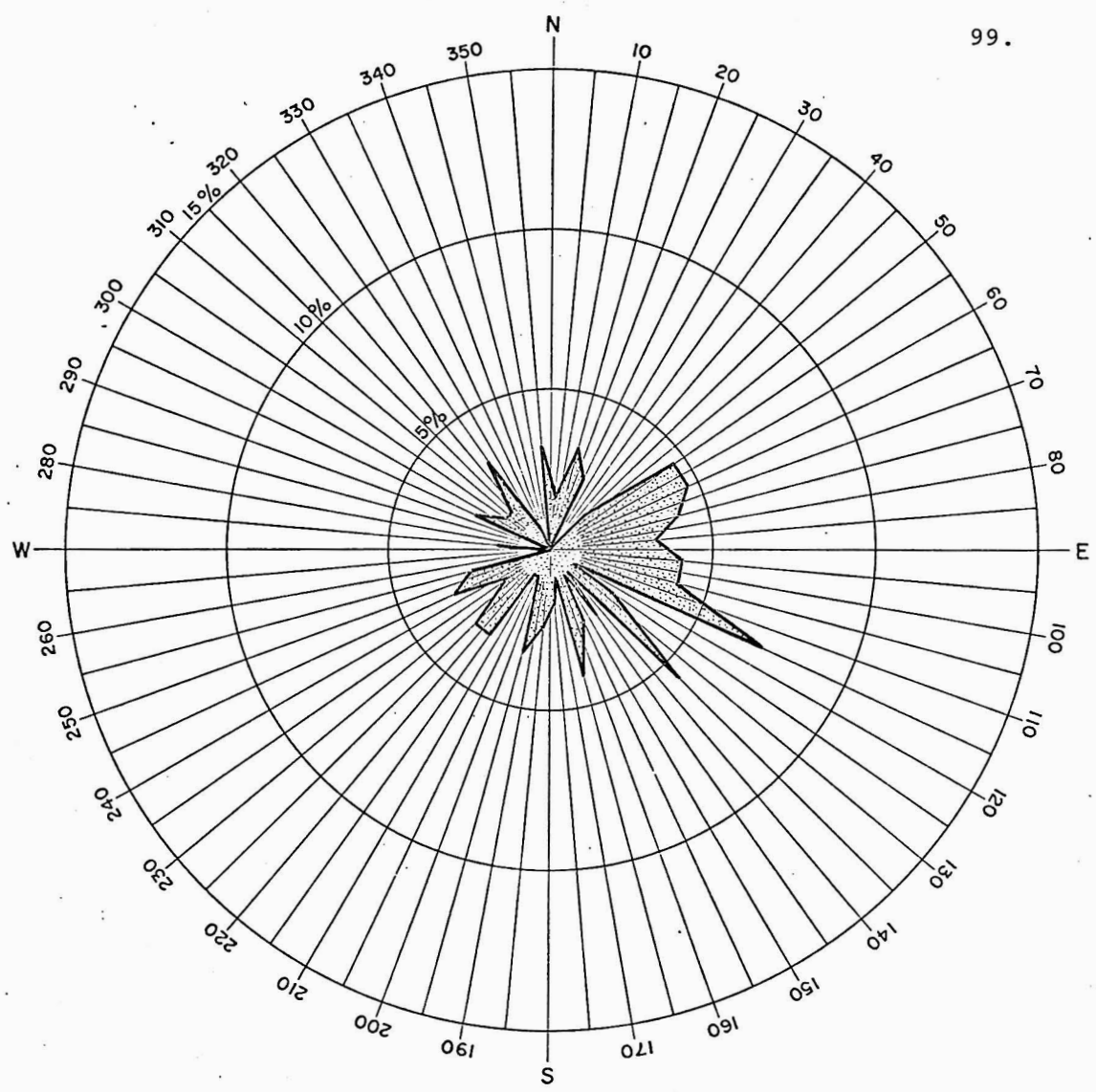


FIG.5.3  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 1  
PERÍODO : 04/08 a 09/08/80

M

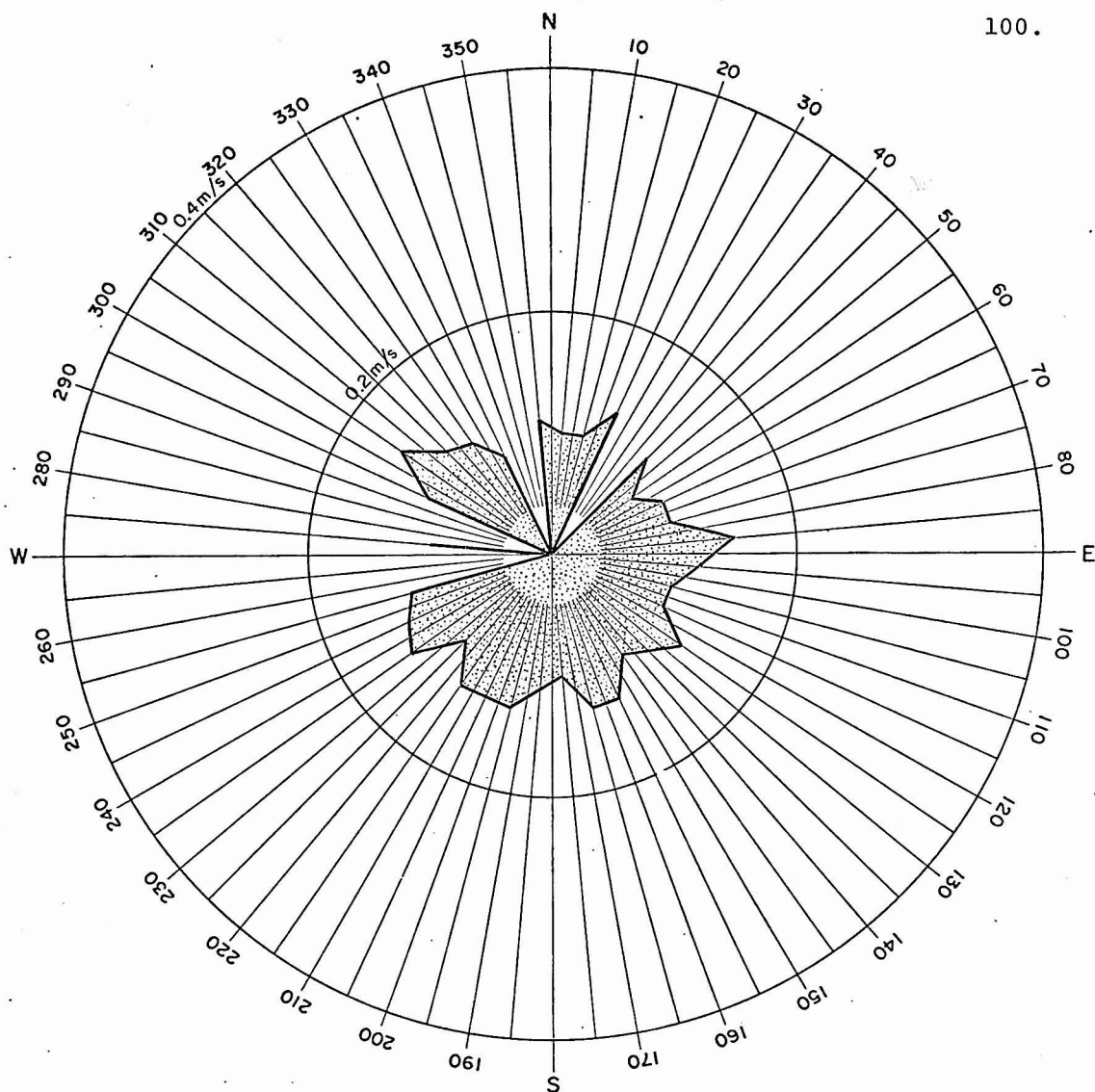


FIG. 5.4  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL1

PERÍODO : 04/08 a 09/08/80

102

No ponto PL<sub>2</sub> Inverno, as correntes a meia profundidade apresentaram direções predominantemente no quadrante SW, em quase sua totalidade, com frequências de ocorrências pelas direções em torno de 5% (Figura 5.5). As intensidades, assim como em PL<sub>1</sub>, sofreram poucas variações ao longo de todo o período, sendo da ordem de 0,15m/s (Figura 5.6).

### Correlações

Em PL<sub>1</sub>, quando o vetor corrente se encontra nos quadrantes NE ou SE, apresenta uma componente segundo o eixo WE que tende a orientar o movimento das águas para o interior do estuário de Santos.

Para efeito de correlações, a intensidade dessa componente será tomada em valor absoluto, com sinal positivo. Por outro lado, quando o vetor corrente se encontra nos quadrantes NW ou SW, a componente WE da corrente tem o sentido concordante com o sentido de esvaziamento do estuário.

A intensidade dessa componente será tomada em valor absoluto, com sinal negativo.

No período em consideração, o marégrafo da Ilha das Palmas estava fora de operação. Por isso, as correlações foram feitas com os dados dos registros de maré em Conceiçãozinha, no estuário, obtidos da CODESP (Cia. Docas do Estado de São Paulo).

Em Conceiçãozinha, a uma elevação do nível d'água

DL

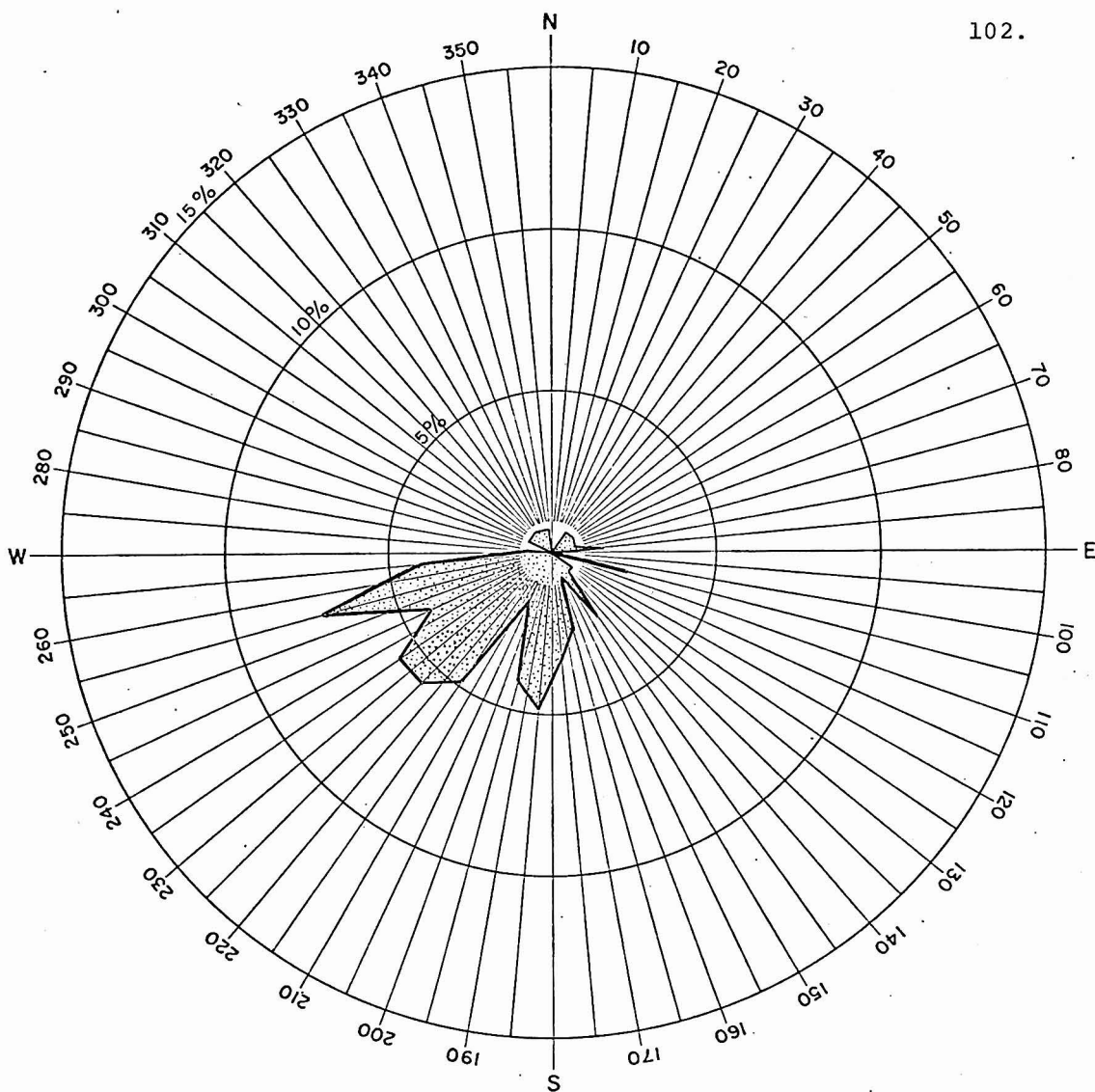


FIG. 5.5  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 04/08 a 09/08/80

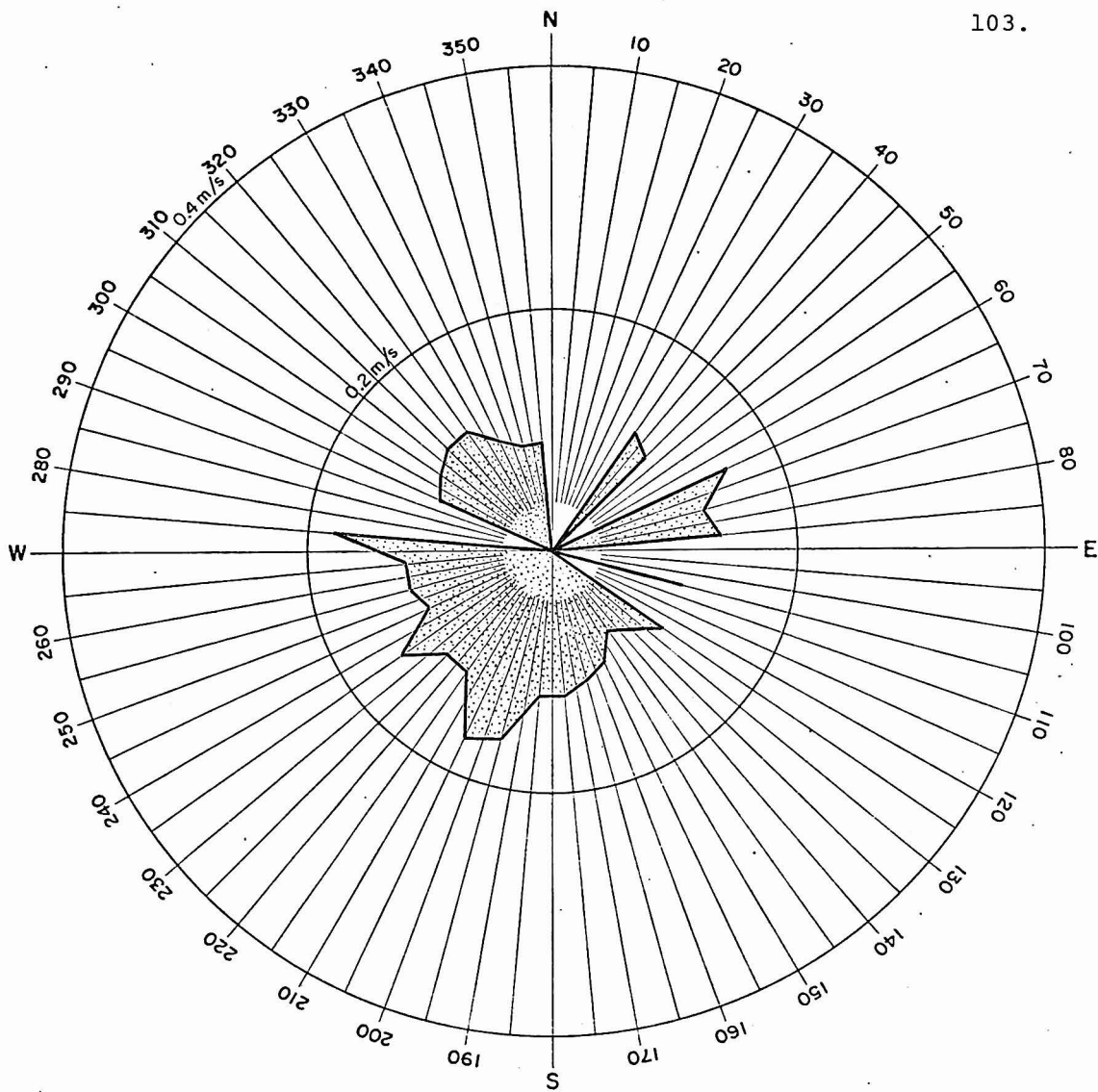


FIG. 5.6  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 04/08 a 09/08/80

será atribuído um gradiente de maré positivo. A um abaixamento do nível d'água, um gradiente de maré negativo.

As correlações entre marés e correntes serão obtidas deslocando-se o sinal gráfico, obtido dos registros de correntes, para um tempo posterior, em relação à onda de maré considerada estacionária.

Assim, tem-se uma forte correlação positiva, a um intervalo de tempo  $\tau$  de defasagem, quando os registros correlacionados ocorrerem predominantemente com mesmo sinal (positivo ou negativo). Uma forte correlação negativa indicaria uma predominância de registros correlacionados com sinais alternados.

As correlações entre o gradiente da maré em Conceiçãozinha e a componente WE da corrente em PL<sub>1</sub>, apresentadas na Figura 5.7, mostram que os maiores picos positivos (embora de fracas intensidades, da ordem de 0,2) ocorrem aproximadamente para  $\tau = 5$  e  $\tau = 17$  horas. De conformidade com o exposto anteriormente, pode-se dizer que, para o período de 04/08/80 a 09/08/80, a elevação (ou abaixamento) do nível d'água em Conceiçãozinha está concordante com o sentido de enchimento (ou esvazamento) do canal do Porto, pelas correntes medidas em PL<sub>1</sub>, para um tempo de defasagem entre maré e corrente de aproximadamente 5 horas. Esse fenômeno é periódico e ocorre com igual período de uma das grandezas correlacionadas, i.é, a componente semi-diurna da maré.

A maré astronômica na baía de Santos é mista . ,

M



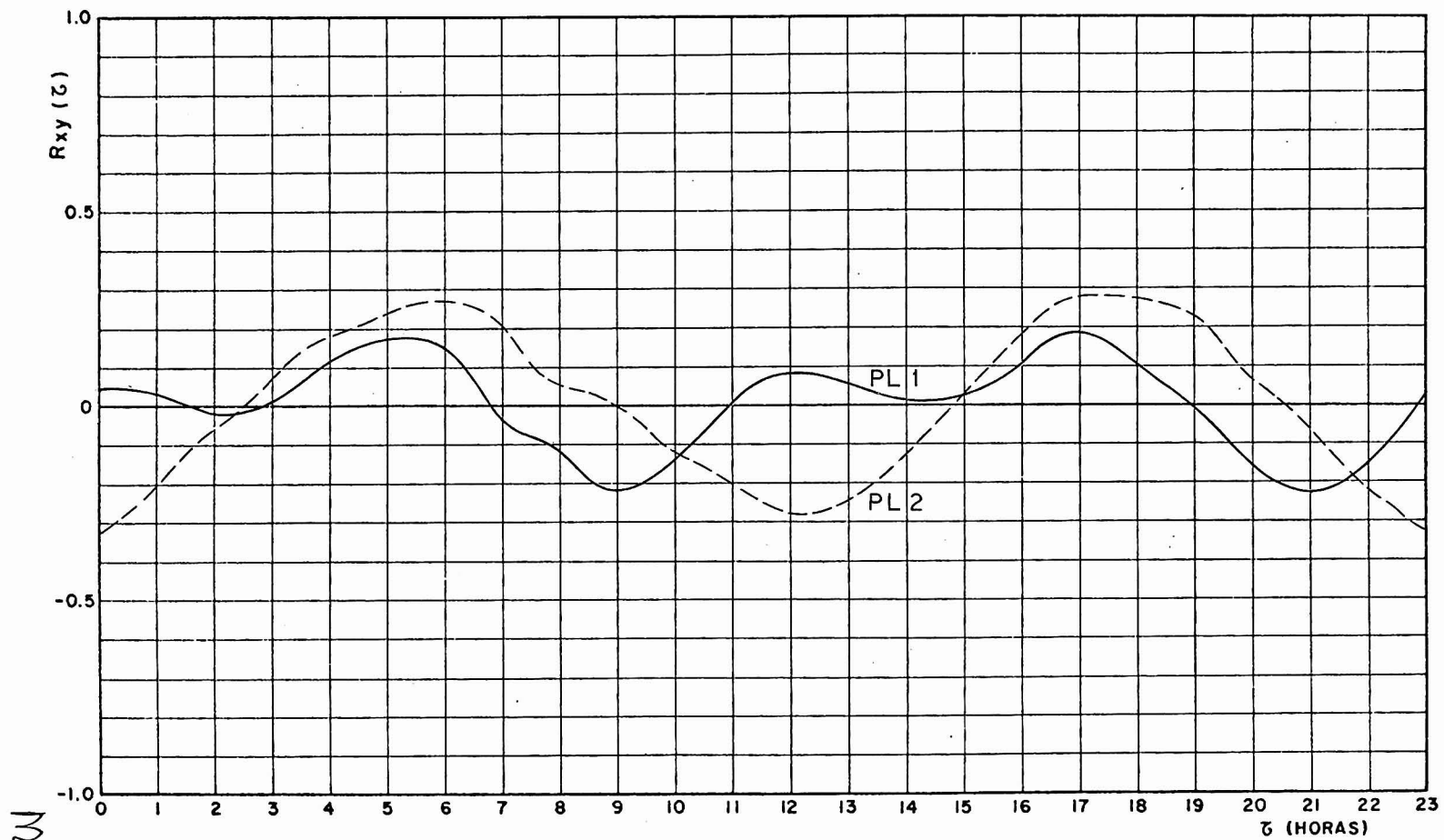


FIG. 5.7 - CORRELAÇÃO ENTRE O GRADIENTE DA MARÉ EM CONCEIÇÃOZINHA  
 E A COMPONENTE WE DA CORRENTE EM PL1 E PL2  
 PERÍODO : 04/08/80 A 09/08/80

tendo as principais componentes diurnas,  $0_1$  e  $K_1$ , grande peso sobre as principais componentes semi-diurnas. Associada a ela, a passagem de frentes frias altera marcadamente o nível d'água ("wind-set-up" e queda de pressão atmosférica). Em vista disso, as marés apresentam características complexas. Na referência 7 - Capítulo 6, é feita uma análise detalhada da maré na baía de Santos, chegando-se à conclusão de que: "em consequência da marcada desigualdade diurna das marés, o período sinódico aproxima-se muito mais das 24,8 horas do que das 12,4 horas".

Entretanto, os estudos de correlação entre a maré e as componentes de correntes em  $PL_1$  e  $PL_2$  ou entre as componentes de correntes nos dois correntógrafos independente de se utilizar a correlação com a maré - mostram uma periodicidade de cerca de 12 horas, o que parece revelar alguma influência das componentes semi-diurnas da maré.

Os dois maiores picos de correlação negativas, também de fracas intensidades, ocorrem a  $\tau = 9$  e  $\tau = 21$  horas, mostrando que, para um intervalo de tempo de defasagem de 9 horas, as grandezas correlacionadas estão predominantemente com sentidos discordantes.

A influência periódica das componentes semi-diurnas da maré sobre as correlações pode ser notada, principalmente através da frequência de ocorrências dos picos de correlações negativas.

A Figura 5.8 apresenta as correlações entre o gradiente da maré em Conceiçãozinha e a componente SN da corrente em  $PL_1$  e  $PL_2$ . A componente SN da corrente em  $PL_1$

M

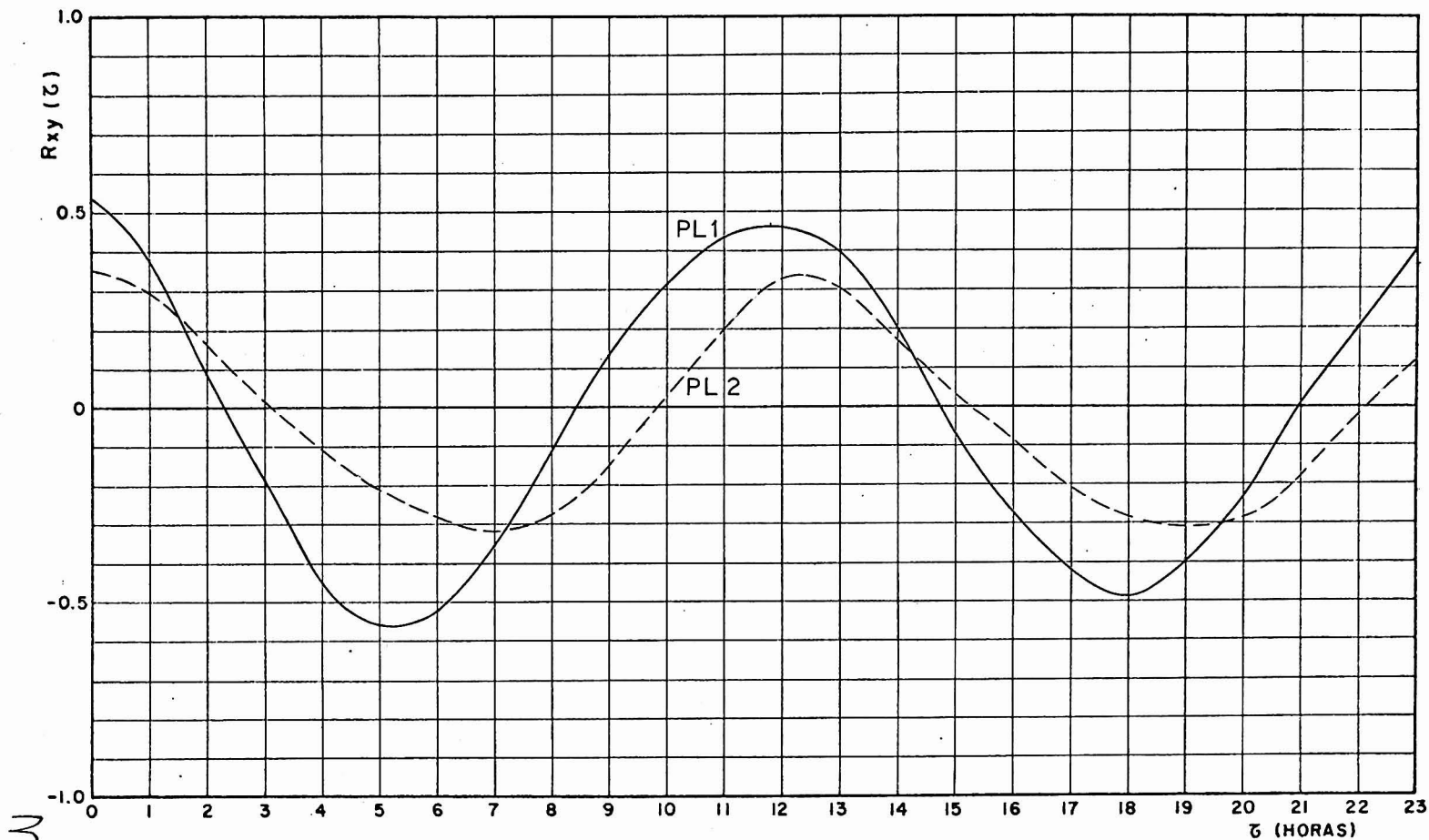


FIG.5.8 - CORRELAÇÃO ENTRE O GRADIENTE DA MARÉ EM CONCEIÇÃOZINHA  
 E A COMPONENTE SN DA CORRENTE EM PL1 E PL2  
 PERÍODO : 04/08/80 A 09/08/80

e  $PL_2$ , que tende a movimentar as águas no sentido norte, em direção às praias da cidade de Santos, será tomada em valor absoluto com sinal positivo, para efeito de correlações. A componente SN que tende a esvaziar a baía de Santos, em direção ao mar aberto, sentido sul, será tomada em valor absoluto com sinal negativo.

As correlações entre o gradiente da maré em Conceiçãozinha e as componentes SN da corrente em  $PL_1$  mostram-se mais pronunciadas do que as correlações com as componentes WE. A similaridade entre os eventos de elevação (ou abaixamento) do nível d'água em Conceiçãozinha e as correntes tendendo a encher (ou esvaziar) a baía de Santos segundo a direção NS, em  $PL_1$ , é consideravelmente pronunciada e ocorre de forma bem harmoniosa. Os dois maiores picos de correlações positivas ocorrem para  $\tau = 0$  e  $\tau = 12$  horas aproximadamente, indicando que, após esses intervalos de tempo, os sentidos de enchimento (ou esvaziamento) do Canal do Porto, em Conceiçãozinha, pela maré estão predominantemente concordantes com os sentidos de enchimento (ou esvaziamento) da baía de Santos, em  $PL_1$ , pelas correntes. Por outro lado, os sentidos estão discordantes para  $\tau = 5,5$  e  $\tau = 18$  horas aproximadamente, quando da ocorrência de dois maiores picos de correlações negativas.

Tomando-se por base as considerações anteriores, pode-se dizer que, no ponto  $PL_1$ , no período considerado, a influência da maré sobre a circulação de águas se faz predominantemente sobre direções próximas à direção NS.

Em  $PL_2$ , durante o período de 04/08 a 09/08/80,

M

as correntes, medidas a meia profundidade, se mantiveram quase que totalmente no quadrante SW, tendendo a esvaziar a baía de Santos (Figura 5.5) com intensidades pouco variáveis (Figura 5.6).

As correlações entre o gradiente da maré em Conceiçãozinha e as componentes WE e SN da corrente em  $PL_2$  são mostradas, respectivamente, nas Figuras 5.7 e 5.8, juntamente com as curvas de correlação para  $PL_1$ .

Não houve uma preponderância entre as correlações do gradiente da maré em Conceiçãozinha com uma dessas componentes (WE ou SN), mas a influência da maré, sobre a circulação das águas em  $PL_2$ , pode ser notada através da frequência com que se repetem os picos de correlações.

Foram pesquisadas relações de similaridade entre as componentes NS e WE dos registros de correntes dos correntógrafos em  $PL_1$  e  $PL_2$ .

Apesar de  $PL_1$  estar a 1m do fundo e  $PL_2$  estar a meia profundidade, esses estudos evidenciaram alguma relação entre as medições, sobretudo entre as componentes da corrente nos dois locais na direção NS.

As correlações entre a componente NS em uma região com a WE da outra região, e vice-versa, não apresentaram valores significativos. Resultados semelhantes foram obtidos ao se tentar correlações entre as componentes WE da corrente para os dois correntógrafos. Os gráficos de correlações resultantes desses estudos não são aqui apresentados.

A Figura 5.9 apresenta correlações entre a componente SN da corrente, registrada em  $PL_1$ , e a componente SN, registrada em  $PL_2$ . Apesar dos valores não serem apreciáveis, nota-se que, para  $\tau = 1$  hora, existe uma predominância de componentes SN com o mesmo sentido nos dois correntógrafos. Esse evento ocorre novamente para  $\tau = 13$  horas, cerca de 12 horas depois do primeiro, mostrando alguma influência da componente semi-diurna da maré. Os sentidos estão predominantemente discordantes (correlações negativas) para  $\tau = 7$  horas e  $\tau = 19$  horas, mostrando também uma periodicidade de 12 horas.

Concluindo, pode-se dizer que, para o período de 04/08 a 09/08/80, a influência da maré sobre a circulação de águas na baía de Santos, se fez próxima da direção NS, com maior influência na região de  $PL_1$  do que em  $PL_2$ .

As velocidades médias da corrente foram maiores para a região de  $PL_2$ .

Relações entre as componentes WE de corrente para as duas regiões parecem não existirem. Quanto às componentes SN, o comportamento da corrente na região de  $PL_2$  é mais similar ao comportamento das correntes em  $PL_1$  após um intervalo de tempo de aproximadamente 1 hora.

b) Período: 19/08/80 a 23/08/80

As correntes, em  $PL_1$ , se apresentaram em quase todas as direções, exceto NNW e N, com frequências de ocorrências em torno de 5% ou menor do que 5%, exceto NW onde apresentaram quase 10% (Figura 5.10). As intensidades das

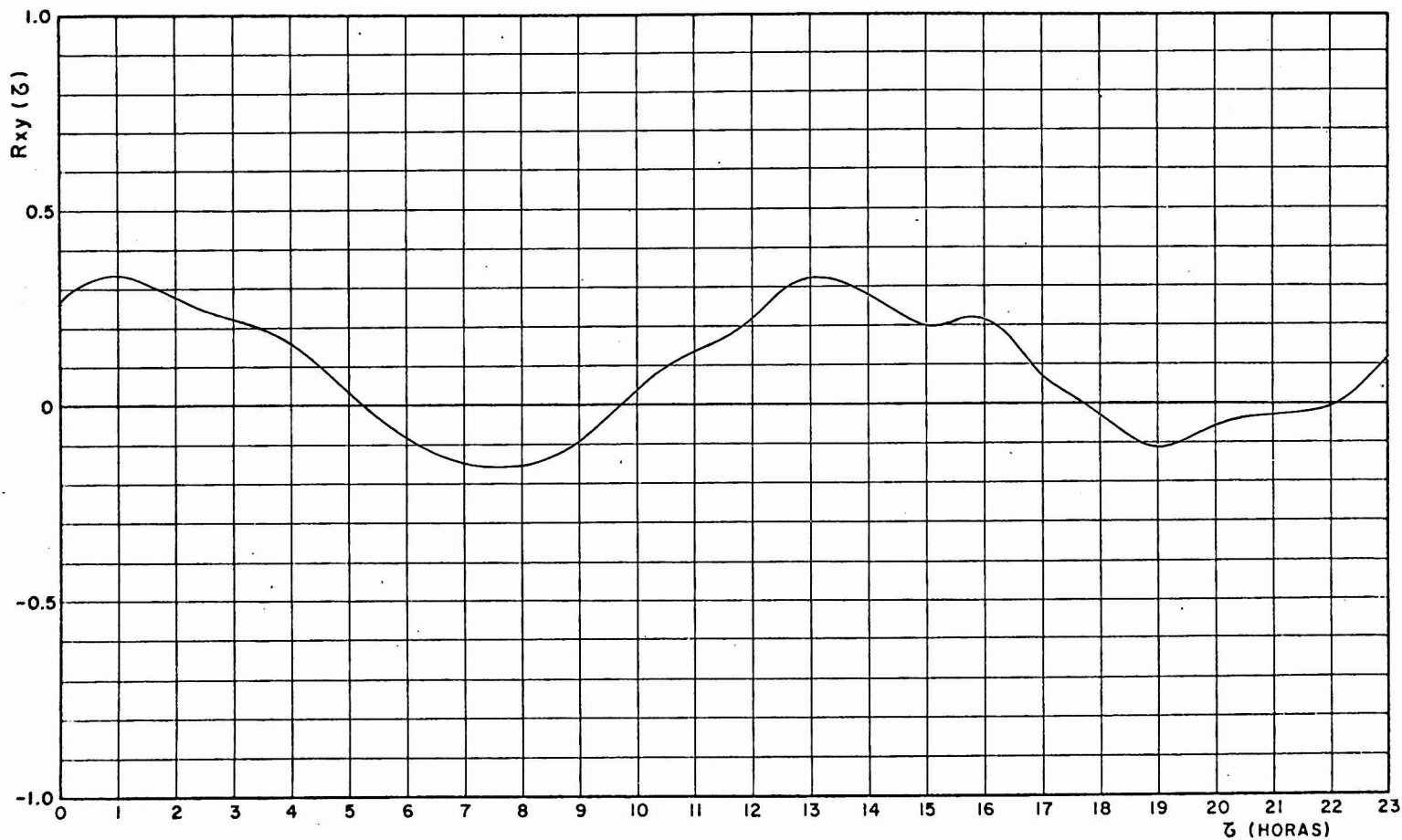


FIG.5.9 - CORRELAÇÃO ENTRE A COMPONENTE SN DA INTENSIDADE  
 DA CORRENTE EM PL1 E A COMPONENTE SN EM PL 2  
 PERÍODO : 04/08/80 A 09/08/80

ML

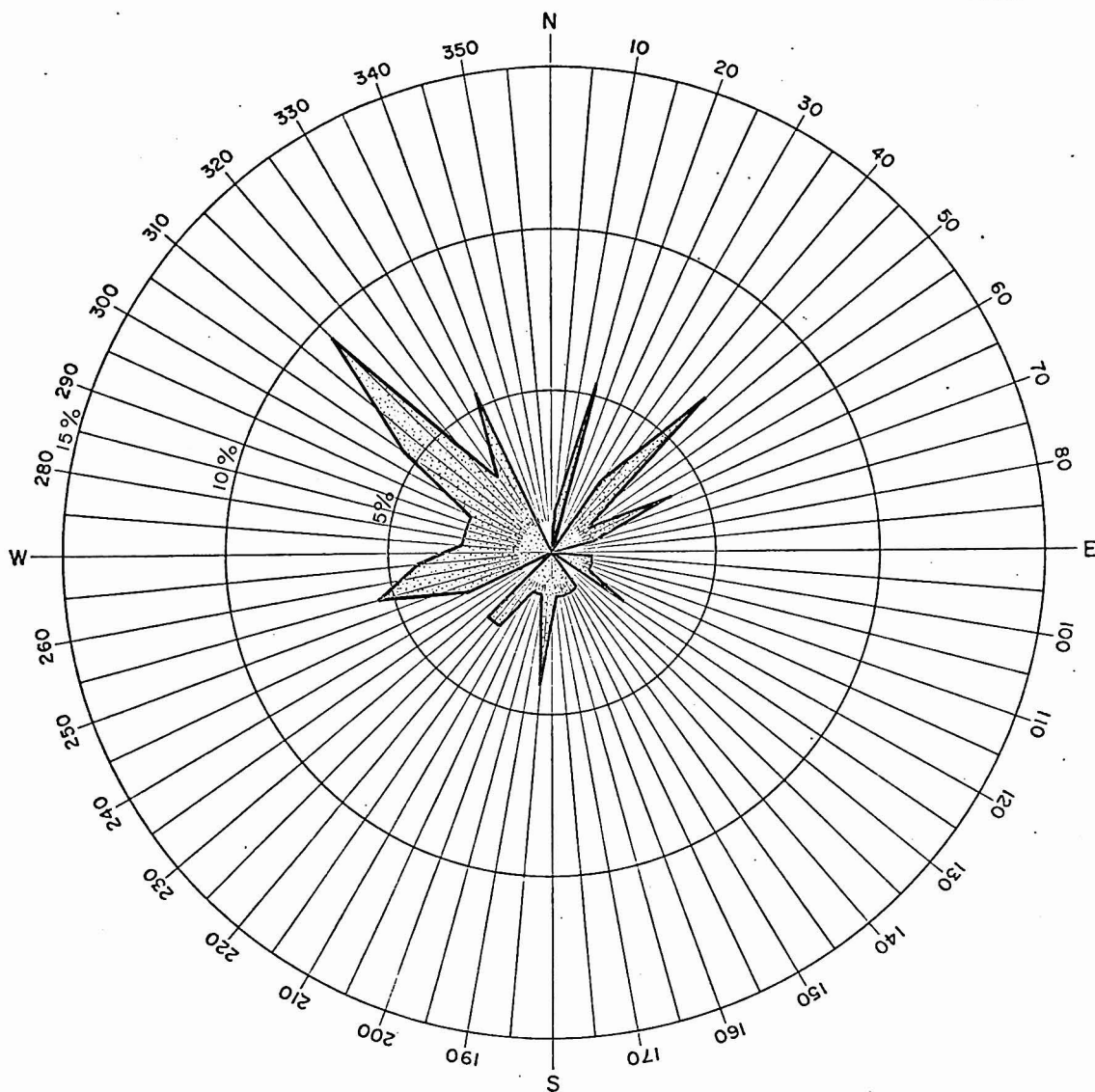


FIG. 10  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 1

PERÍODO : 19/08 a 23/08/80

M2



correntes variaram de 0,11m/s, próximas da direção S, até 0,35m/s na direção WSW (Figura 5.11).

Em  $PL_2$ , as correntes se apresentaram também, em quase todas as direções, com frequências de ocorrências menores do que 5%, exceto próximas da direção E, ESE e SSW onde apresentaram cerca de 7% (Figura 5.12). As intensidades das correntes, todas menores do que 0,2 m/s, não apresentaram variações significativas (Figura 5.13).

### Correlações

A Figura 5.14 mostra que, para o período de 19/08/80 a 23/08/80, as correlações existentes entre o gradiente da maré em Conceiçãozinha e a componente WE da corrente em  $PL_1$  e  $PL_2$  oscilam próximas de zero, o que torna difícil, senão quase impossível, estabelecer relações de similaridade entre esses dois eventos.

As correlações do gradiente da maré em Conceiçãozinha com a componente SN da corrente em  $PL_1$  e  $PL_2$  são mostradas na Figura 5.15. Os valores das correlações são baixos; porém, os maiores valores positivos para  $PL_1$  ocorrem a  $\tau = 0,5$  e  $\tau = 13$  horas aproximadamente. O primeiro maior valor de correlação negativa ocorre a  $\tau = 7$  horas aproximadamente. Decorridas 0,5 ou 13 horas, os sentidos de enchimento (ou esvaziamento) do Canal do Porto, em Conceiçãozinha, pela maré, estão predominantemente concordantes com os sentidos de enchimento (esvaziamento) da baía de Santos, em  $PL_1$ , pelas correntes segundo SN. Os sentidos estão predominantemente discordantes para  $\tau = 7$  horas.

