

ESTUDO DA EVOLUÇÃO DOS FUNDOS NA ENTRADA DA
BARRA DE RECIFE, COM A CONSTRUÇÃO DO QUEBRA
MAR SOBRE O BANCO INGLÊS.

Setembro/1976

ESTUDO DA EVOLUÇÃO DOS FUNDOS NA ENTRADA DA BARRA DE RECI
FE, COM A CONSTRUÇÃO DO QUEBRAMAR SOBRE O BANCO INGLÊS.

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Jefferson Vianna Bandeira

CÁLCULOS PLANIMÉTRICOS

Supervisão: Jefferson Vianna Bandeira

Executantes: José Joaquim Lima de Campos
Luiz Raphael Aun

LABORATÓRIO DE RADIOISÓTOPOS

IPR - NUCLEBRÁS

Caixa Postal 1941 - Belo Horizonte

ÍNDICE

	PÁGINA
RESUMO	
I. INTRODUÇÃO	1.
II. COMPARAÇÃO DE LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS	4.
II.1. Levantamentos Utilizados	4.
II.2. Metodologia	4.
II.3. Resultados	6.
II.3.1. Levantamentos de março/73, setembro/73, abril/75 e dezembro/75.	6.
II.3.2. Levantamentos de março/73, abril/75 e dezembro/75.	11.
II.3.3. Comparação de Resultados.	15.
II.3.4. Detalhamento da Modificação do Relevo de Fundo entre Seções, Considerando Áreas Quadrangulares com 100 metros de Lado.	17.
III. ALGUNS ASPECTOS HIDRÁULICOS E SEDIMENTOLÓGICOS DA REGIÃO DE ACESSO AO PORTO DO RECIFE	22.
III.1. Influência da Presença do Quebramar na Deposição de Sedimentos	22.
III.2. Estudos para Despejo de Material Dragado junto ao Molhe Sul	23.
IV. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	27.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
2.1.	- Recife: Áreas da Entrada do Porto Consideradas nos Cálculos Batimétricos.	5.
2.2.	- Valores Médios de Assoreamento ou Erosão entre Seções. (Relativo à área achurada da Fig.2.1)	10.
2.3.	- Valores Médios de Assoreamento ou Erosão entre Seções. (Relativo à área em linha cheia da Fig. 2.1).	14.
2.4.	- Valores Médios de Assoreamento entre Seções. (Relativo à área em linha cheia da Fig. 2.1).	16.
2.5.	- Evolução do Fundo na Entrada do Porto do Recife entre Março/73 e Dezembro/75.	19.
3.1.	- Porto do Recife - Local de Estudo para Despejo de Material Dragado.	25.

RESUMO

Com a construção do quebramar sobre o Banco Inglês, em frente a entrada do porto do Recife, houve uma diminuição da agitação do plano d'água na região compreendida entre o quebramar e os molhes. Como consequência disso, uma parcela dos sedimentos que transitavam pela região, passou a se depositar.

O presente trabalho trata do estudo da evolução dos fundos na região, entre março/73 e dezembro/75, baseado em comparação de quatro levantamentos batimétricos e fetuados. Nesse período o assoreamento calculado foi da ordem de 300.000m^3 , sendo que a área de assoreamento preferencial foi aquela mais próxima ao quebramar, justamente a mais abrigada em relação às ondas incidentes. Em alguns locais a elevação média do fundo foi superior a 1.0m. No entanto, na região do canal de acesso sul ao porto do Recife, houve locais onde o assoreamento médio foi superior a 0.5m.

A tendência de assoreamento constante nos últimos três anos é uma comprovação de que, após a construção do quebramar, os fundos da região não atingiram ainda uma nova configuração de equilíbrio. É sugerida então a execução de batimetrias periódicas, pelo menos de 6 em 6 meses, para o acompanhamento da evolução dos fundos.

ESTUDO DA EVOLUÇÃO DOS FUNDOS NA ENTRADA DA BARRA DE RECIFE, COM A CONSTRUÇÃO DO QUEBRAMAR SOBRE O BANCO INGLÊS.

I. INTRODUÇÃO

A construção do quebramar sobre o Banco Inglês, teve como finalidade principal a diminuição da agitação causada pelas vagas e ondulações na região da entrada do porto do Recife. Ela foi concluída em 1974. O antigo Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis (DNPVN) atualmente Portobrás, através da Inspeção Fiscal do Porto do Recife, executou tres levantamentos batimétricos recentes: março e setembro de 1973 e abril de 1975. Em Dezembro de 1975, foi executada uma nova batimetria da região, sendo esta, até o momento, a mais recente.

Todos estes levantamentos foram posteriores ao afloramento total do quebramar o qual ocorreu, segundo informações de engenheiros da Inspeção Fiscal do Porto do Recife, em fins de 1972.

A construção de obras junto a costa, tais como: quebramares, molhes, etc., pode produzir alterações na configuração dos fundos, sendo estes constituídos de material que se movimenta sob a ação de solicitações hidrodinâmicas. As obras modificam o panorama das ações hidrodinâmicas.

nâmicas locais pela zona de sombra criada à sotamar delas, relativamente as ondas incidentes, bem como alteram a circulação local das correntes. O resultado disto é um novo esquema de circulação do material de fundo e em suspensão, provocando erosões e/ou assoreamentos, rearranjando a configuração do fundo, de forma a se atingir um novo estado de equilíbrio.

No caso da entrada da barra do porto do Recife, o quebramar construído oferece uma proteção eficiente contra a agitação, sobretudo para as ondas do quadrante S-E, as quais, em regime de inverno (maio a outubro) chegam a atingir 3.5 a 4.0m de altura(*)

Na referência citada são apresentadas conclusões sobre as ondas registradas em frente ao Cabo Santo Agostinho, no inverno de 1974 e no verão de 1975 e, devido à proximidade desse local com a região do porto de Recife (cerca de 35km), pode-se considerar como semelhantes as características ondulatórias ao largo, nessas duas regiões.

As ondas de NE e E ocorrem com porcentagem diminuta nos meses de verão (novembro a abril) e são relativamente mais baixas que as ondas de SE.

As ondas de SE que anteriormente chegavam à região compreendida entre o Banco Inglês e a abertura entre os molhes, chocam-se com o quebramar e dissipam assim, praticamente, toda a sua energia. Apenas uma pequena parte da energia das ondas do quadrante S-E atinge a região, a

(*) Bandeira, J.V. - Análise das Medições Hidráulicas Efetuadas ao Largo do Cordão de Recifes em Suape-Pe, no Regime de Verão, em Janeiro e Fevereiro de 1975. IPR - Núcleos - Belo Horizonte - Nov. 75.

través da ação combinada, em maior ou menor grau, da di
fração das ondas nas extremidades do quebramar, da refra
ção, e da reflexão parcial das ondas que se chocam com o
molhe sul (*). Ao mesmo tempo as correntes, sobretudo as
de vazante, devem sofrer uma certa influência devido à
presença do quebramar. Tais alterações das ações hidrodi
nâmicas locais modificaram, em maior ou menor grau, o des
locamento e a circulação do material sólido (suspensão e
fundo) e alteraram, ou estão ainda alterando, a configura
ção dos fundos. É esta evolução dos fundos que iremos ver
no capítulo seguinte.

(*) Ver planta de situação na Fig. 3.1, pág. 25.

