

EMPRESAS NUCLEARES BRASILEIRAS S.A. - NUCLEBRÁS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR
DEPARTAMENTO DE RADIOPROTEÇÃO E APOIO AO LICENCIAMENTO

AUTORES

Paulo Sérgio Pelôgia Minardi
Geraldo Godinho Pinto

MEDIÇÕES DE DENSIDADE "IN SITU" EM FUNDO
VASOSO DO PORTO DE SANTOS/SP

Divisão de Engenharia Ambiental/DERL

DERL.CN-015/86

BELO HORIZONTE - BRASIL
Setembro/1986



SUMÁRIO

	PÁGINA
1. INTRODUÇÃO	1.
2. METODOLOGIA E EQUIPAMENTOS	7.
3. TRABALHO DE CAMPO	12.
4. RESULTADOS	14.
5. CONCLUSÕES	22.
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	



MEDIÇÕES DE DENSIDADE "IN SITU" EM FUNDO
VASOSO DO PORTO DE SANTOS/SP

1. INTRODUÇÃO

Executando o Contrato nº 4/86/004, de 22/07/1986, firmado entre a Empresa de Portos do Brasil S/A (PORTOBRÁS) e as Empresas Nucleares Brasileiras S/A (NUCLEBRÁS), a Divisão de Engenharia Ambiental (DIEAM.CN), do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), da NUCLEBRÁS, realizou uma campanha de campo no Porto de Santos, entre os dias 18 e 26/08/1986, com o objetivo de medir "in situ" a densidade do fundo vasoso, tendo como contra-partida, por parte da PORTOBRÁS, o Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH).

As medições de densidade "in situ", através de técnicas nucleares, associadas a registros de profundidade, permitem obter-se as espessuras das camadas do fundo vasoso não consolidado, até determinadas densidades que têm a possibilidade de serem acrescentadas às cartas náuticas, segundo os conceitos recentes de profundidade navegável, proporcionando uma redução nos elevados custos de dragagens de manutenção, que normalmente se fazem necessárias. Dentro desse escopo, encontra-se o relatório "Avaliação da Espessura da Camada de Vasa no Canal de Acesso e na Bacia de Evolução do Porto de Santos-SP" (Relatório INPH-35/85), o qual dá continuidade ao estudo do relatório "Reavaliação do Conceito de Profundidade Navegável em Regiões de Fundo Vasoso" (Relatório INPH-167/84 - vol. III), onde foi levantada a possibilidade de se definir a profundidade navegá

vel de um canal de acesso ou bacia de evolução de um Porto, como sendo a distância entre o nível d'água e a vasa de densidade igual a 1200 kg/m^3 .

O relatório INPH-35/85, que serviu de base ao presente estudo, identifica as áreas de ocorrência de depósitos de vasa de baixa densidade, no Porto de Santos, através de comparações entre perfis batimétricos, utilizando simultaneamente ecobatímetros de alta (200 KHz) e baixa (7,5 KHz) frequência. Uma das conclusões desse estudo diz o seguinte: "A presença de depósitos de vasa com espessuras significativas em trechos onde normalmente são efetuadas dragagens de manutenção indica ser aconselhável um estudo mais detalhado, visando a definição das espessuras das camadas com massa específica inferior a 1200 kg/m^3 . Este estudo deverá ser realizado através de medições de densidade "in situ" nas áreas definidas nas figuras 5, 6 e 7". Essas figuras foram reproduzidas, no presente trabalho, respectivamente como figuras 1.1, 1.2 e 1.3.

Segundo o contrato, as medições de densidade "in situ" deveriam ser realizadas apenas nas duas principais regiões que apresentaram as maiores espessuras de vasa no estudo do relatório INPH-35/85, a saber:

1ª Curva do canal de acesso; região situada entre a Ponta dos Limões e a Ilha das Palmas (fig. 1.1)

2ª Região compreendida entre os armazéns 26 e 28 (fig. 1.2), no interior do estuário.