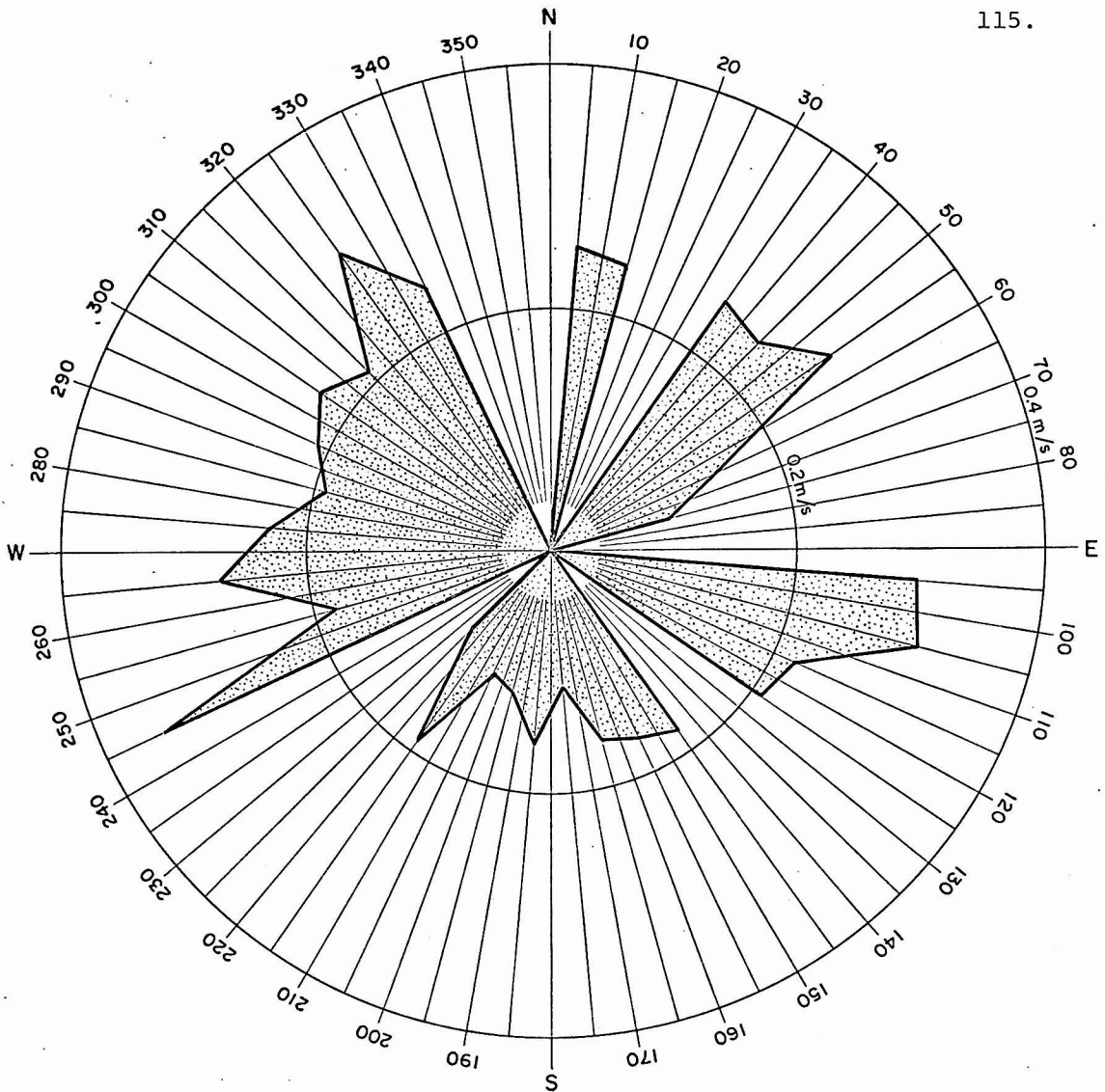


FIG. 5.11  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 1

PERÍODO : 19/08 a 23/08/80

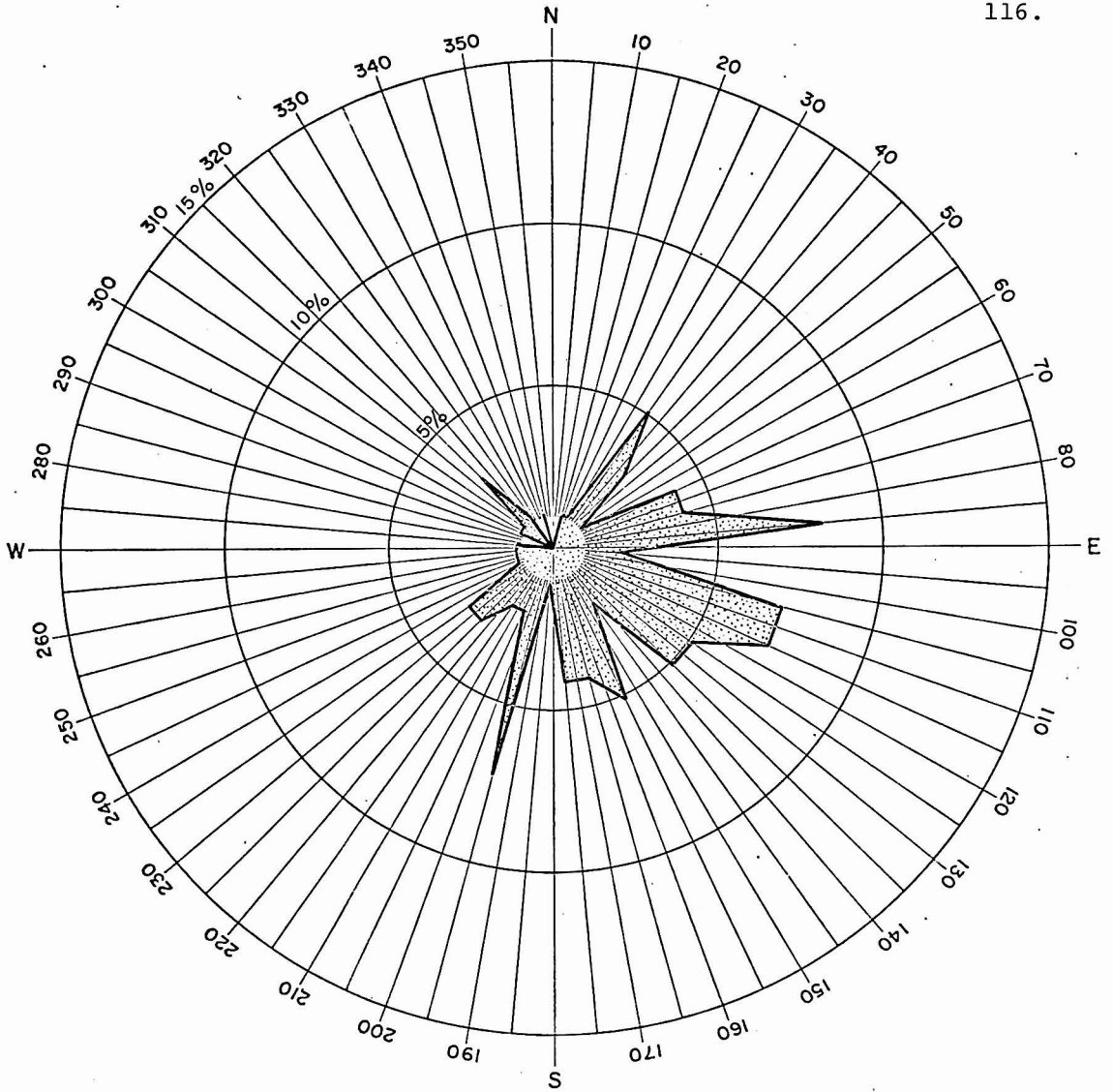


FIG. 5.12  
 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
 INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
 OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 19/08 a 23/08/80

M

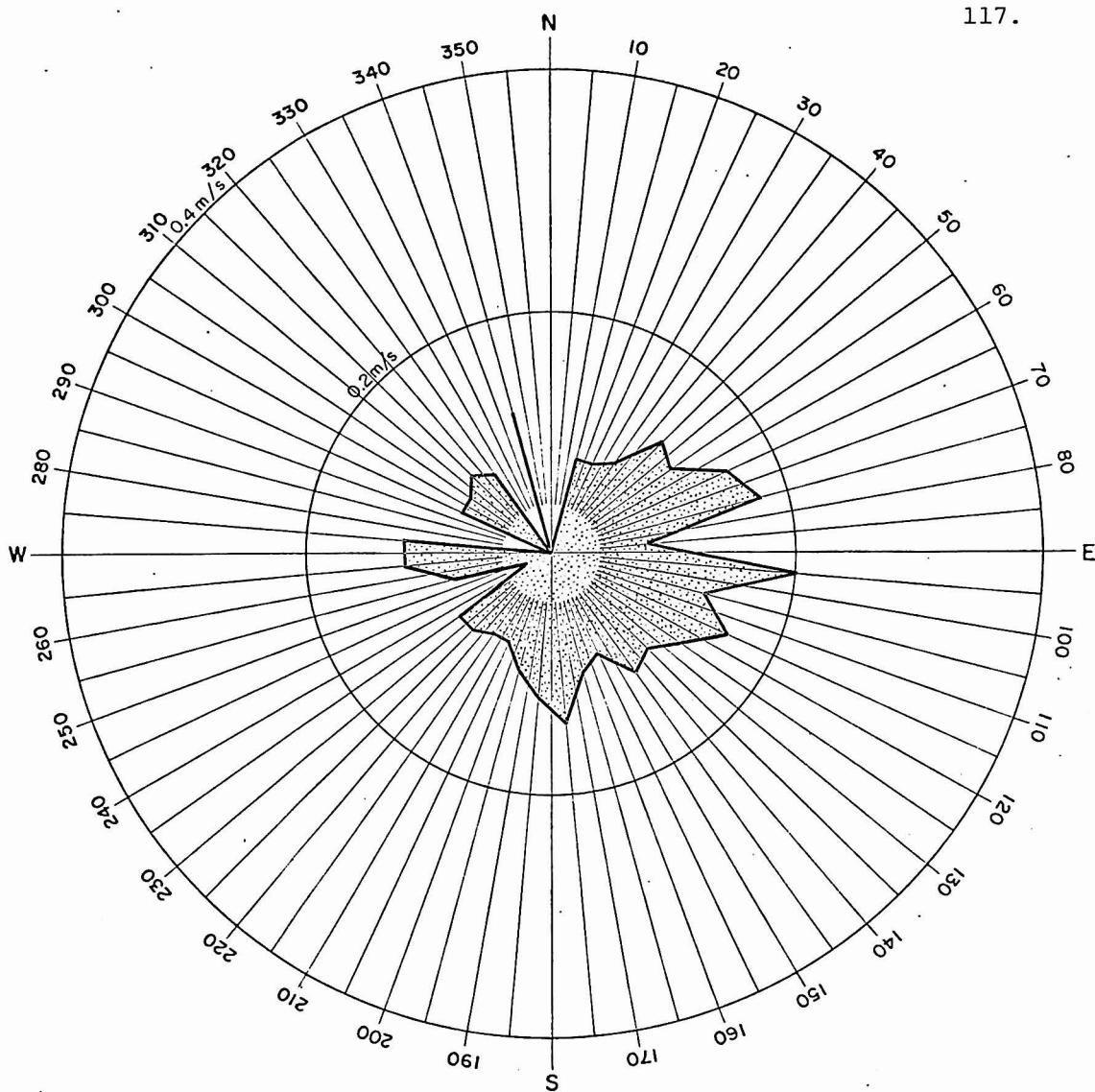


FIG. 5.13  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 19/08 a 23/08/80

M

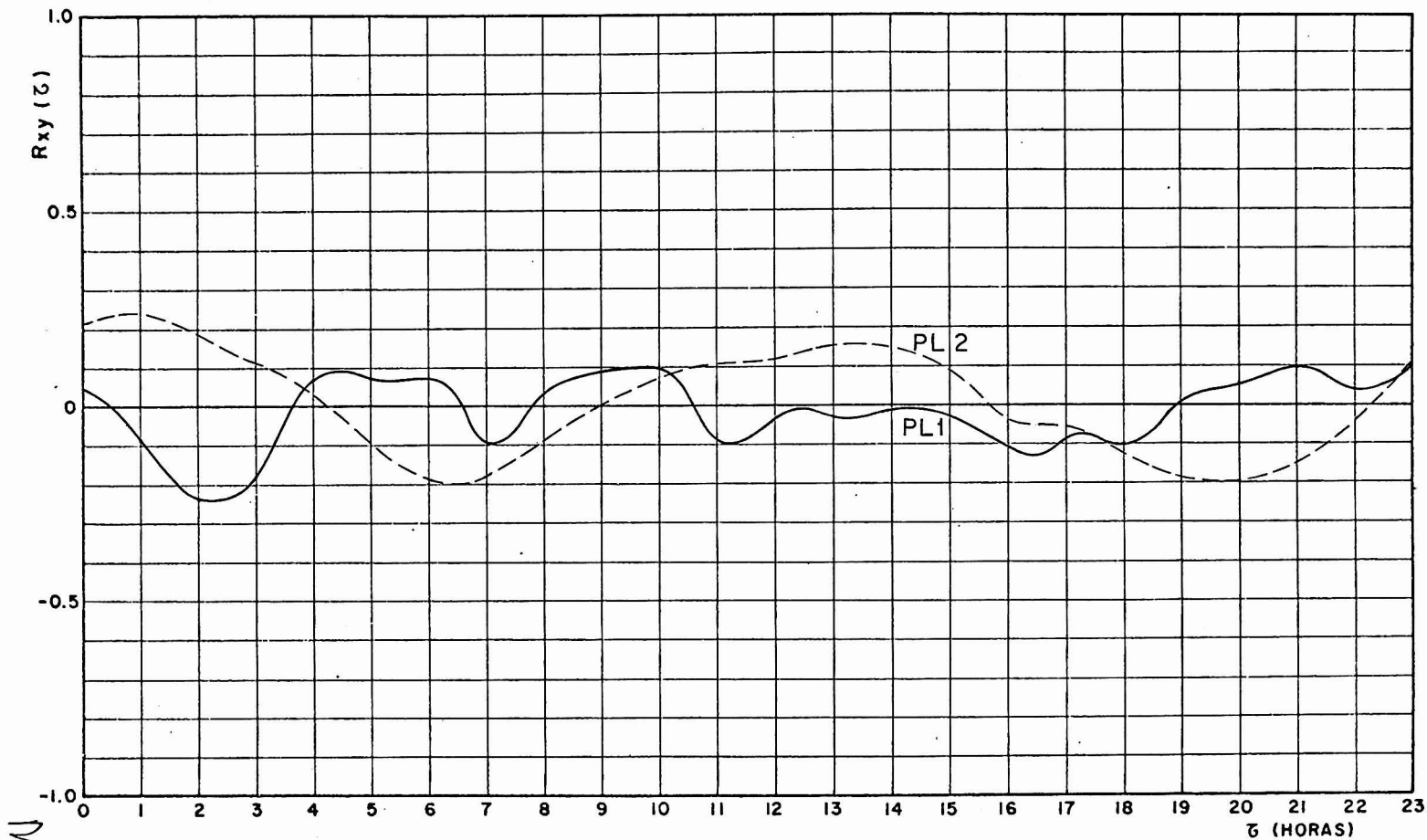


FIG.5.14 - CORRELAÇÃO ENTRE O GRADIENTE DA MARÉ EM CONCEIÇÃOZINHA  
 E A COMPONENTE WE DA CORRENTE EM PL 1 E PL 2  
 PERÍODO : 19/08/80 A 23/08/80

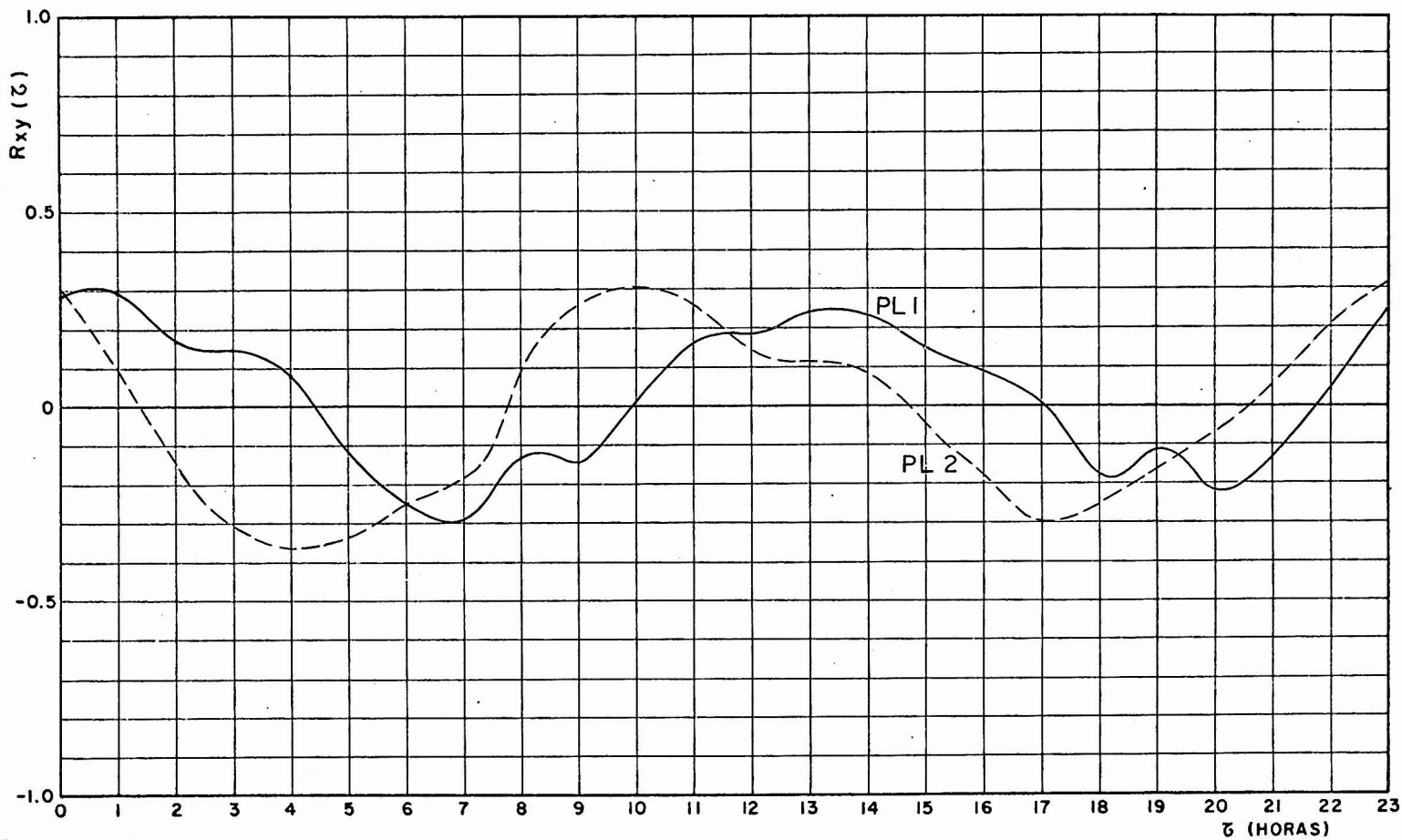


FIG.5.15 - CORRELAÇÃO ENTRE O GRADIENTE DA MARÉ EM CONCEIÇÃOZINHA  
 E A COMPONENTE SN DA CORRENTE EM PL 1 E PL 2  
 PERÍODO : 19/08/80 A 23/08/80

ML

A Figura 5.15 apresenta correlação entre o gradiente da maré em Conceiçãozinha e a componente SN da corrente em PL<sub>2</sub>. Para  $\tau = 10$  e provavelmente  $\tau = -2$  horas (que não aparece na Figura, mas baseando-se na periodicidade da curva) os sentidos de enchimento (ou esvaziamento) do Canal do Porto em Conceiçãozinha, pela maré, estão predominantemente concordantes com os sentidos de enchimento (ou esvaziamento) da baía de Santos, em PL<sub>2</sub>, pela direção NS. Para  $\tau = 4$  e  $\tau = 17$  horas os sentidos estão discordantes.

Comparando-se as Figuras 5.14 e 5.15, nota-se que, em PL<sub>2</sub>, para o período de 19/08 a 23/08/80, apesar dos valores das correlações serem baixos, a influência da maré na direção NS predominou fracamente sobre a direção WE.

Concluindo, para o período de 19/08 a 23/08/80, a influência da maré sobre a circulação de águas nas regiões de PL<sub>1</sub> e PL<sub>2</sub> se fez proximamente da direção NS, sem predominar em uma das regiões.

As velocidades médias por direção foram maiores para a região de PL<sub>1</sub>.

Correlações entre componentes de corrente segundo eixos NS e WE, para as duas regiões, são praticamente inexistentes.

c) Período: 04/09/80 a 10/09/80

Durante o período de 04/09/80 a 10/09/80, em que se registraram as variações do nível d'água na Ilha das

M2

Palmas, o correntógrafo instalado em  $PL_1$  apresentou problemas de funcionamento, tanto no sistema que acusa as direções de correntes, quanto no sistema que mede as intensidades de correntes, sendo excluído das análises.

A Figura 5.16 apresenta as frequências de ocorrências das correntes, segundo as direções, para o ponto  $PL_2$ . Predominaram os quadrantes NW e SW. As correntes no quadrante NW ocorreram com intensidades um pouco mais elevadas (Figura 5.17).

Por ter sido a maré registrada na Ilha das Palmas, portanto relativamente próxima dos pontos de medidas de correntes, achou-se por bem separar os registros de correntes segundo as fases de enchente e vazante da maré. As Figuras 5.18 a 5.21 a isso se referem. Segundo as Figuras 5.18 e 5.20, vê-se respectivamente, que, durante a fase de enchente, as correntes em  $PL_2$  se encontram predominantemente no quadrante NW, próximas às direções NW e NNW, e que, durante a fase de vazante, as correntes se encontram distribuídas uniformemente sobretudo pelo quadrante SW. Quanto às intensidades das correntes, elas são um pouco maiores para a fase de vazante (Figuras 5.19 e 5.21).

### Correlações

As correlações do gradiente da maré na Ilha das Palmas com as componentes WE e SN da corrente em  $PL_2$  são apresentadas nas Figuras 5.22 e 5.23 respectivamente.

Comparando-se essas duas figuras vê-se que, para o período de 04/09 a 10/09/80, a influência da maré na

12



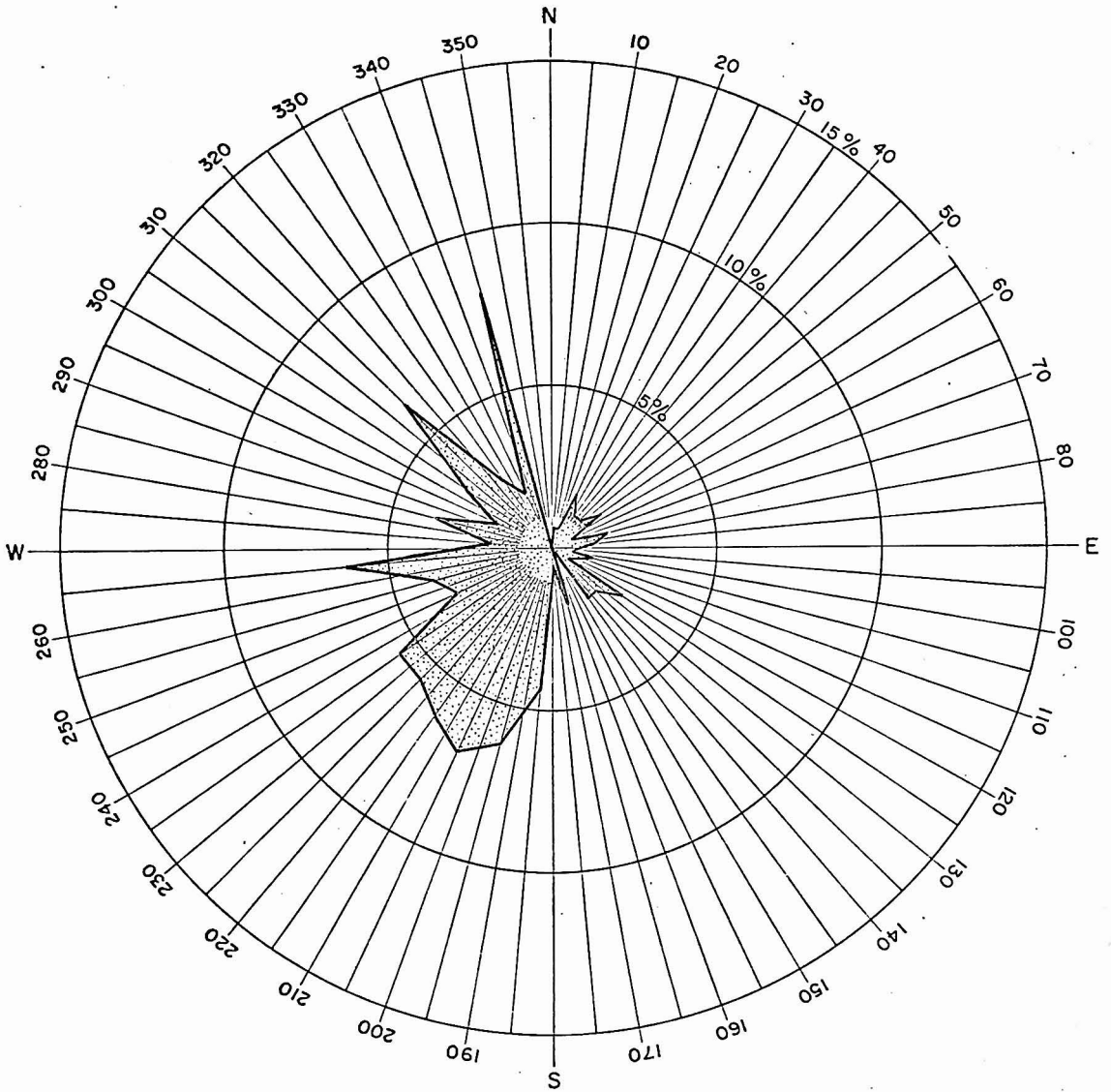


FIG. 5.16  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 04/09 a 10/09/80

*m*

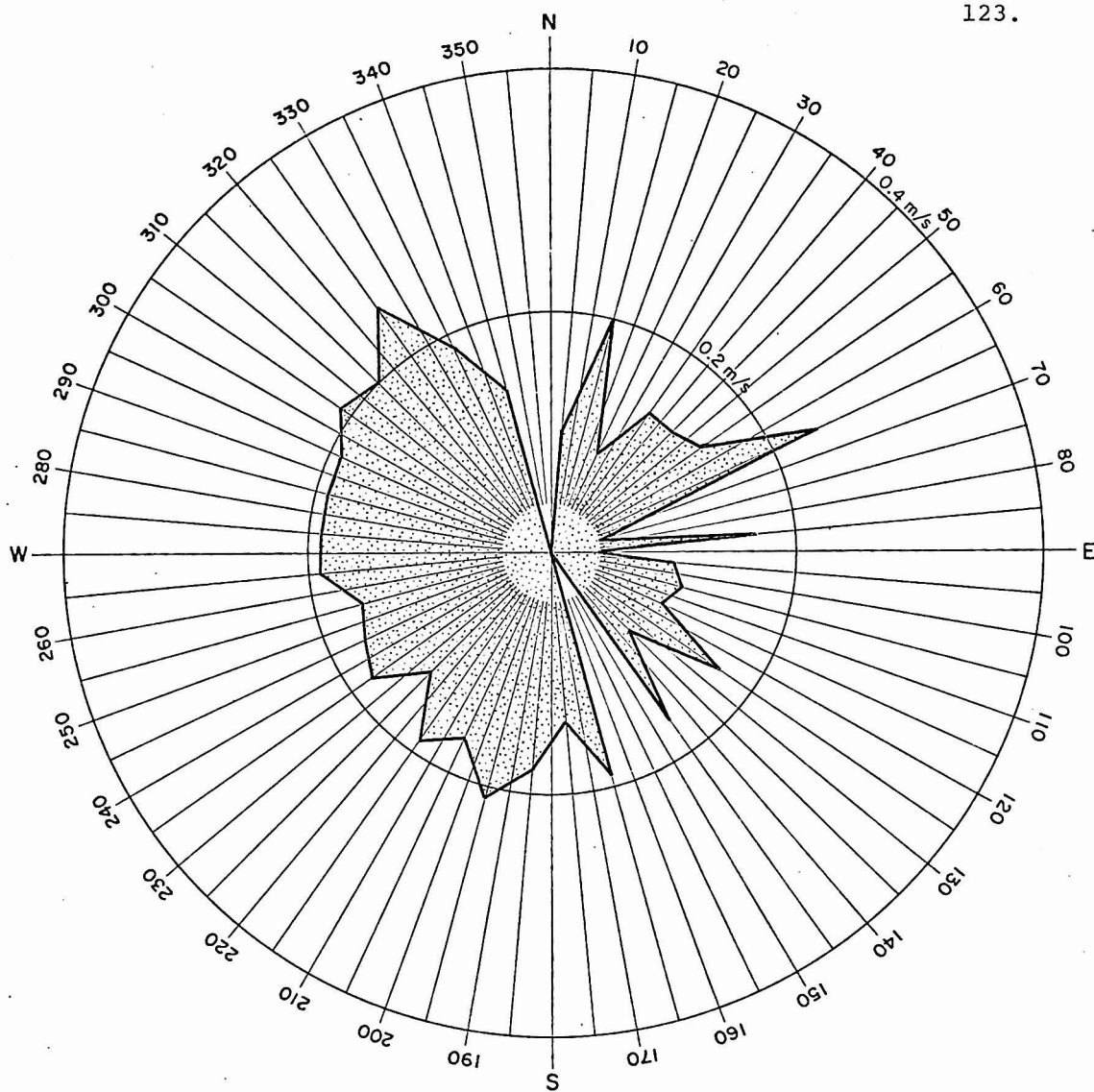


FIG. 5.17  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 04/09 a 10/09/80

M

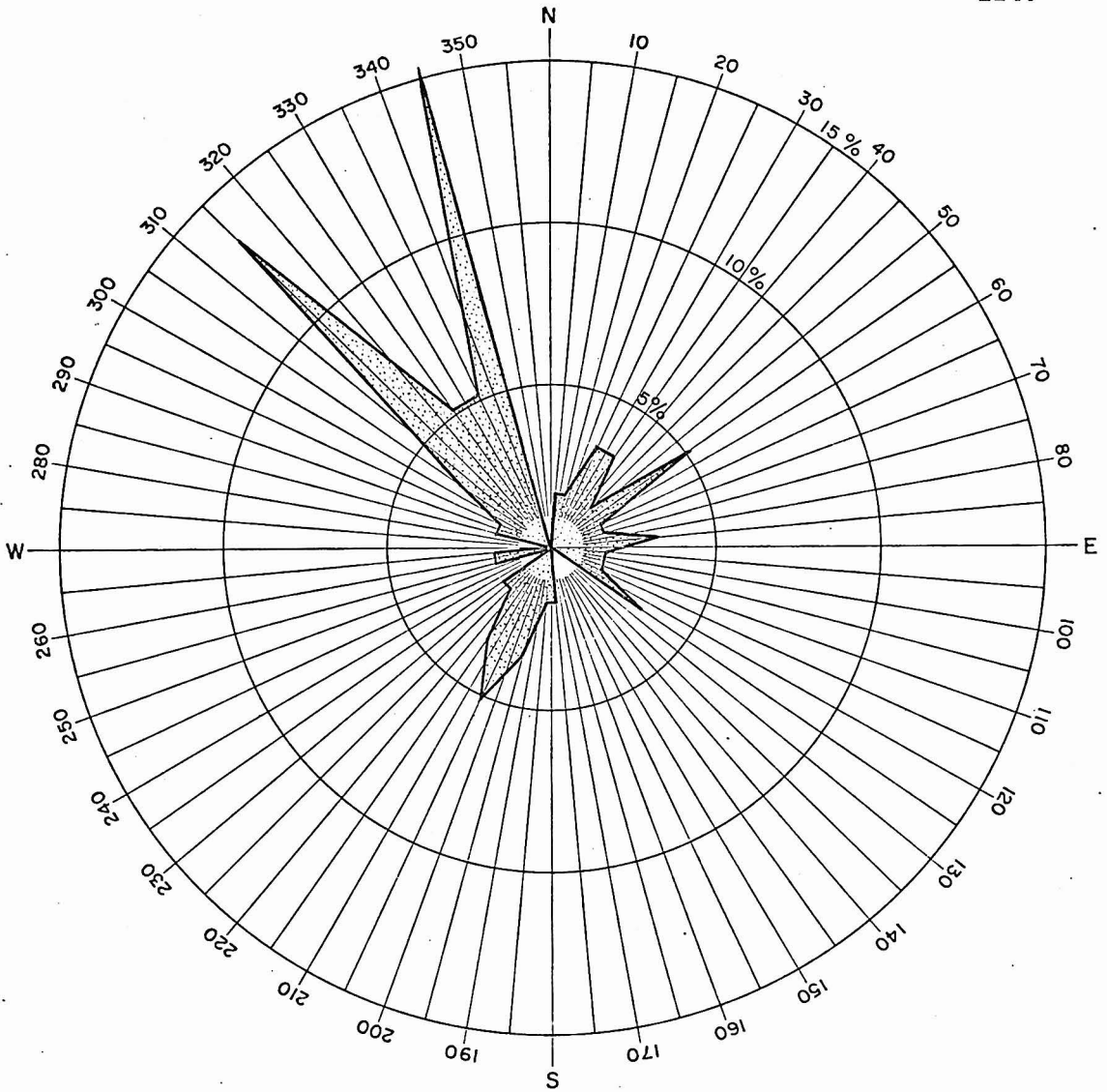


FIG. 5.18  
 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
 INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
 OS REGISTROS DE CORRENTE (MARÉ ENCHENTE)

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 04/09 a 10/09/80

M2

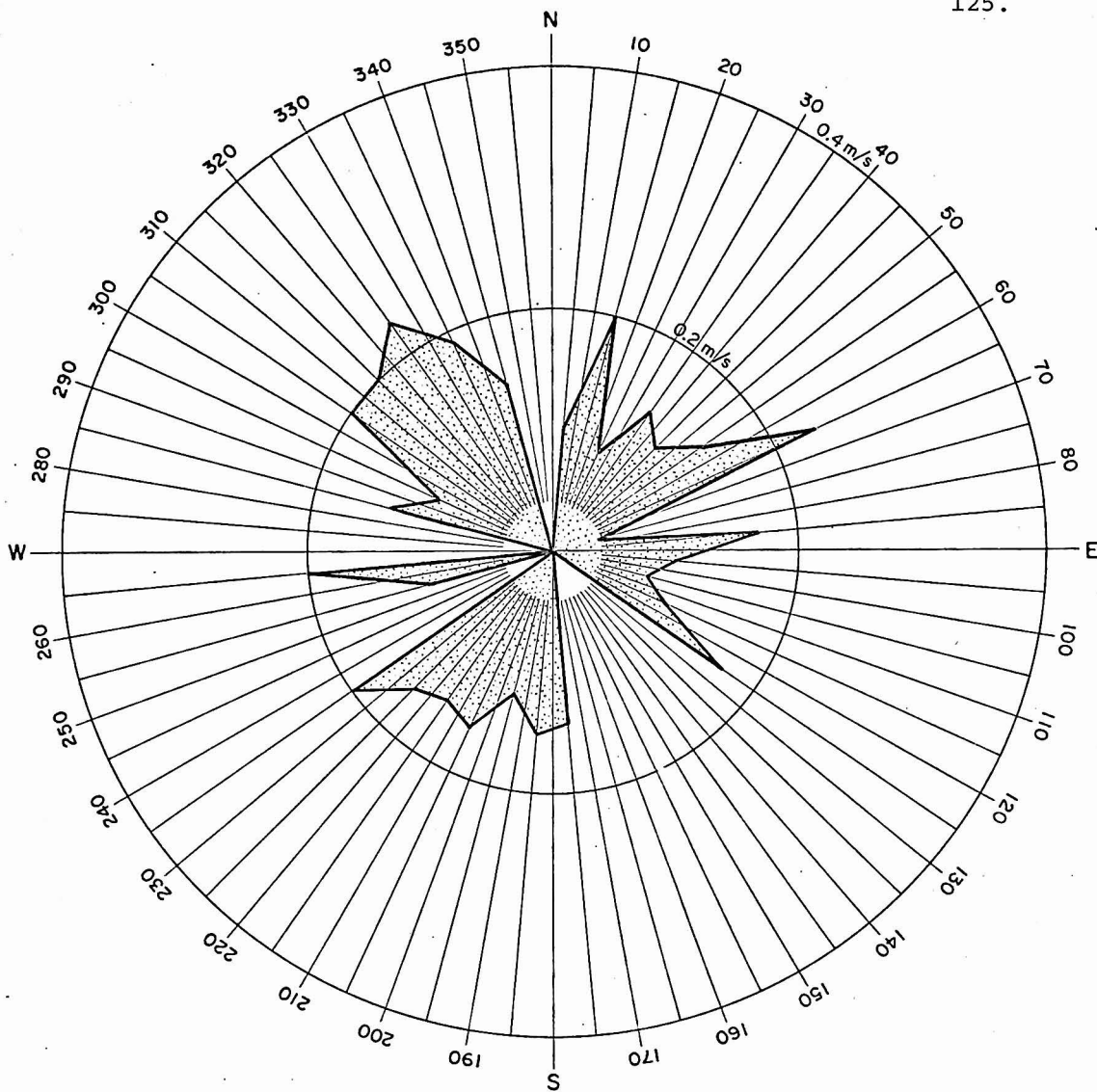


FIG.5.19  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE  
(MARÉ ENCHENTE)

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 04/09 a 10/09/80

M

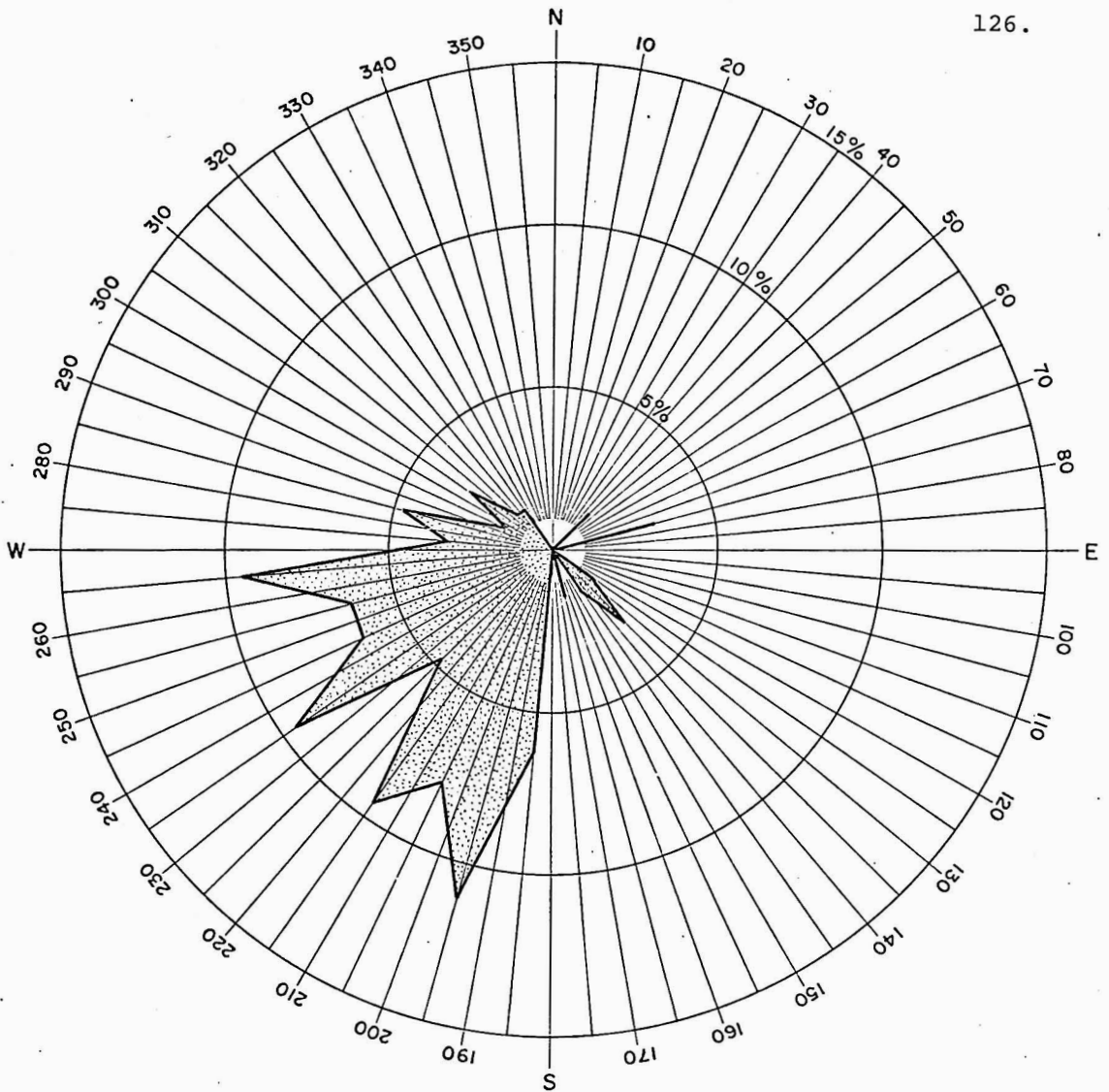


FIG. 5.20

FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE (MARÉ VAZANTE)

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 04/09 a 10/09/80

102

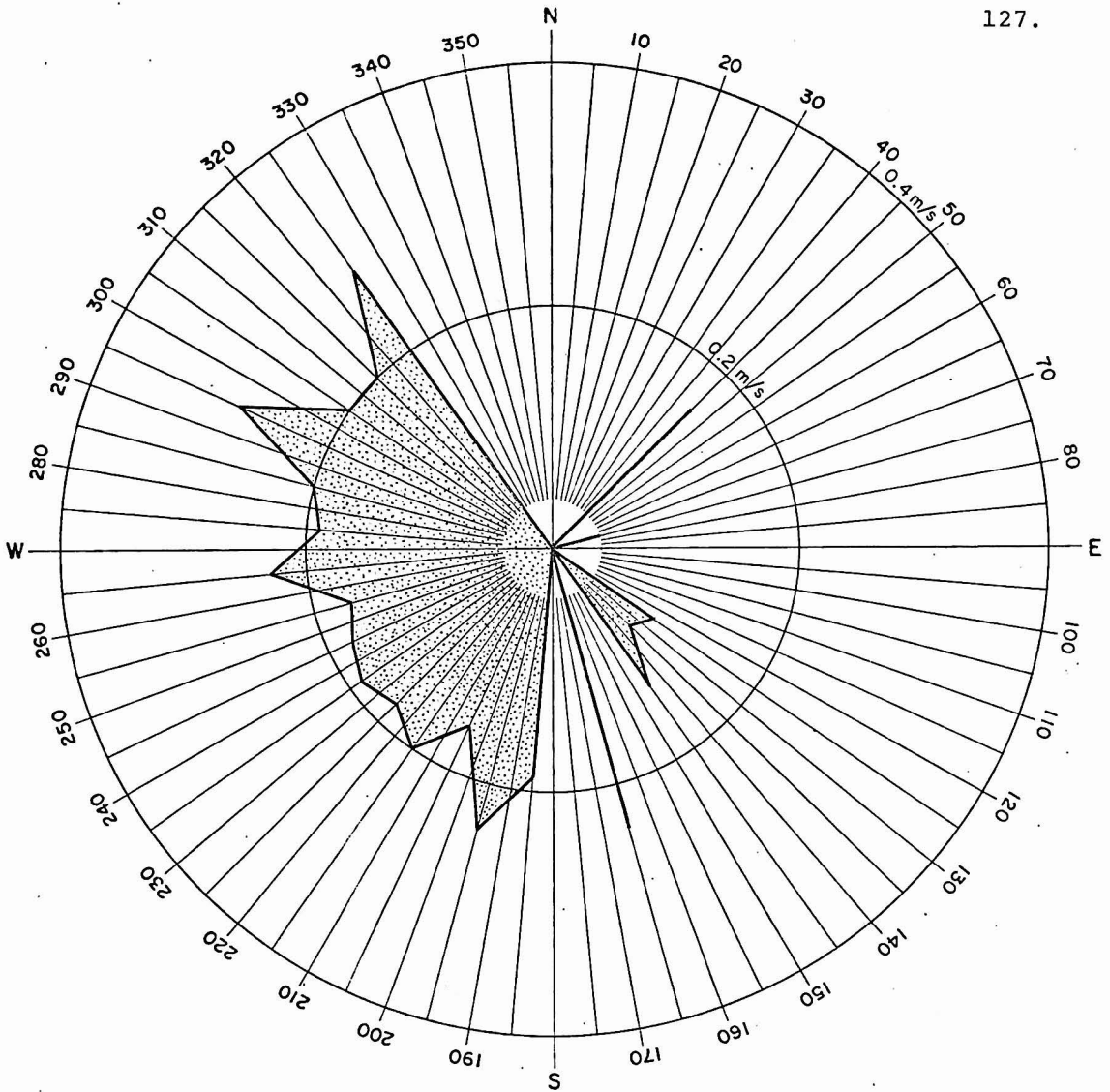


FIG. 5.21  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE  
(MARÉ VAZANTE)