II. COMPARAÇÃO DE LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS

II.1. Levantamentos Utilizados.

Os levantamentos batimétricos utilizados no estudo da evolução dos fundos na entrada do Porto de Recife, são os seguintes:

- a. P 4/73 - mar. 73 - Insp. Fiscal do Porto de Recife
- b. Des.73/12 - set. 73 - Insp. Fiscal do Porto de Recife
- c. Des.75/3 - abr. 75 - Insp. Fiscal do Porto de Recife
- d. - dez. 75 - D.N.P.V.N.


Os três primeiros levantamentos foram desenhados na escala 1:2000 e o último na escala 1:8000.


II.2. Metodologia.

Procurou-se comparar a maior área comum aos levantamentos e adotou-se o esquema de malha retangular com 100 metros de comprimento no menor lado (direção E-W).

Apresentam-se na figura 2.1 as áreas comparadas relativamente às batimetrias de março/73, abril/75 e dezembro/75 (contorno em linha cheia), e em relação às qua

RECIFE : ÁREAS DA ENTRADA DO PORTO
CONSIDERADAS NOS CÁLCULOS BATIMÉTRICOS

 REFERENTE ÀS BATIMETRIAS DE MARÇO/73, ABRIL/75 E DEZ./75
ÁREA : 930000 m²

 REFERENTE À BATIMETRIA DE SETEMBRO/73
ÁREA : 560000 m²



ESCALA - 1 : 10 000

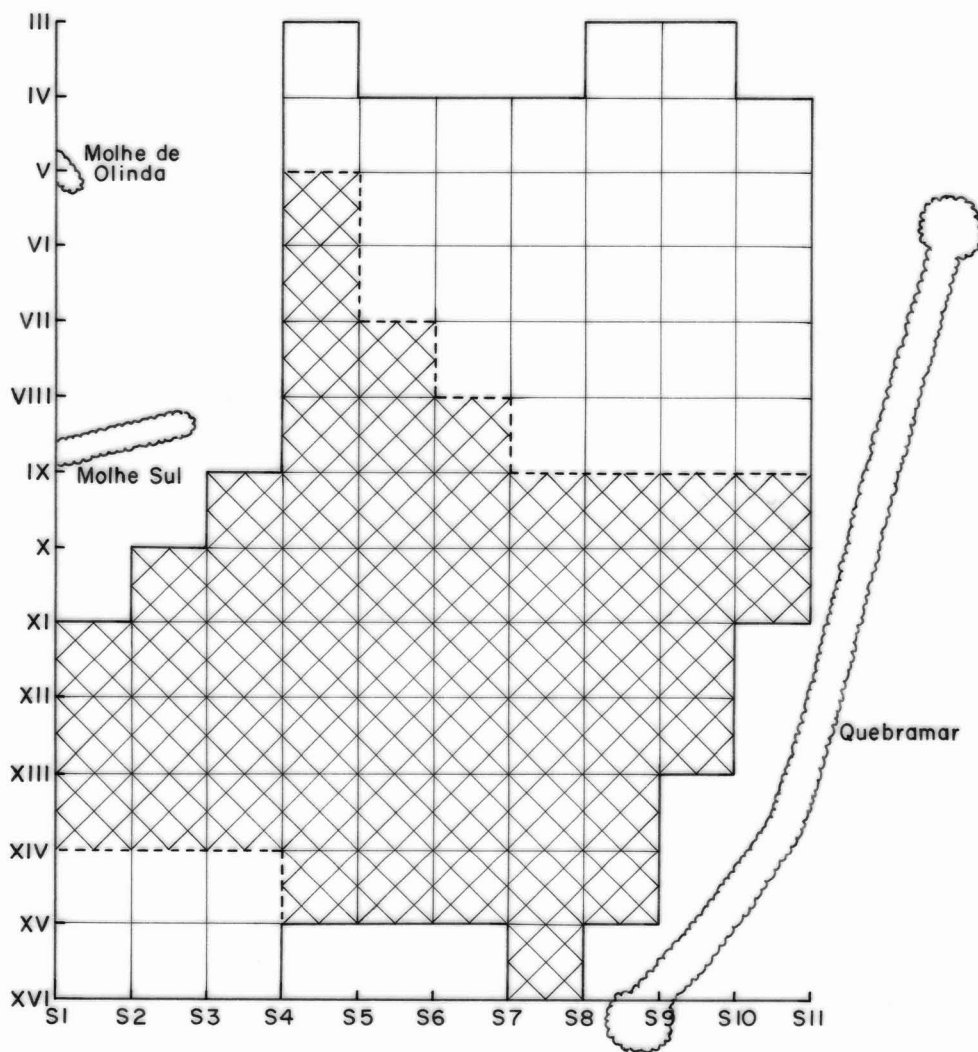


FIG. 2.1

tro batimetrias efetuadas (contorno em linha pontilhada e área achurada). No último caso, a área é menor pois o levantamento batimétrico de setembro/73, que também é comparado, teve sua área limitada.

Os cálculos volumétricos foram efetuados considerando-se áreas de planos verticais na direção N-S, limitadas superiormente por linhas horizontais a 4 metros de profundidade e, inferiormente, pelas linhas determinadas pela interseção dos planos verticais com o relevo do fundo. Os volumes foram então calculados em "fatias", multiplicando-se a média das áreas de duas seções verticais vizinhas, pela distância entre elas (100 metros).

Obtiveram-se desta maneira 10 fatias entre as seções S_1 a S_{11} , para cada levantamento batimétrico e cada área em planta comparada.

II.3. Resultados.

II.3.1. Levantamentos de março/73, setembro/73, abril/75 e dezembro/75.

Os resultados desse item referem-se à área em planta achurada (Fig. 2.1). Os cálculos de assoreamento ou erosão comparando os intervalos março/73 - setembro/73, setembro/73 - abril/75 e abril/75 - dezembro/75 são mostrados na tabela I.

TABELA I

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Trechos $S_i \rightarrow S_{i+1}$	Volume Mar/73 Set/73 (m^3)	Volume Set/73 Abr/75 (m^3)	Volume Abr/73 Dez/75 (m^3)	Comp. la do maior retângulo (m)	Mar/73 Set/73 (m^3/m) (2)÷(5)	Set/73 Abr/75 (m^3/m) (3)÷(5)	Abr/75 Dez/75 (m^3/m) (4)÷(5)
1 - 2	- 2800	+ 4880	+10320	300	- 9.3	+16.3	+ 34.4
2 - 3	- 8000	+ 8000	+11280	400	-20.0	+20.0	+ 28.2
3 - 4	- 6480	+ 4960	+11520	500	-13.0	+ 9.9	+ 23.0
4 - 5	- 3760	+ 4320	+23200	1000	- 3.8	+ 4.3	+ 23.2
5 - 6	+ 1360	+ 5280	+24080	800	+ 1.7	+ 6.6	+ 30.1
6 - 7	- 4400	+17680	+ 9760	700	- 6.3	+25.3	+ 14.0
7 - 8	+ 960	+12640	+ 80	700	+ 1.4	+18.1	+ 0.1
8 - 9	+ 1120	+11200	- 8000	600	+ 1.9	+18.7	- 13.3
9 -10	+ 5520	+17760	+36320	400	+13.8	+44.4	+ 90.8
10-11	-10000	+ 5280	+22480	200	-50.0	+26.4	+112.4
$\sum +$	8960	92000	149040	Assoreamento (+)			
$\sum -$	35440	—	8000	Erosão (-)			
TOTAL	-26480	92000	141040				

Fazendo-se o balanço entre assoreamento e erosão durante o período de março/73 a dezembro/75, relativamente à área achurada da figura 2.1, obtém-se um assoreamento resultante da ordem de 206.560m^3 . Isto corresponde a uma elevação média do fundo na área achurada, entre março/73 e dezembro/75 da ordem de $206.560\text{m}^3 \div 560.000\text{m}^2 = 0.37\text{m}$. É interessante ressaltar que entre março/73 e setembro/73 houve assoreamento e erosão em regiões distintas da área considerada, havendo uma erosão resultante de 26.480m^3 . No intervalo de setembro/73 a abril/75 houve somente assoreamento (cerca de 92000m^3).