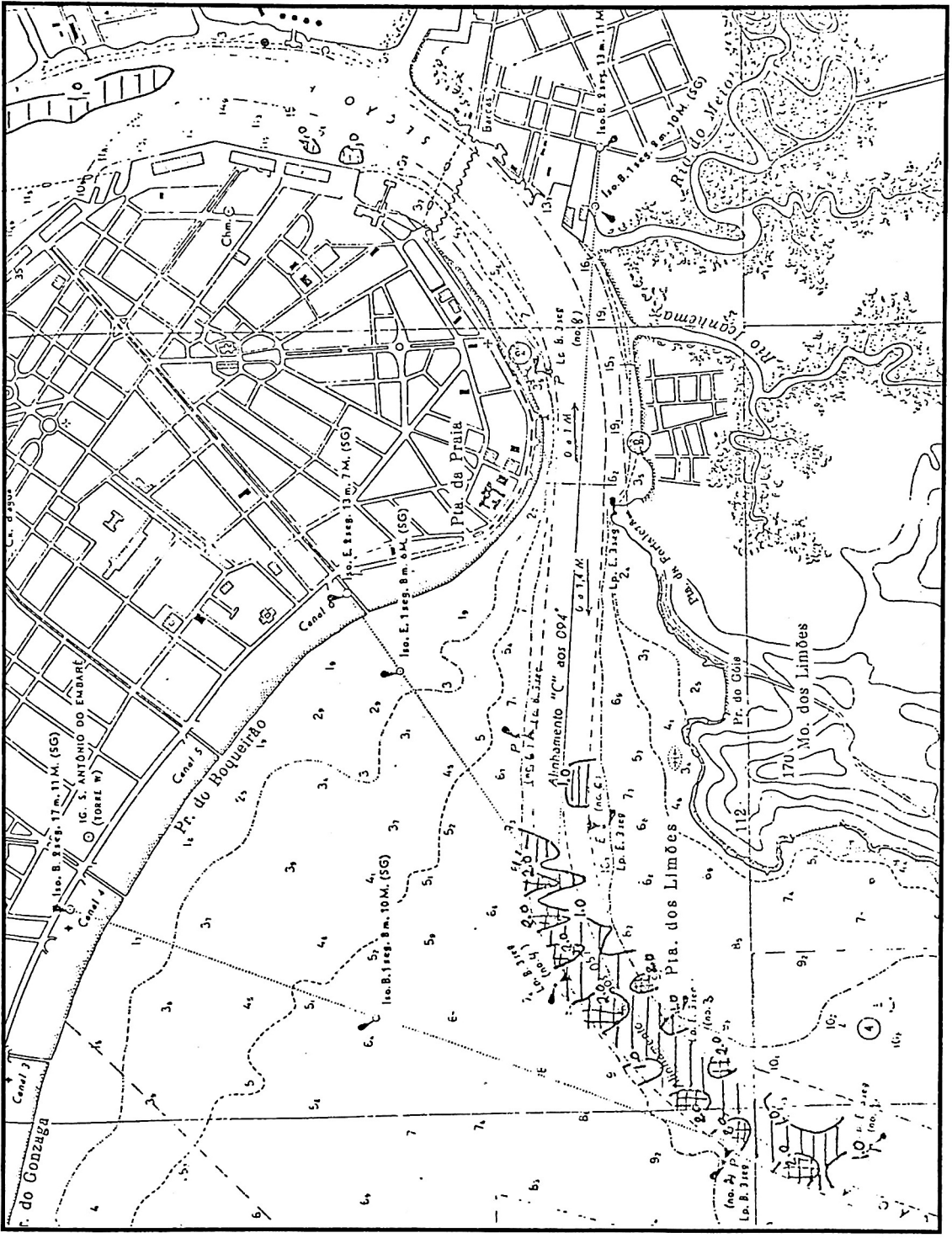


FIG. 1.1 - 1a. REGIÃO COM MAIOR OCORRÊNCIA DE VASA (Fig. 5 do Rel. INPH 35/85)