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 04/09 a 10/09/80

*m*

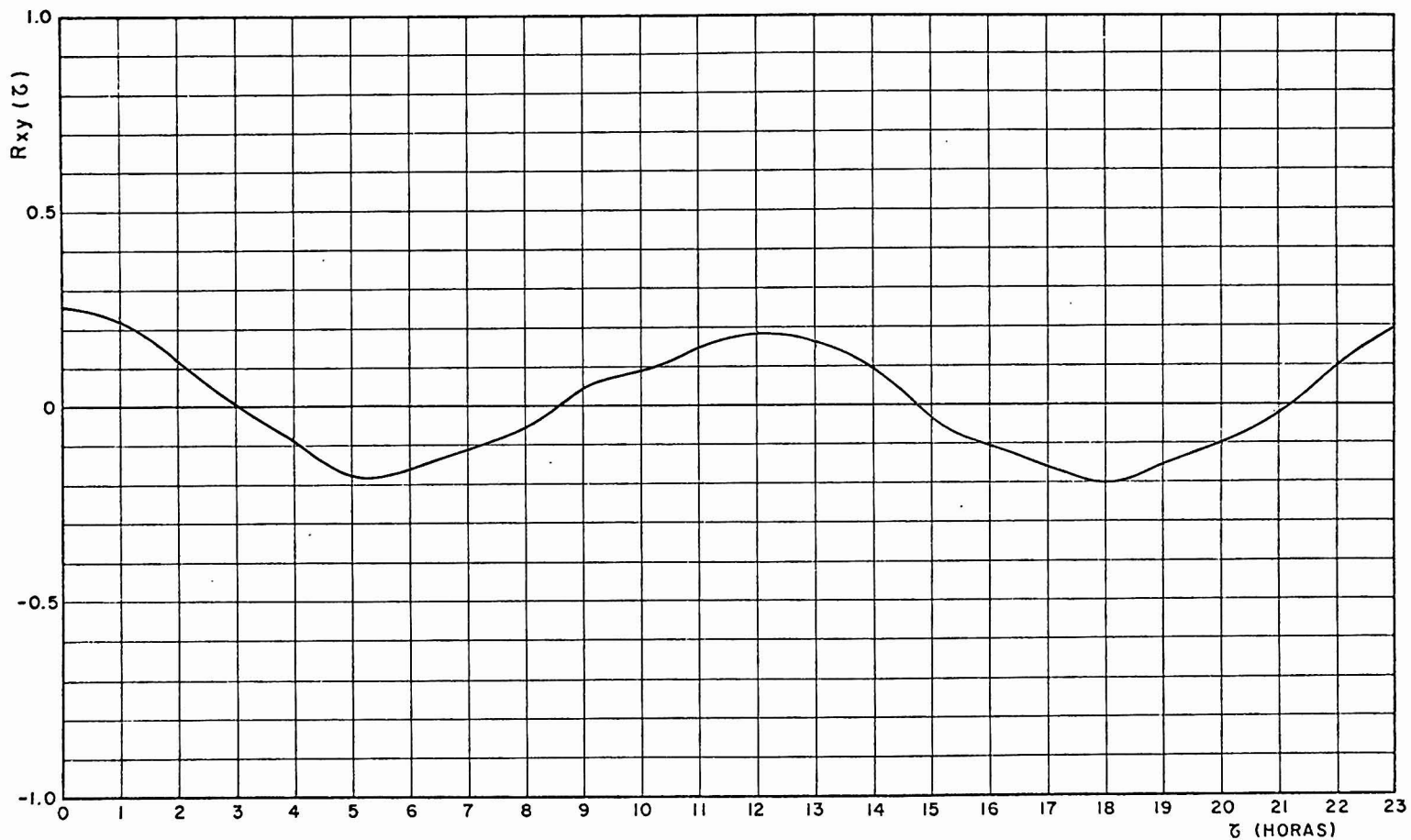


FIG.5.22-CORRELAÇÃO ENTRE O GRADIENTE DA MARÉ NA ILHA DAS PALMAS  
 E A COMPONENTE WE DA CORRENTE EM PL2  
 PERÍODO : 04/09/80 A 10/09/80

M

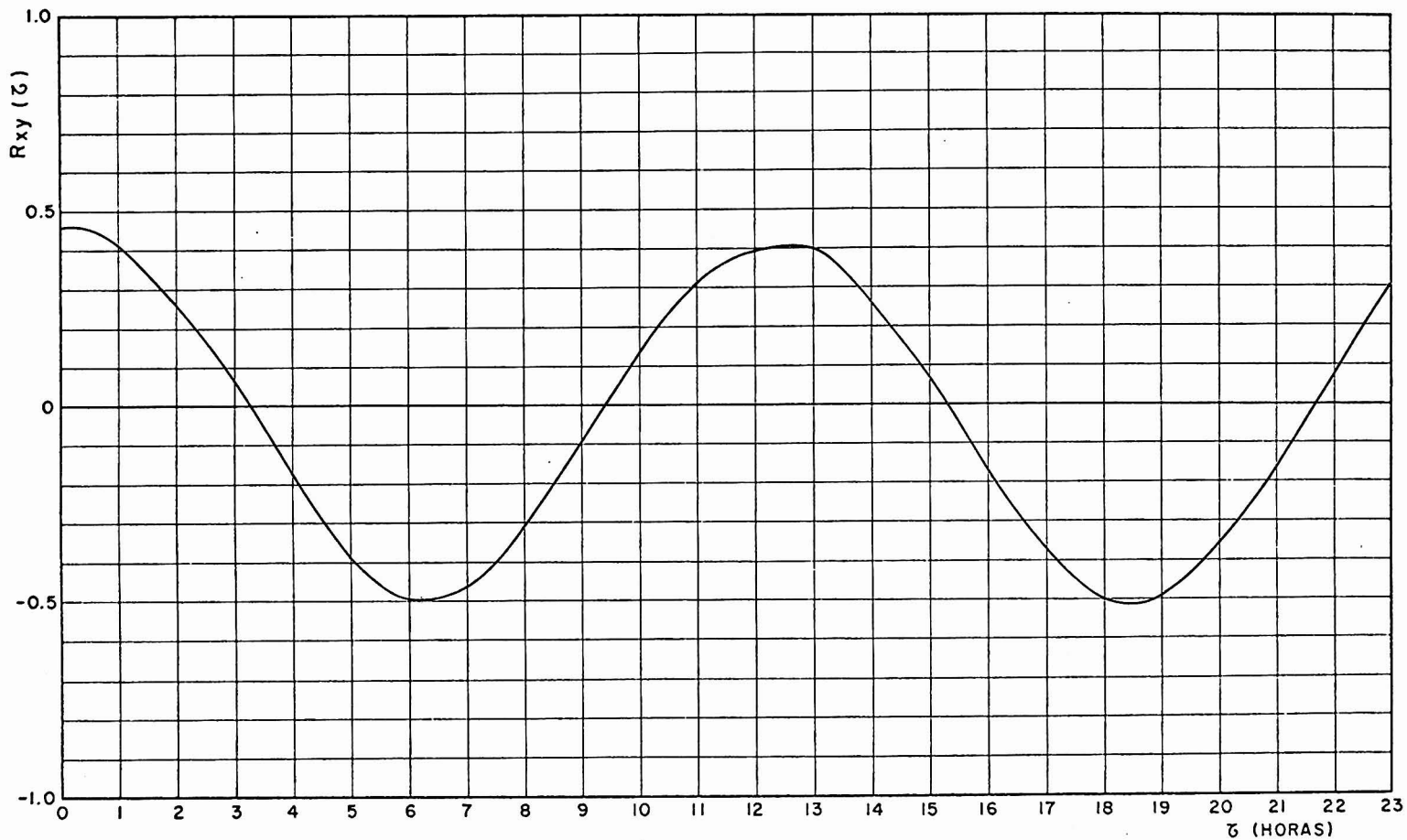


FIG.5.23-CORRELAÇÃO ENTRE O GRADIENTE DA MARÉ NA ILHA DAS PALMAS  
 E A COMPONENTE SN DA CORRENTE EM PL 2  
 PERÍODO : 04/09/80 A 10/09/80

M



circulação de águas em  $PL_2$  se faz também predominantemente na direção NS.

Praticamente não há defasagem de tempo entre os fenômenos de maré na Ilha das Palmas e correntes a meia profundidade em  $PL_2$  Inverno.

d) Período: 04/08/80 a 16/09/80

Para esse período, que engloba os dois anteriores, são apresentadas somente as frequências de ocorrências pelas direções, tanto para as correntes em  $PL_1$ , como em  $PL_2$  (Figuras 5.24 e 5.25). Durante grande parte do período não se tem registros de intensidades de corrente, para as duas regiões, devido a um mau funcionamento dos sistemas dos correntógrafos que registravam essas intensidades. Assim, um diagrama de velocidades médias pelas direções para  $PL_1$  ou para  $PL_2$ , onde só se considerasse pequenos períodos em que se tem os registros de intensidade, seria pouco representativo.

Vê-se pela Figura 5.24 que a circulação de águas em  $PL_1$  a 1m do fundo, de 04/08 a 16/09/80, se fez preferencialmente segundo as direções NNE e SSE. Em  $PL_2$ , a circulação de águas a meia profundidade, se fez preferencialmente entre SSE e W, com máximos para SSE, SSW e SW, bem como NE e ESE, com máximos ocorrendo mais uniformemente ao longo desses setores. Um mínimo se obteve para o azimute  $95^\circ$  (Figura 5.25).

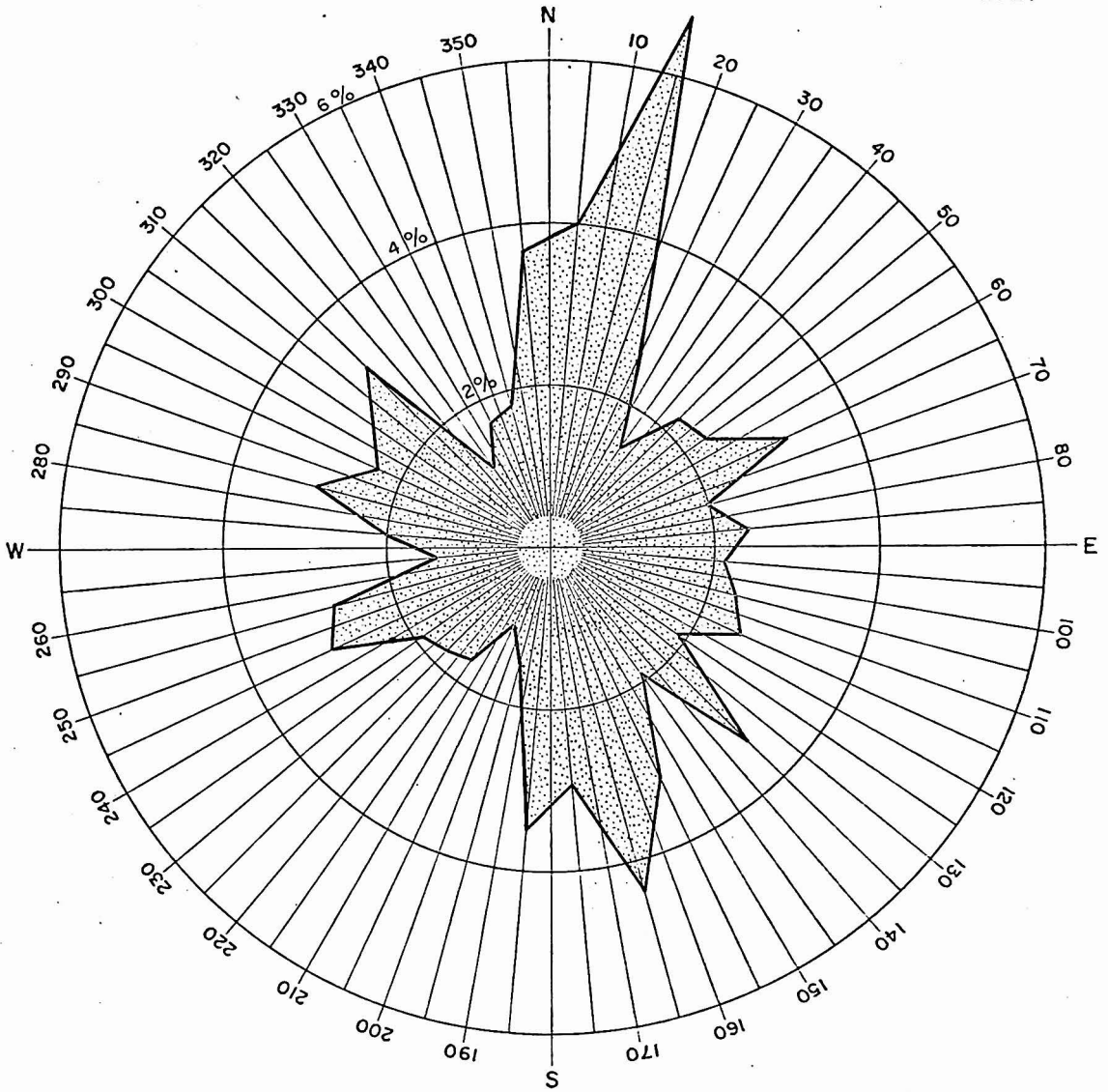


FIG. 5.24  
 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
 INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
 OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL1

PERÍODO : 04/08 a 16/09/80

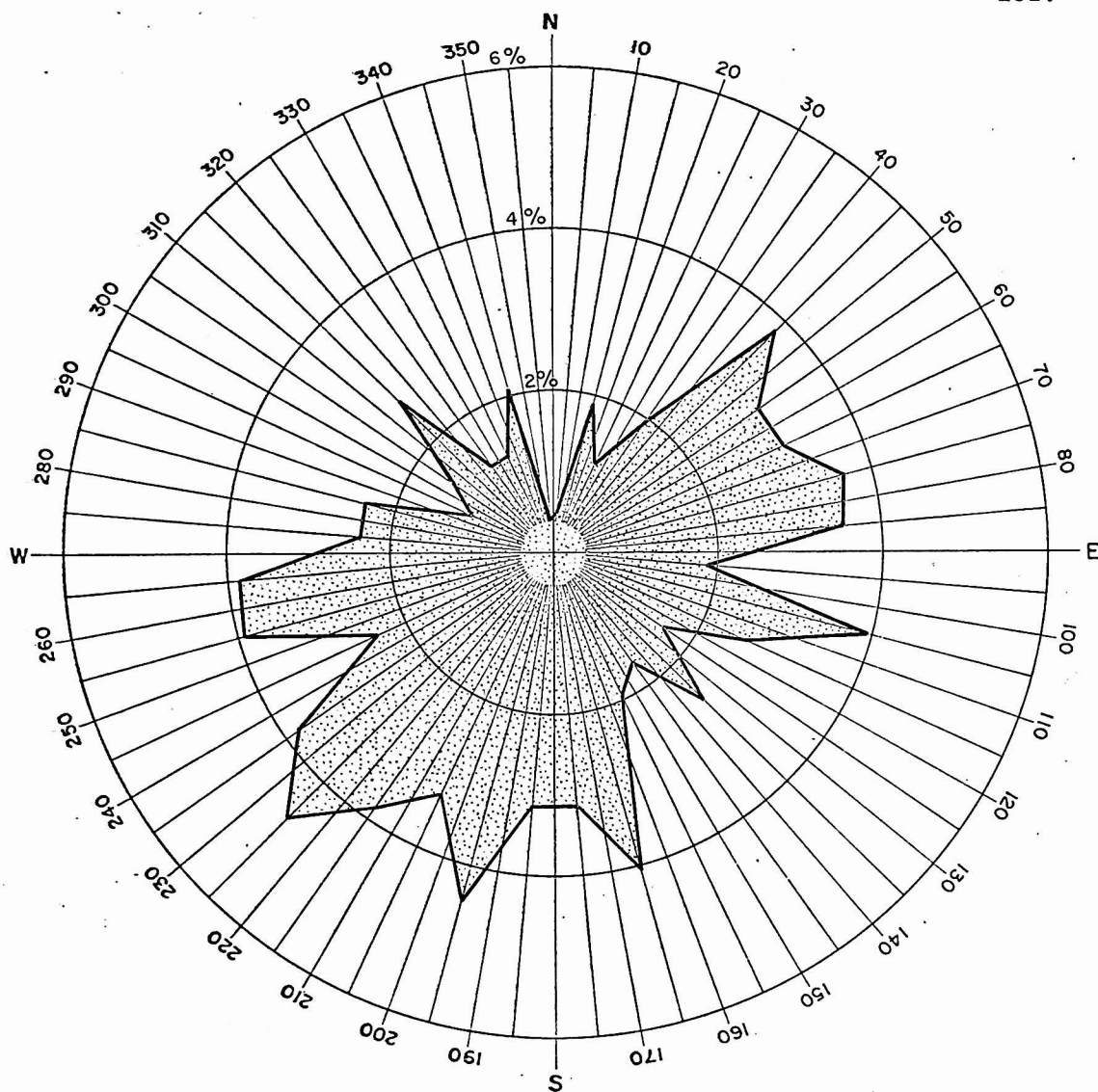


FIG. 5.25  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL2

PERÍODO : 04/08 a 16/09/80

12

c) Período: 10/02 a 09/03/81

Nesse período, as correntes em PL<sub>1</sub> Verão, a 1m do fundo, tiveram predominantemente as direções SSE e direções compreendidas no setor NW - WSW (Figura 5.26). As intensidades foram geralmente inferiores a 0,20 m/s (Figura 5.27).

Durante a fase de enchente, o regime das correntes não ficou bem definido, predominando as direções SSE, NW e W, para os vetores correntes (Figura 5.28), com as maiores velocidades médias segundo SSW (Figura 5.29).

Na vazante, as direções preferenciais do vetor corrente foram próximas da direção SSE (Figura 5.30), sendo que a maior velocidade média se deu próxima da direção E (Figura 5.31).

f) Período: 20/02/81 a 07/03/81

Em PL<sub>2</sub> Verão, a meia profundidade, para esse período, só se tem registros de direções de corrente. A Figura 5.32 mostra as frequências de ocorrências pelas direções para o período considerado como um todo e as Figuras 5.33 e 5.34 mostram as frequências para as fases de enchente e vazante, respectivamente.

Durante a fase de enchente, os vetores correntes em PL<sub>2</sub> assumem preferencialmente a direção NNE (Figura 5.33) e durante a fase de vazante, a direção SW (Figura 5.34).

MZ

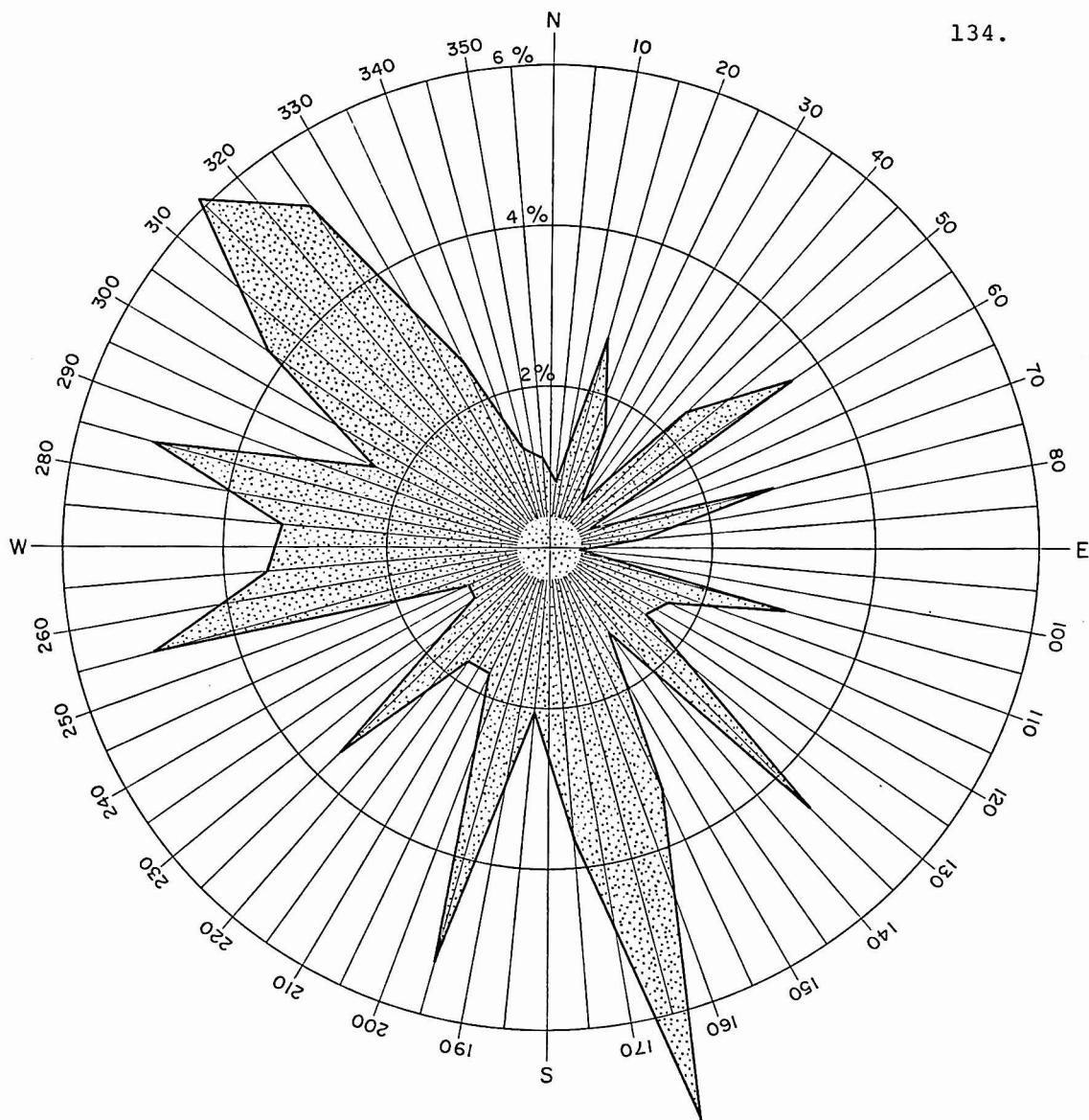


FIG. 5.26  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 1

PERÍODO : 10/02/81 A 09/03/81

112

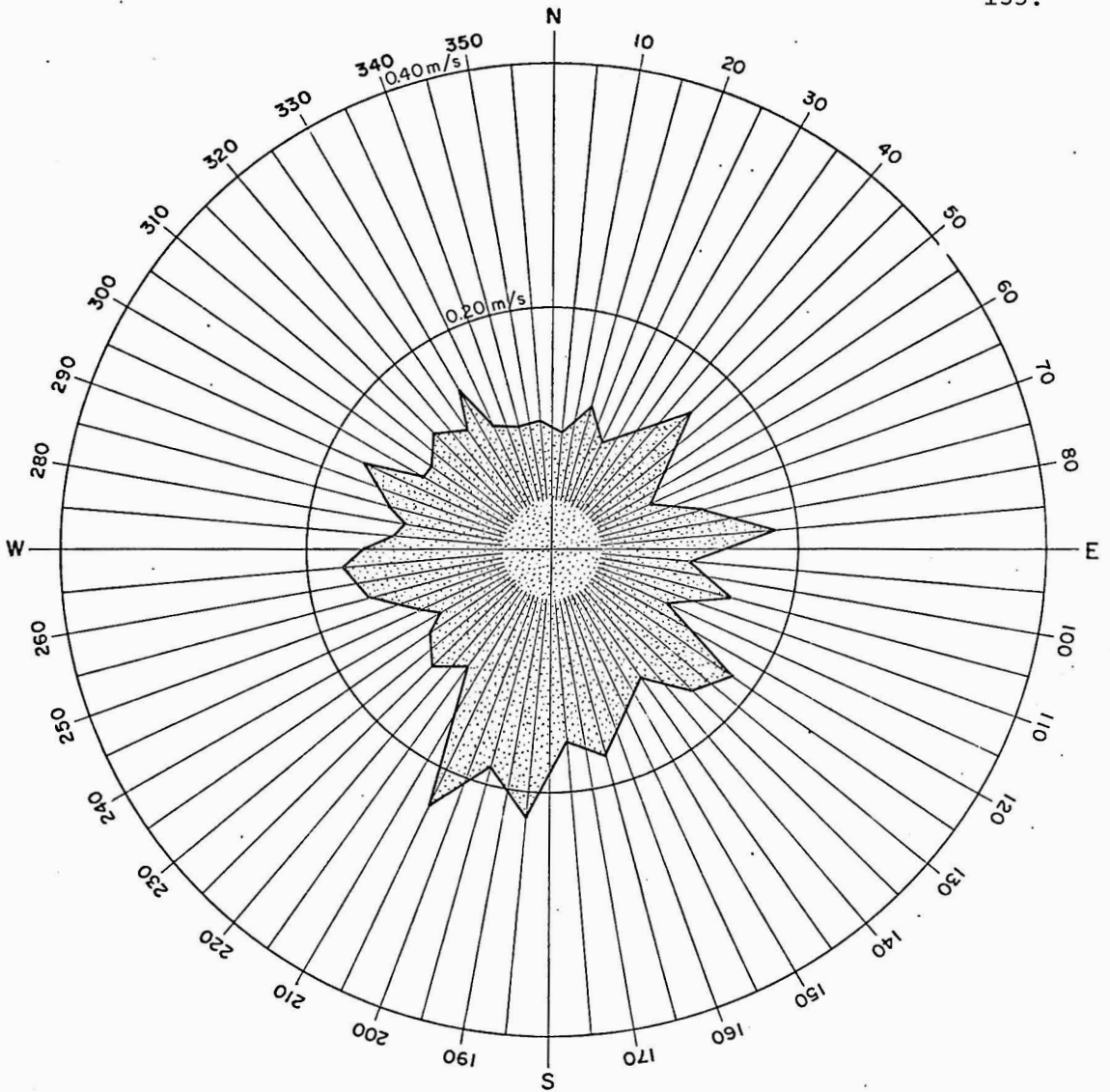


FIG. 5.27  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 1

PERÍODO : 10/02/81 A 09/03/81

12

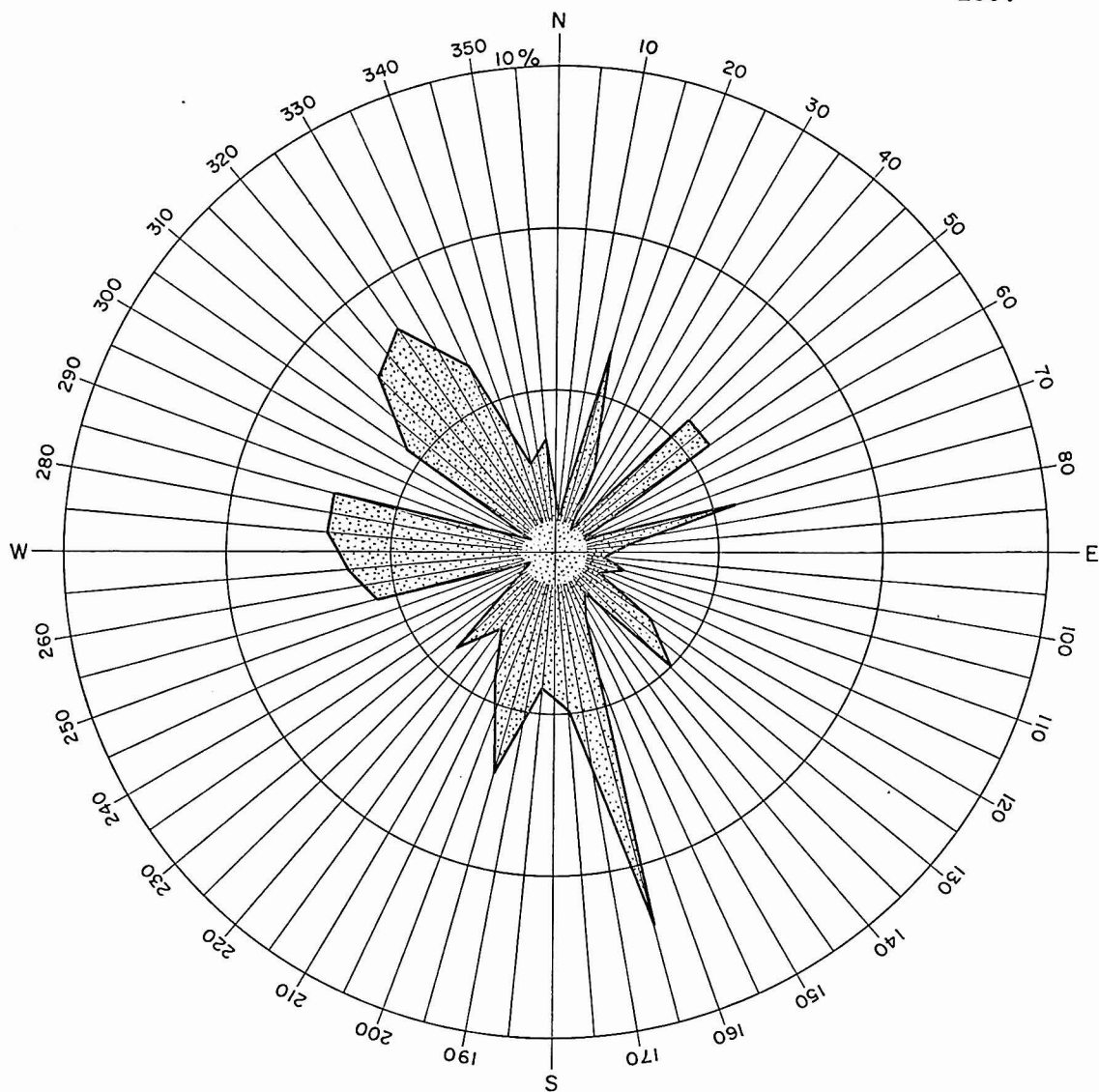


FIG. 5.28  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE (MARÉ ENCHENTE)

LOCAL : PL 1

PERÍODO : 10/02/81 A 09/03/81

NR

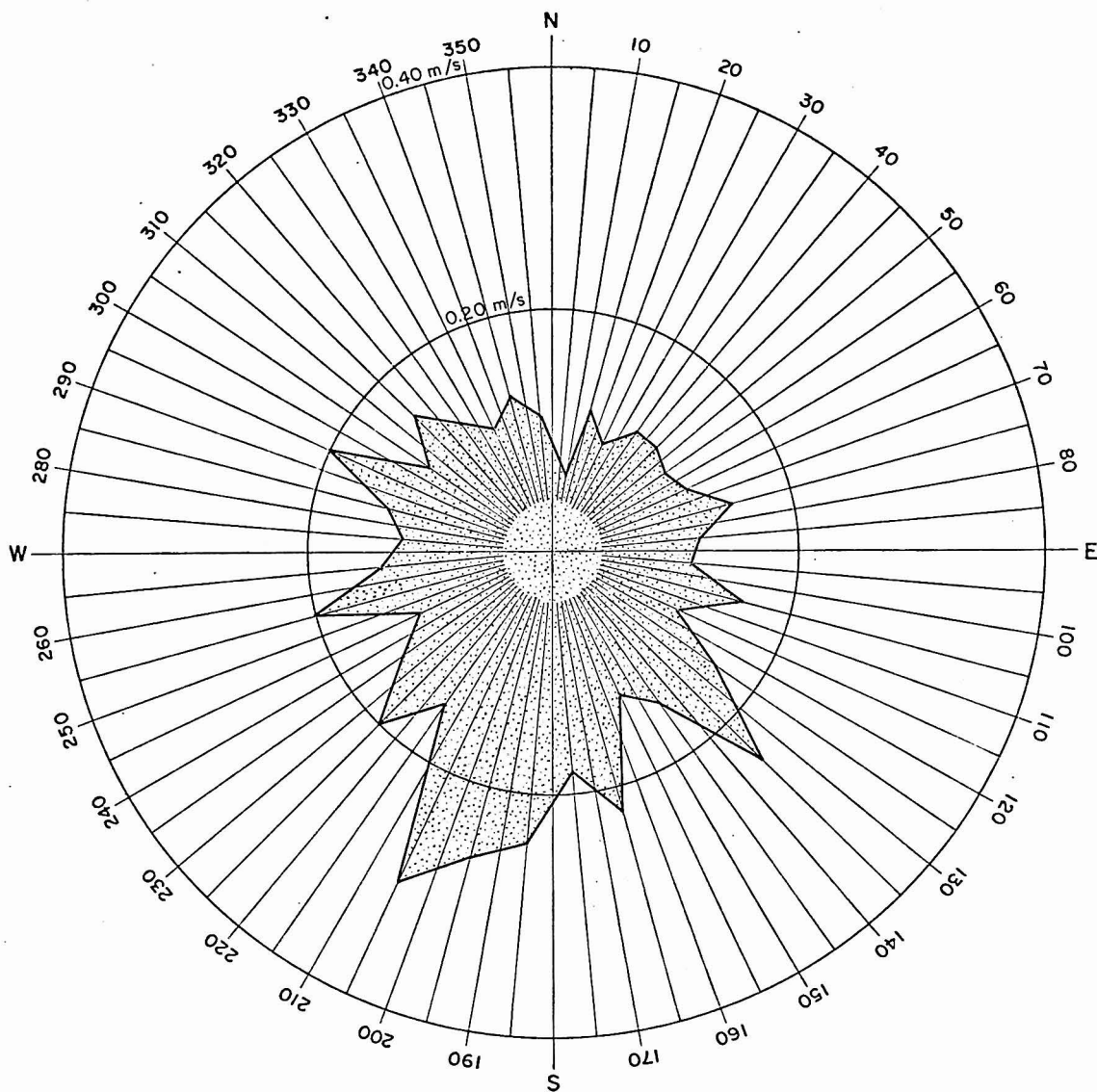


FIG. 5.29  
 DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
 DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE  
 (MARÉ ENCHENTE)

LOCAL : PL1

PERÍODO : 10/02/81 A 09/03/81



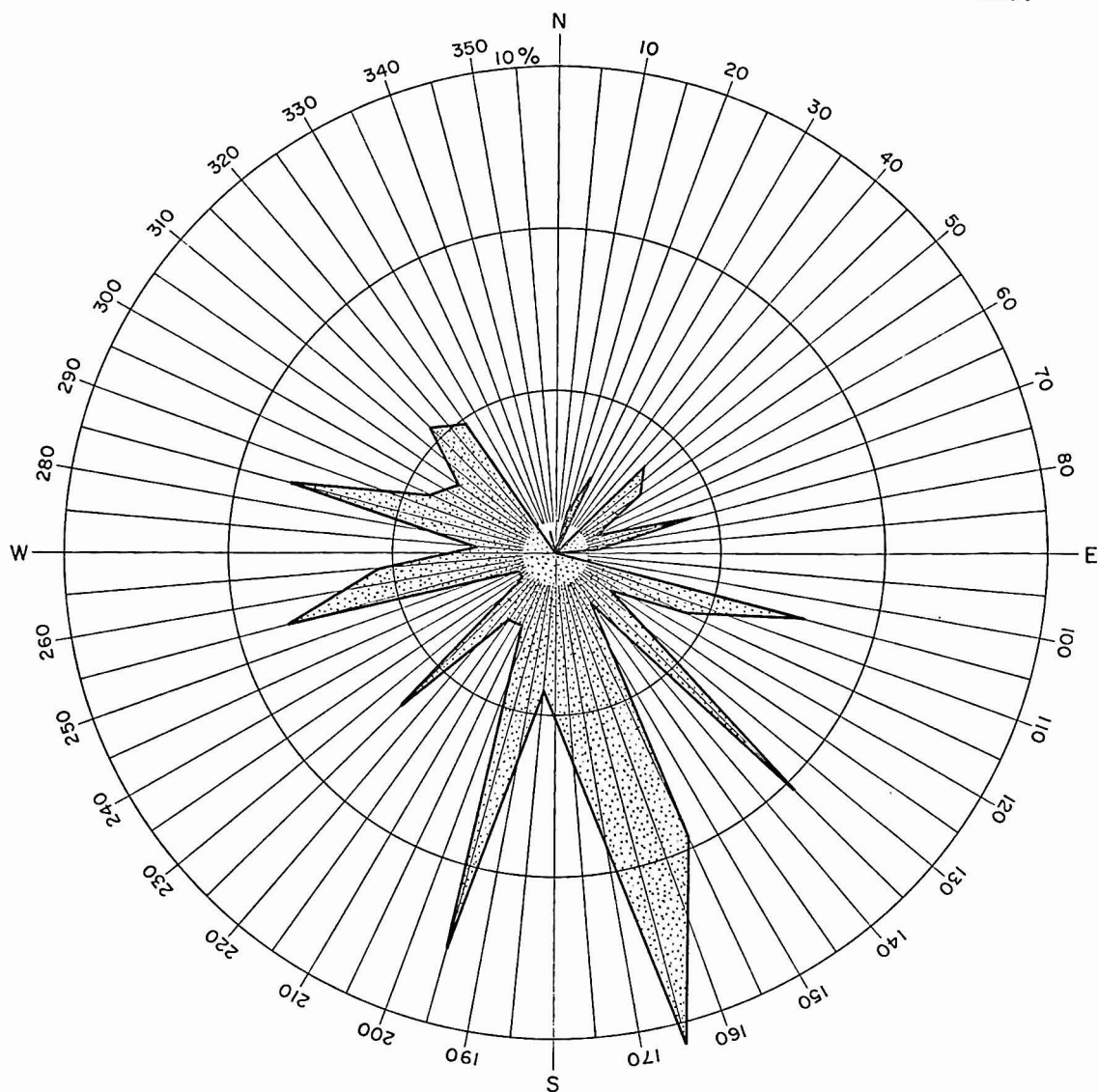


FIG. 5.30  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE (MARÉ VAZANTE)

LOCAL : PL1

PERÍODO : 10/02/81 A 09/03/81

M

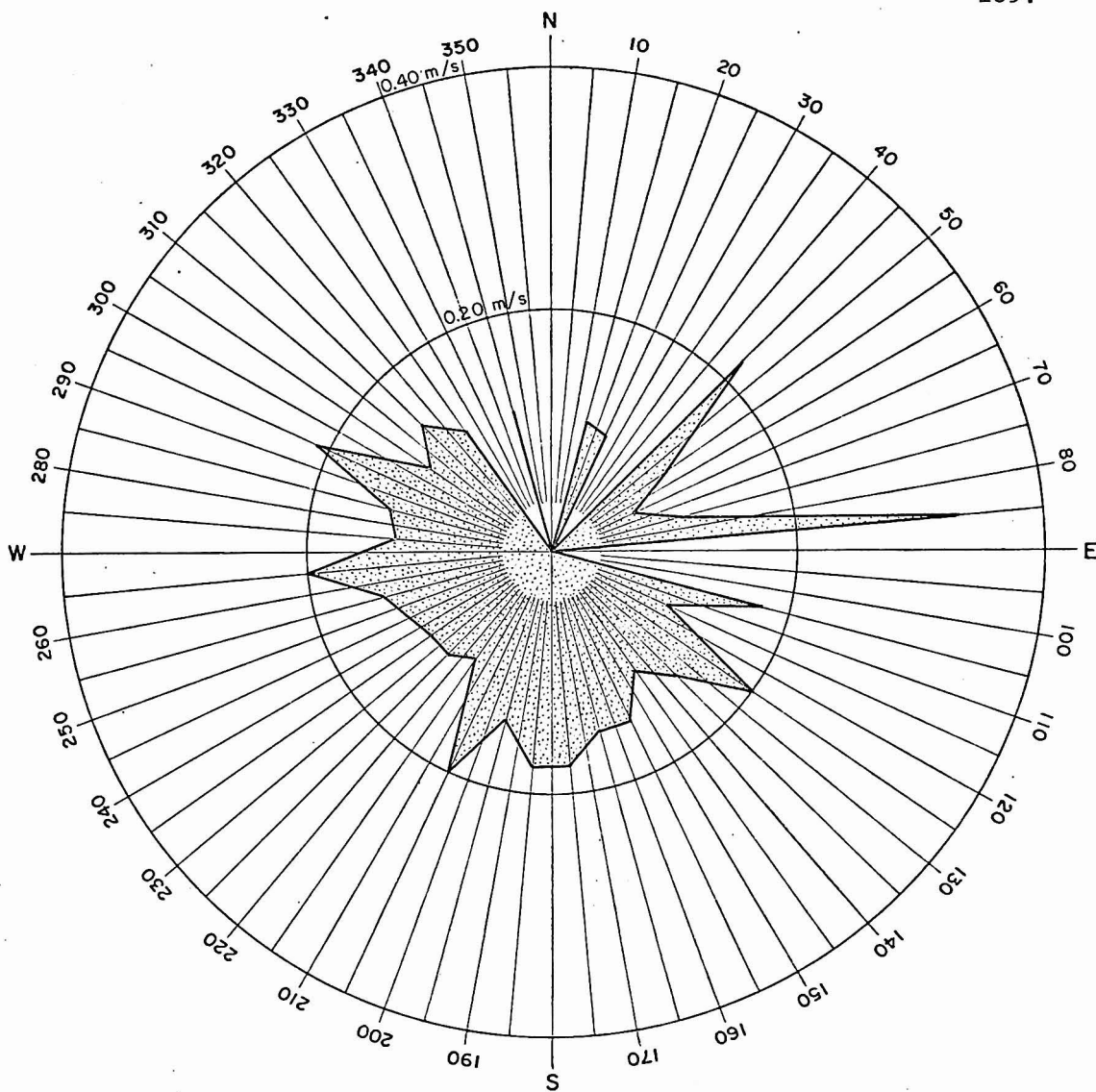


FIG. 5.31  
 DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
 DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE  
 (MARÉ VAZANTE)

LOCAL : PL 1

PERÍODO : 10/02/81 A 09/03/81

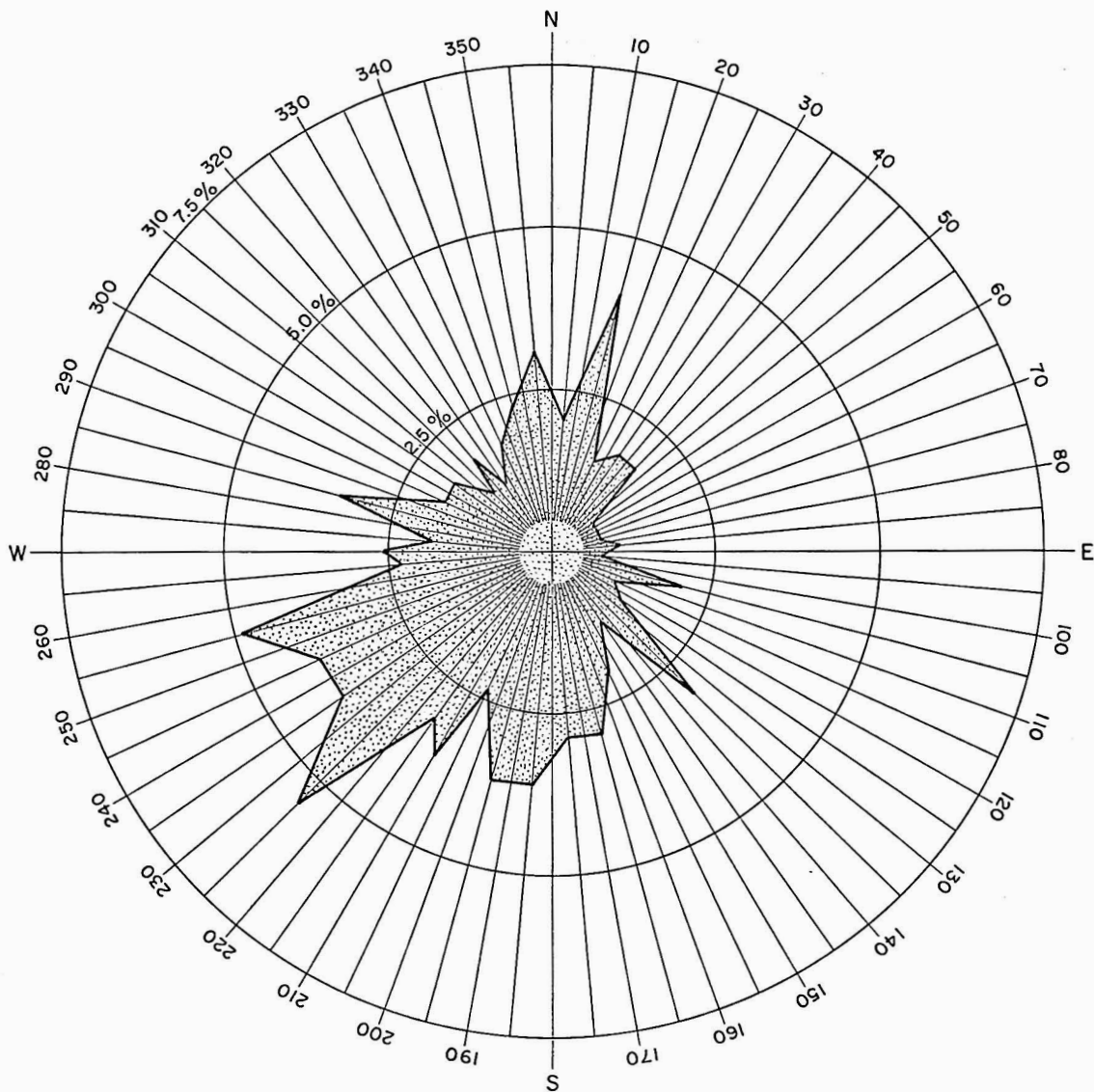


FIG. 5.32  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 20/02/81 A 07/03/81