Entre abril/75 e dezembro/75, primeiro intervalo entre dois levantamentos batimétricos em que o quebramar já estava totalmente construído, houve um assoreamento resultante de 141.040m^3 .

Considerando o período de setembro/73 a dezembro/75 houve um assoreamento resultante de 233.040m^3 , o que corresponde a uma elevação média do fundo na área achurada (Fig. 2.1), de : $233.040\text{m}^3 \div 560.000\text{m}^2 = 0.42\text{m}$.

No quadro a seguir é mostrado o assoreamento (+) ou erosão (-) média mensal na área achurada da figura 2.1, relativamente aos três intervalos de tempo, definidos pelos quatro levantamentos batimétricos.

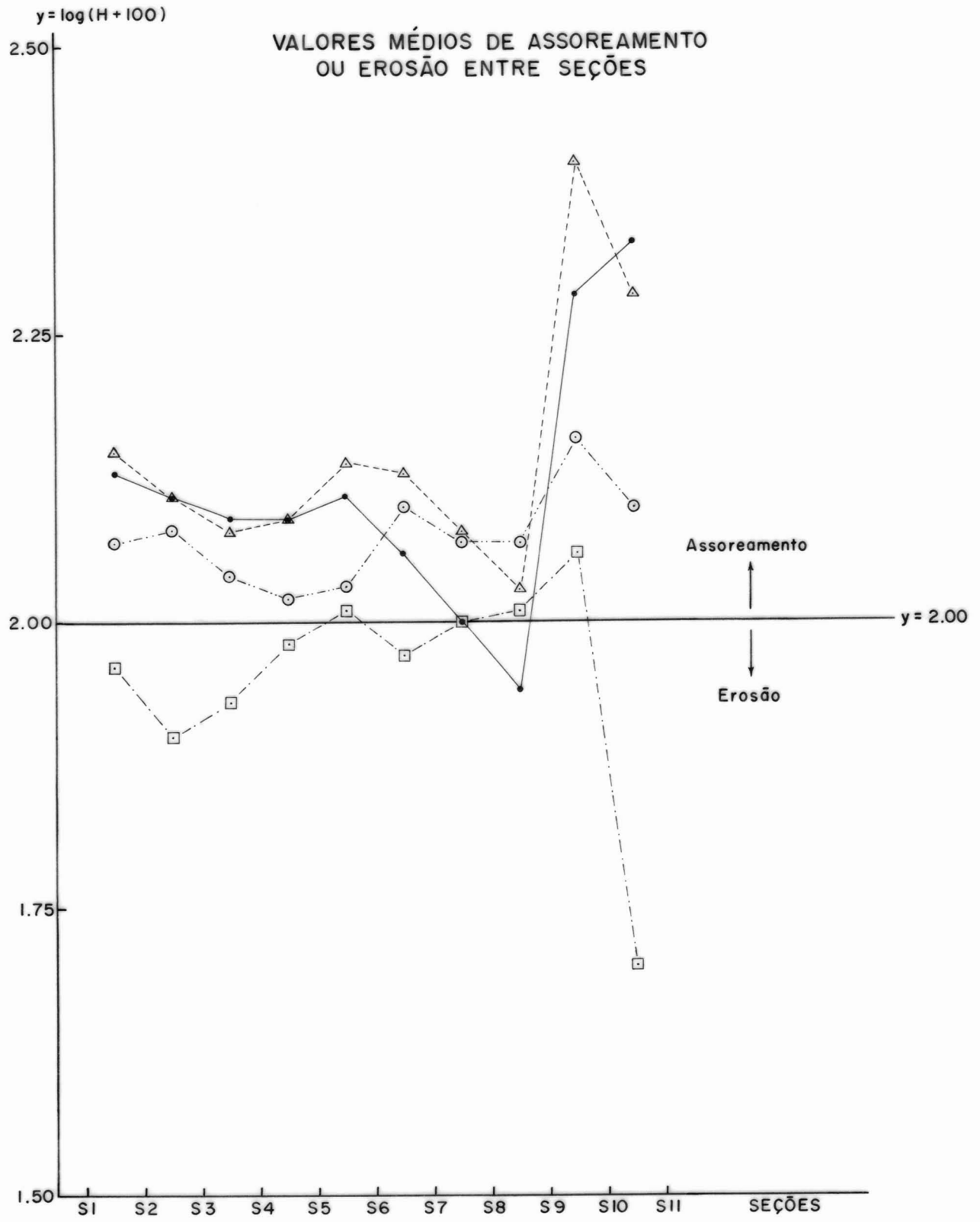
Na última coluna desse quadro é apresentada a elevação ou abaixamento médio mensal do fundo, calculado dividindo-se o volume de assoreamento ou erosão média mensal, pela área em planta a qual se referem os cálculos do

presente item (560.000m²).

Intervalo	Nº de meses	Assoreamento (+) ou erosão (-) (m ³ /mes)	Elevação ou Abaixamento Médio do Fundo (cm/mes)
Mar/73-Set/73	6	-4413	-0.8
Set/73-Abr/75	19	+4842	+0.9
Abr/75-Dez/75	8	+17630	+3.2

Observa-se que o assoreamento médio mensal entre abril/75 e dezembro/75 é cerca de 3.6 vezes maior que no intervalo entre setembro/73 e abril/75.

Entre setembro/73 e dezembro/75 houve uma tendência maior de assoreamento na área achurada compreendida entre as seções norte-sul S₁ a S₆ e entre S₉ a S₁₁ (junto ao quebramar construído). A área compreendida pelas seções S₉ a S₁₁ é um local de assoreamento preferencial. Isto pode ser examinado na tabela I (coluna 7 e 8) e na figura 2.2 que é a tradução gráfica desses valores. Eles representam, conforme o caso, a erosão ou assoreamento médio na "fatia", por metro linear na direção N-S. Os valores foram obtidos dividindo-se a variação de volume na fatia, pelo comprimento da mesma na direção N-S (coluna 5 - tabela I). Os valores representam também a variação de



- ENTRE MARÇO/73 E SETEMBRO/73
 - ENTRE SETEMBRO/73 E ABRIL/75
 - ENTRE ABRIL/75 E DEZEMBRO/75
 - △--- ENTRE MARÇO/73 E DEZEMBRO/75
- (RELATIVO À ÁREA HACHURADA DA FIG. 2.1)

(H = Assoreamento ou erosão em cm)

FIG. 2.2

volume em uma área em planta de 100m^2 (1m na direção N-S e 100m na direção E-W: largura da fatia), o que também significa a elevação ou abaixamento médio do fundo medida em centímetros. Na figura 2.2, em ordenadas está representado $y = \log (H+100)$, onde H = elevação ou abaixamento médio do fundo, em centímetros. Relativamente à linha que representa o assoreamento entre setembro/73 - abril/75 (linha traço - dois pontos), pode-se observar um assoreamento mais acentuado entre abril/75 - dezembro/75 (linha cheia) entre as seções S_9 e S_{11} (junto ao quebramar), e um assoreamento mais ou menos uniforme e mais acentuado entre S_1 e S_6 , do lado do molhe sul. O assoreamento resultante foi cerca de 1.5 vezes maior no período de abril/75 - dezembro/75 (8 meses) que no período de setembro/73 - abril/75 (17 meses).