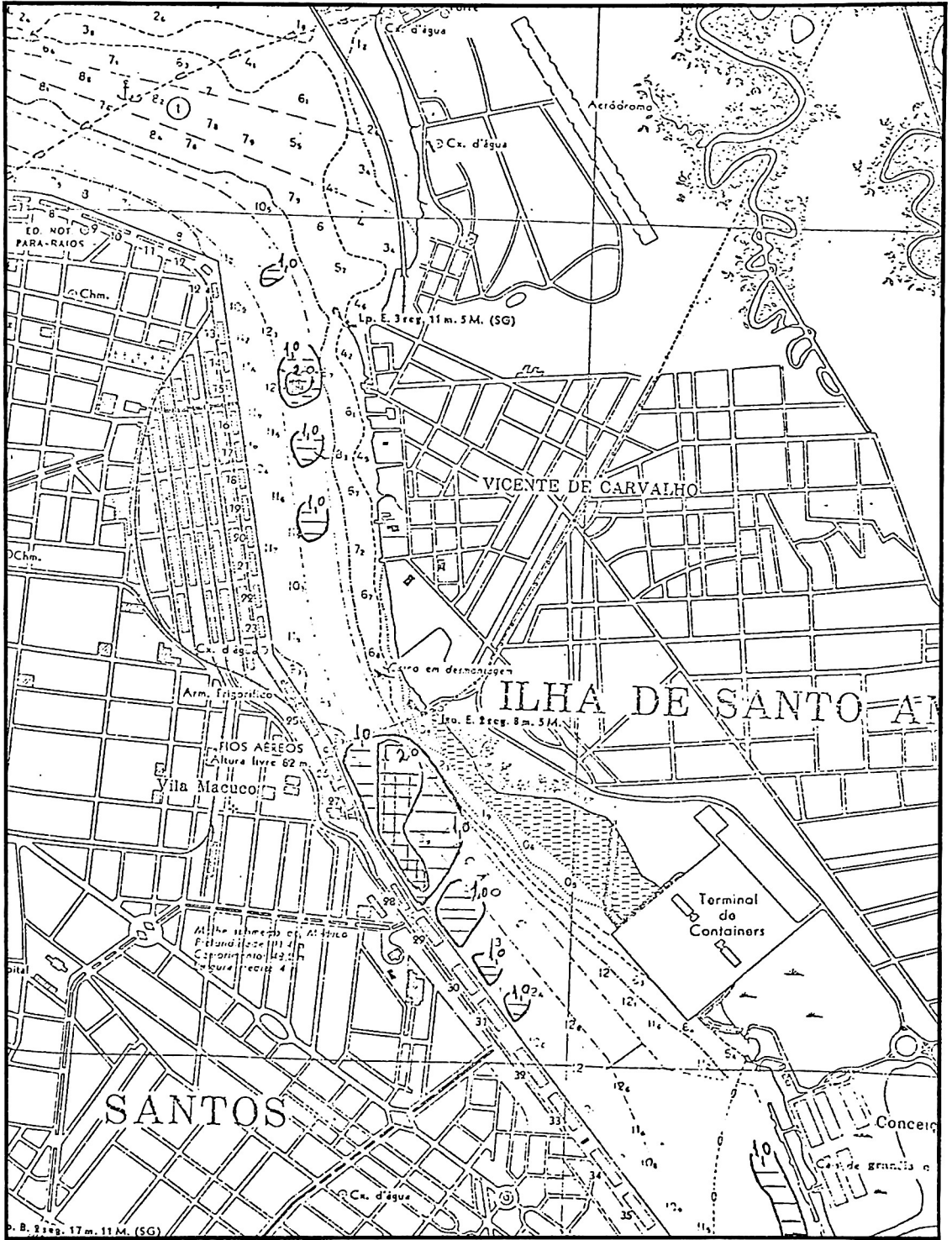


FIG. 1.2 - 2a. REGIÃO COM MAIOR OCORRÊNCIA DE VASA
(Fig. 6 do Rel. INPH - 35/85)