N2

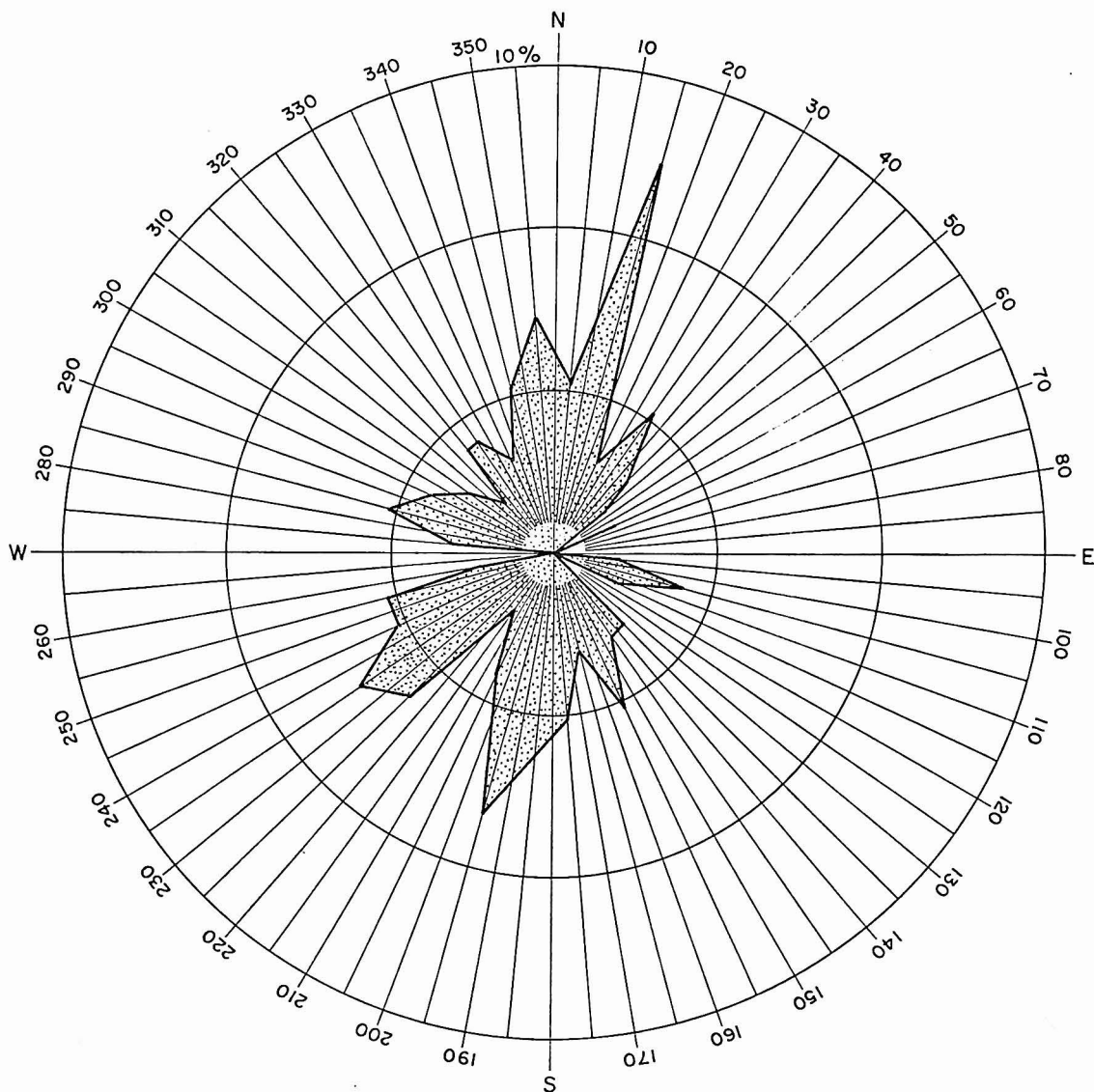


FIG. 5.33  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE (MARÉ ENCHENTE)

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 20/02/81 A 07/03/81

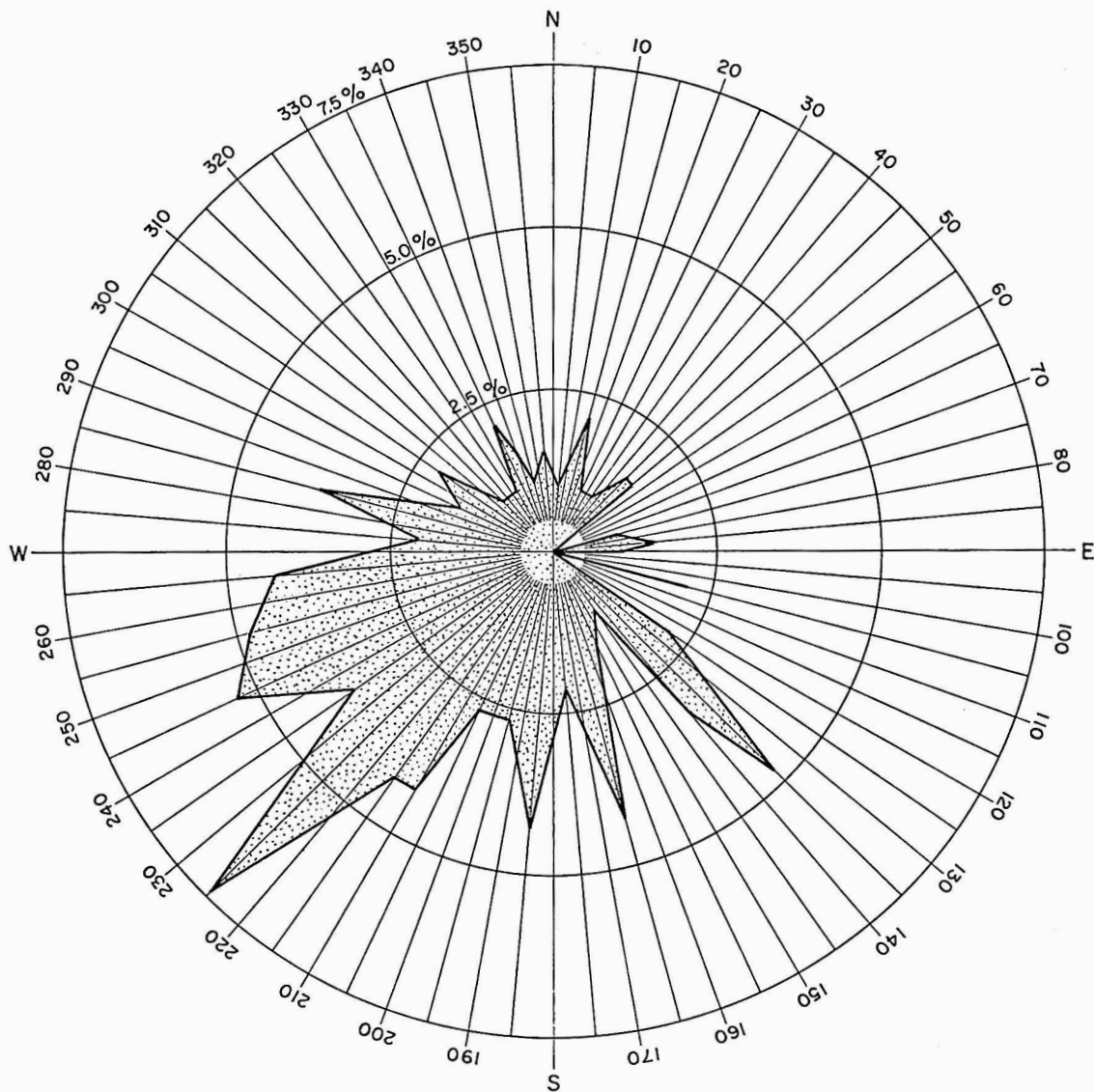


FIG. 5.34  
 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
 INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
 OS REGISTROS DE CORRENTE (MARÉ VAZANTE)

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 20/02/81 A 07/03/81

### Correlações

Como em  $PL_2$ , de 20/02 a 07/03/81, não se têm registros de intensidade de corrente, a maré, registrada na Ilha das Palmas, foi correlacionada com os cossenos e com os senos dos vetores correntes registrados em  $PL_2$ . Isto implica na suposição de intensidades iguais para todas as direções registradas. De acordo com registros de intensidade já feitos nessa região, em campanhas anteriores, essa suposição, para efeito de correlação, não é fora de propósito. Assim, é possível extrair informações desses registros parciais em  $PL_2$ . Idêntico procedimento foi adotado para  $PL_1$ , nesse mesmo período, para que fosse possível comparar os resultados.

Entre o gradiente da maré e o cosseno da direção da corrente (direção W-E) parece não haver nenhuma relação, tanto para a região de  $PL_1$ , como para a região de  $PL_2$  (Figura 5.35).

As correlações do gradiente da maré registrada na Ilha das Palmas com o seno da direção da corrente (direção N-S), apesar de baixas, mostram que, para a região de  $PL_2$  Verão, a influência da maré na circulação de águas segundo a direção NS é maior e mais bem definida do que para a região de  $PL_1$  (Figura 5.36). O exame dessa figura mostra ainda que a melhor similaridade entre a elevação (abaixamento) do nível d'água na Ilha das Palmas e os vetores correntes tendendo a encher (esvaziar) a baía em  $PL_2$  Verão segundo a direção NS, é conseguida para  $\tau = 1$  hora aproximadamente.

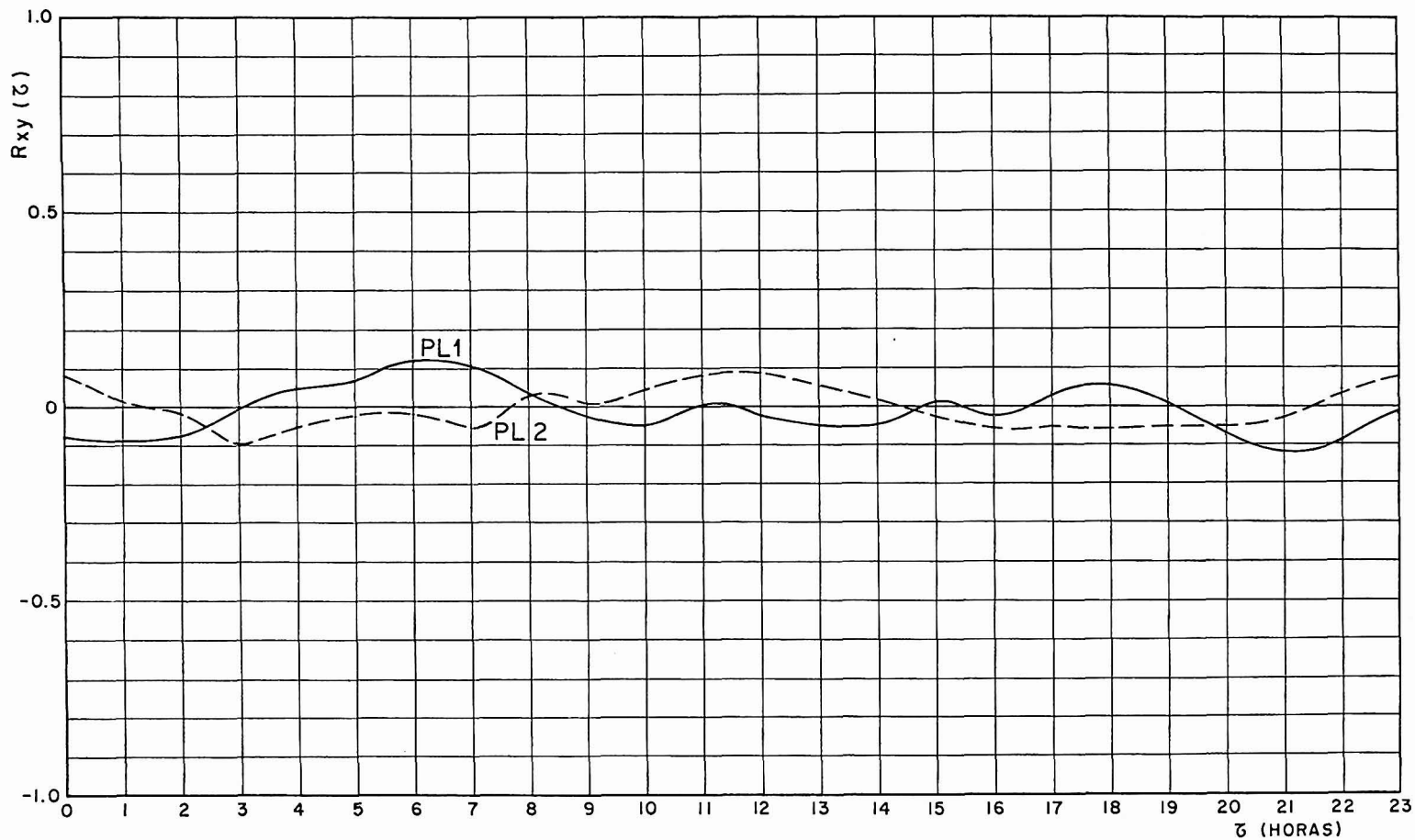


FIG.5.35 - CORRELAÇÃO ENTRE O GRADIENTE DA MARÉ NA ILHA DAS PALMAS  
 E O COSSENO DA DIREÇÃO DA CORRENTE EM PL1 E PL 2  
 PERÍODO : 20/02/81 A 07/03/81

M

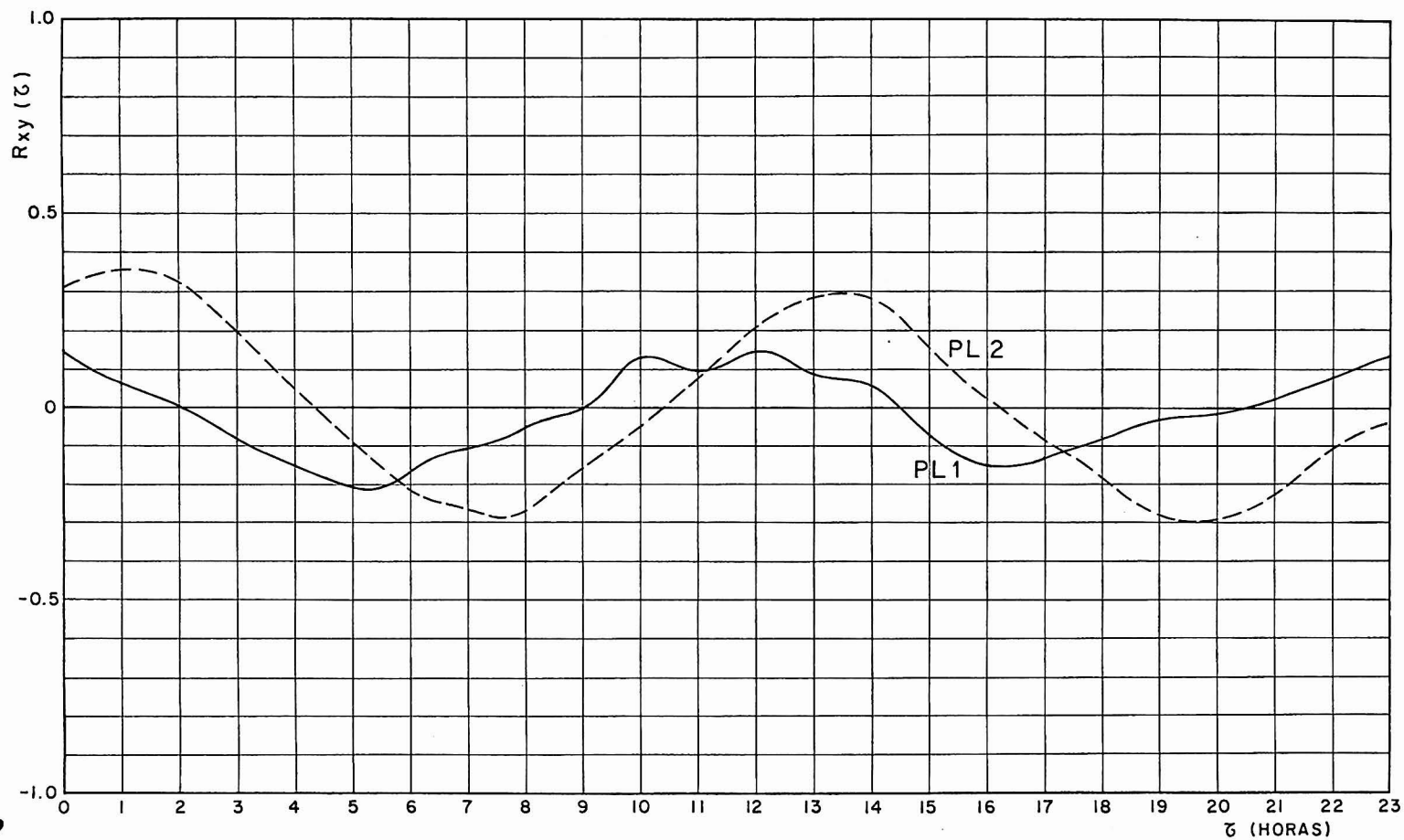


FIG. 5.36 - CORRELAÇÃO ENTRE O GRADIENTE DA MARÉ NA ILHA DAS PALMAS  
 E O SENOS DA DIREÇÃO DA CORRENTE EM PL1 E PL2  
 PERÍODO : 20/02/81 A 07/03/81

22



Correlações entre os cossenos das direções das correntes em  $PL_1$  e cossenos das direções das correntes em  $PL_2$  foram calculadas e não são aqui apresentadas, por possuírem valores próximos de zero, apresentando um comportamento que indica não haver nenhuma relação entre essas componentes.

Relações entre cossenos da direção da corrente em  $PL_1$  e senos da direção da corrente em  $PL_2$ , ou vice-versa, foram pesquisadas e não apresentaram valores significativos, sendo excluídas do presente trabalho.

As correlações entre os senos das direções da corrente em  $PL_1$  e os senos das direções da corrente em  $PL_2$  são apresentadas na Figura 5.37.

A análise dessa figura mostra que, apesar dos valores das correlações não serem elevados, existe uma relação de similaridade entre essas duas funções. O intervalo de tempo decorrido, para que a similaridade seja máxima, não ficou bem definido, mas nota-se claramente que a função seno da direção da corrente ocorre a posteriori em  $PL_2$ .

g) Período: 21/03/81 a 09/04/81

A sequência de figuras 5.38 a 5.43 refere-se à frequências de ocorrências e velocidades médias das correntes pelas direções para o ponto  $PL_1$  Verão a 1m do fundo, onde, na tentativa de se definir melhor a circulação de águas para o local, considerou-se, além do período como um todo, as correntes segundo as fases de enchente e vazan

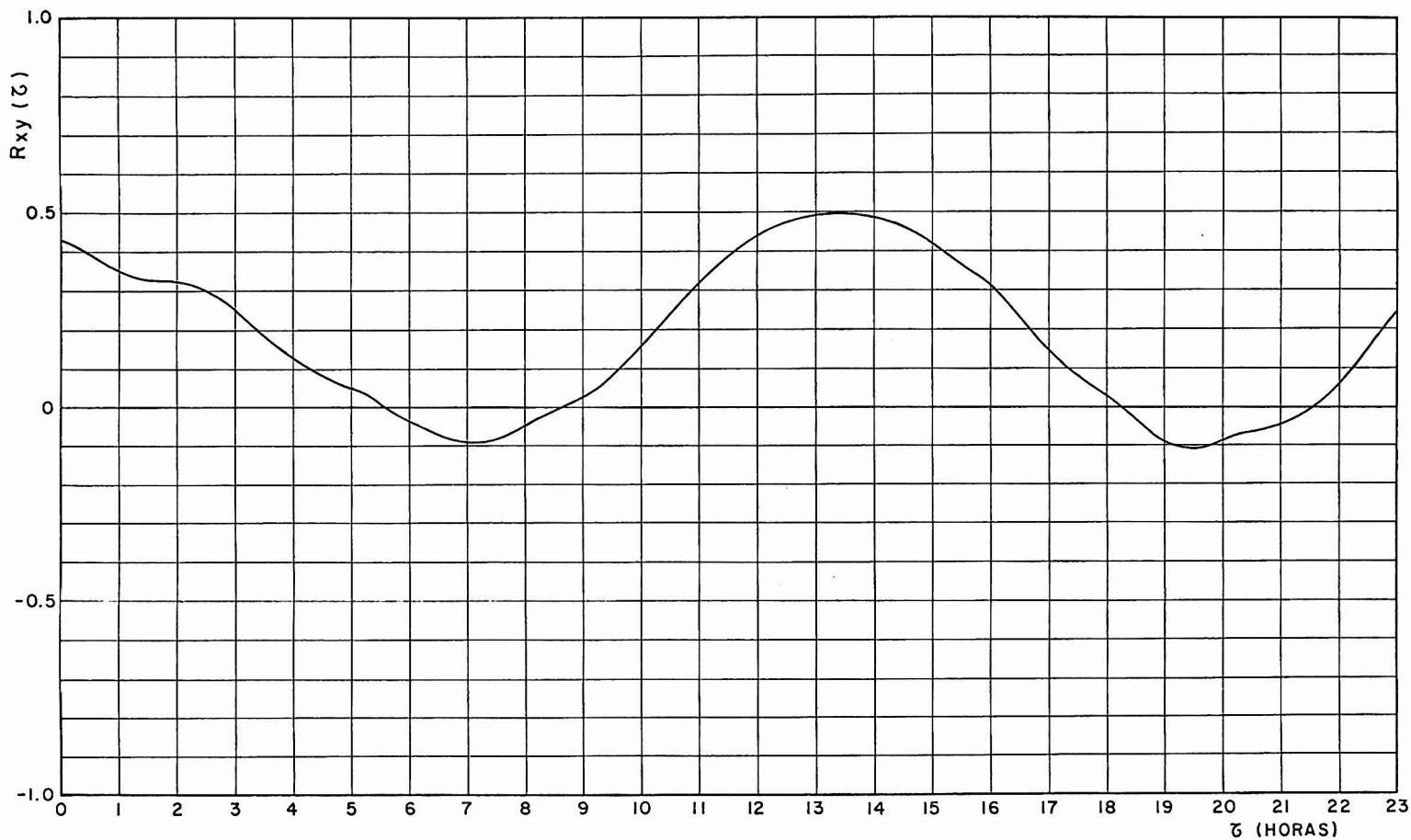


FIG. 5.37 - CORRELAÇÃO ENTRE O SENSO DA DIREÇÃO DA CORRENTE EM PL1  
 E O SENSO DA DIREÇÃO DA CORRENTE EM PL2  
 PERÍODO : 20/02/81 A 07/03/81

M

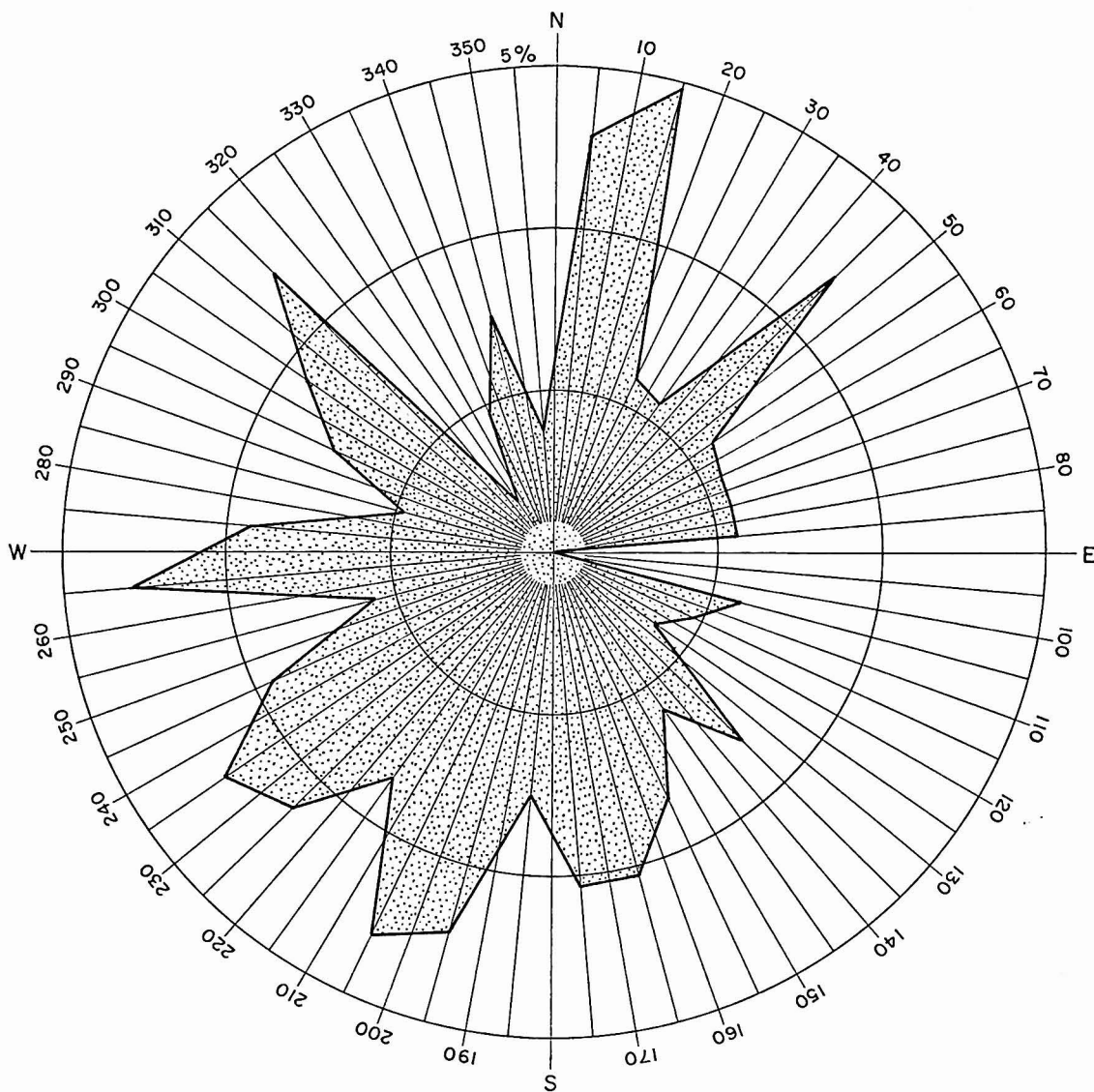


FIG. 5.38  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 1

PERÍODO : 21/03/81 A 09/04/81

M

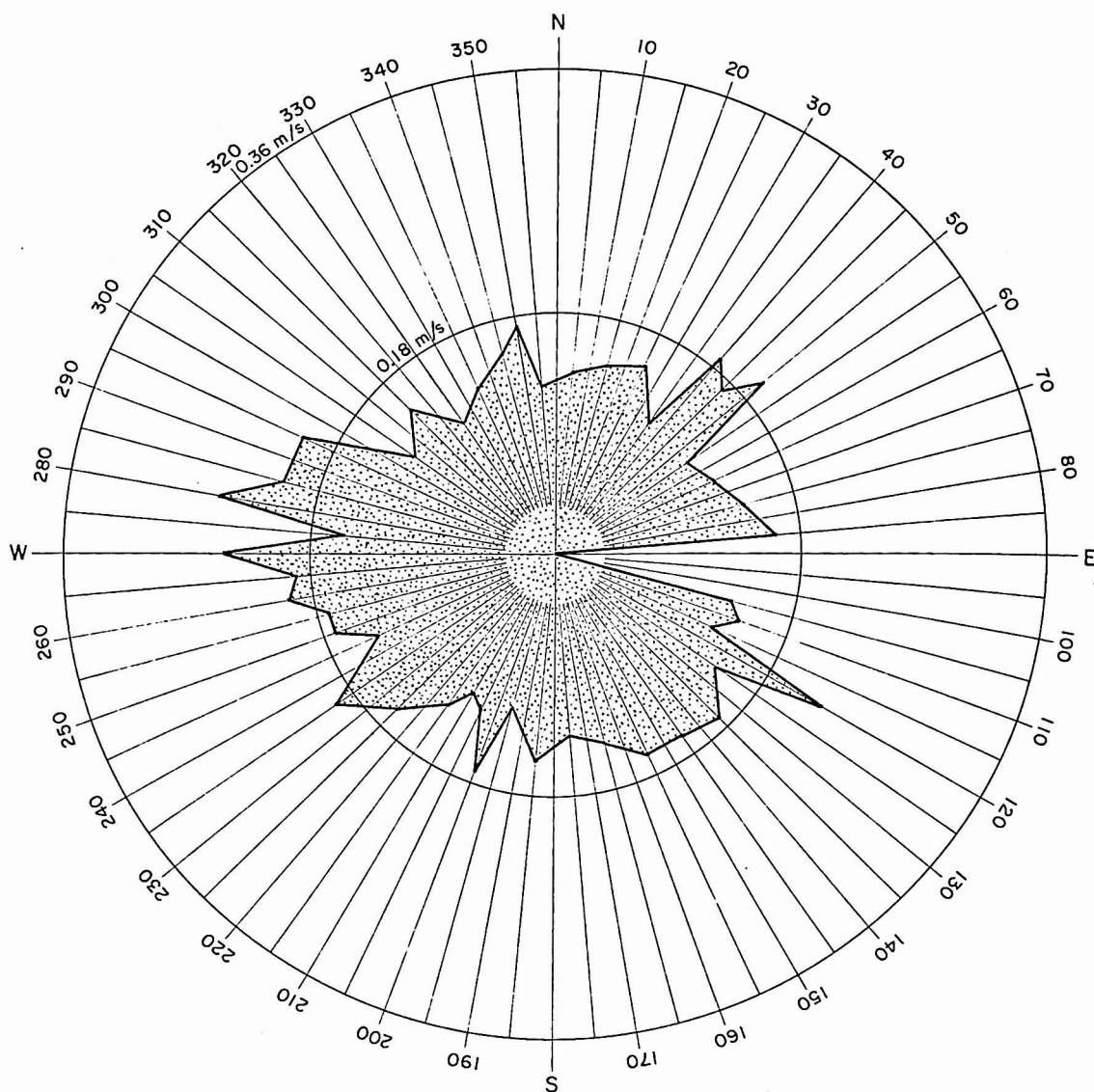


FIG. 5.39  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 1

PERÍODO : 21/03/81 A 09/04/81

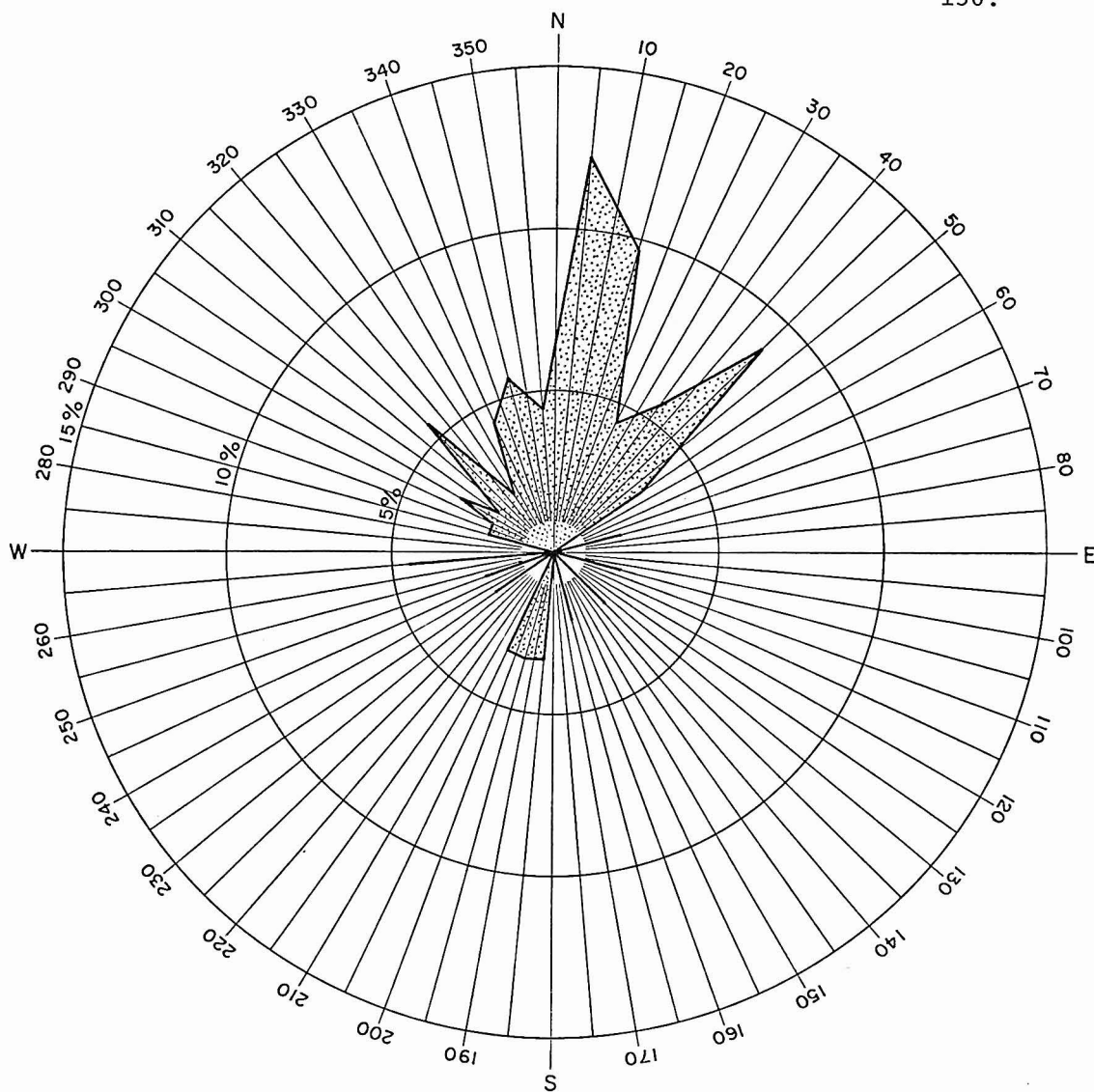


FIG. 5.40  
 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
 INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
 OS REGISTROS DE CORRENTE (MARÉ ENCHENTE)

LOCAL : PL 1

PERÍODO : 21/03/81 A 09/04/81

m

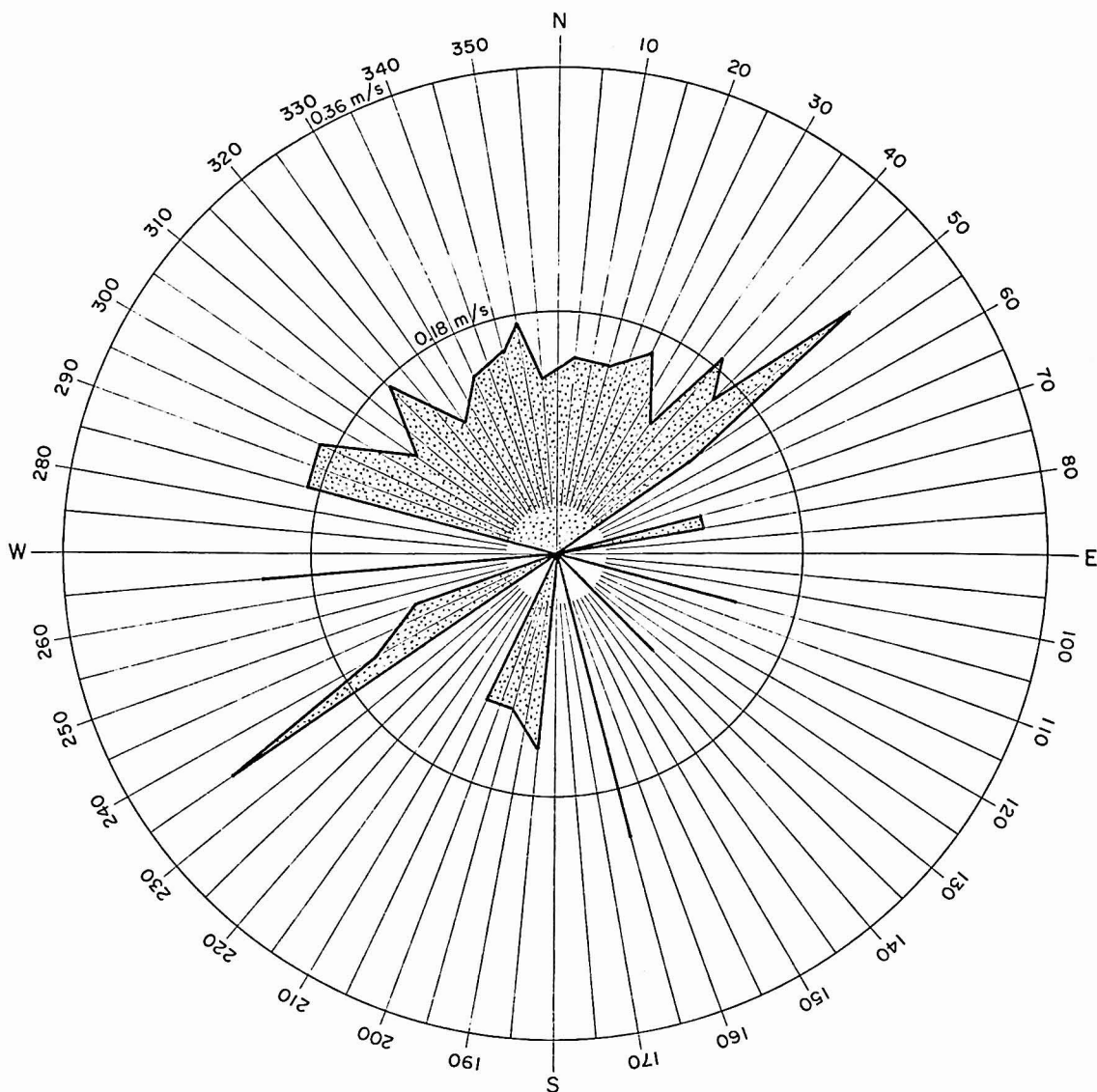


FIG. 5.41  
 DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
 DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE  
 (MARÉ ENCHENTE)

LOCAL : PL 1

PERÍODO : 21/03/81 A 09/04/81

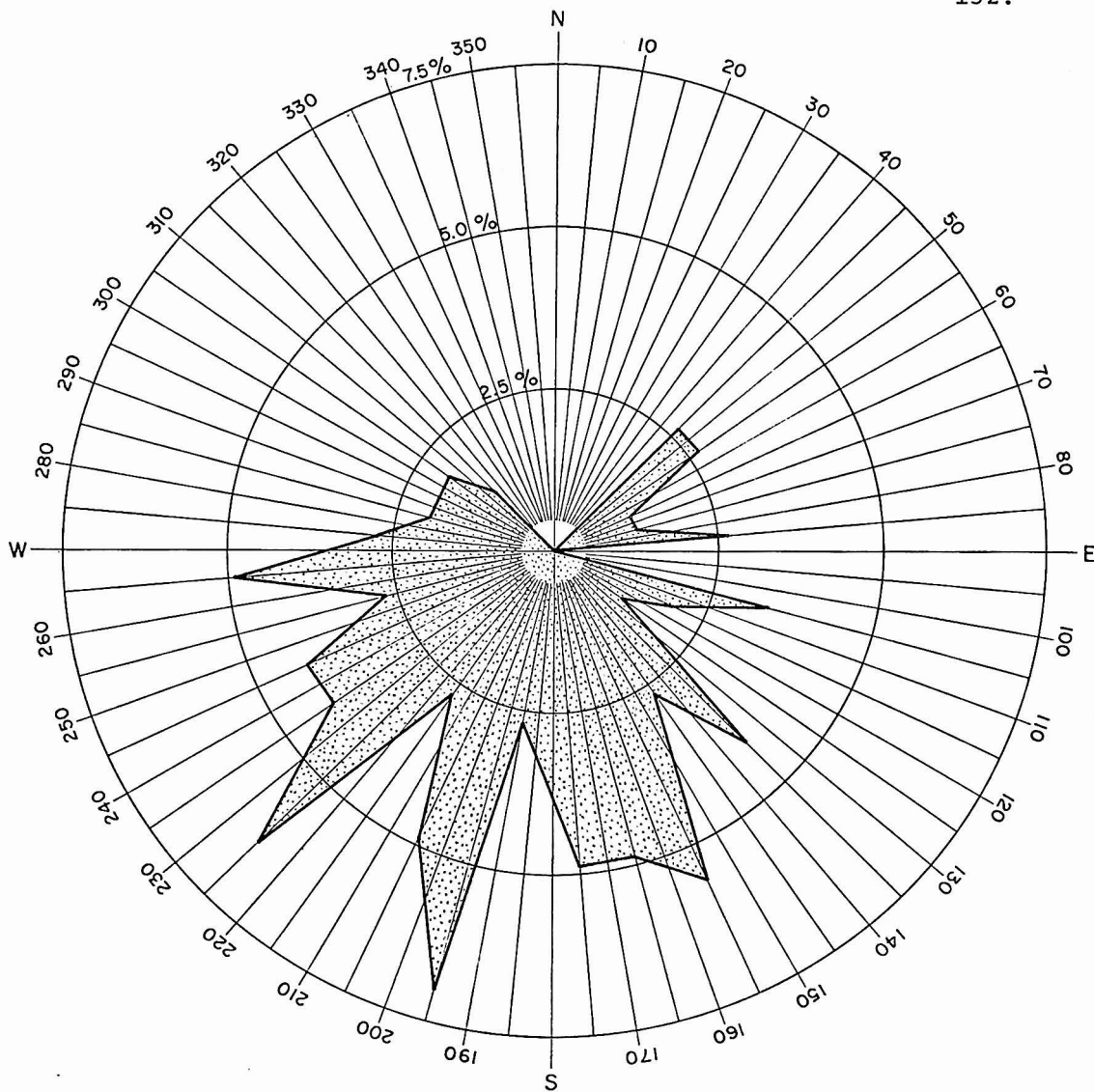


FIG. 5.42  
 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
 INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
 OS REGISTROS DE CORRENTE (MARÉ VAZANTE)

LOCAL : PL 1

PERÍODO : 21/03/81 A 09/04/81

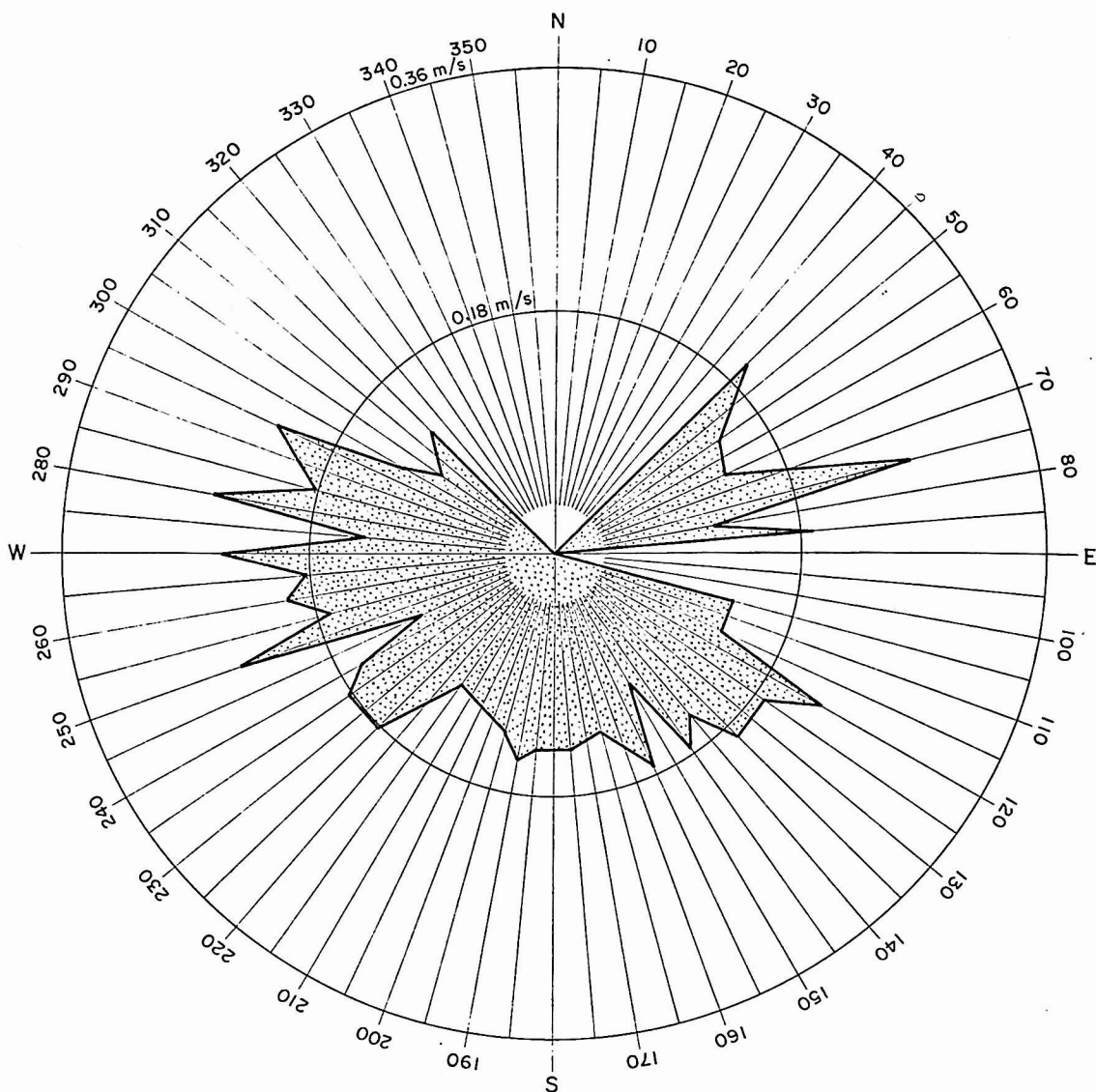


FIG. 5.43  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE  
(MARÉ VAZANTE)

LOCAL : PL 1

PERÍODO : 21/03/81 A 09/04/81



te da maré.