II.3.2. Levantamentos de março/73, abril/75 e dezembro/75.

Os cálculos de assoreamento e erosão desse item referem-se à área em planta delimitada pelo contorno em linha cheia, maior que a considerada no item anterior e mostrada na figura 2.1, sendo os resultados apresentados na tabela II.

As mesmas explicações apresentadas anteriormente, no caso da tabela I, são válidas para a tabela II.

O assoreamento resultante calculado, entre março/73 e dezembro/75, considerando a área delimitada em li

TABELA II

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Trechos $S_i \rightarrow S_{i+1}$	Volume Mar/73 - Abr/75 (m ³)	Volume Abr/75 - Dez/75 (m ³)	Comp. lado maior re tângulo (m)	Mar/73 - Abr/75 (m ³ /m) (2) ÷ (4)	Abr/75 - Dez/75 (m ³ /m) (3) ÷ (4)
1 - 2	- 2320	+31040	500	- 4.6	+62.1
2 - 3	+ 1040	+23600	600	+ 1.7	+39.3
3 - 4	- 880	+37520	700	- 1.3	+53.6
4 - 5	+ 8560	+24720	1200	+ 7.1	+20.6
5 - 6	+10320	+23200	1100	+ 9.4	+21.1
6 - 7	+ 9520	+21200	1100	+ 8.7	+19.3
7 - 8	+20000	- 3360	1200	+16.7	- 2.8
8 - 9	+34160	-16640	1200	+28.5	-13.9
9 -10	+34240	+19600	1000	+34.2	+19.6
10-11	+ 2720	+26240	700	+ 3.9	+37.5
$\sum +$	+120560	+207120	Assoreamento (+) Erosão (-)		
$\sum -$	- 3200	- 20000			
TOTAL	+117360	+187120			

nha cheia (Fig. 2.1), foi de 304.480m^3 , o que corresponde a uma elevação média do fundo na área, de:

$$304.480\text{m}^3 \div 930.000\text{m}^2 = 0.33\text{m}.$$

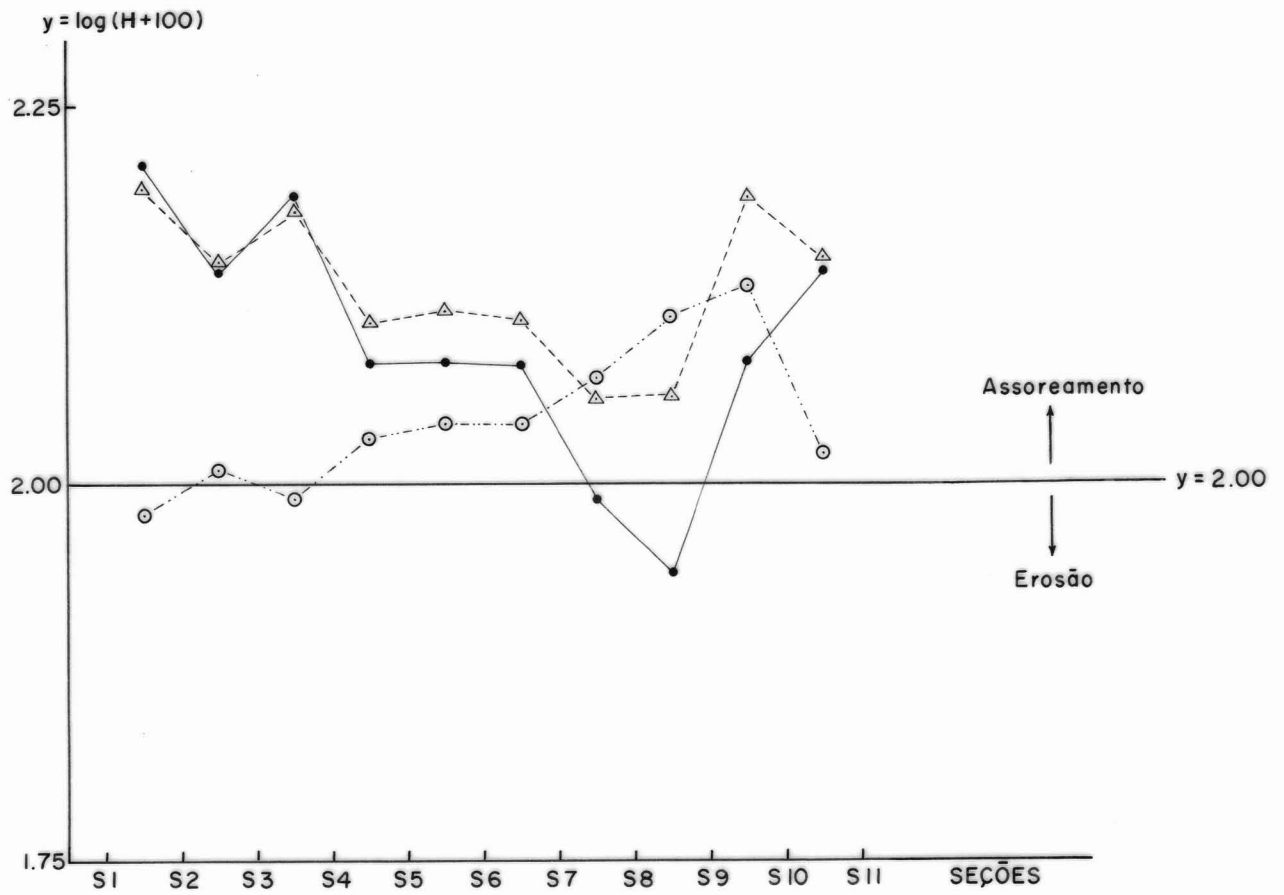
O quadro a seguir apresenta o assoreamento ou erosão média mensal entre março/73 e abril/75 e entre abril/75 e dezembro/75. Mostra também a correspondente elevação ou abaixamento médio mensal do fundo nesses intervalos.

Intervalo	Nº de meses	Assoreamento (+) ou erosão (-) (m^3/mes)	Elevação ou Abaixamento Médio do Fundo (cm/mes)
Mar/73-Abr/75	25	+ 4694	+ 0.5
Abr/75-Dez/75	8	+23390	+ 2.5

A figura 2.3 apresenta em abcissas as seções S_1 a S_{11} , as mesmas representadas nas figuras 2.1 e 2.2 e, em ordenadas, $y = \log (H+100)$ onde H é a elevação ou abaixamento médio calculado entre seções, em centímetros.