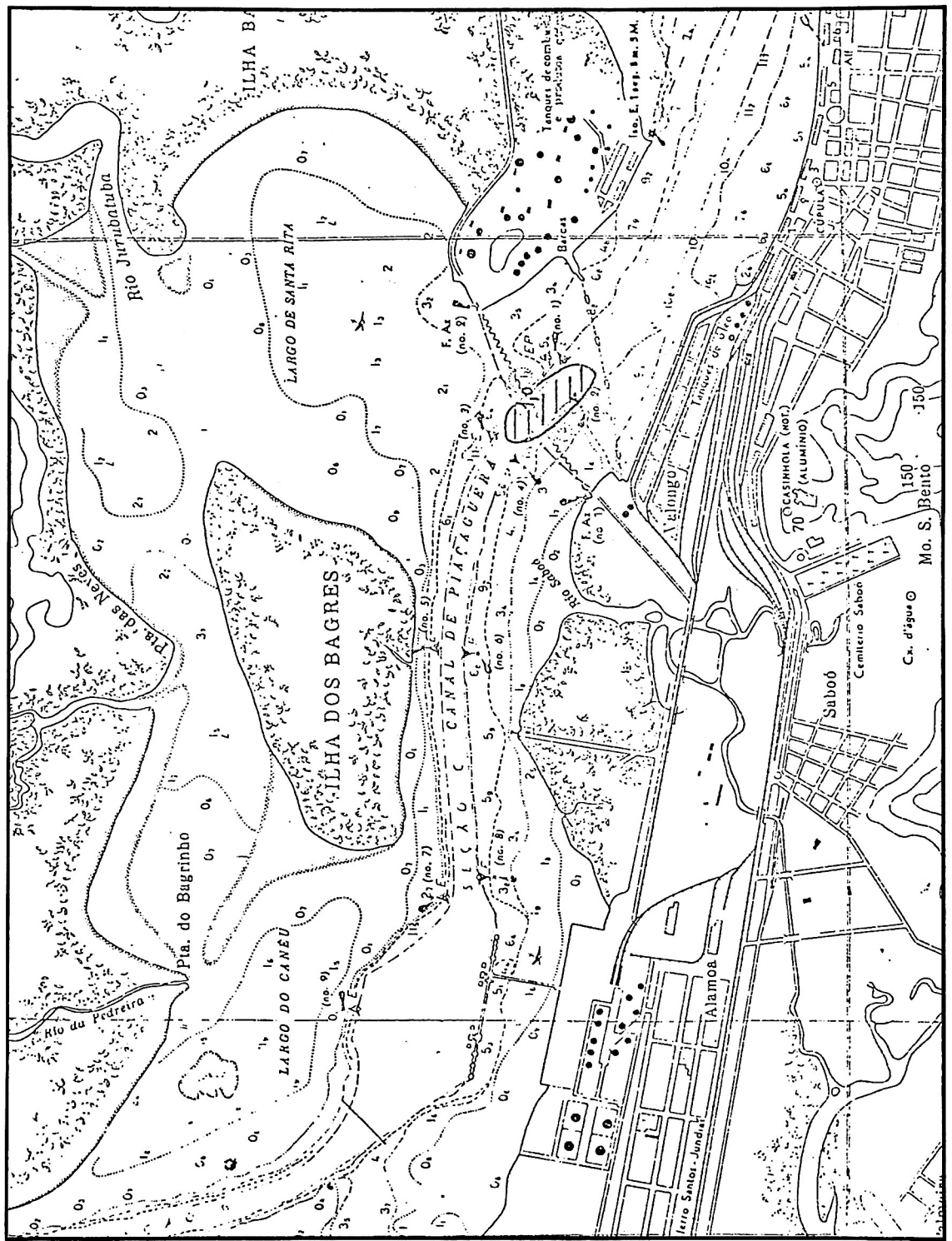


FIG. I.3 - 3a. REGIÃO COM MAIOR OCORRÊNCIA DE VASA
(Fig.7 do Rel. INPH - 35/85)



Por circunstâncias fora de nosso controle, a realização do estudo na 1ª região tornou-se inviável, dado que a área encontrava-se sujeita a trabalhos de dragagem por ocasião da execução dos trabalhos de campo. A draga "Guanabara" operava na região por cerca de dois meses consecutivos e as constantes modificações, pelas quais passavam o fundo, desaconselhavam a realização do estudo, uma vez que os resultados refletiriam uma situação transitória, bastante diferente da apontada no estudo do relatório INPH-35/85. Assim, mediante solicitação do responsável técnico do INPH na área, transferiu-se o estudo da 1ª para a 3ª região em importância: Trecho do Canal de Piaçaguera, próximo ao Largo de Santa Rita e à Ilha dos Bagres (figura 1.3).