Não se observa uma direção predominante de ocorrência de direção considerando as duas fases reunidas (Figura 5.38). As velocidades médias são mais ou menos uniformes, embora para o quadrante W elas tenham sido ligeiramente maiores. Isto pode ser influência da fase de vazante (Figura 5.43).

Durante a fase de enchente, as direções predominantes foram N e NE (Figura 5.40) e durante a fase de vazante, predominaram SSW, SW e SSE (Figura 5.42).

h) Período: 27/03/81 a 09/04/81

A sequência de Figuras 5.44 a 5.49 refere-se às frequências de ocorrências e velocidades médias das correntes pelas direções para o ponto PL<sub>2</sub> Verão a meia profundidade, onde também considerou-se, além do período como um todo, as fases de enchente e vazante.

Na fase de enchente, a direção preferencial das correntes é ENE (Figura 5.46). Na vazante, as direções preferenciais situam-se no quadrante S (Figura 5.48).

#### Correlações

A Figura 5.50 mostra que, para o período de 27/03 a 09/04/81, quando há simultaneidade de registros em PL<sub>1</sub> Verão e PL<sub>2</sub> Verão, não existem relações de similaridade entre o gradiente de maré registrado na Ilha das Palmas e as componentes WE de corrente registradas nas regiões

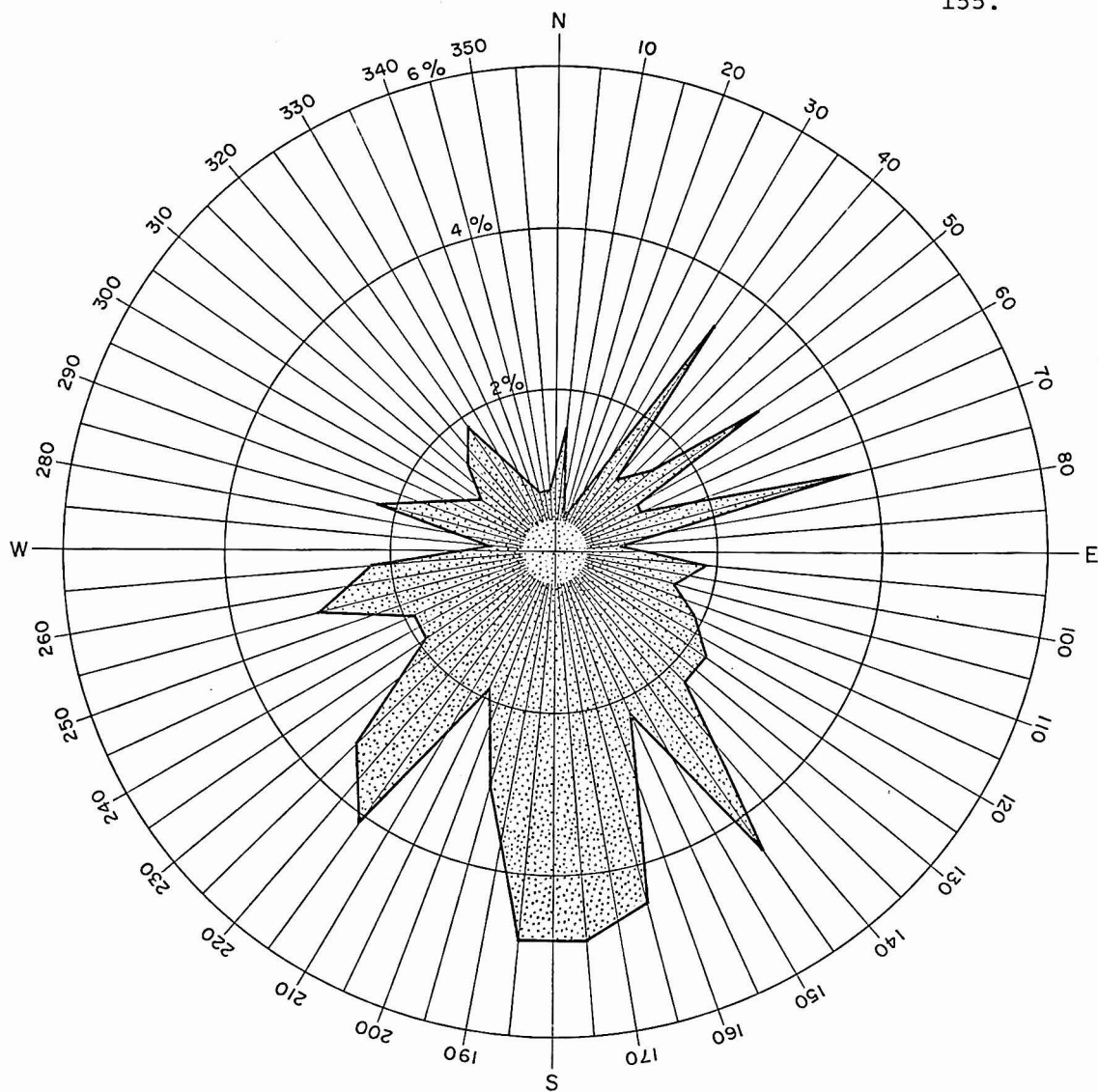


FIG. 5.44  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 27/03/81 A 09/04/81

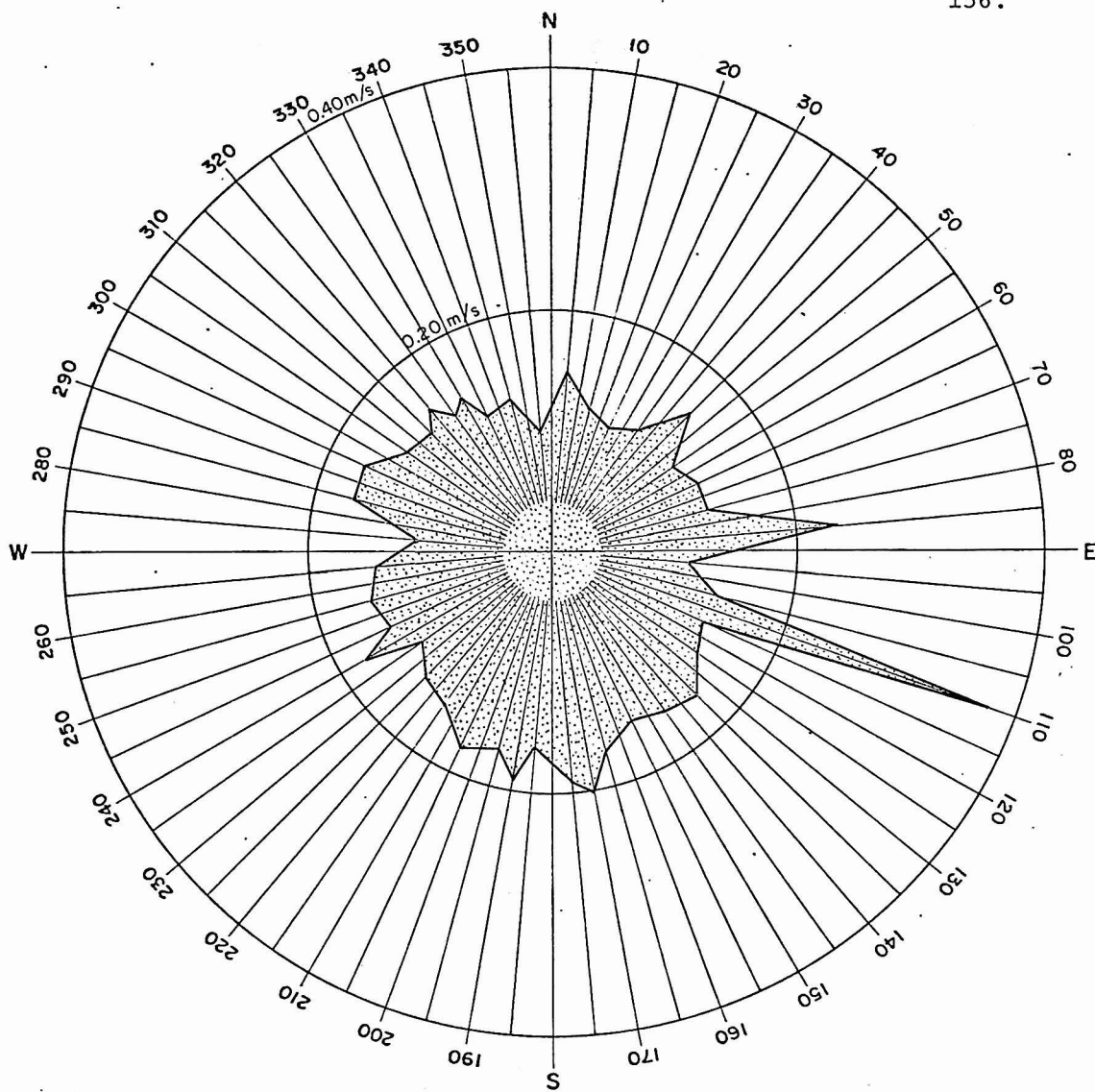


FIG. 5.45  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 27/03/81 A 09/04/81

112

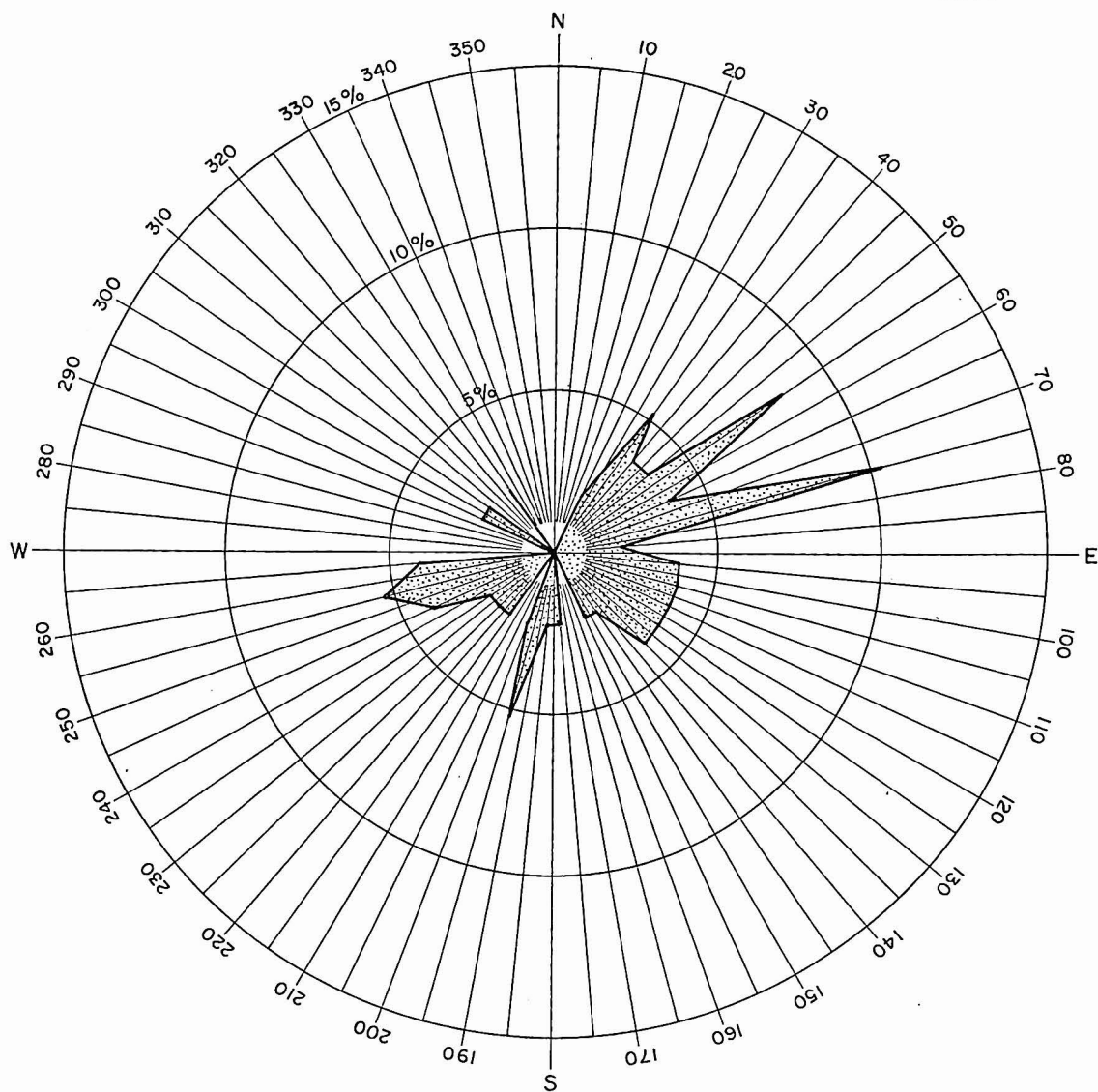


FIG. 5.46  
 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
 INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
 OS REGISTROS DE CORRENTE (MARÉ ENCHENTE)

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 27/03/81 A 09/04/81

12

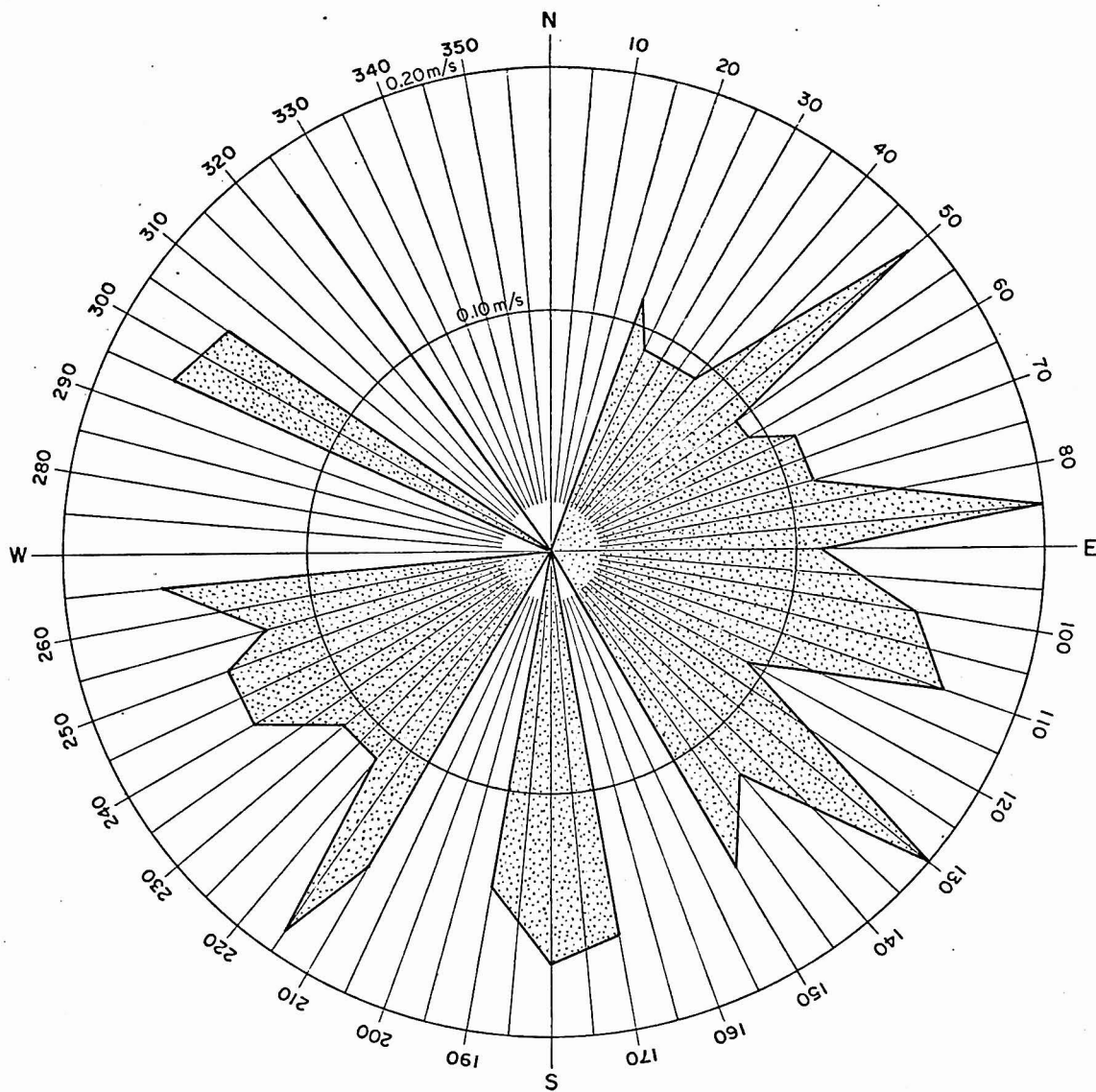


FIG. 5.47

DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE  
(MARÉ ENCHENTE)

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 27/03/81 A 09/04/81

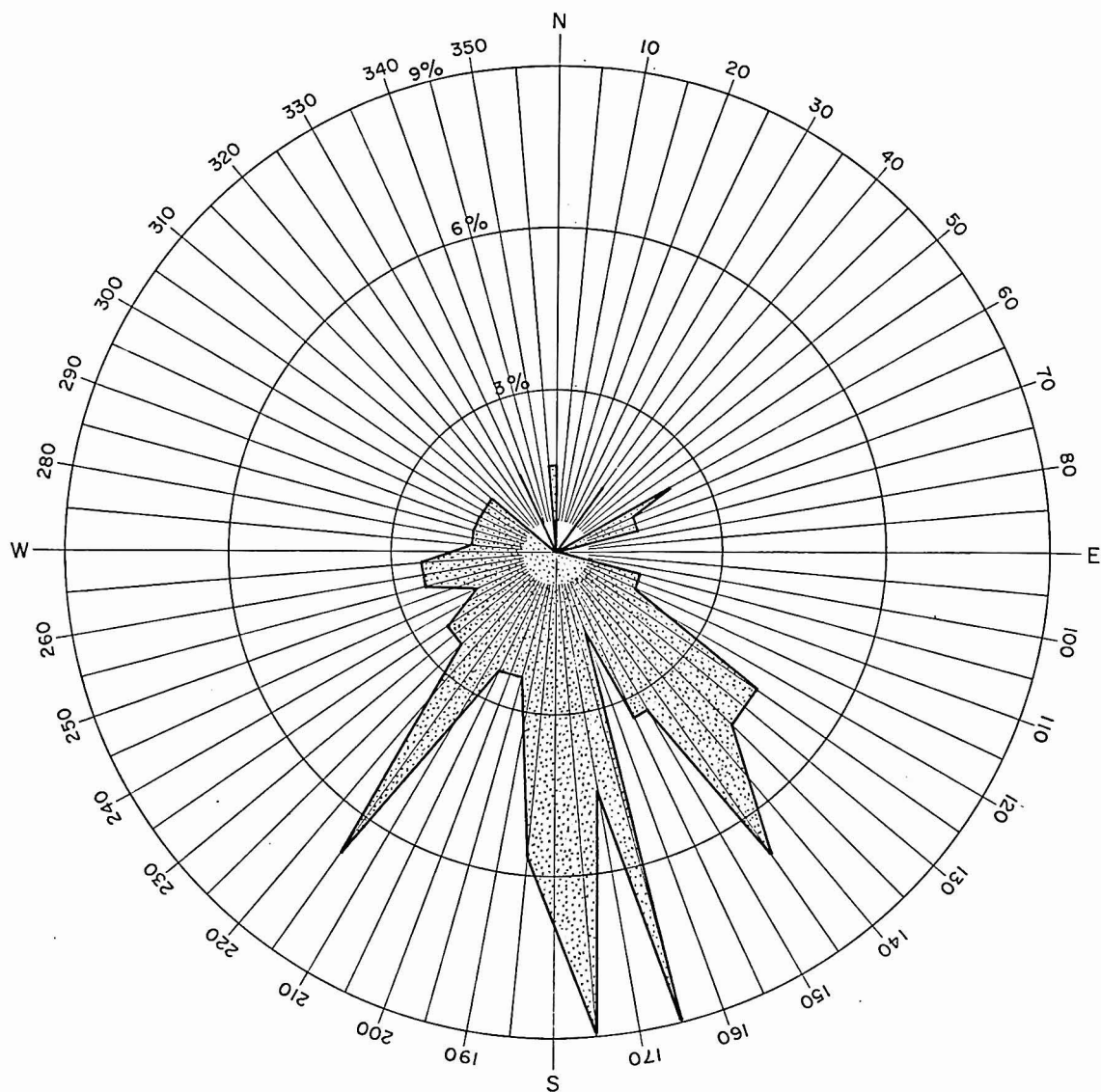


FIG. 5.48  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE CORRENTE (MARÉ VAZANTE)

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 27/03/81 A 09/04/81

12

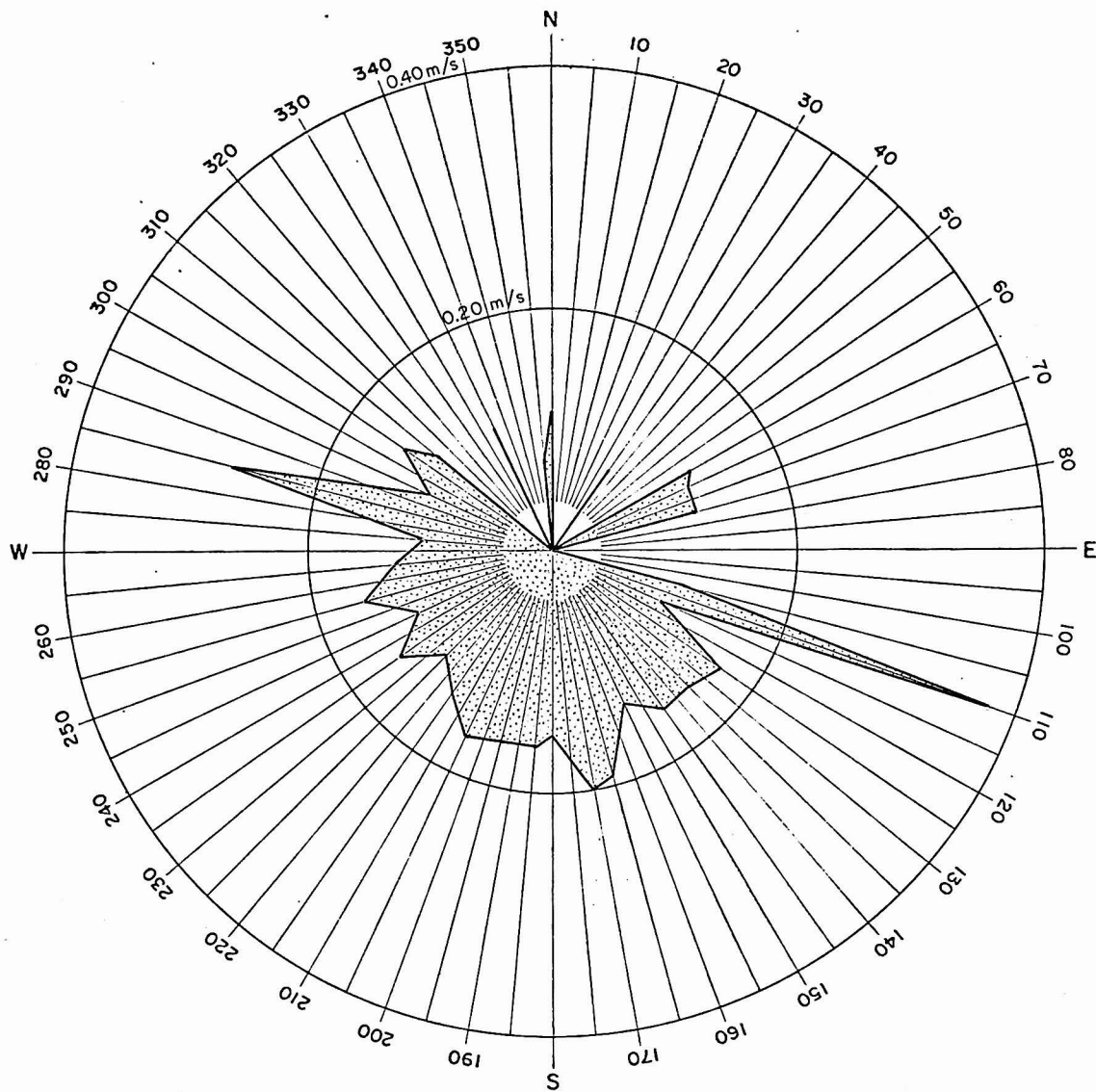


FIG. 5.49  
 DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
 DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE CORRENTE  
 (MARÉ VAZANTE)

LOCAL : PL 2

PERÍODO : 27/03/81 A 09/04/81

NR

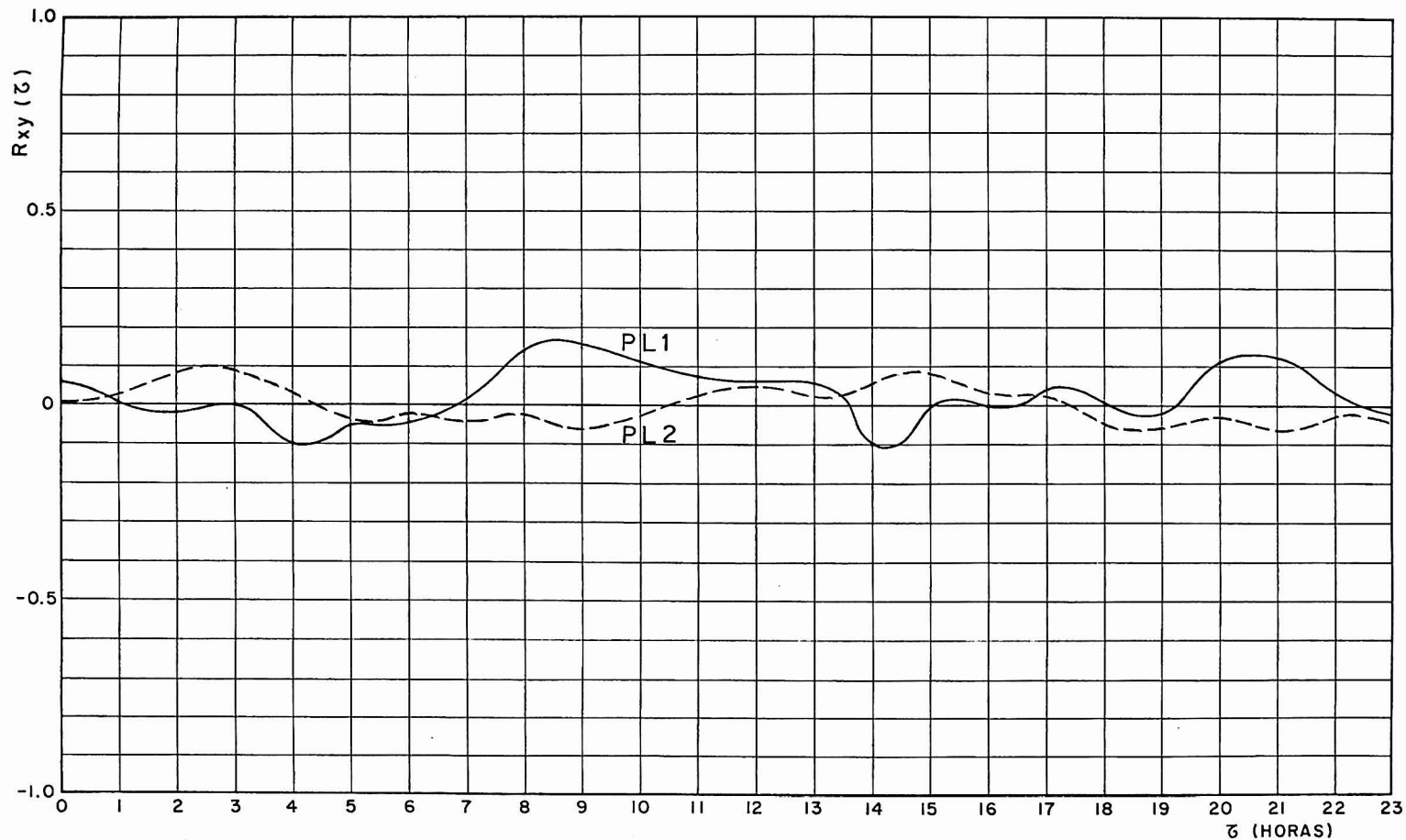


FIG.5.50 - CORRELAÇÃO ENTRE O GRADIENTE DA MARÉ NA ILHA DAS PALMAS  
 E A COMPONENTE WE DA CORRENTE EM PL1 E PL2  
 PERÍODO : 27/03/81 A 09/04/81

M



de  $PL_1$  e  $PL_2$  (Figura 5.50).

A similaridade ocorre entre o gradiente de maré e a componente SN da corrente, tanto para  $PL_1$  como para  $PL_2$  (Figura 5.51). A comparação dos valores de correlação entre maré e correntes segundo as componentes WE (Figura 5.50) e NS (Figura 5.51) mostra claramente a maior influência da maré na circulação de águas na direção NS.

Entre as componentes WE da corrente para as regiões de  $PL_1$  e  $PL_2$ , também inexistem relações de similaridade (Figura 5.52).

A Figura 5.53 mostra a correlação entre as componentes NS da corrente em  $PL_1$  e em  $PL_2$ , a qual é bem mais definida do que o referente à componente WE (Figura 5.52).

Comparando-se o período de 27/03 a 09/04/81 com o período de 20/02 a 07/03/81, nota-se que o comportamento hidráulico das regiões em estudo é bem semelhante.

A maré, considerada como causa, rege o movimento das águas segundo direções próximas da direção SN.

A elevação (ou abaixamento) do nível d'água na Ilha das Palmas é traduzida por correntes, segundo a direção NS, que tendem a encher (ou esvaziar) a Baía de Santos, primeiro em  $PL_1$  e depois em  $PL_2$ .

A aplicação de técnica de correlação, aqui apresentada, à medições mais abrangentes e efetuadas nos meses em

NR

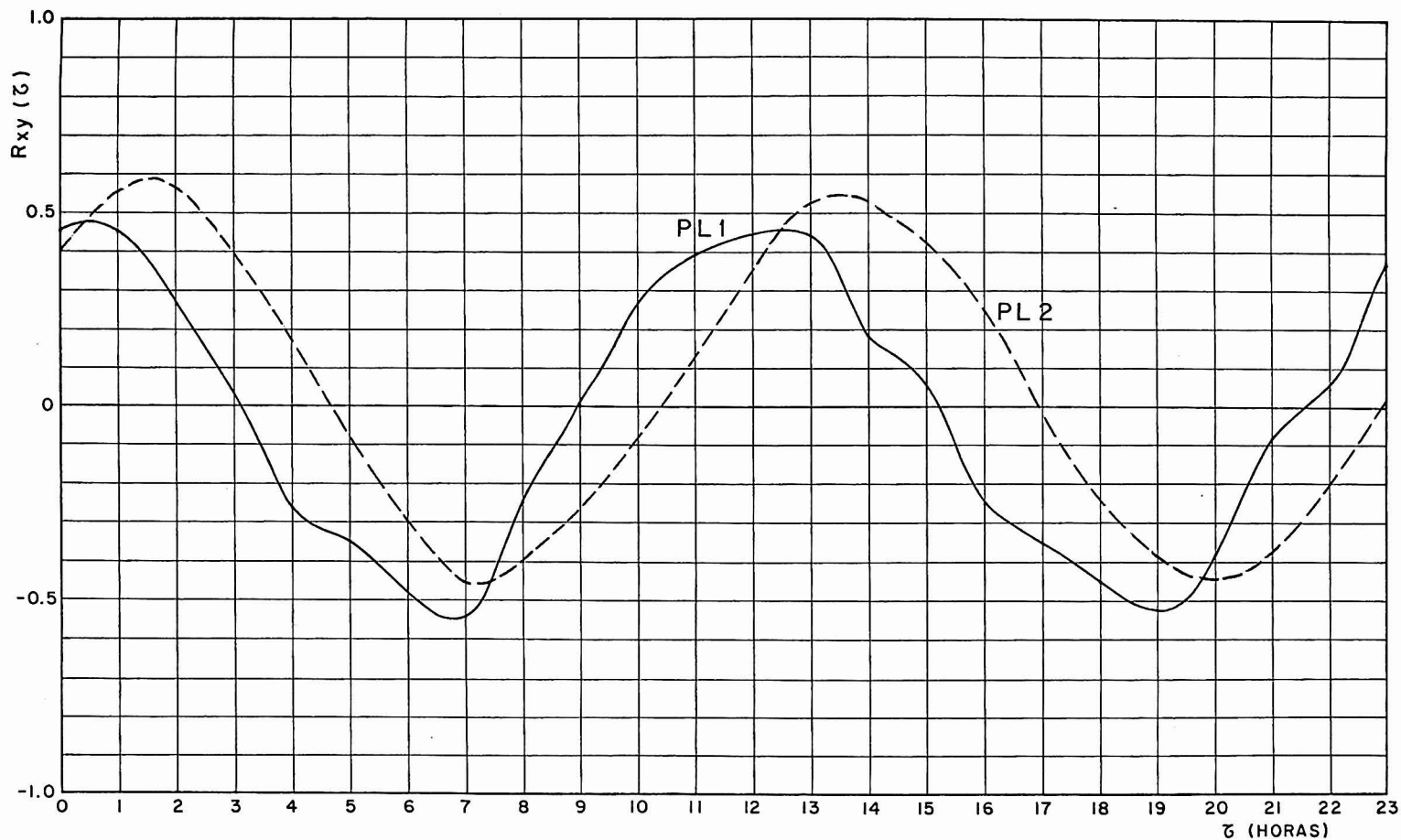


FIG.5.51 - CORRELAÇÃO ENTRE O GRADIENTE DA MARÉ NA ILHA DAS PALMAS  
 E A COMPONENTE SN DA CORRENTE EM PL1 E PL2  
 PERÍODO : 27/03/81 A 09/04/81

nr

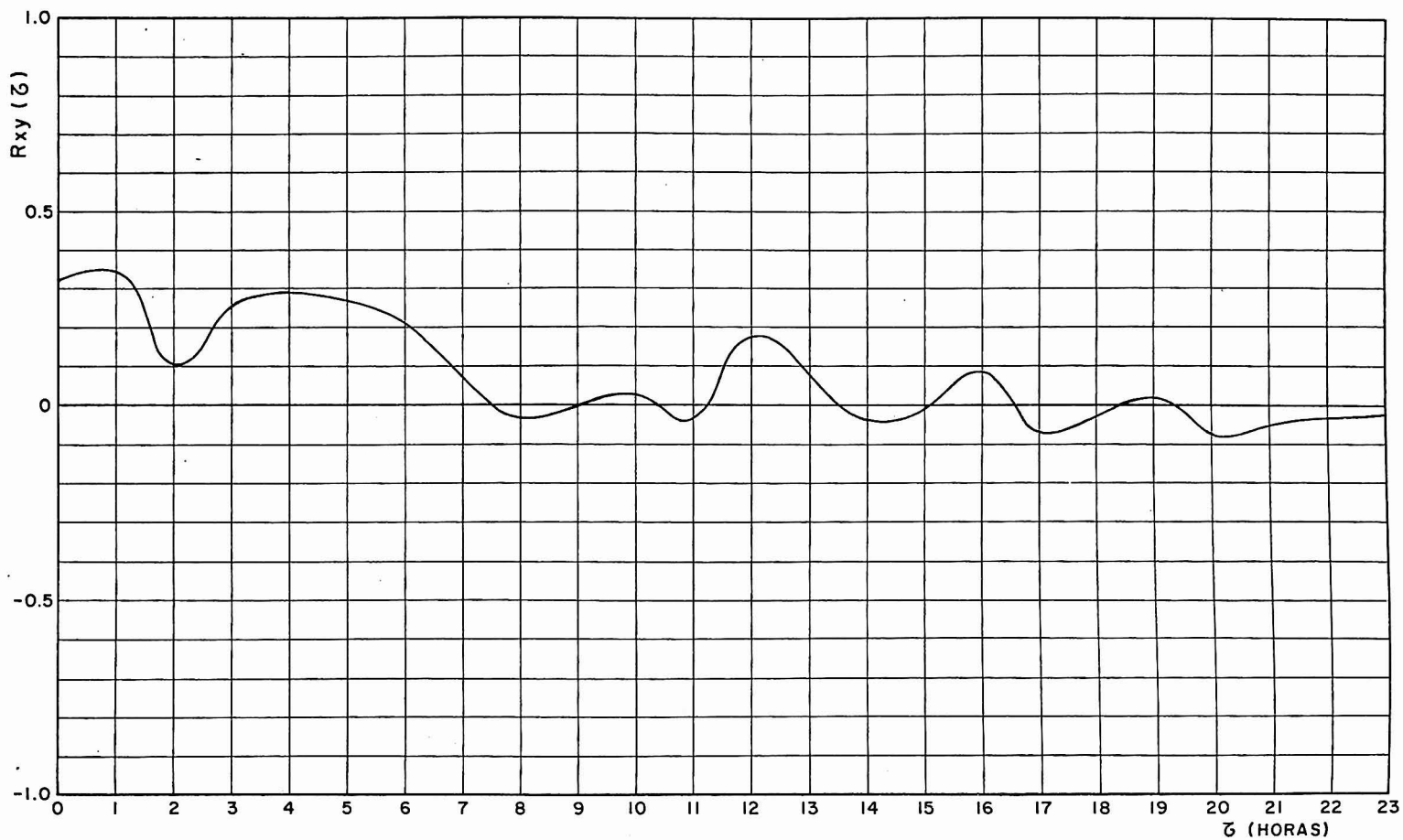


FIG.5.52-CORRELAÇÃO ENTRE A COMPONENTE WE DA INTENSIDADE  
 DA CORRENTE EM PL1 E A COMPONENTE WE EM PL 2  
 PERÍODO : 27/03/81 A 09/04/81

12

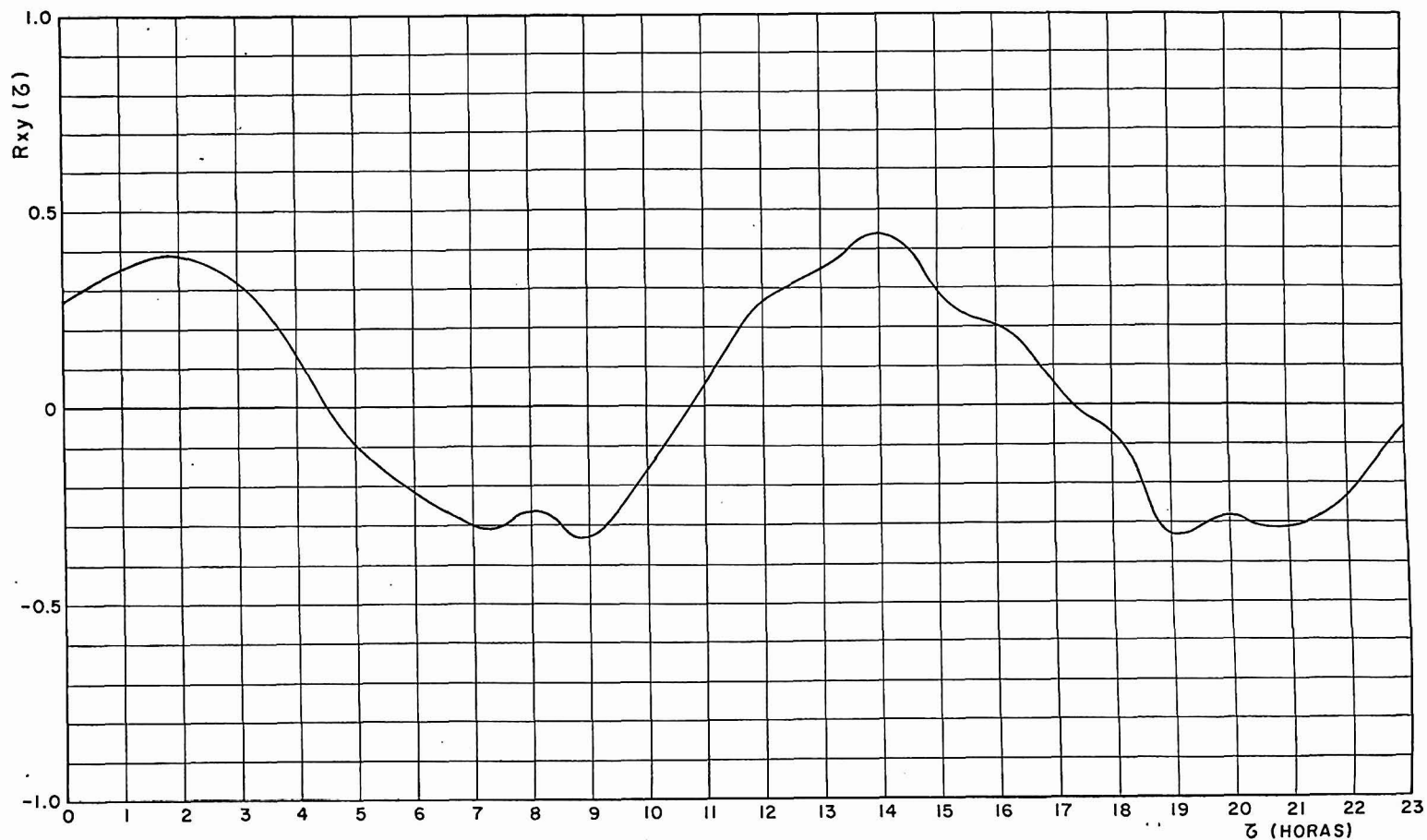


FIG.5.53-CORRELAÇÃO ENTRE A COMPONENTE SN DA INTENSIDADE  
DA CORRENTE EM PL1 E A COMPONENTE SN EM PL2  
PERÍODO : 27/03/81 A 09/04/81

campanhas anteriores pelo INPH e SONDOTÉCNICA, poderá fornecer mais informações sobre a circulação de águas na baía, com a determinação de tempo de propagação de um fenômeno de um local a outro da Baía de Santos, ou da baía para o estuário e vice-versa.