O assoreamento médio mensal entre abril/75 e dezembro/75 é cerca de 5 vezes maior que no intervalo entre março/73 e abril/75. Uma possível explicação para este

VALORES MÉDIOS DE ASSOREAMENTO
OU EROSÃO ENTRE SEÇÕES



---○--- ENTRE MARÇO/73 E ABRIL/75

—●— ENTRE ABRIL/75 E DEZEMBRO/75

---△--- ENTRE MARÇO/73 E DEZEMBRO/75

(RELATIVO À ÁREA EM LINHA CHEIA DA FIG.2.1)

(H = Assoreamento ou erosão em cm)

FIG. 2.3

fato pode ser a enchente excepcional, ocorrida em junho de 1975, que certamente deve ter transportado uma quantidade maior que o normal de sólidos em suspensão e arraste, uma parcela das quais se depositou entre o quebramar e os molhes. Entre março/73 e abril/75 houve uma tendência maior de assoreamento, na área delimitada pela linha cheia (Fig. 2.1), entre as seções S_8 e S_{10} , havendo menor assoreamento entre S_4 e S_8 , e S_{10} e S_{11} (Fig. 2.3). O fundo entre S_1 e S_4 ficou, em média, praticamente estável, com ligeira tendência à erosão. Já entre abril/75 e dezembro/75 houve um assoreamento relativamente mais acentuado entre S_{10} e S_{11} e entre S_1 e S_4 , havendo um assoreamento médio uniforme entre S_4 e S_7 e entre S_9 e S_{10} (cerca de 20cm). Entre as seções S_7 e S_9 houve erosão, sendo mais acentuada entre S_8 e S_9 , com cerca de 14cm em média.

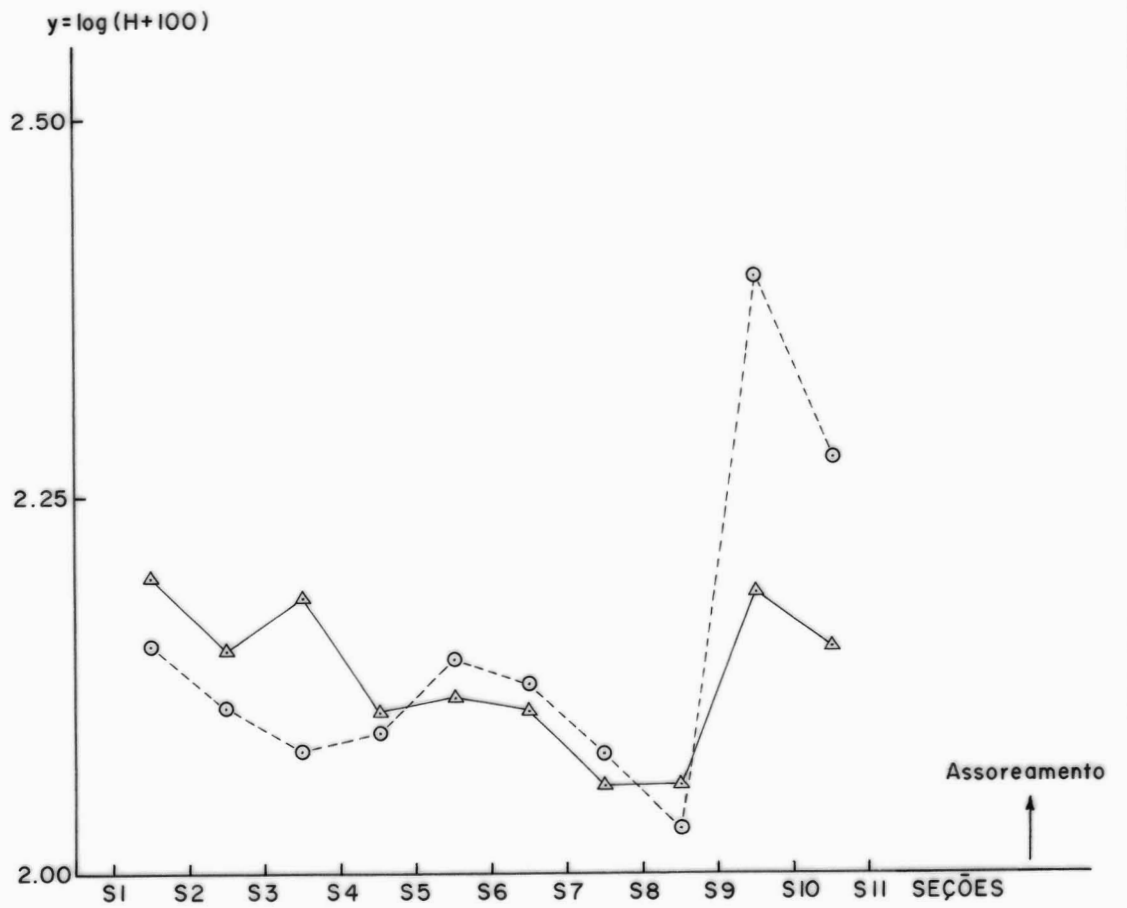
II.3.3. Comparação de Resultados.

Nos itens II.3.1 e II.3.2 foram feitos os estudos de modificação do relevo de fundo considerado, respectivamente, as áreas achurada e delimitada pela linha cheia (Fig. 2.1).

A figura 2.4 apresenta a modificação do relevo de fundo entre março/73 e dezembro/75 para as duas áreas anteriores.

Pela observação da figura pode-se constatar que:

VALORES MÉDIOS DE ASSOREAMENTO ENTRE SEÇÕES



---○--- ENTRE MARÇO/73 E DEZEMBRO/75
(RELATIVO À ÁREA HACHURADA DA FIG. 2.1)

—△— ENTRE MARÇO/73 E DEZEMBRO/75
(RELATIVO À ÁREA EM LINHA CHEIA DA FIG. 2.1)

(H = Assoreamento em cm)

FIG. 2.4

- a. A evolução do fundo se traduziu por um assoreamento generalizado entre S_1 e S_{11} pois nenhuma ordenada $y = \log(H+100)$ que traduz a elevação ou abaixamento médio do fundo entre as seções, teve valor igual ou inferior a 2.00.
- b. O menor assoreamento médio ficou localizado na região compreendida pelas seções S_7 e S_9 e é cerca de $H = 12.2\text{cm}$ ($\rightarrow y = 2.05$).
- c. A maior tendência de assoreamento está na área localizada entre as seções S_9 e S_{11} , observando-se que a área achurada da figura 2.1 entre estas seções, justamente aquela mais protegida pelo quebramar em relação às ondas E e SE, foi a que maior assoreamento sofreu, a saber: $H = 149.0\text{cm}$ ($\rightarrow y = 2.396$) entre S_9 e S_{10} e $H = 88.8\text{cm}$ ($\rightarrow y = 2.276$) entre S_{10} e S_{11} .
- d. Houve um assoreamento médio entre as seções S_4 e S_7 de cerca de: $H = 33\text{cm}$, correspondente a $y = 2.125$. Deve ser ressaltado que é na região compreendida entre estas seções, que trafegam os navios que vão ter ao porto do Recife pelo canal sul.

II.3.4. Detalhamento da Modificação do Relevo de Fundo entre Seções, Considerando Áreas Quadrangulares com 100 metros de Lado.

As observações realizadas no item anterior sendo relativas à erosão e assoreamento médio ao longo de fa

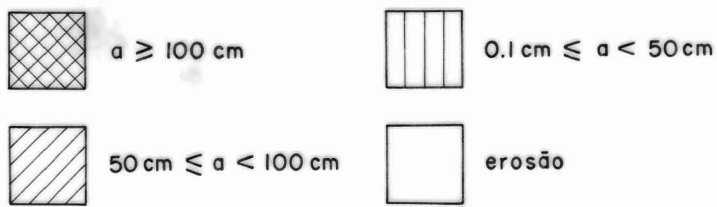
tias compreendidas entre seções, não permite uma avaliação detalhada de modificações acentuadas, porventura ocorridas em locais específicos ao longo das fatias. Resolveu-se então, para pesquisar a possibilidade de ocorrência de tal fato, calcular erosões e assoreamentos médios entre março/73 e dezembro/75, relativamente às áreas quadrangulares de 100 metros de lado. Foi pesquisada a região compreendida entre as seções S_4 e S_8 , local de passagem frequente de embarcações que aportam em Recife, bem como entre as seções S_8 e S_{11} , região mais abrigada pelo quebramar em relação às ondas E e SE.

A figura 2.5 apresenta a variação do relevo entre os levantamentos batimétricos de março/73 e dezembro/75. Deve ser notado o assoreamento acentuado ocorrido entre as seções S_9 e S_{11} , junto ao quebramar, na região mais abrigada relativamente às ondas, onde ocorreram elevações de fundo maiores que 1 metro, em três áreas quadrangulares de 100 metros de lado. Uma observação interessante é que, de um modo geral, a região de menor assoreamento ou de erosão está localizada ao norte da seção E-W número VIII, bem em frente à entrada do porto. A pouca deposição relativa de material nessa região, bem como a erosão constatada em alguns locais deve-se à ação de varredura hidráulica "chasse" dos escoamentos, sobretudo os de vazante, entre os molhes norte e sul. Na figura 2.5 são mostradas as envoltórias das trajetórias de flutuadores solidários à corrente junto ao fundo, lançados em marés vazantes de sizígia, em diversas situações hidrúlico-meteorológicas, junto à entrada do porto(*).

* A.A. Noronha S.A. - Sondotécnica S.A. - Elaboração e Desenvolvimento de Projetos de Engenharia para a Expansão e Melhoramentos do Porto de Recife, Pernambuco - Estudos de Corrente - 1976.

EVOLUÇÃO DO FUNDO NA ENTRADA DO PORTO DE RECIFE ENTRE MARÇO/73 E DEZEMBRO/75

(Obs.: Linhas com origens em F_1 , F_2 e F_3 = trajetórias de flutuadores de profundidade lançados em maré vazante de sizígia)



(Número no canto superior esquerdo dos quadrados = assoreamento(+) ou erosão(-) em cm)

ESCALA - 1:10 000

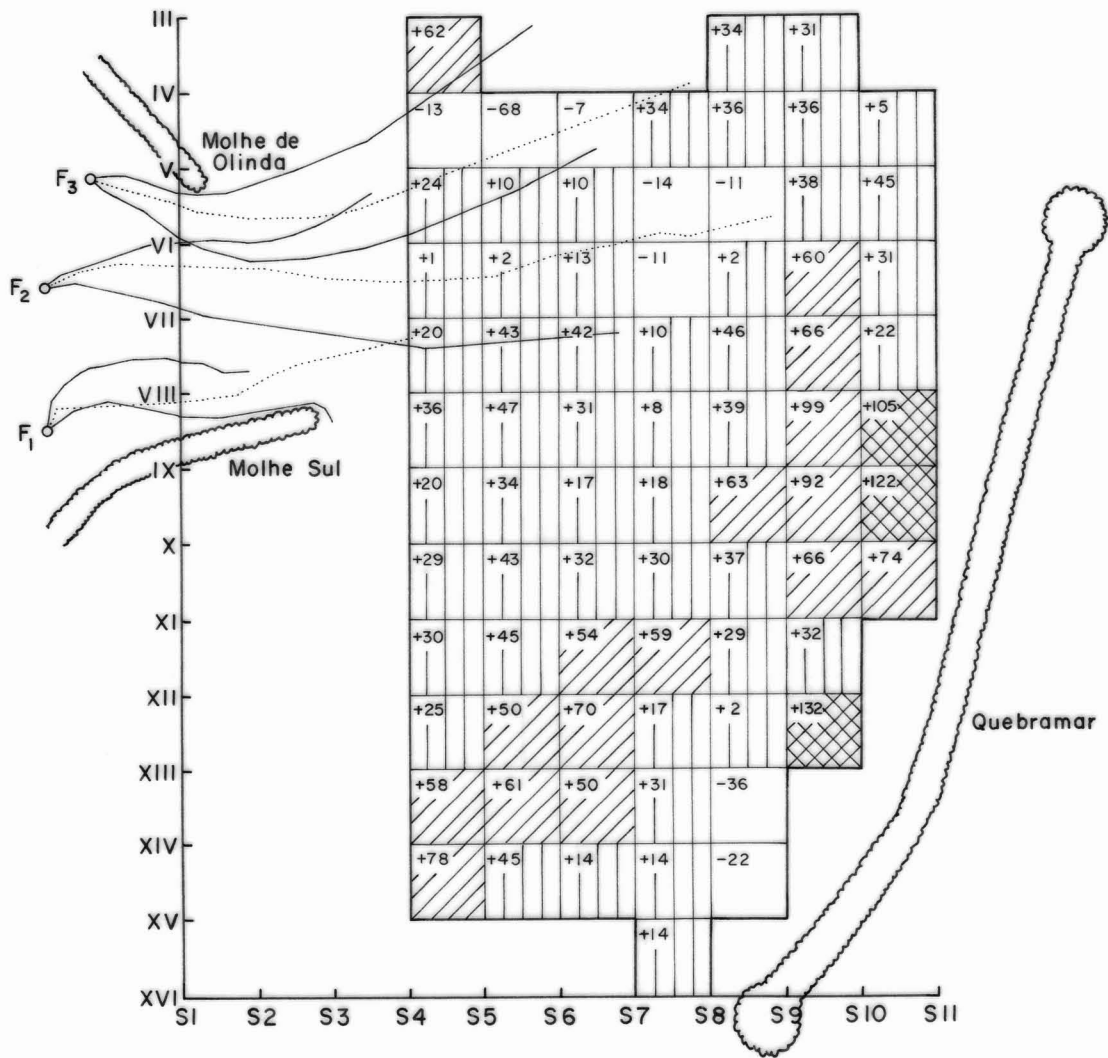


FIG. 2.5

A linha intermediária (pontilhada), com origem em cada ponto de lançamento, corresponde a uma trajetória mediana dos diversos lançamentos de flutuador no ponto correspondente.

Pode-se observar que a zona de menor assoreamento e onde ocorre erosão, se sobrepõe à região onde se dá a "chasse". Esta constatação é prova experimental de que a varredura hidráulica na embocadura do estuário tem sido eficaz na manutenção das profundidades naturais, mesmo após a construção do quebramar sobre o Banco Inglês. No entanto, no canal de acesso entre o quebramar e o molhe sul, fora da região de ação dominante da varredura hidráulica, houve regiões em que o assoreamento médio calculado foi superior a 0.5m, no intervalo de março/73 a dezembro/75. Este local situa-se entre as seções N-S S₄ e S₈, e ao sul da seção E-W de número XI. Medições de corrente realizadas nessa região (*) mostraram serem baixas as velocidades de corrente, tanto na fase de enchente quanto na de vazante, sendo $V_{\max} = 10\text{cm/s}$ (na cota -1m) a maior velocidade ao longo da vertical em estágio de vazante de maré de sizígia e $V_{\max} = 23\text{cm/s}$ (na cota -1m) a maior velocidade ao longo da vertical em fase de enchente. As baixas velocidades de corrente nesta região favorecem o depósito do material que por ela transita.