Essas informações, extraídas de medições na natureza, poderão ser úteis na calibração de modelos físicos ou matemáticos da circulação de águas na região.

### 5.3.2 Ventos

Nas Figuras 5.54 a 5.65 são apresentados os diagramas de frequências de ocorrências e velocidades médias de vento segundo direções agrupadas de 5 em 5 graus, obtidos dos registros efetuados na Ilha da Moela.

São mostrados resultados para os vários períodos considerados, quando da análise de correntes, para as campanhas de Inverno/80 e Verão/81.

Como pode ser observado, para os intervalos parciais da campanha de 1980, Figura 5.54 a Figura 5.59, e para todo o período de medições, de 04/08 a 16/09/80, Figuras 5.60 e 5.61, há uma predominância dos ventos do quadrante S e as velocidades médias se situam em torno de 5 m/s.

Nos valores horários de registros de vento, fornecidos ao CDTN pelo INPH e que não constam desse relatório, existem, entretanto, velocidades da ordem de duas vezes a média.

M

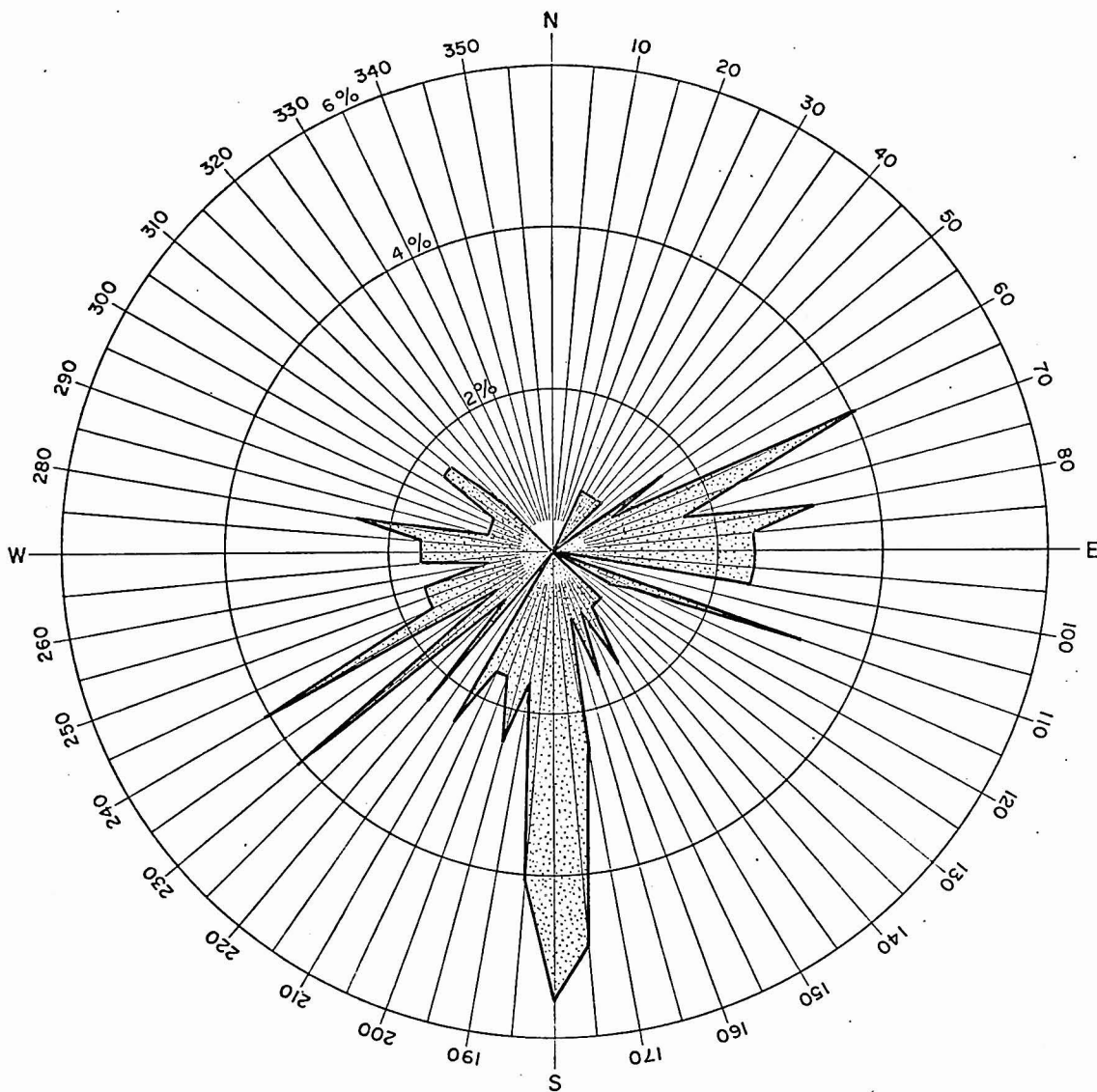


FIG. 5.54  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE VENTO

LOCAL : ILHA DA MOELA

PERÍODO : 04/08 a 09/08/80

nr

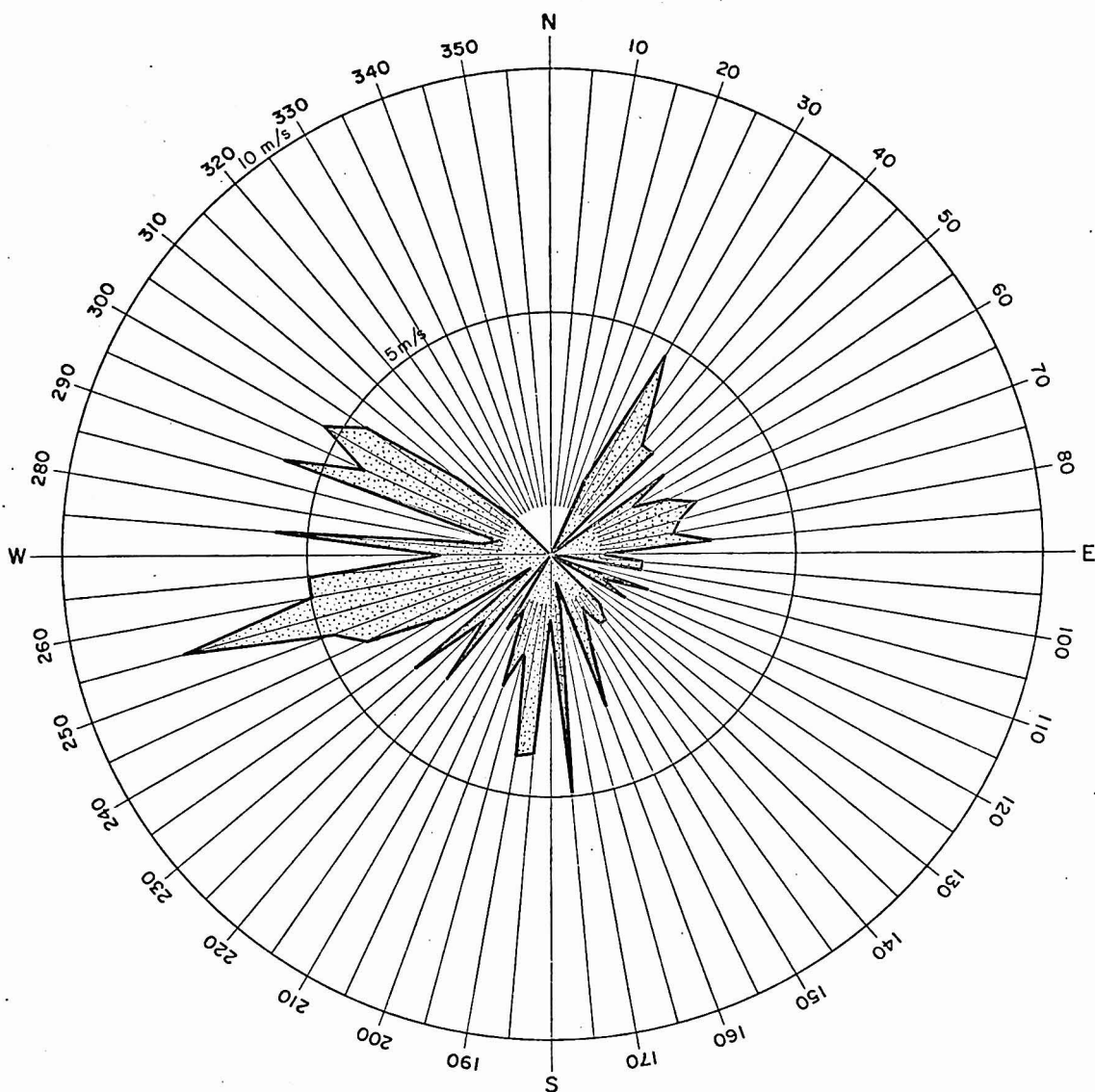


FIG. 5.55  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE VENTO

LOCAL : ILHA DA MOELA

PERÍODO : 04/08 a 09/08/80

DD

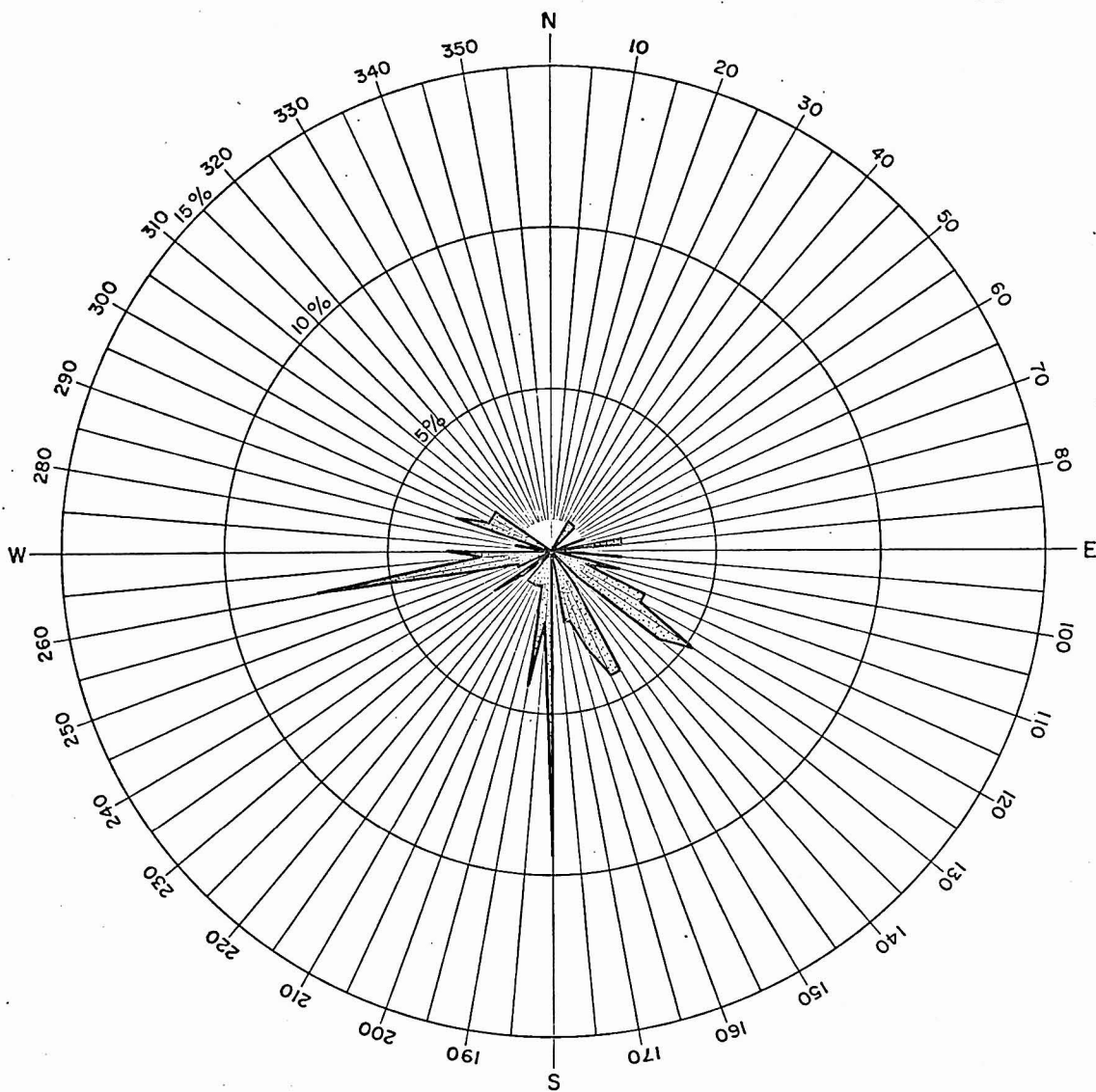


FIG. 5.56  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE VENTO

LOCAL : ILHA DA MOELA

PERÍODO : 19/08 a 23/08/80

102



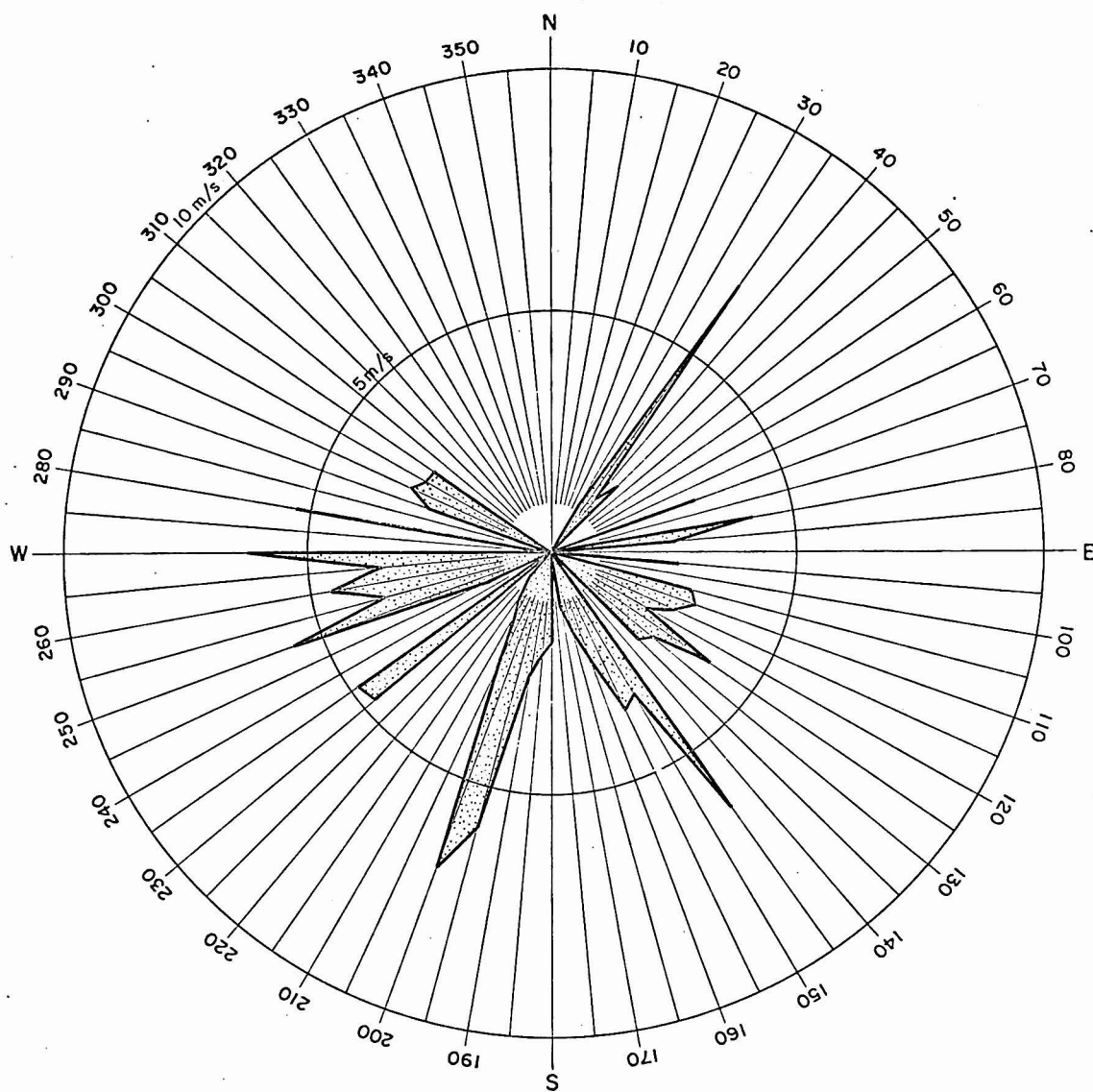


FIG.5.57  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE VENTO

LOCAL : ILHA DA MOELA

PERÍODO : 19/08 a 23/08/80

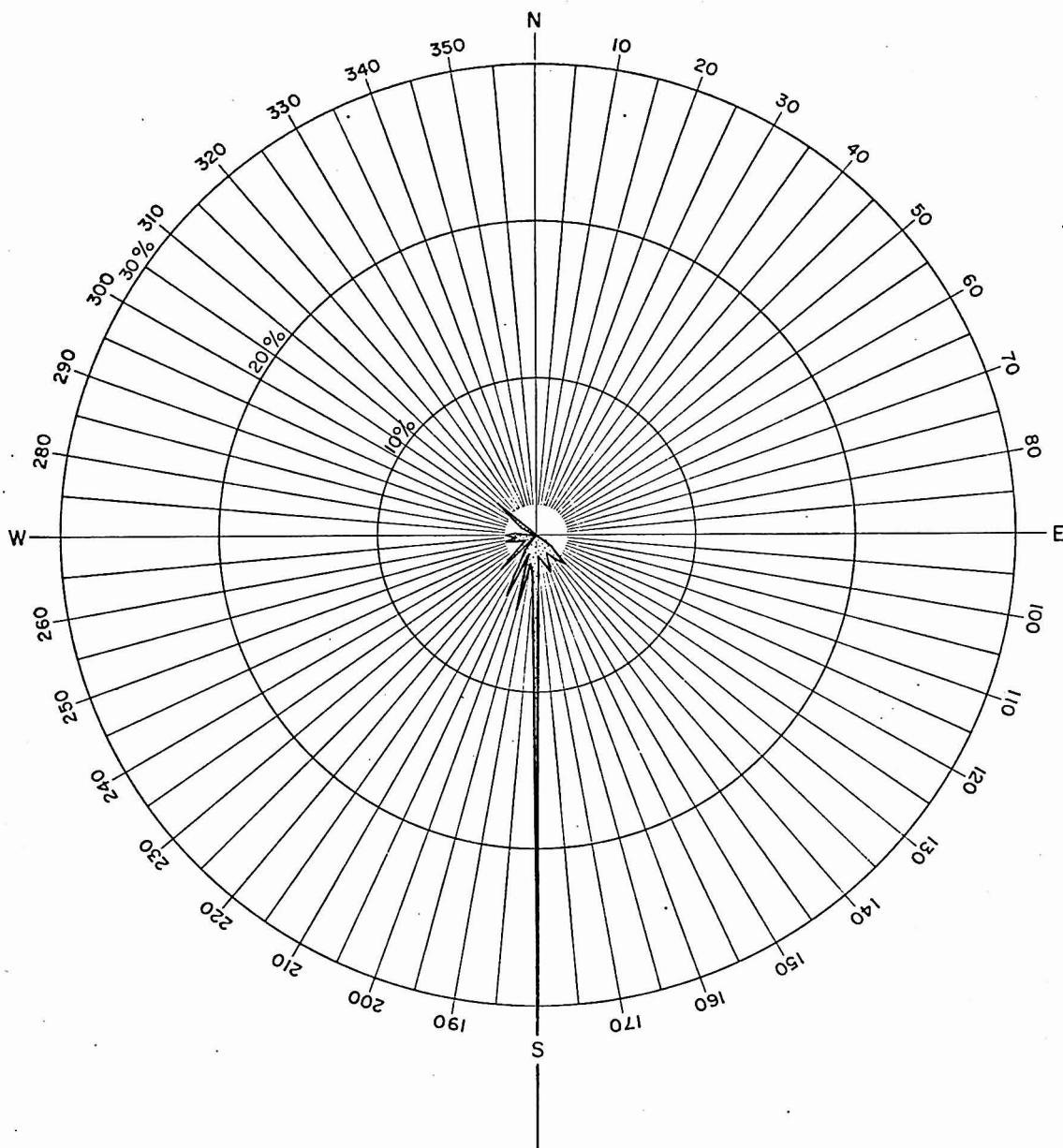


FIG. 5.58  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE VENTO

LOCAL : ILHA DA MOELA

PERÍODO : 04/09 a 10/09/80

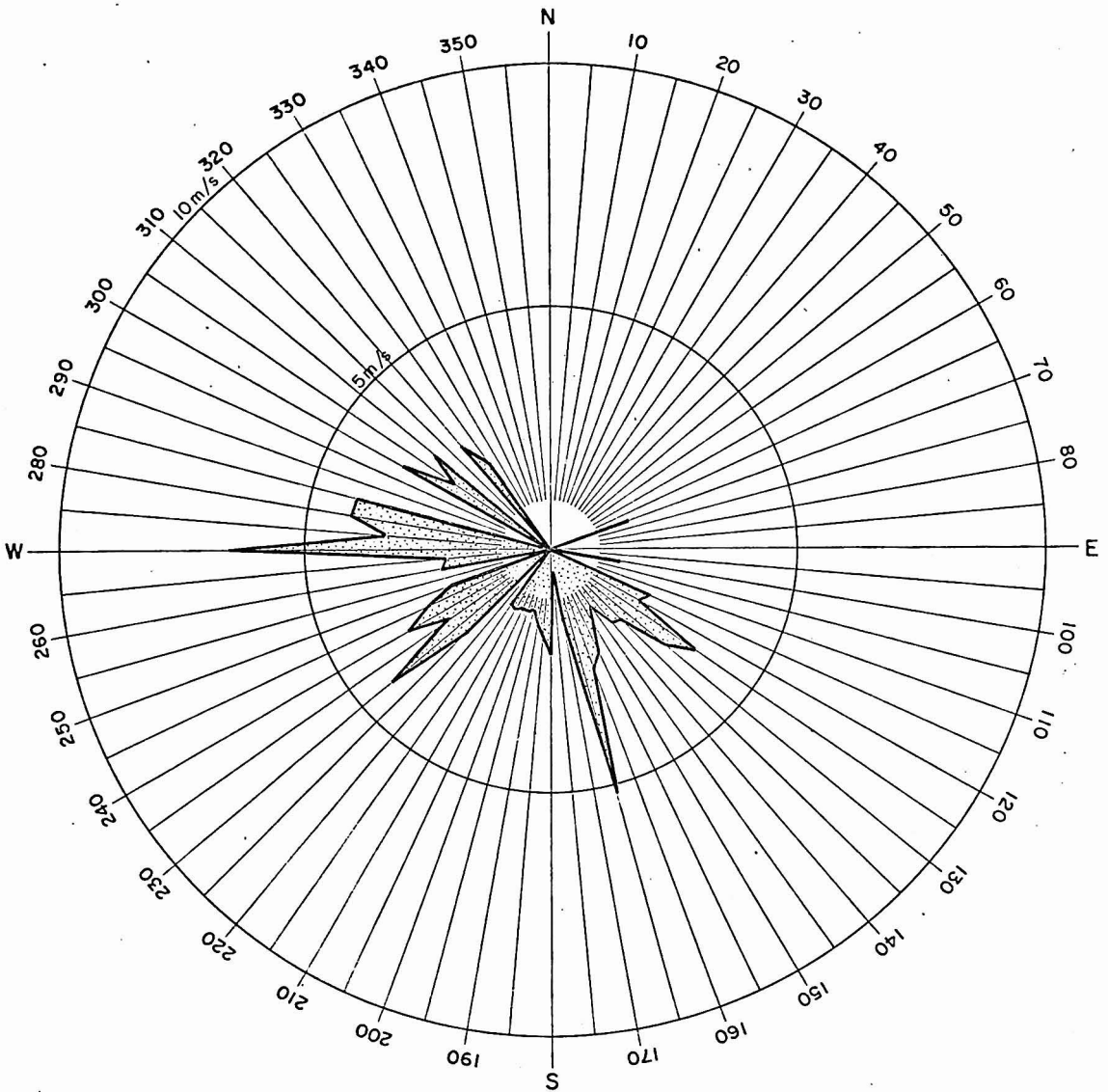


FIG. 5.59  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE VENTO

LOCAL : ILHA DA MOELA

PERÍODO : 04/09 a 10/09/80

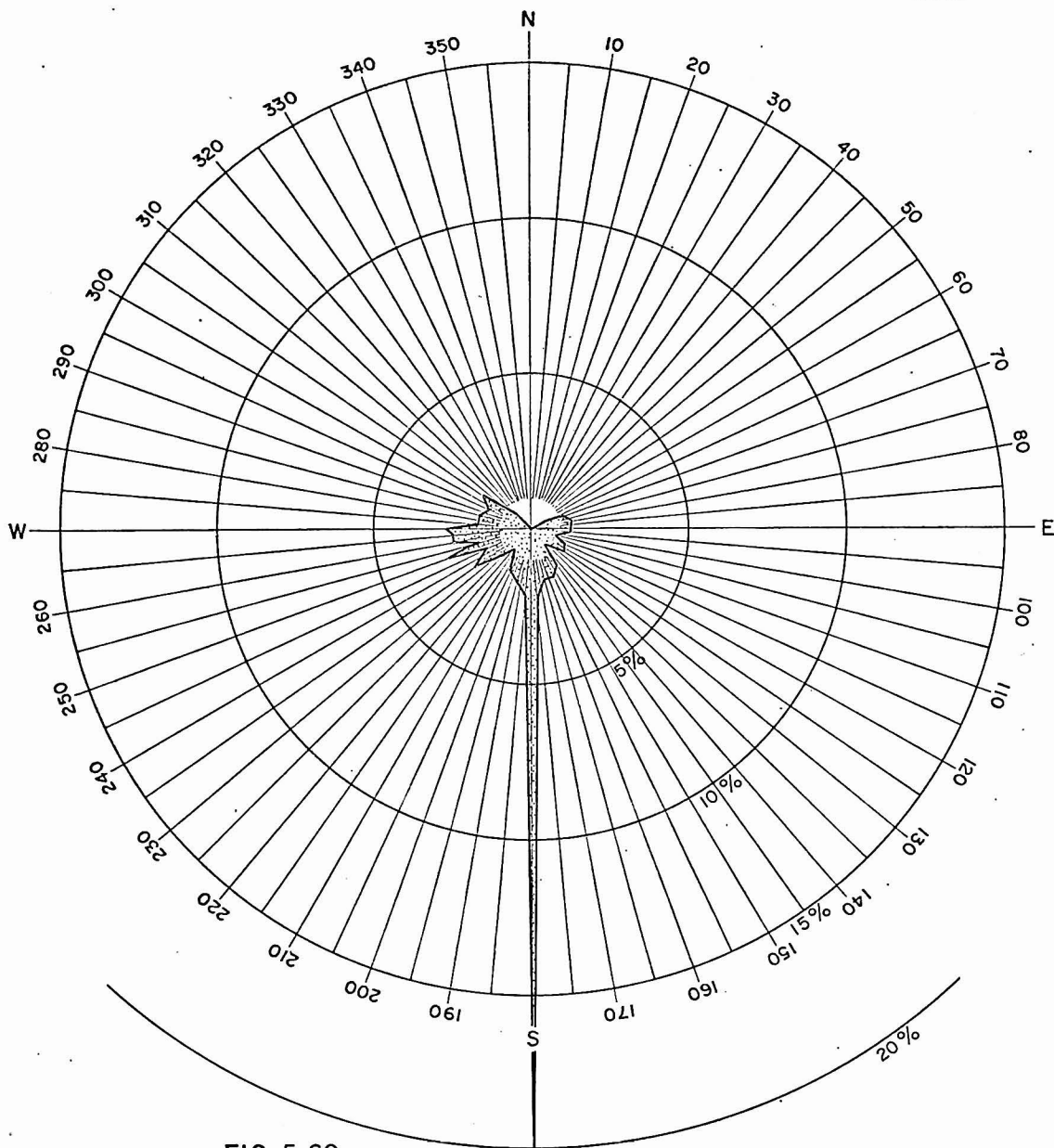


FIG. 5.60  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE VENTO

LOCAL : ILHA DA MOELA

PERÍODO : 04/08 a 16/09/80

DL

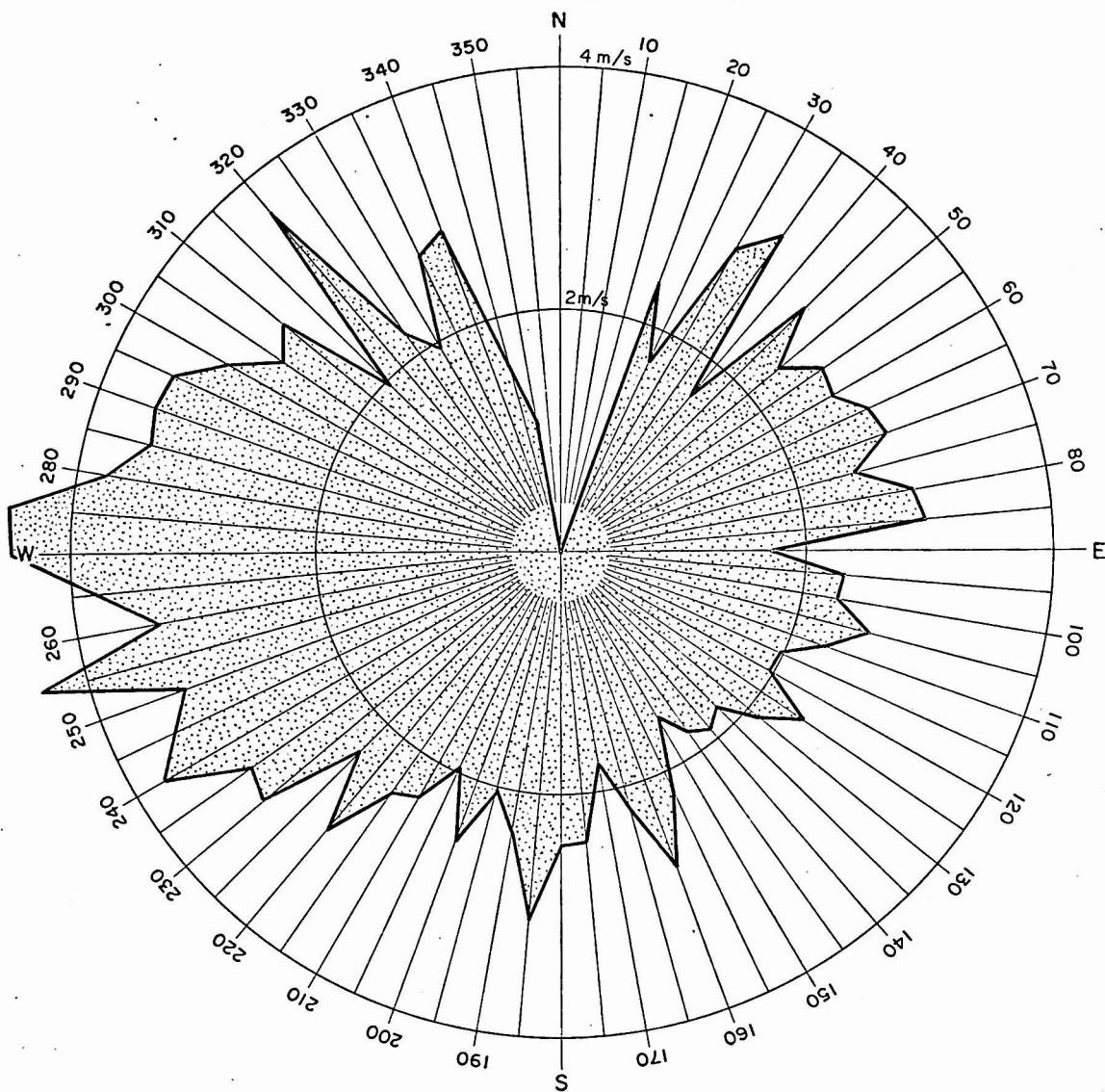


FIG. 5.61  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE VENTO

LOCAL : ILHA DA MOELA  
PERÍODO : 04/08 a 16/09/80

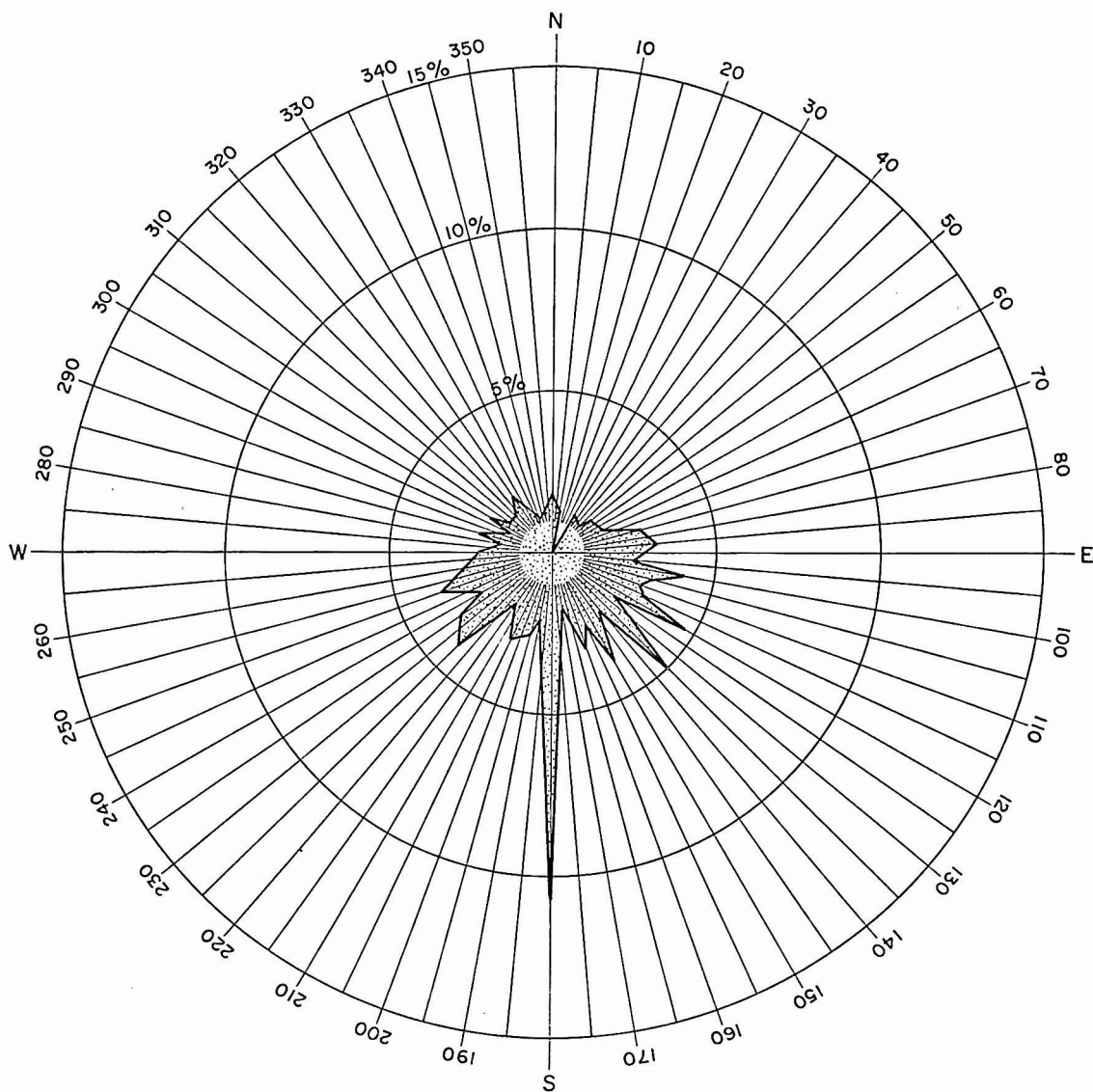


FIG. 5.62  
FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
OS REGISTROS DE VENTO

LOCAL : ILHA DA MOELA

PERÍODO : 10/02/81 A 09/03/81

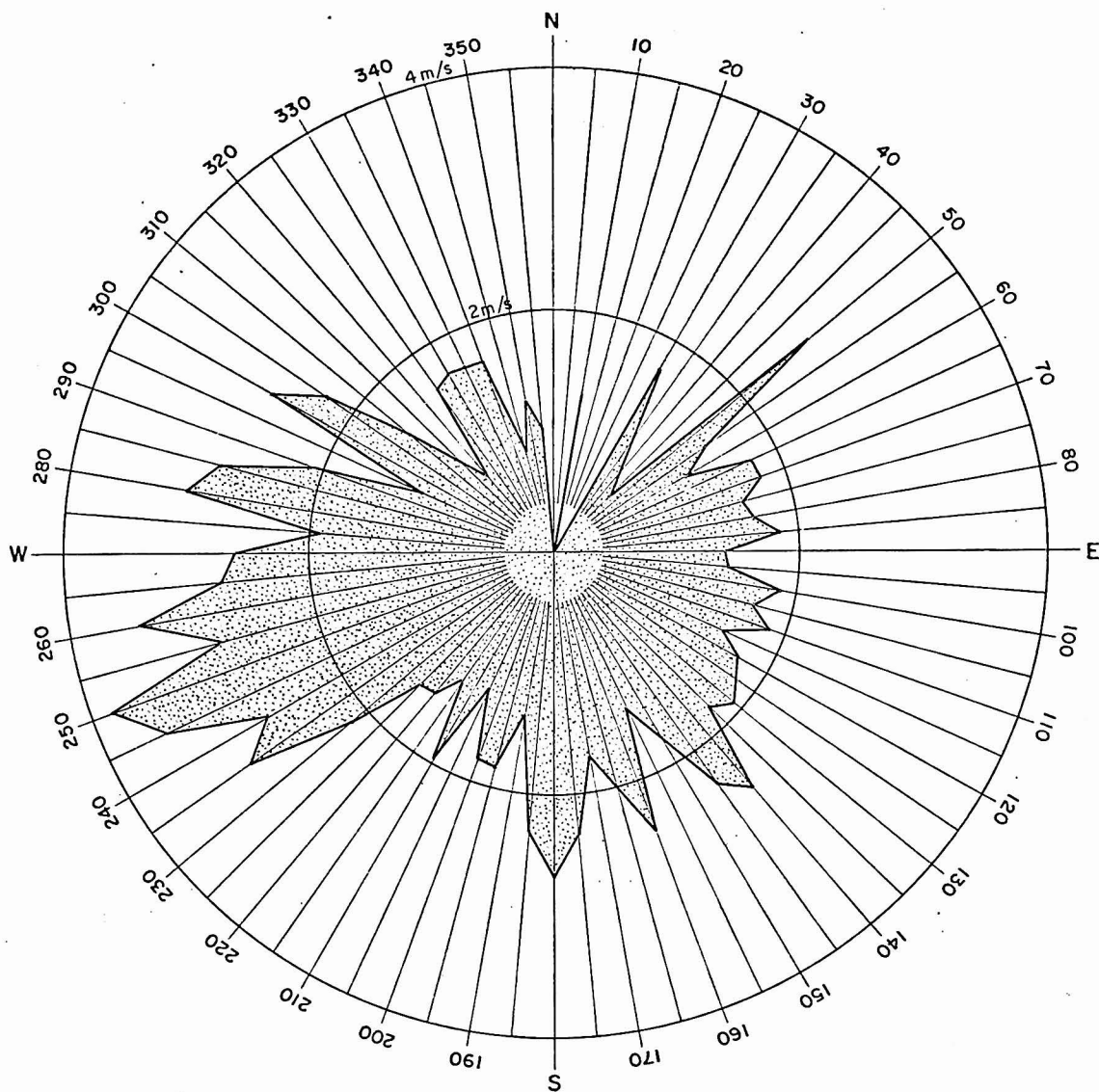


FIG. 5.63  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE VENTO

LOCAL : ILHA DA MOELA

PERÍODO : 10/02/81 A 09/03/81

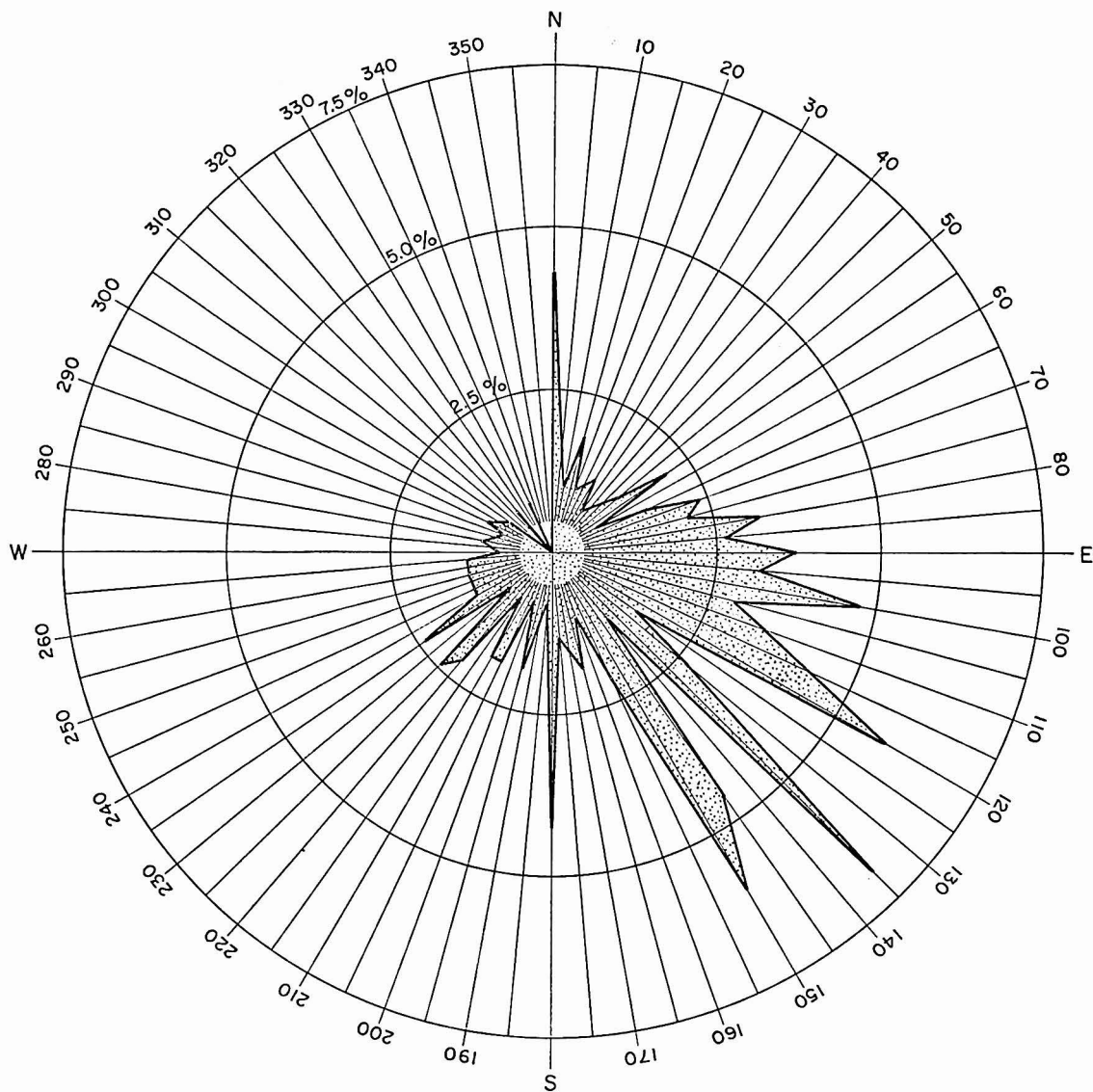


FIG. 5.64  
 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PELAS DIREÇÕES  
 INDEPENDENTEMENTE DE VELOCIDADES PARA  
 OS REGISTROS DE VENTO

LOCAL : ILHA DA MOELA  
 PERÍODO : 21/03/81 A 09/04/81



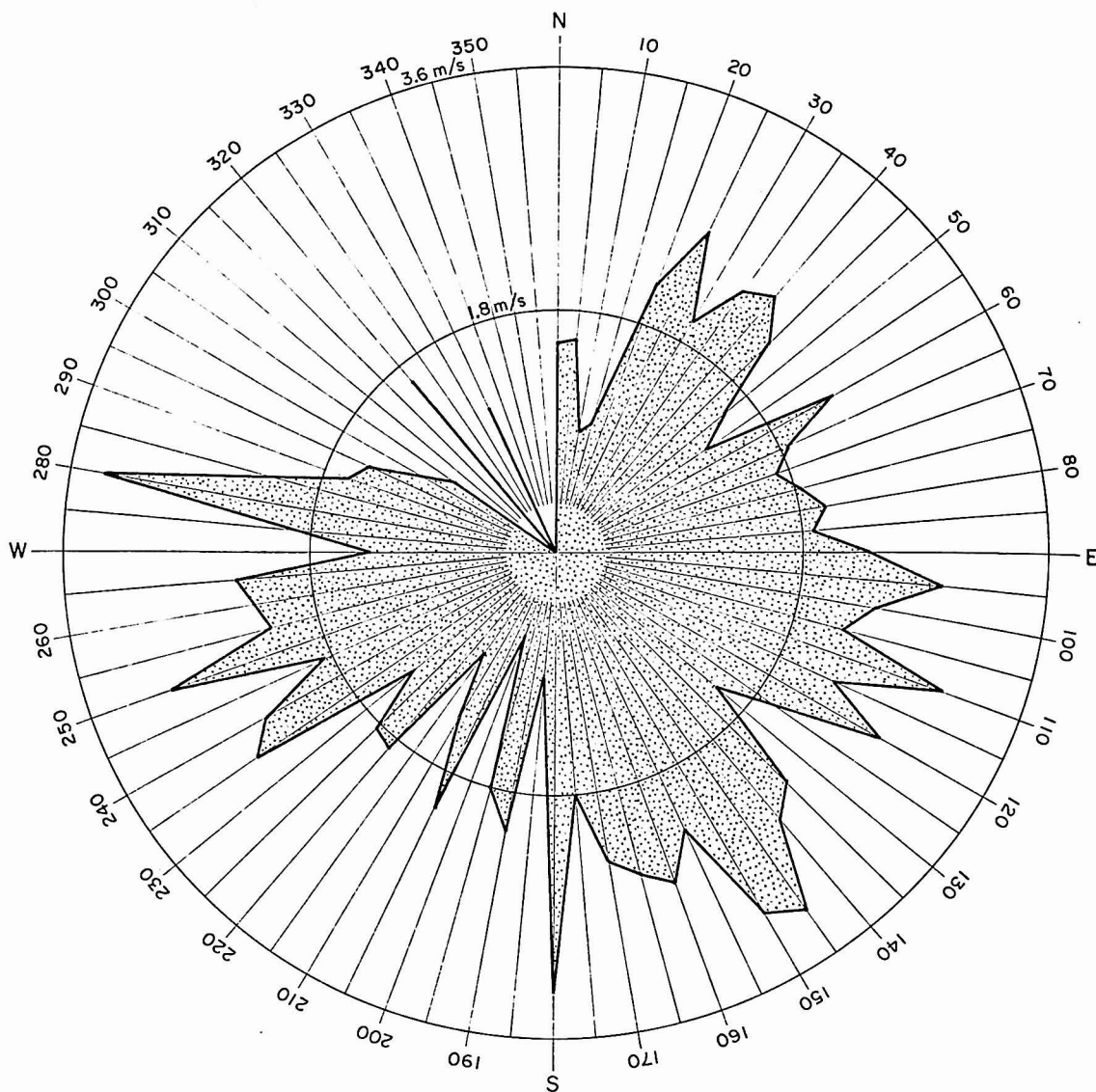


FIG. 5.65  
DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MÉDIAS PELAS  
DIREÇÕES PARA OS REGISTROS DE VENTO

LOCAL : ILHA DA MOELA

PERÍODO : 21/03/81 A 09/04/81

102

Nos meses de verão/81, os registros de vento foram agrupados em duas fases. A primeira, correspondente à primeira campanha de estudos com traçadores, e que vai de 10/02 a 09/03/81, tem a distribuição de velocidades médias e as frequências de ocorrências mostradas nas figuras 5.62 e 5.63. A direção predominante foi S, com velocidades médias inferiores a 4 m/s. A segunda fase, que se estendeu de 21/03 a 09/04/81, corresponde à segunda campanha de verão de estudos de sedimentos de fundo com traçadores radioativos, e tem a distribuição de frequências de ocorrências e velocidades médias mostradas nas Figuras 5.64 e 5.65. A direção predominante foi SE e as velocidades médias também inferiores a 4 m/s.