A região entre o quebramar e o molhe sul, próximo à extremidade sul do quebramar é um local onde houve erosão (entre as seções S₈ e S₉), com assoreamento menos acentuado em algumas áreas quadrangulares vizinhas (Fig.

* A.A. Noronha S.A. - Sondotécnica S.A. - Elaboração e Desenvolvimento de Projetos de Engenharia para a Expansão e Melhoramentos do Porto de Recife, Pernambuco - Estudos de Corrente - 1976.

2.5). Uma explicação possível para este fato é a existência de correntes de determinada intensidade e um certo grau de turbulência nessa micro região que dificultam a deposição de sedimentos no fundo e/ou provoquem alguma erosão. Além da influência do vento e da maré nas correntes entre o quebramar e os molhes, sobrepõe-se a isto, sobretudo junto às extremidades do quebramar, o efeito localizado da difração ondulatória (provocado pelas extremidades do quebramar), associado ao fenômeno da refração, este último pelo fato das ondas locais se propagarem em profundidades menores que meio comprimento de onda - profundidades não infinitas - ($d < 1/2 L_0$, onde $L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$ é o comprimento de onda à profundidade infinita, sendo T o período da onda). O resultado disto é que na zona de sombra geométrica produzida pelo quebramar relativamente à direção de propagação das ondas, há um certo grau de agitação do plano d'água, provocado por uma transmissão de energia no sentido da zona diretamente exposta à ação das ondas para a região abrigada. Cria-se, portanto, um gradiente de altura de onda nas vizinhanças das extremidades do quebramar, que dá origem a uma corrente no sentido das alturas de crescentes, ou seja: da zona exposta para a zona abrigada.

Esta componente de corrente que, na extremidade sul do quebramar tem o sentido geral de NW-NE e na extremidade norte tem o sentido de S-SW, soma-se com as influências do vento e da maré sobre a movimentação das águas, produzindo a corrente resultante.

III. ALGUNS ASPECTOS HIDRÁULICOS E SEDIMENTOLÓGICOS DA REGIÃO DE ACESSO AO PORTO DO RECIFE

III.3. Influência da Presença do Quebramar na Deposição de Sedimentos.

Anteriormente à construção do quebramar sobre o Banco Inglês, o estado de agitação do plano d'água na região compreendida entre este banco e os molhes era bem maior que atualmente. Para as mesmas condições de onda ao largo, as vagas e ondulações chegavam à região mencionada após sofrerem influências dos altos fundos do banco, (empinamento - "shoaling", refração e talvez arrebentação parcial), mas ainda continham uma parcela apreciável da sua energia inicial do largo. Hoje em dia as ondas se chocam com o quebramar, dissipando quase que totalmente, a sua energia. O quebramar é uma barreira mais eficiente sobretudo para as ondas do quadrante S-E, de onde provêm as ondas mais altas que chegam à costa de Pernambuco. A pequena agitação ainda existente na região entre o quebramar e os molhes é devido à incidência direta das baixas ondas do quadrante NE, e da ação combinada, em maior ou menor grau, da difração das ondas, sobretudo de E e SE nas extremidades do quebramar, da refração ondulatoria geral e da reflexão parcial das ondas que, vindo de SE, chocam-se com o molhe sul.

Os sedimentos finos, na faixa de silt e argila transportados por arraste e em suspensão, que anteriormente chegavam à região entre os molhes e o quebramar, prove

nientes sobretudo dos rios Capibaribe e Beberibe, ficavam sujeitos a uma ação hidrodinâmica bastante acentuada. O material em suspensão era mantido em tal situação pela ação turbulenta das ondas e correntes, que provavelmente colocavam em suspensão uma boa parte do material que chegava a região, transportado por arraste.

Sob a influência da corrente de compensação de transporte de massa (de natureza ondulatória) que se dirige para o largo, associada à corrente de vazante na entrada do porto, este material fino provavelmente era transportado para o largo, terminando por se depositar.

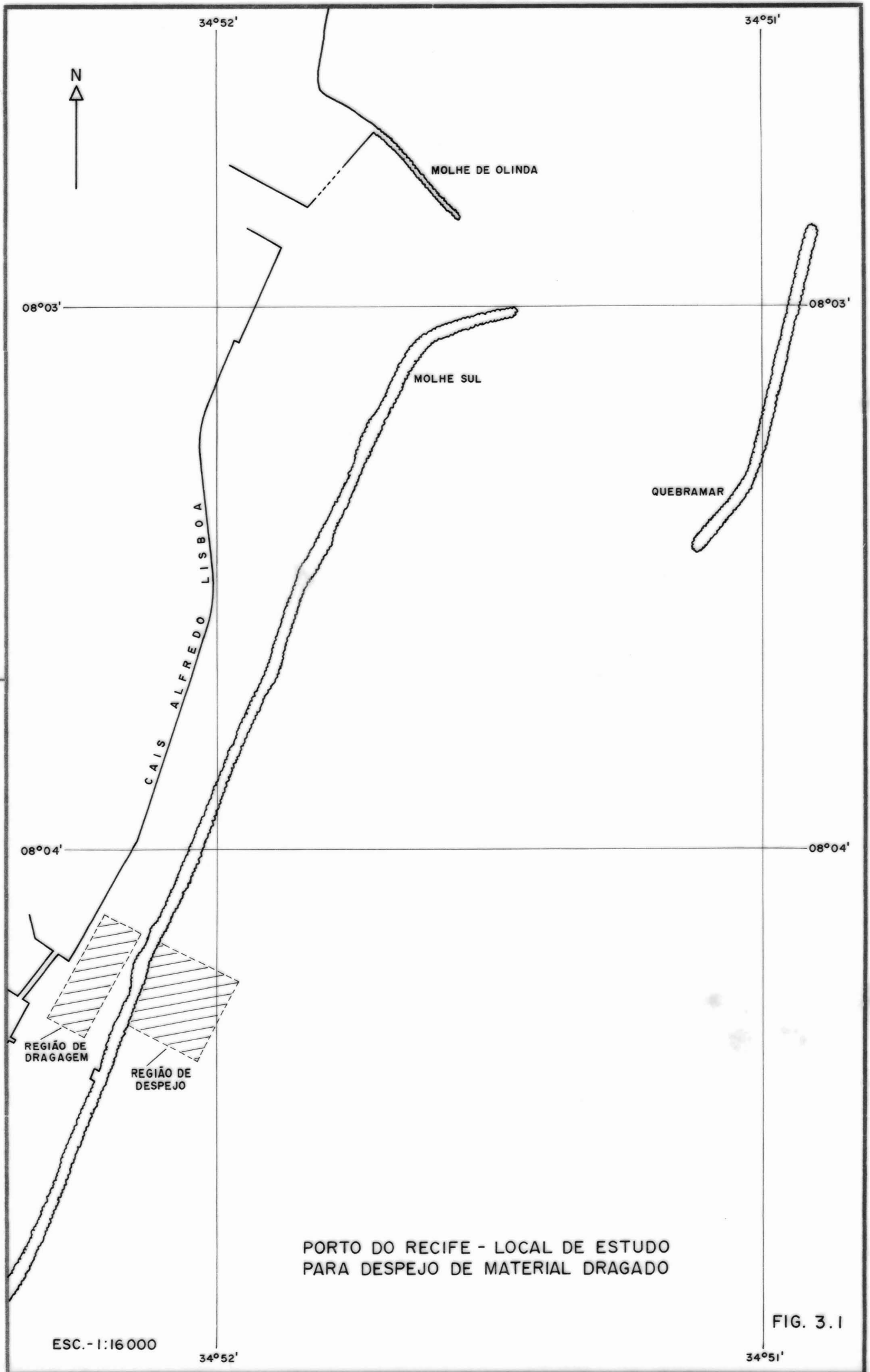
Atualmente, com a diminuição drástica da agitação na entrada do porto, causada pela presença do quebra-mar, grande parte do material fino que chega ao local termina por se depositar, como o mostram as comparações batimétricas do Capítulo II deste trabalho.

III.2. Estudo para Despejo de Material Dragado Junto ao Molhe Sul.

A Portobrás S.A. solicitou ao Instituto de Pesquisas Radioativas da Nuclebrás S.A., uma série de estudos sedimentológicos com a utilização de traçadores radioativos no porto do Recife. Tais estudos, ora em curso, tem por objetivo principal verificar qual será o comportamento do material fino dragado na bacia do porto e despejado, através de um sistema de recalque junto ao molhe seu, a

cerca de 2,5km ao sul da extremidade do molhe (Fig. 3.1). O objetivo de tal procedimento é evitar que uma boa parte dos sedimentos de arraste, trazidos sobretudo pelo rio Capibaribe, causem assoreamento na bacia portuária, a jusante da região de dragagem. Seria criada assim, pelo aprofundamento do leito, uma "armadilha" para o material transportado no fundo. De acordo com a taxa de assoreamento dessa armadilha, uma dragagem contínua ou de tempos em tempos a manteria sempre aberta.

A tendência das ações hidrodinâmicas junto à uma costa aberta é sempre no sentido de carrear o material fino para o largo. O material dragado, porventura despejado na superfície do mar junto ao molhe sul (Fig. 3.1), vai se distribuir ao longo da vertical, sob o efeito de seu peso próprio, que tende a levá-lo para o fundo, e da turbulência que tem a tendência de conservá-lo em suspensão. A tendência à deposição, para um dado material, é diretamente proporcional à granulometria do mesmo. No caso de material fino, como o de dragagem, na faixa de silt e vasa, é pequena a tendência de deposição. Deve ser ressaltado que na região de dragagem e na região de despejo, o material está sujeito praticamente ao mesmo teor de salinidade, não sendo de se esperar floculação adicional do material, ao ser despejado do lado externo do molhe sul. Pelo modo cogitado para dragagem e despejo (sucção e recalque), o material devem ser lançado bastante desagregado o que, aliado a sua natureza silto-argilosa e à turbulência existente no local, favorecerá a tendência de o mesmo ser mantido em suspensão. Desse modo o material deverá ser transportado pelo campo de correntes existente na região.



Os estudos da movimentação de sedimentos em suspensão com a utilização de traçadores radioativos serão desenvolvidos, visando verificar o comportamento do material nas diversas situações hidráulico-meteorológicas que ocorrem na região, ao longo do ano. A tendência das ações hidrodinâmicas carrearem o material fino para o largo se sobrepõe uma tendência de movimentação dos sedimentos sensivelmente paralela ao molhe sul, resultado sobretudo das ações de ondas e ventos, nas correntes locais. As resultantes dessas tendências, nos diversos níveis de profundidade, comandarão a movimentação geral dos sedimentos na região.

Uma atenção especial deverá ser dada nos estudos à verificação da possibilidade do material despejado na região indicada na figura 3.1 atingir, em determinadas situações hidráulico-meteorológicas que criem correntes favoráveis para tal, a região compreendida entre o quebramar e os molhes. Se tal acontecer, a parcela do material em suspensão que atingir a região mencionada poderá se depositar, por causa da fraca turbulência local, ou então regressar na área portuária. A viabilização ou não do esquema de dragagem e despejo de material de fundo do porto do Recife, descrita anteriormente, deve levar em conta, entre outras coisas, a probabilidade de ocorrência de tal retorno.

IV. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1. A construção do quebramar sobre o Banco Inglês, diminuindo drásticamente o estado de agitação anteriormente existente na região compreendida entre ele e os molhes, tem favorecido a deposição dos sedimentos finos que chegam ao local, sendo de origem continental a principal fonte.

2. O assoreamento resultante calculado, numa área em planta de 930.000m^2 entre o quebramar e os molhes (Fig. 2.1) foi da ordem de 300.000m^3 , no período de março/73 a dezembro/75, o que dá uma altura média de deposição da ordem de 0.3m.

3. O local de assoreamento mais intenso foi justamente aquele mais abrigado relativamente às ondas incidentes (entre as seções 9 e 11 - Figs. 2.4 e 2.5).

4. Na região do canal de acesso ao porto (canal sul) entre as seções S_4 e S_7 , o assoreamento médio entre março/73 e dezembro/75 foi de cerca de 0.3m ($y \sim 2.12$ na Fig. 2.4). O assoreamento máximo na região, para o mesmo período, baseado em comparações batimétricas em áreas quadrangulares com 100 metros de lado, foi de aproximadamente 0.7m (Fig. 2.5).

5. Cálculos de assoreamento tendo por base as batimetrias efetuadas em março/73, abril/75 e dezembro/75, relativamente à mesma área do item anterior, mostraram que o

assoreamento médio mensal entre abril/75 e dezembro/75 é cerca de cinco vezes maior que o correspondente ao intervalo de março/73 a abril/75. Uma possível explicação para este fato é a enchente excepcional ocorrida em junho de 1975, no intervalo entre os dois últimos levantamentos, que certamente transportou uma quantidade maior que o normal de material sólido, parte do qual se depositou entre o quebramar e os molhes.

6. A varredura hidráulica ("chasse") manteve praticamente inalteradas até a época da última batimetria (dezembro/75), as profundidades existentes em frente à embocadura.

7. Os estudos sedimentológicos com traçadores radioativos atualmente em curso junto ao molhe sul contribuíram de maneira decisiva no julgamento da viabilidade da região em estudo para despejo de material dragado.

8. Recomenda-se a execução de batimetrias na região entre o quebramar sobre o Banco Inglês e os molhes e adjacências, no mínimo de 6 em 6 meses, objetivando prosseguir o acompanhamento da evolução dos fundos após a construção do quebramar. Pelo que se viu neste trabalho, há uma tendência de assoreamento generalizado na região; conseqüentemente não foi ainda atingido um novo estado de equilíbrio dinâmico dos fundos. A documentação, através de batimetrias, da evolução dos fundos na entrada do porto será de grande utilidade, pois permitirá um conhecimento mais detalhado do resultado global, fruto das interações das ações hidrodinâmicas e dos sedimentos em jogo na

região. Este procedimento fornecerá também mais subsídios no planejamento de futuras dragagens, que possam ser necessárias para compatibilizar a evolução dos fundos com as necessidades atuais da navegação, e também nos estudos de uma possível ampliação do porto do Recife.

./mgs.