Conclui-se que no regime de inverno os ventos tiveram velocidades superiores do que no regime de verão, embora a direção predominante nos dois regimes tenha sido S.

### 5.3.3 Ondas

No presente ítem são apresentados:

. Os resultados das análises de ondas registradas na baía de Santos durante o trabalho experimental com traçadores radioativos, realizadas pelo método de Tucker-Draper (10) e mostrados na Tabela 5;

. A distribuição das direções de incidência de ondas, observadas na região de PL<sub>2</sub> Inverno, através de teodolito instalado na 1.<sup>a</sup> bateria da fortaleza de Itaipu, e relativas ao regime de inverno;

TABELA 5 - PARÂMETROS ONDULATÓRIOS (INVERNO)

DATA	HORA	$N_c$	$N_z$	$T_c$ (s)	$T_z$ (s)	$\epsilon$	$H_1$ (m)	$H_s$ (m)	$\alpha(^{\circ})$ $N_v$
8.8.80	00:00	-	-	-	-	-	-	-	-
	08:00	-	-	-	-	-	-	-	-
	16:00	131	80	4,6	7,5	0,79	1,0	0,6	139
9.8.80	00:00	111	80	5,4	7,5	0,69	1,0	0,6	-
	08:00	132	119	4,5	5,0	0,43	1,4	0,8	-
	16:00	-	-	-	-	-	-	-	-
10.8.80	00:00	130	87	4,6	6,9	0,74	1,3	0,8	-
	08:00	100	82	6,0	7,3	0,57	1,1	0,7	-
	16:00	120	100	5,0	6,0	0,55	1,2	0,8	158
11.8.80	00:00	86	74	7,0	8,1	0,51	1,0	0,6	-
	08:00	106	82	5,7	7,3	0,63	1,0	0,7	204
	16:00	139	115	4,3	5,2	0,56	1,5	0,9	209
12.8.80	00:00	121	107	5,0	5,6	0,47	1,3	0,8	-
	08:00	119	99	5,0	6,1	0,55	2,2	1,4	-
	16:00	105	85	5,7	7,1	0,59	2,6	1,7	204
13.8.80	00:00	106	92	5,7	6,5	0,50	1,9	1,2	-
	08:00	99	81	6,1	7,4	0,57	1,1	0,7	167
	16:00	116	96	5,2	6,2	0,56	2,3	1,4	-
14.8.80	00:00	106	90	5,7	6,7	0,53	1,6	1,0	-
	08:00	93	82	6,5	7,3	0,47	1,5	1,0	-
	16:00	125	87	4,8	6,9	0,72	1,8	1,1	-
15.8.80	00:00	114	81	5,3	7,4	0,70	1,4	0,9	-
	08:00	95	78	6,3	7,7	0,57	1,1	0,7	-
	16:00	86	76	7,0	7,9	0,47	1,3	0,8	125
16.8.80	00:00	114	85	5,3	7,1	0,67	1,1	0,7	-
	08:00	104	68	5,8	8,8	0,76	1,1	0,7	124
	16:00	106	67	5,7	9,0	0,77	1,2	0,8	128
17.8.80	00:00	94	61	6,4	9,1	0,76	1,2	0,8	-
	08:00	86	60	7,0	10,0	0,72	0,9	0,6	130
	16:00	134	112	4,5	5,4	0,55	1,8	1,1	192
18.8.80	00:00	115	99	5,2	6,1	0,51	1,1	0,8	-
	08:00	128	88	4,7	6,8	0,73	1,1	0,7	-
	16:00	102	87	5,9	6,9	0,52	1,6	1,0	192
19.8.80	00:00	102	81	5,9	7,4	0,61	1,2	0,8	NZ
	08:00	103	77	5,8	7,8	0,66	1,9	1,2	-
	16:00	77	64	7,8	9,4	0,56	2,7	1,8	136

Continuação.

DATA	HORA	Nc	Nz	Tc (s)	Tz (s)	$\epsilon$	H <sub>1</sub> (m)	H <sub>s</sub> (m)	$\alpha(^{\circ})$ Nv
20.8.80	00:00	97	66	6,2	9,1	0,73	4,2	2,7	
	08:00	78	52	7,7	12,0	0,75	3,2	2,1	-

102

TABELA 5 - PARÂMETROS ONDULATÓRIOS (VERÃO)

DATA	HORA	$N_c$	$N_z$	$T_c$ (s)	$T_z$ (s)	$\epsilon$	$H_1$ (m)	$H_5$ (m)	$\alpha$ (°) $N_v$
14-3-81	00:00	-	-	-	-	-	-	-	
	08:00	-	-	-	-	-	-	-	
	16:00	118	81	5,1	7,4	0,73	1,3	0,8	162
15-3-81	00:00	105	92	5,7	6,5	0,48	1,0	0,6	
	08:00	-	-	-	-	-	-	-	163
	16:00	-	-	-	-	-	-	-	
16-3-81	00:00	-	-	-	-	-	-	-	
	08:00	-	-	-	-	-	-	-	154
	16:00	91	86	6,6	7,0	0,33	0,8	0,5	-
17-3-81	00:00	109	84	5,5	7,1	0,64	0,9	0,6	
	08:00	148	123	4,0	4,9	0,56	0,9	0,6	-
	16:00	-	-	-	-	-	-	-	-
18-3-81	00:00	141	105	4,3	5,7	0,67	1,6	1,0	-
	08:00	121	87	5,0	6,9	0,70	3,4	2,2	-
	16:00	129	95	4,7	6,3	0,68	2,4	1,5	-
19-3-81	00:00	101	69	5,9	8,7	0,73	2,2	1,4	
	08:00	106	79	5,7	7,6	0,67	2,1	1,4	163
	16:00	112	79	5,4	7,6	0,71	2,0	1,3	-
20-3-81	00:00	101	72	5,9	8,3	0,70	1,9	1,2	
	08:00	83	67	7,2	9,0	0,59	2,0	1,3	167
	16:00	103	77	5,8	7,8	0,66	1,9	1,2	163
21-3-81	00:00	105	70	5,7	8,6	0,75	1,5	1,0	
	08:00	108	80	5,6	7,5	0,67	1,4	0,9	164
	16:00	102	69	5,9	8,7	0,74	1,6	1,0	167
22-3-81	00:00	142	113	4,2	5,3	0,61	1,9	1,2	
	08:00	155	129	3,9	4,7	0,55	1,8	1,1	178
	16:00	108	87	5,6	6,9	0,59	1,8	1,1	170
23-3-81	00:00	127	98	4,7	6,1	0,64	1,5	1,0	
	08:00	113	97	5,3	6,2	0,51	1,2	0,8	167
	16:00	134	105	4,3	5,7	0,62	1,3	0,8	164
24-3-81	00:00	110	90	5,5	6,7	0,57	1,3	0,8	
	08:00	113	92	5,3	6,5	0,58	1,4	0,9	165
	16:00	111	88	5,4	6,8	0,61	1,2	0,8	159
25-3-81	00:00	133	95	4,5	6,3	0,70	1,2	0,7	ND
	08:00	141	105	4,3	5,7	0,67	1,1	0,7	160
	16:00	169	100	3,6	6,0	0,70	1,1	0,7	161

Continuação.

DATA	HORA	Nc	Nz	Tc (s)	Tz (s)	E	H <sub>1</sub> (m)	H <sub>5</sub> (m)	$\alpha$ (°) Nv
26.3.81	00:00	139	112	4,3	5,4	0,59	1,4	0,9	
	08:00	131	94	4,6	6,4	0,70	1,2	0,8	160
	16:00	113	87	5,3	6,9	0,64	1,3	0,8	161
27.3.81	00:00	110	88	5,5	6,8	0,60	1,5	1,0	
	08:00	-	-	-	-	-	-	-	
	16:00	-	-	-	-	-	-	-	156
28.3.81	00:00	156	101	3,8	5,9	0,76	1,7	1,0	
	08:00	149	115	4,0	5,2	0,64	1,4	0,9	157
	16:00	123	106	4,9	5,7	0,51	1,3	0,8	156
29.3.81	00:00	137	110	4,4	5,5	0,60	1,3	0,8	
	08:00	132	112	4,5	5,4	0,53	1,2	0,7	163
	16:00	-	-	-	-	-	-	-	-
30.3.81	00:00	117	88	5,1	6,8	0,66	1,3	0,8	
	08:00	140	96	4,3	6,2	0,73	1,4	0,9	160
	16:00	106	89	5,7	6,7	0,54	1,2	0,8	160
31.3.81	00:00	96	80	6,2	7,5	0,55	0,9	0,6	
	08:00	154	102	3,9	5,9	0,75	1,4	0,9	159
	16:00	166	98	6,1	6,1	0,81	1,9	1,2	157
01.4.81	00:00	138	88	4,3	6,8	0,77	2,5	1,6	
	08:00	136	101	4,4	5,9	0,68	2,3	1,4	174
	16:00	119	85	5,0	7,1	0,70	3,0	1,9	163
02.4.81	00:00	144	96	4,2	6,2	0,75	3,2	2,1	
	08:00	131	83	4,6	7,2	0,77	2,9	1,9	149
	16:00	133	85	4,5	7,1	0,77	3,2	2,1	-
03.4.81	00:00	136	91	4,4	6,6	0,74	3,1	2,0	
	08:00	113	83	5,3	7,2	0,68	3,0	1,9	161
	16:00	115	77	5,2	7,8	0,74	2,7	1,7	-
04.4.81	00:00	123	92	4,9	6,5	0,66	2,1	1,3	
	08:00	100	83	6,0	7,2	0,56	1,7	1,1	158
	16:00	88	70	6,8	8,1	0,61	2,0	1,3	158
05.4.81	00:00	98	76	6,1	7,9	0,63	1,3	0,8	
	08:00	170	132	3,5	4,5	0,63	1,3	0,8	-
	16:00	167	126	3,6	4,8	0,66	1,4	0,8	-
06.4.81	00:00	145	118	4,1	5,1	0,58	2,0	1,2	N2
	08:00	138	108	4,3	5,6	0,62	2,1	1,3	154
	16:00	181	139	3,3	4,3	0,64	1,3	0,8	154

Continuação.

DATA	HORA	N <sub>c</sub>	N <sub>z</sub>	T <sub>c</sub> (s)	T <sub>z</sub> (s)	ε	H <sub>1</sub> (m)	H <sub>s</sub> (m)	α(°) N <sub>v</sub>
07.4.81	00:00	154	130	3,9	4,6	0,54	1,4	0,8	
	08:00	134	109	4,5	5,5	0,58	1,2	0,7	
	16:00	175	127	3,4	4,7	0,69	1,3	0,8	163
08.4.81	00:00	166	129	3,6	4,7	0,63	1,4	0,8	
	08:00	125	93	4,8	6,5	0,67	1,3	0,8	-
	16:00	135	86	4,4	7,0	0,77	1,7	1,1	-
09.4.81	00:00	110	80	5,5	7,5	0,69	3,0	1,9	
	08:00	109	68	5,5	8,8	0,78	2,7	1,8	160
	16:00	-	-	-	-	-	-	-	-

112

. A distribuição das direções de incidência de ondas, observadas na região do PL<sub>2</sub> Verão, através de teodolito instalado na cobertura do Edifício Sete Mares, na Ilha Porchat, e relativas ao regime de verão.

Em algumas ocasiões, tanto no regime de inverno quanto no de verão, quando a equipe se encontrava no mar efetuando serviços nas proximidades do local de fundeio do ondógrafo, as direções de incidência foram observadas com a utilização da embarcação e da bússola da mesma. Na apresentação de resultados, as direções de incidência estão sempre referidas ao norte verdadeiro.

As observações de direções de onda se estenderam por um período superior ao registro de ondas. No regime de inverno elas foram observadas 2 vezes por dia, às 8:00 e 16:00 horas, de 08/08/80 a 27/09/80 e no regime de verão entre 14/02/81 a 09/04/81. Houve algumas falhas de observação, devido ao estado do tempo (neblina e chuva).

É também aqui tratado o episódio do enterramento do ondógrafo ocorrido na campanha de inverno, do qual são tiradas algumas conclusões interessantes.

São abordadas a seguir, as variações dos seguintes parâmetros ondulatórios em regime de inverno e verão, obtidos pelo emprego do método de Tucker-Draper e pela observação de direção de ondas:

a)  $T_z$ : período das interseções ascendentes do registro com o nível médio do mesmo, e equivalente ao período médio do registro;



b)  $H_1$ : altura formada pela associação da maior crista e do maior cavado de certo registro, o qual é maior ou igual à maior altura máxima de onda individual;

c)  $H_s$ : altura significativa, a qual corresponde à altura média do terço das ondas mais altas de um registro;

d)  $\alpha$ : direção de incidência das ondas, na região de fundeio do ondógrafo (diferente em cada regime - vide Figura 5.1), relativamente ao norte verdadeiro.

#### 5.3.3.1 Períodos

No regime de inverno, nos poucos dias de registros, entre 08/08/80 e 20/08/80, o valor do período médio ( $T_2$ ) variou entre 5,0 e 11,5 segundos. No regime de verão, entre 14/03/81 e 09/04/81, ele variou entre 4,3 e 9,0 segundos. Na Tabela 6, para a construção da qual os períodos foram arredondados para segundo, observa-se que o período mais frequente na época de inverno foi 7 segundos (31,43%) e, na época de verão, foi também de 7 segundos (40,00%).

#### 5.3.3.2 Altura ( $H_1$ )

No regime de inverno, as alturas  $H_1$  (iguais ou superiores à da maré alta, onda individual de cada registro) variavam entre 0,9 e 4,2m. No registro de zero hora do dia 20/08/80 foi registrada uma onda de altura individual (a maior crista e o maior cavado fazendo parte da mesma

TABELA 6 - FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE PERÍODOS MÉDIOS (Tz) NOS  
REGIMES DE INVERNO E VERÃO

Tz (Segundos)	Regime de Inverno		Regime de Verão	
	Nº Registros	Porcentagem	Nº Registros	Porcentagem
4	-	-	1	1,43
5	3	8,57	13	18,57
6	5	14,29	19	27,14
7	14	40,00	22	31,43
8	6	17,14	10	14,29
9	5	14,29	5	7,14
10	1	2,86	-	-
11	-	-	-	-
12	1	2,86	-	-
TOTAL	35	100,00	70	100,00

102

onda) de 4,2 metros. Nos registros vizinhos a este, as alturas das ondas individuais também foram elevadas.

Como já dito em ocasião anterior, esta tempestade deve ter ajudado a enterrar o ondógrafo.

O exame dos registros do ondógrafo obtidos na campanha de inverno mostra que, entre as 16:00 horas de 08/08/80 até as 16:00 horas de 19/08/80, o nível médio dos registros e, portanto, o nível médio do mar, ficou situado entre 10,6m e 12,2m acima do plano da antena de ultrassom do ondógrafo.

No dia 17/08/80, entre 12:30 e 14:00 horas, ocorreram fortes ventos de SSW, seguidos de grande temporal. O anemógrafo da Ilha da Moela chegou a registrar ventos de 29 km/h às 14:00 horas de 17/08/80. Pela manhã do dia 18/08 o tempo apresentava-se bom. Na noite de 18/08 para 19/08/80, ventos fortes do quadrante oeste atuaram na região. Durante o dia 19/08 o tempo esteve novamente bom, com ondas relativamente baixas. Entretanto, a partir de 21:00 horas desse dia, o anemógrafo da Ilha da Moela passou a registrar intensidades de vento superiores a 10 km/h e, as 23:00 horas ela atingiu 34 km/h ou cerca de 18,5 nós. Até as 5:00 horas de 20/08 as intensidades horárias de vento eram iguais ou superiores a 16 km/h.

Esse deslocamento intenso das massas de ar do quadrante sul entre 17/08/80 e 20/08/80, no seu percurso até atingir a região de Santos, gerou vagas de altura considerável que terminaram por atingir a baía de Santos. Como consequência dessas ondas de energia relativamente mai

or (maiores períodos e alturas - vide Tabela 5) que atingiram a baía de Santos e que foram registradas a partir de 16:00 horas de 19/08/80, as ações hidrodinâmicas no fundo foram mais intensas e o ondógrafo iniciou o seu processo de enterramento. Isto fica evidente pela observação do registro do ondógrafo e também, na Figura 5.66, da variação da distância do nível médio do mar ao plano da antena de ultrassom. Nessa mesma figura está plotada a variação do nível d'água registrada pelo marégrafo da CODESP, em Conceiçãozinha, pois o marégrafo da Ilha das Palmas ainda não se encontrava em operação. No registro das 16:00 horas de 19/08, essa distância era de 11,7m; no da 5:00 horas de 20/08/80, ela saltou para 13,5m. No registro de 8:00 horas do mesmo dia ela permaneceu em 13,3m. O registro seguinte, das 16:00 horas, conforme pode ser visto no original enviado ao INPH, está extremamente fraco. Ou a bateria já estava fraca ou a antena emissora de ultrassom do ondógrafo já tinha sido coberta pelo sedimento do fundo, de forma a impedir uma transmissão e recepção nítidas. Pensa-se que a segunda hipótese seja a mais viável pois, normalmente, a carga da bateria do ondógrafo permite efetuar registros por cerca de 9 dias, com 4 registros diários de 20 minutos. O último lançamento, com a bateria bastante carregada, havia sido feito dia 13/08/80, às 15:00 horas, tendo o ondógrafo feito o seu primeiro registro às 16:00 horas. Como o mesmo estava programado para fazer apenas 3 registros diários de 15 minutos, havia folga para que todos os registros do dia 20/08 fossem efetuados.

Quando da recuperação do ondógrafo, o mesmo encontrava-se cerca de 3 metros enterrado no fundo. Foi necessário utilizar mergulhadores com ar comprimido acoplado

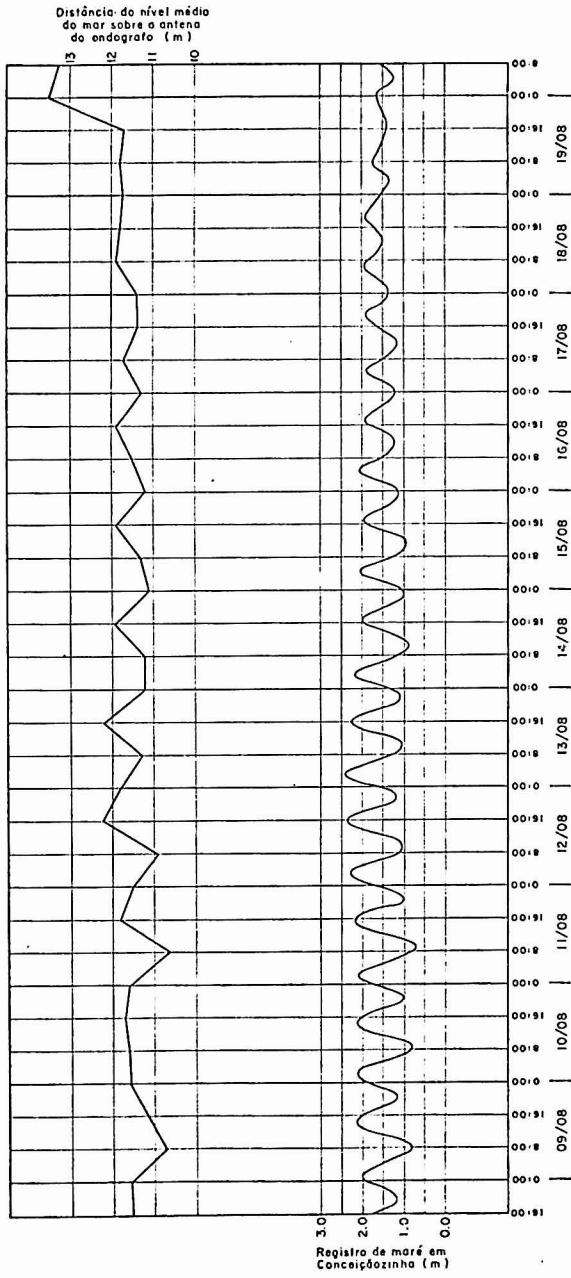


FIG. 5.66 - VARIACÃO DA DISTÂNCIA ENTRE O NÍVEL MÉDIO DO MAR E A ANTENA DO ONDÓGRAFO  
REGISTRO DE MARÉ EM CONCEIÇÃOZINHA

12

a equipamento de "air-lift" para escavar o local.

Pena que não se estivesse usando uma boia a acelerômetro ou outro tipo de ondôgrafo que não o utilizado , para podermos ter tido belos registros de temporais. Entretanto, todo esse contratempo teve seu lado proveitoso. Demonstrou, diretamente, a influência predominante das ondas de alta energia na movimentação dos sedimentos finos constituintes do fundo da baía de Santos.

No regime de verão, as alturas  $H_1$  dos registros obtidos entre 14/03/81 e 09/04/81 variaram entre 0,8 e 3,4m.

Na Tabela 7 encontram-se as frequências de ocorrência de  $H_1$  nos regimes de inverno e de verão.

Estes valores mais frequentes e suas porcentagens relativas devem ser encarados com reservas, devido ao baixo número de registros obtidos.

#### 5.3.3.3 Altura Significativa ( $H_S$ )

Esta altura, que representa a altura média do terço de ondas mais altas, é obtida pelo método de Tucker-Draper (10) multiplicando-se  $H_1$  por um fator tabelado que é função do número de interseções ascendentes  $N_2$ . No regime de inverno, as alturas significativas, para os poucos registros obtidos, variaram entre 0,6 e 2,7m. No regime de verão os valores de  $H_S$  situaram-se entre 0,5 e 2,2m. Na Tabela 8 podem ser vistas as frequências de ocorrência dos valores de  $H_S$  nos regimes de inverno e verão.

M2

TABELA 7 - FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE ALTURAS ( $H_1$ ) NOS REGIMES DE INVERNO E VERÃO

$H_1$ (m)	Regime de Inverno		Regime de Verão	
	Nº Registros	Porcentagem	Nº Registros	Porcentagem
0,8	-	-	1	1,43
0,9	1	2,86	3	4,29
1,0	4	11,43	1	1,43
1,1	7	20,00	2	2,86
1,2	4	11,43	7	10,00
1,3	3	8,57	12	17,14
1,4	2	5,71	9	12,86
1,5	2	5,71	3	4,29
1,6	2	5,71	2	2,86
1,7	-	-	3	4,29
1,8	2	5,71	2	2,86
1,9	2	5,71	4	5,71
2,0	-	-	4	5,71
2,1	-	-	3	4,29
2,2	1	2,86	1	1,43
2,3	1	2,86	1	1,43
2,4	-	-	1	1,43
2,5	-	-	1	1,43
2,6	1	2,86	-	-
2,7	1	2,86	2	2,86
2,8	-	-	-	-
2,9	-	-	1	1,43
3,0	-	-	3	4,29
3,1	-	-	1	1,43
3,2	1	2,86	2	2,86
3,3	-	-	-	-
3,4	-	-	1	1,43
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
4,2	1	2,86	-	-
TOTAL	35	100,00	70	100,00

DR

TABELA 8 - FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE ALTURAS SIGNIFICATIVAS (Hs)  
NOS REGIMES DE INVERNO E VERÃO

Hs (m)	Regime de Inverno		Regime de Verão	
	Nº Registros	Porcentagem	Nº Registros	Porcentagem
0,5	-	-	1	1,43
0,6	4	11,43	4	5,71
0,7	7	20,00	5	7,14
0,8	9	25,71	19	27,14
0,9	2	5,71	6	8,57
1,0	3	8,57	6	8,57
1,1	2	5,71	4	5,71
1,2	2	5,71	5	7,14
1,3	-	-	5	7,14
1,4	2	5,71	3	4,29
1,5	-	-	1	1,43
1,6	-	-	1	1,43
1,7	1	2,86	1	1,43
1,8	1	2,86	1	1,43
1,9	-	-	4	5,71
2,0	-	-	1	1,43
2,1	1	2,86	2	2,86
2,2	-	-	1	1,43
2,3	-	-		
2,4	-	-		
2,5	-	-		
2,6	-	-		
2,7	1	2,86		
TOTAL	35	100,00	70	100,00



Do mesmo modo que para a altura  $H_1$ , os valores mais frequentes de  $H_s$  e suas porcentagens relativas também devem ser encarados com reservas, devido ao pequeno tamanho das amostras.

#### 5.3.3.4 Direção de Incidência das Ondas

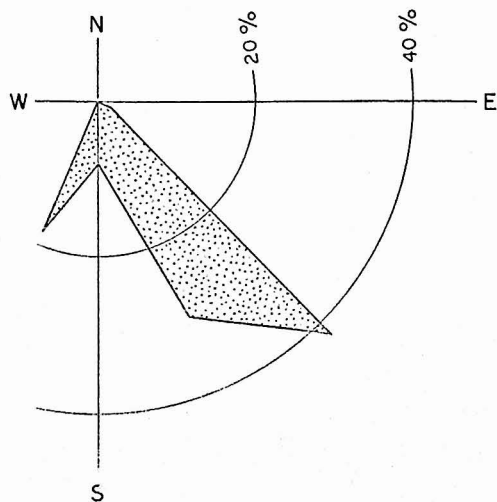
Como já dito anteriormente, elas foram observadas na região de fundeio do ondógrafo, a qual, no regime de inverno, foi a SE da Ponta de Itaipú, quase no limite sul da baía. No verão, devido ao enterramento sofrido pelo ondógrafo no inverno anterior, o local de fundeio foi deslocado mais para o interior da baía, em local de menor profundidade, ficando a SE da Ilha Porchat. Assim, a comparação de direções de incidência nos dois regimes ficou prejudicada, a menos que se traçassem diagramas de refração, para transportar as características ondulatórias de uma determinada região para a outra.

Entretanto, é válido analisar a variação das direções de incidência das ondas, em cada região observada, e em cada regime de per si.

Com as observações efetuadas duas vezes por dia, entre 08/08 e 27/09/80, na região de  $PL_2$  Inverno, verificou-se que as direções de incidência (agrupadas a cada  $22,5^\circ$ ) variaram entre ESE e SSW, sendo SE a direção mais frequente (42%). (Figura 5.67).

As observações efetuadas em regime de verão, entre 14/02 e 09/04/81 na região do  $PL_2$  Verão - Figura 5.1,

08/08/80 A 27/09/80  
(PL 2<sub>INV.</sub>)



14/02/81 A 09/04/81  
(PL 2<sub>VERÃO</sub>)

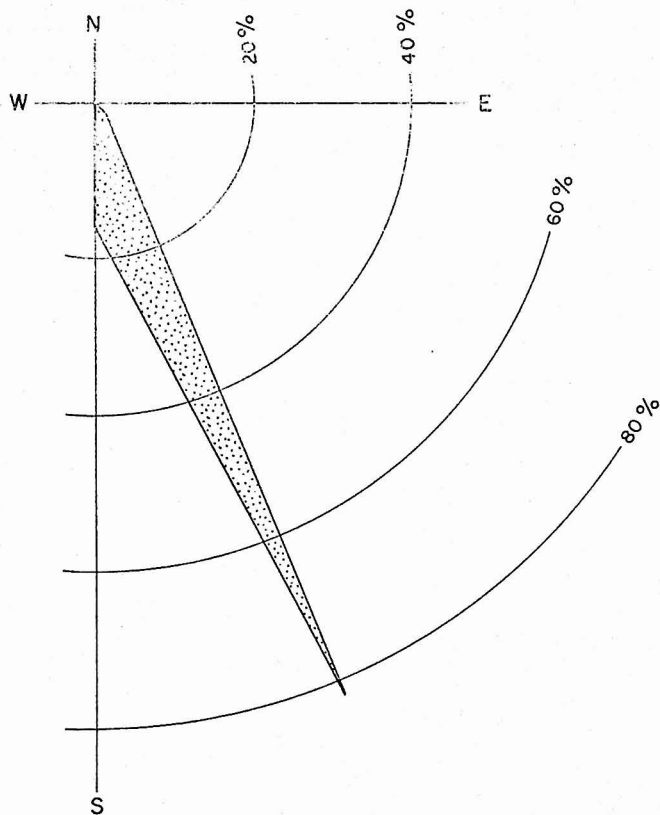


FIG. 5.67 - FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE DIREÇÃO  
DE INCIDÊNCIA DE ONDAS

112

monstraram que as direções de incidência variaram entre SE e S, sendo SSE a direção mais frequente (82,14%).

Devido à posição de PL<sub>2</sub> Verão mais para o interior da baía em relação a PL<sub>2</sub> Inverno (o qual está mais exposto às várias direções de ondas do largo), e à configuração das isóbatas na região entre eles, orientadas de SW para NE (carta DHN 1701 ou sondagem da CBD - Des. CBD-DT nº 1718 de 29/11/80), as ondas das várias direções da incidência, ao se propagarem da região de PL<sub>2</sub> Inverno para PL<sub>2</sub> Verão sofrem refração, tendendo as suas direções de incidência a se concentrarem próximas de S.

#### 5.3.3.5 Conclusões sobre o Regime de Ondas

Mesmo com a campanha de registros de ondas que muito deixou a desejar, relativamente ao que se pretendia obter de informações ondulatórias, para relacionar com o estudo do transporte de sedimentos de fundo efetuado com a utilização de traçadores radioativos, algumas conclusões podem ser tiradas sobre as diferenças observadas nos parâmetros ondulatórios nos regimes de inverno e de verão.

a) As ondas em regime de inverno são relativamente mais altas;

b) A gama de variação de períodos médios ( $T_z$ ) é maior no inverno que no verão. Como consequência disto, as ondas, em algumas situações nos meses de inverno, possuem grande energia e são responsáveis pela maior intensidade do transporte de sedimentos de fundo observado nesse

M2

período.

c) No interior da baía de Santos, pela sua posição, a direção de incidência das ondas é predominantemente do quadrante sul ao longo do ano. Sendo as ondas o agente hidrodinâmico principal na movimentação dos sedimentos de fundo, isto explica a direção preferencial para N-NNW da movimentação dos sedimentos nas três regiões estudadas na baía, com a utilização de traçadores radioativos.

#### 5.4 Comparação com Resultados de Medições Anteriores

##### 5.4.1 Introdução

Os resultados das análises, referentes aos trabalhos realizados pelo CDTN na baía de Santos em 1980 e 1981, serão comparados com os resultados obtidos pela SONDOTÉCNICA, em seus trabalhos de 1975 e 1976, que constam da referência (7) e com os trabalhos do próprio INPH. O objetivo de tal comparação, apesar de algumas diferenças na localização dos pontos e nas profundidades de medições, é tentar inserir os resultados obtidos na campanha reduzida do CDTN ao padrão de circulação de águas da baía de Santos, levantado a partir de medições mais amplas realizadas pelo INPH (em 1972/1973) e a SONDOTÉCNICA (em 1975/1976).

Durante seus estudos, a SONDOTÉCNICA efetuou uma campanha de medições de correntes, a correntômetros e correntógrafos, em vários locais da baía de Santos.

As medições a correntômetro foram realizadas ao

N2

longo das verticais dos pontos 7, 12, 17 e 18, em diversas profundidades, de setembro/75 a janeiro/76. As medições a correntógrafo foram realizadas nos pontos A e B, nas cotas -10,5m e -6,5m, respectivamente, de novembro/75 a dezembro/76 (Desenho 3.1 - Referência 7).

Entre os locais de medições de correntes da SONDOTÉCNICA, foram escolhidos, para efeito de comparação, aqueles que mais se aproximam dos locais de medições do CDTN (Figura 5.1).

Algumas vezes, dados de correntógrafo (CDTN) foram comparados com dados de correntômetro (SONDOTÉCNICA) a profundidades de medições que eram próximas. Outras vezes, foram comparados dados de correntógrafos a profundidades diferentes.

Esse procedimento não muito correto, deve ser avaliado com ponderação, ao se constatar que os dados disponíveis não são muito numerosos.

#### 5.4.2 Comparações na Região de PL<sub>1</sub>

Próximos aos locais de medições de correntes a correntógrafo em PL<sub>1</sub>, pelo CDTN, encontram-se: aproximadamente a 500m a NW, o ponto P<sub>12</sub>, de medições de correntes a correntômetro da SONDOTÉCNICA; a 1000m a SE, o ponto B, de operações a correntógrafo da mesma firma.

Em P<sub>12</sub>, com nove medições, realizadas a várias profundidades, entre 10/02/76 e 14/07/76, a SONDOTÉCNICA

chegou às seguintes conclusões:

"Em geral, pode-se afirmar (com reservas, por se dispor de um número reduzido de medições) que o comportamento das correntes residuais de vazante está melhor caracterizado que o das correntes residuais de enchente, e que para estas últimas pode-se estabelecer um regime mais definido na medida em que a profundidade aumenta".

"Na fase de enchente... na medida em que a profundidade aumenta, as correntes tendem a se concentrar dentro de um setor definido, adquirindo uma direção predominante que vai mudando do N para NW".

"Nas vazantes... as velocidades mantêm-se dentro de um setor bem definido, ocorrendo numa direção predominantemente oeste, isto é, paralela à costa".

"Entretanto, não parece existir uma relação sensível entre as velocidades residuais, as perturbações do mar e as variações do nível médio" (Referência 7 - Página 171 e 176).

O CDTN, em medições realizadas a correntômetro, na mesma época do ano, durante a campanha de verão/81, encontrou, para a fase de enchente, um comportamento não bem definido por parte das correntes.

Nas vazantes, os campos de correntes diferem. Enquanto a SONDOTÉCNICA encontrou como direção predominante a W, o CDTN encontrou o setor SSE-SW. Note-se que as medições da SONDOTÉCNICA foram efetuadas a correntômetro e que

M

suas conclusões se baseiam em velocidades residuais (somadas vetoriais) calculadas e os resultados do CDTN são distribuições de frequências e velocidades médias pelas direções, obtidas com registros mais prolongados de correntógrafos.

Quanto a uma possível relação das correntes com as variações do nível do mar, o CDTN encontrou que a influência da maré sobre a circulação de águas, na região de  $PL_1$ , se faz preferencialmente sobre a direção NS.

Ainda com relação à região de  $PL_1$ , as medições realizadas pelo CDTN em regime de inverno/80 podem ser comparadas com as medições realizadas pela SONDOTÉCNICA na estação correntográfica B (na cota -6,5m a partir da superfície, o que corresponde mais ou menos a 2,2m do fundo, situando a localização do ponto B na curva batimétrica da CBD, de novembro 1979 - Desenho CBD-DT nº 1718).

Segundo a SONDOTÉCNICA:

"No caso do correntógrafo B não há uma direção nitidamente predominante; as correntes se distribuem regularmente no setor SE-E, com ligeira predominância no setor S-SE" (Referência 7 - Página 146).

O desenho 6.3 da referência (7) mostra que no mês de agosto/76 a direção predominante foi o setor S-SW e que no mês de setembro/76 predominou SW.

O CDTN, para o período de 04/08 a 16/09/80, encontrou, para as correntes em  $PL_1$  a 1m do fundo, direções preferências NNE e SSE.

12

Apesar de cerca de 1m de diferença entre os níveis de medição do CDTN e da SONDOTÉCNICA, e da distância entre os locais, os resultados das medições do CDTN se inse-rem bem nos obtidos pelas medições da SONDOTÉCNICA tendo em vista a circulação de águas na baía, nessa região.

#### 5.4.3 Comparações na Região de PL<sub>2</sub>

Na região de PL<sub>2</sub> Inverno, o ponto de medições de correntes da SONDOTÉCNICA mais próximo é o P<sub>17</sub>, de medi-ções a correntômetro, que se situa a 2000m de NE de PL<sub>2</sub> Inverno.

Dada a grande distância entre as regiões, não se julgou pertinente uma comparação.

As correntes registradas pela SONDOTÉCNICA, na estação A, situada a aproximadamente 500m a SE de PL<sub>2</sub> Verão, e operada entre Fevereiro/76 a Outubro/76, a -10,5m da superfície (pág.84 - referência 7) mostraram uma nítida predominância das direções pela direção S.

Os resultados obtidos pelo CDTN, em PL<sub>2</sub> Verão a meia profundidade, de 27/03 a 09/04/81, também apresentaram uma nítida preferência por parte das direções das cor-rentes pela direção S. Na enchente a direção predominante foi ENE, e, na vazante, predominou o setor S-SSE.

Para o período de 20/02 a 07/03/81, os resulta-dos obtidos estão mais de acordo com os resultados da cam-panha do INPH (Ponto 24), realizada em 1973 no mesmo lo-

112



cal (Referência 7 - Página 145).

Na campanha do INPH predominaram as direções NE e SW, e na campanha do CDTN, para o período de 20/02 a 07/03/81, predominaram as direções SW e NNE, sendo NNE para as enchentes e SW para as vazantes.

Também nesta região da baía, a maré exerce influência predominantemente na direção NS, segundo as medições e os cálculos de correlação efetuados pelo CDTN.

De modo geral, as medições efetuadas pelo CDTN e as conclusões nelas obtidas, completam e confirmam, para essa região, as tendências observadas nas campanhas anteriores, do INPH e da SONDOTÉCNICA.

M

6. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DE MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS DE FUNDO À LUZ DOS AGENTES HIDRODINÂMICOS.

6.1 Conclusões Gerais sobre a Movimentação de Sedimentos de Fundo na Baía de Santos.

Com os trabalhos realizados na baía de Santos entre junho de 1980 e junho de 1981, muitas informações valiosas foram obtidas sobre o comportamento do material constituinte do seu fundo.

Primeiramente, através da coleta de amostras da superfície do fundo da baía, em junho de 1980, e através de análises granulométricas e do cálculo de parâmetros estatísticos relativos à distribuição granulométrica (curtose, assimetria, etc), foi possível avaliar as modificações na constituição dos fundos cerca de 5 anos após a troca do local de despejo do material dragado do estuário. Este despejo era feito logo a SE da Ponta de Itaipu, no lado oeste da baía, e passou a ser efetuado logo ao sul da Ilha da Moela. Os resultados foram comparados com os relativos a julho de 1973, configurados através de coleta de sedimentos de fundo efetuada nesse mês e ano, em estudo semelhante executado pelo IPT (3). Os dados essenciais extraídos dessa comparação (1) podem ser resumidos em:

a) Houve uma alteração da composição granulométrica, com o desaparecimento de frações silto-argilosas anteriormente presentes em pequenas regiões localizadas próximas à Ponta de Itaipu, no lado oeste da baía, e ao Morro da Barra, na parte leste. Sobretudo junto à Ponta de Itai

pu, uma nítida região em forma de cunha, voltada para o interior da baía, onde a porcentagem de material silto-argiloso situava-se entre 0 e 50%, desapareceu, quando do levantamento de junho de 1980 (Figura 3A - Referência 1). Estas alterações, sobretudo a observada junto à Ponta de Itaipu, podem ter sido consequência direta da mudança do local de despejo do material fino, dragado no estuário. Essa mudança do local de despejo também teve influência na diminuição do volume de material dragado para a manutenção de profundidades, no canal de acesso e no estuário (7);

b) Fora as alterações apontadas no item a, o padrão geral de comportamento da baía foi mantido. Inclusive, na parte leste da baía, o levantamento de 1980 acusou uma região longilínea no sentido S-N, originária a leste da baía, adentrando a mesma sobre a região do canal de acesso, onde a porcentagem da fração silto-argilosa é superior a 50%. A princípio, poderia pensar-se em retorno de finos da nova região de despejo. Entretanto, no levantamento de 1973, anterior à troca do local de despejo, tal região com porcentagem de finos superior a 50% já se fazia presente mais ou menos no mesmo local (vide Figura 3A - Referência 1). Isto nos leva a concluir que tal distribuição de finos na superfície do fundo da baía é natural e independe da posição do local de despejo do material fino dragado no estuário. Estudos reológicos efetuados no CDTN em três amostras silto-argilosas colhidas na parte leste da baía de Santos deram informações sobre o comportamento do material de fundo com alto teor de finos, em várias concentrações, e sujeito à ação de correntes e ondas. O resumo desses resultados (Referência 2) é apresentado no capítulo 3 do presente relatório.

M

Os estudos de movimentação de sedimentos de fundo efetuados nos regimes de inverno e verão com a utilização de vidro moído marcado com irídio-192 representando a fração arenosa, deram muitas informações quantitativas e qualitativas, esclarecedoras do comportamento do material constituinte do piso marinho da baía de Santos.

O panorama geral da movimentação dos sedimentos de fundo nos dois regimes pode ser visto na Figura 2.1.

Nos três locais em estudo: região a oeste da entrada do estuário e do alinhamento "C" do canal de acesso ( $PI_1$ ), região leste da baía entre o canal de acesso e o Morro da Barra ( $PI_2$ ) e na região oeste, próximo à costa rochosa de Itaipu ( $PI_3$ ), a movimentação de sedimentos, nos dois regimes, se faz para o interior da baía. Não há, como se pensava na referência (7) e com base em informações sobre levantamentos batimétricos da baía, um movimento alternado de sedimento: entrada de sedimento de fundo da plataforma continental para a baía, em época de verão e caminhamento de sedimento da baía para o largo em época de inverno, causados pela ação frontal das ondas, cujas características diferem nos dois regimes.

Na Tabela 9, são listados os principais parâmetros obtidos com os estudos realizados com o emprego de traçadores radioativos.

Observa-se que o transporte de sedimento de fundo é bem mais intenso em regime de inverno ( $Q_m \geq 200 \text{ Kg/m/dia}$ ) do que no verão ( $Q_m \leq 40 \text{ kg/m/dia}$ ), nas três regiões estudadas.

12

LOCAL	INTERVALO CONSIDERADO	PROFUNDIDADE RELATIVA AO ZERO HIDROGRÁFICO DA PORTOBRÁS (m)	$Q_m$ VAZÃO MÁSSICA MÉDIA DE ARRASTE (kg/m/dia)	$Q_v$ VAZÃO VOLUMÉTRICA MÉDIA DE ARRASTE (m <sup>3</sup> /m/dia)	AZIMUTE DA DIREÇÃO PREFERENCIAL DE TRANSPORTE (°) $N_V$
PI <sub>1</sub> Inverno	03/08/80 a 22/09/80	7,9	270	0,17	342
PI <sub>2</sub> Inverno	08/08/80 a 18/09/80	12,3	350	0,21	335
PI <sub>3</sub> Inverno	06/08/80 a 19/09/80	10,0	200	0,12	14
PI <sub>1</sub> Verão	09/02/81 a 08/04/81	7,6	10	0,006	350
	08/04/81 a 20/06/81		20	0,012	350
PI <sub>2</sub> Verão	21/02/81 a 07/04/81	10,9	40	0,024	339
	07/04/81 a 19/06/81		40	0,024	339
PI <sub>3</sub> Verão	19/02/81 a 02/04/81	9,3	10	0,006	349

TABELA 9 - RESULTADOS PRINCIPAIS OBTIDOS COM OS ESTUDOS DO MOVIMENTO DE SEDIMENTOS ARENOSOS DE FUNDO, COM O USO DE TRAÇADORES RADIOATIVOS

NR

Isto se deve, sobretudo, à ação de ondas junto ao fundo, mais intensa no regime de inverno que no verão. Aliás, a ação de ondas se faz notar também através das direções preferenciais de transporte do material de fundo, nos vários locais estudados, as quais estão sensivelmente de acordo com as direções de incidência das ondas na baía (Capítulo 5).

Particularmente, considerando o espalhamento observado na região oeste da baía (PI<sub>3</sub> Inverno e PI<sub>3</sub> Verão), depreendem-se comportamentos distintos no inverno e no verão. No regime de inverno, a movimentação principal de sedimentos deu-se para a direção NNE, com um alongamento considerável da nuvem para E. Inclusive o levantamento de fundo na região de PI<sub>3</sub> Inverno, efetuado em 09 e 11/02/81, antes do lançamento do material marcado em PI<sub>3</sub> Verão, mostrou que a região onde ainda havia atividade remanescente do lançamento de inverno (Figura 2.1), cobria uma faixa que se abria para NNE, a partir de PI<sub>3</sub> Inverno. O escoamento de vazante afluente do estuário de São Vicente, é dirigido para SE; interagindo sobre o transporte de sedimento de fundo na região de PI<sub>3</sub> Inverno, pode ter também influenciado na sua resultante final para NNE. No verão, a direção principal de movimentação do sedimento foi para N-NNW, com a nuvem bastante delgada nessa direção. Este espalhamento da nuvem observado no regime de inverno pode ser creditado sobretudo à ação junto ao fundo (tensão tangencial e corrente de transporte de massa) das ondas de energia relativamente alta observadas nesse regime e cuja direção de incidência era SSW; e também à ação de ondas de al

ta energia, sobretudo de S e SSE, refletidas parcialmente no costão rochoso de Itaipú. No regime de verão as ondas, de menor energia, tiveram a direção de incidência, na região de  $PI_3$  Verão, sobretudo de SSE, o que está de acordo com a menor taxa de transporte e com o azimute do deslocamento preferencial da nuvem em  $349^{\circ}$  NV.

Na região de  $PI_2$ , lado leste da baía, a forma das nuvens dos lançamentos de inverno e verão foi praticamente a mesma (longilínea e azimutes da direção preferencial de movimentação praticamente iguais). A única diferença foi a taxa de movimentação, cerca de 9 vezes maior no regime de inverno. O costão rochoso do Morro da Barra é praticamente uma fronteira N-S bem próxima ao local dos lançamentos ( $PI_2$  Inverno e Verão - Figura 2.1). Ele é uma barreira, a leste dessa região, que impede o fluxo e o consequente espalhamento de sedimento de fundo nesta direção. Essa barreira, com a declividade mais acentuada entre a Ponta Grossa e a Ilha das Palmas, também reflete para NNW as ondas de alta energia do regime de inverno que nela incidem, provenientes de SSW.

Superposta à ação das ondas, a influência dos outros agentes hidrodinâmicos, sobretudo a maré, compõem a circulação hidráulica na baía de Santos. Esta ficou bem definida com os trabalhos desenvolvidos em (7). Lá, nos desenhos 6.16 e 6.17 pode ser visualizada a circulação hidráulica geral, nas fases de enchente e vazante, respectivamente, inclusive a 1,0m do fundo. As medições definiram melhor a região de estudos do  $PI_1$  e  $PI_2$ , ficando a região de  $PI_3$  mais pobremente estudada.

112

A 1,0m do fundo, na região de  $PI_2$ , o fluxo é sempre para o interior da baía, tanto na enchente quanto na vazante, o que é um efeito da circulação anti-horária das águas da baía em fase de vazante. Na região de  $PI_3$ , a oeste, esse fluxo é alternado.

A ação principal das ondas, associada ao efeito secundário dos outros agentes hidrodinâmicos, ajuda a compreender a movimentação de sedimentos de fundo observada em  $PI_3$  e  $PI_2$ , nos regimes de inverno e verão e as suas particularidades.

Na região do  $PI_1$ , mais influenciado, devido à sua posição, pelos escoamentos através da entrada do estuário de Santos, a ação das ondas é ainda o fator mais importante na movimentação de sedimentos de fundo. Nessa região da baía, devido à refração sofrida, as ondas têm a direção de incidência praticamente constante o ano todo, de S e SSE. Os azimutes das direções preferenciais de transporte das nuvens de material radioativo detetadas no final de cada regime (inverno 22/09/80 e verão 20/06/81) estão concordantes com a direção de incidência das ondas. O transporte de fundo aí também é bem mais intenso no regime de inverno. Uma das informações mais interessantes obtidas refere-se ao caminamento do material de fundo lançado no regime de inverno e ainda detetado no regime de verão. À medida que este material foi se aproximando da praia, na altura da isóbata de 7m, começou a infletir para leste. No rastreamento efetuado em 07/02/81 (Figura 2.1), cerca de 6 meses após o lançamento, ele mostrava-se nitidamente acompanhando o alinhamento da praia, numa faixa situada entre as isóbatas de 6 e 4m, indicando um deslocamento na dire



ção da entrada do estuário. Outro levantamento efetuado cuidadosamente em 08/04/81, oito meses após o lançamento em  $PI_1$  Inverno e dois meses após a detecção anterior, confirmou esse comportamento e, além disso, mostrou o deslocamento do contorno da região (determinado pelo nível de atividade 2 vezes superior ao "background" da areia de fundo), como um todo, em direção à praia. Este deslocamento deve-se à ação frontal das ondas.

Houve também um deslocamento do contorno para oeste (trecho C- Figura 2.1). As velocidades médias dos deslocamentos entre 07/02/81 e 08/04/81, que correspondem à velocidade do sedimento da superfície do fundo, são:

- a -  $\bar{V}$  (trecho A) = 2,4m/dia
- b -  $\bar{V}$  (trecho B) = 1,6m/dia
- c -  $\bar{V}$  (trecho C) = 1,0m/dia

O ponto mais próximo da praia em que foi detectado um ruído de fundo duas vezes superior ao natural (extremidade do trecho A da detecção de 08/04/81) estava na profundidade de 3,7m relativamente ao zero hidrográfico da PORTOBRÁS. Esta informação foi obtida plotando-se a posição do ponto no desenho CBD-DT.Nº 1718, referente à batimetria da baía de Santos efetuada entre 13/11/79 e 30/11/79.

O material lançado em  $PI_1$  Verão em 08/02/81 e que teve sua última detecção em 20/06/81, não havia ainda alcançado, nessa data, as profundidades mais baixas nas quais o material de fundo lançado no inverno havia infletido para leste e, nessa direção, fazia seu caminhamento preferencial (Figura 2.1). Infere-se, por comparação, que

ele deva ter o mesmo comportamento.

A taxa de transporte de fundo na parte leste da baía, região de  $PI_2$ , tanto no inverno quanto no verão, foi relativamente mais intensa que nas outras regiões, mesmo tendo profundidades maiores (Tabela 9). Uma possível explicação para isto é o fato das correntes junto ao fundo, nessa região, estarem sempre voltadas para o interior da baía (direção N-NNW), independentemente da fase da maré (desenho 6.16 e 6.17 - Referência 7). Assim, a superposição de influências de correntes e ondas junto ao fundo faz-se, o tempo todo, no sentido preferencial de deslocamento dos sedimentos de fundo nessa região.

A observação conjunta dos deslocamentos de sedimentos de fundo nas três regiões estudadas e nos dois regimes (inverno e verão), revela que há contribuição, direta ou indireta, dessas três regiões ao assoreamento do canal de acesso e ao interior do estuário.

Na região de  $PI_1$ , o material se desloca primeiramente em direção à praia e, depois, inflete para leste, caminhando paralelamente à Praia até alcançar a entrada do estuário e o canal de acesso no seu alinhamento C. Nessa região estreita e, portanto, de altas velocidades, a areia do fundo pode entrar em suspensão ou se deslocar mais rapidamente em arraste ou saltação, acreditando-se que o seu sentido resultante seja para o interior do estuário, uma vez que as correntes junto ao fundo, devido à circulação estuarina, têm a resultante para o interior do estuário (7).

Este comportamento do material de fundo na região do  $PI_1$  é extremamente importante na concepção de obras fixas destinadas a diminuir o assoreamento atualmente verificado no alinhamento B do canal de acesso. Assim, a construção de um guia corrente, enraizado nas proximidades da extremidade leste da praia de Santos, barrará este caminhamento natural de sedimentos, que se faz de oeste para leste, e provocará um engordamento da praia a barlar do mesmo, até que nova configuração de equilíbrio seja alcançada. Impedirá ou dificultará também a entrada de sedimentos arenosos de fundo no estuário e alterará, por certo, o padrão atual de sedimentação no interior do mesmo. O estudo quantitativo da movimentação do sedimento arenoso de fundo no interior do estuário, com a indicação de taxas de transporte e limite de penetração do sedimento, poderá ser feito, no futuro, com técnica similar à adotada neste estudo para a região da baía.

Na região de  $PI_2$ , o transporte sólido de fundo é o mais intenso observado e se faz praticamente, todo o tempo, na direção NNW, alcançando diretamente o canal de acesso em toda a extensão de seus alinhamentos A e B (Figura 2.1). A construção de um guia corrente menor que o anteriormente mencionado e enraizado na região da Ponta dos Limões, poderá barrar, em parte, essa incidência direta de material, sobretudo na região do alinhamento B. Além disso, conjuntamente com o outro guia corrente, poderá guiar os escoamentos de vazante na região, aumentando a ação de varredura hidráulica das correntes de vazante e contribuindo, assim, para a diminuição do assoreamento no trecho curvo do canal de acesso (alinhamento B), e talvez até em uma extensão do alinhamento A. Estudos nesse sentido, estão sen

do atualmente desenvolvidos no INPH-PORTOBRÁS. Entretanto, a solução da diminuição do assoreamento do canal de acesso pela construção de obras fixas deve contemplar também outros interesses, tais como: a circulação das águas na baía, com os aspectos de poluição relacionados e a existência de um emissário de esgotos em funcionamento, cujo projeto teve por base a circulação atual das águas superficiais da baía de Santos.

Na região de  $PI_3$  (lado oeste da baía), o transporte sólido, sobretudo o observado no regime de inverno, pode ser fator de contribuição ao assoreamento do canal de acesso, se bem que menos imediato do que o transporte das regiões a leste e logo a oeste do mesmo.

#### 6.2 Aplicação de Critério de Início de Movimento de Sedimentos Arenosos de Fundo Sob a Ação das Ondas Registradas na Baía de Santos.

É feita a seguir a aplicação de critério de início de movimento de sedimentos arenosos sob a ação de ondas (estabelecido principalmente através de ensaios em canais de laboratório), para verificar se a areia dos locais estudados  $PI_1$ ,  $PI_2$  e  $PI_3$ , ou o sedimento marcado que a representa, pode iniciar o movimento sob a ação da corrente de oscilação produzida pela onda no fundo.

Os sedimentos de fundo, tendo iniciado um movimento oscilatório sob a ação das ondas ao largo da arrebentação, podem, segundo a intensidade das ações hidrodinâmicas, oscilar em torno de uma posição de equilíbrio, podem

m

do formar pequenas rugas estáveis; podem também deslocar-se para a costa sob a ação de uma corrente de translação na camada limite. Se a camada limite for turbulenta, é possível que os sedimentos mais finos sejam elevados a uma distância apreciável do fundo e então, sob o efeito das correntes de compensação que se dirigem para o largo, se desloquem para locais mais profundos, terminando por se depositar.

O movimento de um dado sedimento, produzido pelo movimento oscilatório devido à onda e pela corrente de translação, será tanto maior quanto menor a profundidade e maiores a altura e o período da onda.

Se, superpostas à ação das ondas, existirem correntes locais, os sedimentos, uma vez colocados em movimento, se deslocarão na direção da resultante das ações hidrodinâmicas combinadas.

O critério de início de movimento utilizado a brance observações feitas por diferentes pesquisadores e foi apresentado sob a forma de um gráfico (Figura 6.1) por BONNEFILLE e PERNECKER. Os parâmetros adimensionais em abcissas e ordenadas no gráfico são, respectivamente:

$$R_* = \frac{u_* D}{\nu} \quad (\text{número de Reynolds relativo ao sedimento});$$

$$D_* = \left( \frac{\rho' g}{\nu^2} \right)^{1/3} D \quad (\text{diâmetro sedimentológico});$$

$$\text{onde: } \rho' = \frac{\rho_s - \rho_o}{\rho_o} \quad (\text{densidade relativa do sedimento submerso}) = 1,6$$

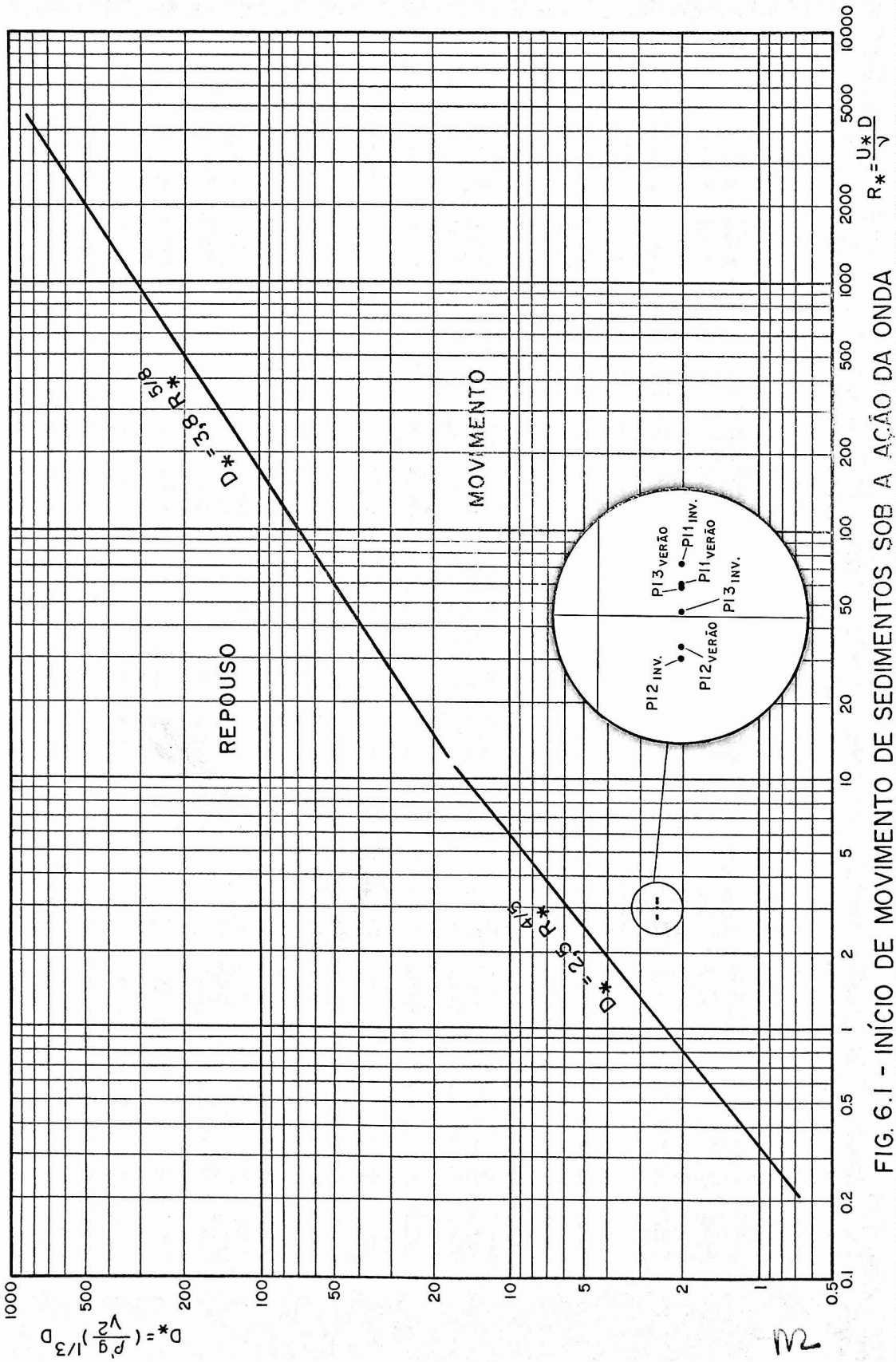


FIG. 6.1 - INÍCIO DE MOVIMENTO DE SEDIMENTOS SOB A AÇÃO DA ONDA

12

$\nu$  (coeficiente de viscosidade cinemática de água) =  $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $20^\circ\text{C}$ ;

$u_*$  (velocidade de cisalhamento produzida pelas ondas junto ao fundo) =  $\left( \frac{8\nu U_{\text{max}}^2}{T} \right)^{1/4}$

$U_{\text{max}}$  (velocidade oscilatória ou orbital no fundo) =  $\frac{\pi H}{T \sinh \frac{2\pi d}{L}}$

onde: H = Altura da onda em metros no local em estudo;  
 T = Período da onda em segundos;  
 d = Profundidade do local em metros;  
 L = Comprimento da onda no local em estudo, em metros.

A maior onda individual registrada na campanha de inverno, quando o ondógrafo só operou entre 08/08/80 e 20/08/80, ocorreu no registro de zero hora de 20/08/80. Nessa ocasião, a profundidade do mar em relação ao nível médio do registro era de 13,5m. O período médio  $T_z$  do registro foi calculado em 9,1 segundos.

Isto não significa que esta tenha sido a maior onda individual ocorrida no período de inverno de 1980, uma vez que a campanha se estendeu por apenas 12 dias, devido aos contratempos já mencionados anteriormente.

A título de ilustração e considerando apenas o efeito de empinamento (shoaling), esta onda será transfe

rida para as profundidades dos locais de injeção no regime inverno e aí será aplicado o critério anteriormente mencionado. Não serão levados em consideração, para a transferência das características ondulatórias, os efeitos de refração e reflexão nas fronteiras E e W da baía.

Na região de  $PI_3$  Inverno', onde a profundidade em relação ao nível médio do mar é  $d = 10,8m$ , a onda teria a altura  $H = 4,3m$ . Em  $PI_2$  Inverno', onde a profundidade em relação ao nível médio do mar é  $d = 13,1m$ , a onda teria uma altura aproximada  $H = 4,2m$  e, na região do  $PI_1$  Inverno, onde  $d = 8,7m$ , ter-se-ia  $H = 4,4m$ .

Considerando que nas três regiões, o sedimento arenoso é bem triado e tem  $D_{50} = 0,1mm$ , adotaremos esse valor como o diâmetro do sedimento de fundo.

A aplicação do critério para as três regiões deu pares de valores  $R_*$  e  $D_*$  que, plotados na Figura 6.1, se situam em região onde há franco movimento de sedimento.

A maior onda registrada em regime de verão o foi em 18/03/81, com  $H = 3,4m$ ; o período médio do registro foi  $T = 6,9$  segundos e a profundidade do local, relativamente ao nível médio do registro, era  $d = 9,8m$ .

Cálculos de pares de valores  $D_*$  e  $R_*$ , adotando as mesmas simplificações e procedimentos anteriores, foram efetuados; esses valores estão plotados também na Figura 6.1. Para os cálculos, bem como nos estudos com traçadores, considerou-se o diâmetro médio dos sedimentos de fundo nos três locais de injeção do regime de verão como



igual a 0,1mm.

Os pontos situam-se também na região de movimento, praticamente no mesmo local que os relativos à região de inverno.

Este critério mostra que, com ondas ocorridas nos regimes de inverno e de verão, há a possibilidade de movimento de sedimento sob a ação de ondas.

Como extensão dessas considerações, poder-se-iam calcular ondas com alturas mínimas e períodos compatíveis de ocorrer na natureza, correspondentes ao início de movimento de sedimento nas várias regiões em estudo, nos dois regimes.

Entretanto, como se trata de um exercício acadêmico, isto não será efetuado no presente trabalho.

## 7. RESUMO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

### 7.1 Histórico

O objetivo do presente trabalho é avaliar o comportamento do sedimento de fundo da baía de Santos, dado importante para a complementação dos estudos ora em curso no Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH) da Empresa de Portos do Brasil S.A. - PORTOBRÁS. Estes estudos objetivam a minimização dos trabalhos necessários à manutenção das profundidades do canal de acesso ao porto e ã avaliação da contribuição dos sedimentos do piso marinho ao estuário de Santos.

O presente trabalho foi acertado pelo Contrato 80/038/00, datado de 08/05/80, estabelecido entre a PORTOBRÁS e as Empresas Nucleares Brasileiras S.A. - NUCLEBRÁS. O Contrato foi discutido em negociações havidas entre o Instituto de Pesquisas Hidroviárias - INPH e a Divisão de Engenharia Ambiental (anteriormente, Divisão de Radioisótopos) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, sediada em Belo Horizonte.

O trabalho referente ao Contrato foi iniciado em junho de 1980 e está sendo encerrado pela emissão deste relatório, tendo sido integralmente executado.

O presente capítulo visa apresentar um resumo dos trabalhos realizados e indicar as conclusões mais importantes que foram obtidas durante os estudos havidos na baía de Santos.

## 7.2 Características dos Sedimentos de Fundo na Baía de Santos.

Foram coletadas na baía de Santos, entre 04/06 e 06/06/80, cerca de 50 amostras de material da superfície do fundo, através de amostrador de arraste. Os objetivos da coleta e da posterior análise granulométrica destes se dimentos foram:

a) Caracterizar a distribuição granulométrica do sedimento de fundo nas regiões em que se realizariam estu dos com traçadores radioativos;

b) Avaliar as possíveis alterações nas caracte rísticas granulométricas que teriam ocorrido entre um estu do de caracterização de sedimentos, realizado em 1973, pe lo Instituto de Pesquisas Tecnológicas e a época presente. É de se notar que, em 1975, houve uma alteração no local de despejo do sedimento dragado do estuário e da baía de Santos. O local foi transferido das proximidades da Ponta de Itaipu para em frente à Ilha da Moela.

O tratamento das amostras consistiu na separação das frações areia e silte-argila, na determinação das por centagens de cada uma das frações e na análise granulomé trica delas, seja por peneiramento, seja por decantação. Finalmente, foram determinados os vários parâmetros esta tísticos ligados a estas distribuições (assimetria, curto se, grau de seleção), os quais foram comparados com os obtidos pelo IPT.

M

Em relação à distribuição das frações granulométricas, o material do fundo foi classificado em:

- a) Amostras com porcentagens de areia entre 97% e 100%;
- b) Amostras com porcentagens de areia entre 50% e 97%;
- c) Amostras com porcentagens de areia inferiores a 50%.

O material arenoso do fundo é constituído por areia fina bastante uniforme ( $\overline{D}_{50} = 0,096$  mm) e bem triado ( $\sigma = 1,25$ ). Entre este estudo e do IPT, observou-se o desaparecimento, nas proximidades da ponta de Itaipu, na parte oeste da baía, de uma extensa cunha de material silto-argiloso, que deu lugar a fundo em areia. Trata-se, provavelmente, do resultado da alteração do local de despejo de material dragado para as proximidades da ilha da Moela.

Em relação à assimetria, que compara as posições relativas da média e da mediana de uma distribuição, ela é negativa em uma faixa que acompanha o contorno da costa, no lado oeste da baía, desde a ponta de Itaipu até a ilha de Urubuqueçaba. Do lado leste, uma cunha de material com assimetria negativa avança, em faixa estreita, pelo interior da baía, como que dando continuidade ao canal de acesso ao porto. Estas duas regiões podem ser caracterizadas como apresentando condições energéticas superiores ao restante da baía, seja por ação das ondas do quadrante sul, seja pela dominância da influência do estuário. Em relação aos

dados colhidos pelo IPT, as modificações apresentadas não são de importância.

Outro parâmetro analisado, a curtose, mede a relação entre os espalhamentos na parte central e nas caudas das distribuições de frequência. Distribuições normais tem valores unitários de curtose e a distribuição é dita mesocúrtica. Valores superiores à unidade indicam que as flutuações energéticas permitiram que a deposição de material se desse preferencialmente numa faixa estreita de diâmetros: as distribuições são ditas leptocúrticas. Quando a curtose é menor que 1, as distribuições são chamadas platycúrticas.

Partindo da entrada do estuário e contornando a baía pelo centro-leste, existe uma faixa de sedimentos com características platicúrticas. Faixa adjacente à mencionada, pelo lado oeste, e que se inicia no canal do porto e termina no centro da baía, tem características muito leptocúrticas. O restante da baía apresenta sedimentos mesocúrticos ou leptocúrticos.

Não houve alteração sensível nos resultados relativos à curtose, entre esta amostragem e a do IPT.

Outro parâmetro estudado, o grau de seleção, corresponde à dispersão em torno do valor médio do diâmetro dos grãos e é calculado pelo desvio padrão relativo à média.

A maior ocorrência de sedimentos bem selecionados está em faixa que acompanha o contorno da baía, a oeste

12

te e ao norte, e junto ao morro da Barra, no lado leste. A centro-leste, uma faixa de sedimentos pobremente selecionados penetra pela baía e se bifurca em direção aos estuários de Santos e de São Vicente.

O relatório do IPT observa a ocorrência de material bem selecionado a oeste da baía e sugere a divisão da mesma em dois setores, um a leste, outro a oeste, com diferentes padrões de circulação. Esta observação está de acordo com os resultados por nós obtidos.

Em resumo, as informações obtidas caracterizam a granulometria dos sedimentos de fundo na baía de Santos como variando predominantemente entre silte e areia fina. A baía mostra-se dividida em 2 ambientes de deposição diferentes. Uma faixa de areia bem selecionada contorna a região costeira da baía ao norte e a oeste e aparece, na parte leste, junto ao morro da Barra. Na região centro-leste e na entrada do canal do Porto surge uma faixa contendo silte e argila, mal selecionada.

Em comparação com os resultados obtidos pelo IPT, esta campanha mostrou que o comportamento geral da baía foi mantido. As variações mais importantes ocorreram em regiões relativamente pequenas, localizadas nas proximidades da ponta de Itaípu e do morro da Barra. Bem caracterizado ficou o desaparecimento de uma região contendo finos, próxima à ponta de Itaípu. Este fenômeno, provavelmente, está ligado à alteração no local de despejo de material dragado, ocorrida em 1975.

### 7.3 Características Reológicas dos Sedimentos de Fundo na Baía de Santos.

Para a análise das características reológicas de sedimentos finos, foram coletadas 3 amostras, cada uma com cerca de 20 kg de material, em pontos situados no lado leste da baía de Santos, entre a ilha das Palmas e o canal de acesso ao Porto.

A caracterização granulométrica do sedimento foi feita por peneiramento mecânico, para a fração superior a 40 micra e por decantação, para a fração inferior a este diâmetro. Todas as amostras apresentaram-se como misturas de areia, silte e argila. Desta análise, concluiu-se que, nas 3 amostras, o teor de sedimentos finos é suficientemente alto para que elas apresentem propriedades coesivas. O material arenoso das 3 amostras apresenta distribuição granulométrica semelhante, com diâmetro mediano da ordem de 0,09mm. O mesmo ocorre para a fração fina, sendo o diâmetro mediano da ordem de 0,012mm. Os estudos de decantação do material fino demonstraram que a vasa (mistura de argila e silte) do fundo da baía de Santos é particularmente pouco sensível ao fenômeno da floculação.

O estudo da reologia das vasas foi executado com base na metodologia desenvolvida pelo Laboratoire Central d'Hydraulique de France. Estes estudos determinaram que a rigidez inicial  $\tau_y$  de uma vasa, tratada como um fluido plástico, está ligada à concentração  $T_s$  do sedimento por uma relação do tipo:

M

$$\tau_y = k T_s^n,$$

sendo:  $k$  e  $n$  constantes. A rigidez inicial (yield value , rigidité initiale) é determinada pelo torque necessário para iniciar a movimentação do corpo girante de um viscosímetro. No caso, foi empregado um viscosímetro do tipo Brookfield. Os estudos iniciais foram feitos sobre as amostras originais coletadas na baía, as quais foram comparadas com amostras de vasa pura, obtidas das primeiras por peneiramento. Os valores de  $k$  obtidos variaram entre  $2,05 \times 10^{-10}$  e  $2,35 \times 10^{-11}$ , sendo tanto maiores quanto menores os teores em areia. Os valores de  $n$  foram praticamente constantes e da ordem de 4,59. Foi possível também determinar uma expressão geral que permite o cálculo da rigidez inicial para amostras com teores de areia  $T^1$  diferentes. Esta expressão é:

$$\tau_y = e^{(1,83 - 0,024 T^1)} T_s^{4.59} 10^{-10}$$

Ela permite o cálculo de  $\tau_y$  para amostras diferentes das analisadas, com diferentes teores em areia, o que facilita a generalização dos resultados encontrados.

Os estudos do LCHF determinaram também que a velocidade crítica de cisalhamento de uma vasa, sob a ação de correntes, está ligada à rigidez inicial da vasa por uma expressão do tipo:

$$u_* \text{ crítico} = 0,023 \tau_y^{0,25},$$

sendo  $\tau_y$  dado em  $N/m^2$  e  $u_*$  em  $m/s$ .

Sendo  $U$  a velocidade de uma corrente, observada a uma distância do fundo  $y$ , o valor de  $u_*$  pode ser calculado por:

$$\frac{U}{u_*} = 5,75 \log 800 y u_*$$

12



Como as velocidades máximas de corrente, a 1m do fundo, observadas na baía de Santos, são da ordem de 40 cm/s, elas darão origem a velocidades críticas de cisalhamento da ordem de  $u_* = 1,4$  cm/s, no fundo. Isto nos permite concluir que, para as vasas estudadas, a ação das correntes apenas conseguirá recolocar em suspensão vasas com concentrações entre 80 g/l e 150 g/l. Estas concentrações correspondem a material de deposição recente, ainda não consolidado. Em relação à ação de ondas, a expressão sugerida pelo LCHF é:

$$u_* \text{ crit.} = 0,009 \tau_y^{1/3}$$

Foram calculados os valores de  $u_*$  crit. para as 3 vasas. Os maiores valores estiveram entre 18 cm/s, para 200 g/l e 71 cm/s, para 500 g/l. O valor de  $u_*$  crit. para a ação de ondas sobre o fundo foi calculado por fórmulas clássicas de hidráulica marítima. Os resultados obtidos indicam que o material de fundo com concentração até 200 g/l poderá ser colocado em suspensão pela ação das ondas observadas na baía de Santos. Isso, entretanto, dificilmente ocorrerá para material com concentração de 500 g/l, mesmo para as maiores ondas observadas na baía. Os resultados obtidos indicam que o processo de assoreamento da baía de Santos por sedimentos finos é feito a partir de material recentemente depositado, ainda em concentrações relativamente baixas. O efeito combinado de ondas e correntes poderá recolocá-lo em suspensão e transportá-lo para o interior do estuário. É pouco razoável, entretanto, que o mesmo fenômeno ocorra com o material silto-argiloso já plenamente consolidado.

#### 7.4 A Movimentação de Sedimentos de Fundo na Baía de Santos.

O estudo da movimentação dos sedimentos de fundo na baía de Santos foi dividido em dois períodos, correspondentes aos regimes de inverno e de verão. Três locais foram estudados: a região a oeste da entrada do estuário e do alinhamento C do canal de acesso ( $PI_1$ ); a região leste da baía, entre o canal de acesso e o morro da Barra ( $PI_2$ ); a região oeste da baía, próxima ao costão rochoso da ponta de Itaipú ( $PI_3$ ). Nos três locais, foi injetado vidro moído, na granulometria da fração arenosa do fundo, contendo o radioisótopo irídio 192. Os três lançamentos de inverno e os três lançamentos de verão são independentes, apesar de cada par ter sido realizado na mesma região.

A campanha de inverno iniciou-se em 01/08/80 e prolongou-se até 27/09/80. Entretanto, durante a campanha de verão, foram realizadas novas detecções sobre o material injetado no inverno.

A campanha de verão foi iniciada em 07/02/81 e se prolongou até 20/06/81, com três campanhas de detecção.

Os resultados detalhados destes estudos são apresentados nos capítulos 4 e 6 deste relatório.

Durante as campanhas, foram realizadas também medições de parâmetros hidrodinâmicos na região de interesse, envolvendo o registro de correntes, ondas, ventos e marés. A análise detalhada dos dados obtidos é apresentada no capítulo 5.

Em relação aos resultados obtidos a partir dos

lançamentos de traçador radioativo, a primeira conclusão importante é que, tanto no inverno, como no verão, a movimentação de sedimentos se faz do largo para o interior da baía.

O transporte de fundo em regime de inverno é bem mais intenso do que no verão. O transporte sólido de fundo médio, em inverno, é da ordem de 200 kg/m/dia; no verão, este valor passa a ser 40 kg/m/dia. Este fenômeno é devido, claramente, à ação das ondas junto ao fundo, mais intensa no inverno do que no verão. A direção de incidência destas ondas concorda também com as direções de movimentação observadas experimentalmente.

Examinemos o comportamento do sedimento na parte oeste da baía, caracterizado pelo material injetado nos pontos PI<sub>3</sub> Inverno e PI<sub>3</sub> Verão. No regime de inverno, a movimentação principal deu-se na direção NNE, com um espalhamento considerável para E. A causa principal desta movimentação pode ser creditada às ondas de energia relativamente alta que ocorreram no inverno, provenientes de SSW; também devem influir as ondas provenientes de S e SSE, parcialmente refletidas no costão rochoso de Itaipú.

Durante o verão, nesta região, a direção principal de transporte foi N-NNW, com uma nuvem bastante estreita. Esta direção resulta das ondas terem incidido, durante o verão, principalmente de SSE. Além disso, tendo elas menor energia do que as observadas no inverno, o transporte observado foi menor.

Na região do  $PI_2$ , no lado leste da baía, a forma das nuvens foi praticamente a mesma, em verão e em inverno. Assim também com a direção de movimentação, cujo azimute era de  $335^\circ$  NV, ou seja NNW. A taxa de movimentação foi, entretanto, 9 vezes maior no inverno do que no verão. Parte desta movimentação pode ser atribuída à reflexão das ondas SSW no costão rochoso do morro da Barra, cuja declividade é mais acentuada no trecho entre a Ponta Grossa e a Ilha das Palmas. Outra causa desta movimentação pode ser creditada à ação das correntes junto ao fundo, as quais, na região do  $PI_2$ , estão sempre dirigidas para o interior da baía, seja em enchente, seja em vazante. Nesta região foram observadas, tanto em verão, como em inverno, as maiores taxas de transporte de material.

Na região do  $PI_1$ , mais influenciada pelos escoamentos do estuário e em região menos profunda, a ação de ondas continua a ser a causa mais importante da movimentação de sedimentos de fundo.

Nesta região da baía, devido a fenômenos de refração, as ondas tem direções praticamente constantes o ano todo, de S e SSE. Os azimutes das direções preferenciais de transporte (entre  $340^\circ$  e  $350^\circ$  NV), no inverno e no verão, são concordantes com essas direções de incidência de ondas. A intensidade de transporte é também bem maior em regime de inverno.

Uma informação de extrema importância foi obtida nesta região, ao ser detetado o lançamento de inverno durante a campanha de verão. O material lançado no fundo,

NL

ao se aproximar da isóbata de 7m, começou a infletir para leste. Na deteção efetuada em 07/02/81, cerca de 6 meses após o lançamento original, o material acompanhava nítidamente o contorno da praia, em uma faixa situada entre as isóbatas de 4m e 6m, dirigindo-se para a entrada do estuário. Outro levantamento, em 08/04/81, confirmou este comportamento e mostrou também que o material estava se deslocando, como um todo, em direção à praia.

Analisando-se agora o conjunto dos deslocamentos do sedimento nas três regiões estudadas, infere-se haver contribuição, direta ou indireta, de todas elas ao assoreamento do canal de acesso e ao interior do estuário.

Na região de  $PI_1$ , o material se desloca inicialmente em direção à praia e depois inflete para leste, caminhando paralelamente à praia até alcançar a entrada do estuário e o canal de acesso, no alinhamento C do mesmo. Este comportamento é de importância na concepção de obras fixas destinadas a diminuir o assoreamento no alinhamento B do canal de acesso. A construção de um guia corrente, enraizado nas proximidades da extremidade leste da praia de Santos, irá barrar o caminhamento natural dos sedimentos e provocará um engordamento da praia, a barlar do mesmo, até que se atinja nova configuração de equilíbrio. O guia corrente irá também dificultar ou impedir a entrada de sedimentos arenosos de fundo no estuário, alterando o atual padrão de sedimentação no interior do mesmo. O movimento deste sedimento de fundo no interior do estuário é um dado de interesse para a PORTOBRÁS e poderá ser estudado com uma técnica semelhante à adotada para o estudo da baía.

M

Na região do  $PI_2$ , o intenso transporte de fundo faz-se sempre na direção NNW, alcançando diretamente o canal de acesso, em toda a extensão dos alinhamentos A e B. A construção de um guia corrente, enraizado na ponta dos Limões, poderá barrar parcialmente esta incidência direta de material, principalmente na região do alinhamento B. Além disso, em conjunto com o guia corrente anteriormente citado, poderá aumentar a ação de varredura hidráulica dos escoamentos de vazante e diminuir o assoreamento do trecho curvo do canal de acesso (alinhamento B) e, talvez, em certa extensão do alinhamento A.

A concepção destas obras deve considerar, obviamente, outros efeitos, tais como sua influência sobre a circulação geral de águas na baía, o que poderá induzir problemas de poluição na região costeira.

Da região do  $PI_3$ , no lado oeste da baía, poderá também haver contribuição para o assoreamento do canal de acesso, se bem que de maneira mais indireta do que a causa da pelo transporte de fundo nas outras regiões já estudadas.

Acreditamos que o conjunto de informações obtido neste trabalho permitiu caracterizar bastante bem a circulação de sedimentos de fundo na baía de Santos.

O conhecimento adquirido será valioso na concepção e no projeto de obras que permitam minimizar o assoreamento atualmente observado no estuário e no canal de acesso ao porto de Santos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MINARDI, P.S., BANDEIRA, J.V., AUN, P.E.; MOREIRA, R.M. - "Estudos Sedimentológicos na Baía de Santos - Análise e Interpretação de Dados Granulométricos" - DERL.PD-054/80 - Outubro de 1980.
2. AUN, P.E.; BANDEIRA, J.V.; FERREIRA PINTO, A.M.- "Análise Reológica de Amostras de Material de Fundo da Baía de Santos, SP" - DERL.PD-051/80 - Outubro de 1980.
3. IPT - "Estudos Geológicos e Sedimentológicos no Estuário Santista e na Baía de Santos - Estado de São Paulo" - Relatório Nº 7443 - Março/1974.
4. BANDEIRA, J.V.; BOMTEMPO, V.L.; AUN, P.E. - "Estudo da Movimentação do Material de Fundo na Baía de Santos - 1980" - Divisão de Radiosótopos/DERL.PD-061/80 - Dezembro de 1980.
5. BOMTEMPO, V.L.; BANDEIRA, J.V.; AUN, P.E. - "Movimentação do Sedimento de Fundo na Baía de Santos - Estudos com o Traçador Injetado no Verão"- Divisão de Engenharia Ambiental/DERL-PD-035/81 - Outubro de 1981.
6. INPH-PORTOBRÁS - "Campanha de Medições Hidráulicas na Baía de Santos"- 1972/1973 - INPH-1974.
7. SONDOTÉCNICA - "Comportamento Hidráulico e Sedimentológico do Estuário Santista" - 1977.

102

8. BANDEIRA, J.V. - "Estudo Estatístico das Ondas ao Largo da Baía de Paranaguá" - Tese de Mestrado - IPH - UFRGS - Porto Alegre, Junho de 1974.
9. SILVA, P.C.M. - "Oceanografia Física" - CNPQ - Rio de Janeiro - 1972.
10. 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. I, pp.1-11.

102