2. METODOLOGIA E EQUIPAMENTOS

O equipamento desenvolvido pelo CDTN, para medições de densidade "in situ", utiliza o princípio da transmissão, o qual é baseado na atenuação da radiação eletromagnética pela matéria.

O meio (meio atenuador), cuja densidade se pretende medir, fica posicionado entre uma fonte de raios γ (^{241}Am) e um detector de cintilação (cristal de NaI.Tl), mantidos a uma distância fixa. Tanto a fonte, como o detector são colimados e a energia de contagem discriminada, de modo a se obter um feixe de raios γ paralelos e monoenergéticos entre eles. Esse feixe, ao atravessar o meio atenuador, sofre diversos processos de interações com as partículas que o constituem, fazendo com que parte da radiação inicialmente emitida sofra absorção ou espalhamento. Como consequência, a intensidade da radiação recebida pelo detector diminui exponencialmente com o crescimento linear na densidade do meio atenuador, segundo a seguinte equação:

$$I(\rho) = I(0) e^{-\mu' \rho x} \quad (2.1)$$

onde $I(\rho)$ é a intensidade recebida pelo detector

$I(0)$ é a intensidade recebida pelo detector na ausência de meio atenuador

$\mu' = \frac{\mu}{\rho}$ é o coeficiente de atenuação mássico

μ é o coeficiente de atenuação linear

ρ é a densidade do meio atenuador

x é a distância entre fonte e detector.

O coeficiente μ representa a probabilidade, por unidade de comprimento, dos raios serem removidos do feixe e, pelo fato desse coeficiente variar com a densidade do meio atenuador, utiliza-se, na prática, o coeficiente μ' , que independe da mesma.

Como a resposta fornecida pelos medidores nucleares é uma taxa de contagem (R) (número de interações da radiação com o detector durante um intervalo de tempo) e essa é proporcional à intensidade da radiação, a seguinte equação é válida:

$$R(\rho) = R(0) e^{-\mu' \rho x} \quad (2.2)$$

onde $R(0)$ é a taxa de contagem na ausência de meio atenuador.

Como $R(0)$ é de difícil determinação, é usual se trabalhar, na prática, com uma equação que não apresente esse termo. Isso é conseguido através de um artifício matemático, fazendo-se a divisão da equação 2.2 pela resposta (R_p) fornecida pelo equipamento em um meio padrão, o qual normalmente é a água pura.

Assim, dividindo-se a equação 2.2 por R_p e isolando-se o valor de ρ , temos:

$$\rho = \frac{1}{K} \left(K_p - \ln \frac{R(\rho)}{R_p} \right) \quad (2.3)$$

onde o índice "p" refere-se ao meio padrão e $K = \mu'x$

e $K_p = - \ln \frac{R_p}{R(0)}$ são constantes.

Os valores de K e K_p são obtidos através de uma calibração do equipamento, a qual consiste em se obter uma série de respostas correspondentes a uma série de valores conhecidos de densidade. Com isso obtém-se uma curva de taxa de contagem versus densidade, conhecida como curva de calibração, a qual é utilizada para calcular uma densidade desconhecida a partir da taxa de contagem medida.

A densidade de cada ponto experimental da curva de calibração é o valor médio das densidades de várias alíquotas, oriundas de amostras de vasa coletadas no próprio local de medições. As densidades são determinadas de modo convencional através dos pesos e volumes das alíquotas.

O equipamento desenvolvido pelo CDTN é mostrado na figura 2.1.

Seus componentes básicos são:

- . Fonte radioativa
- . Detector de cintilação
- . Sensor de profundidade

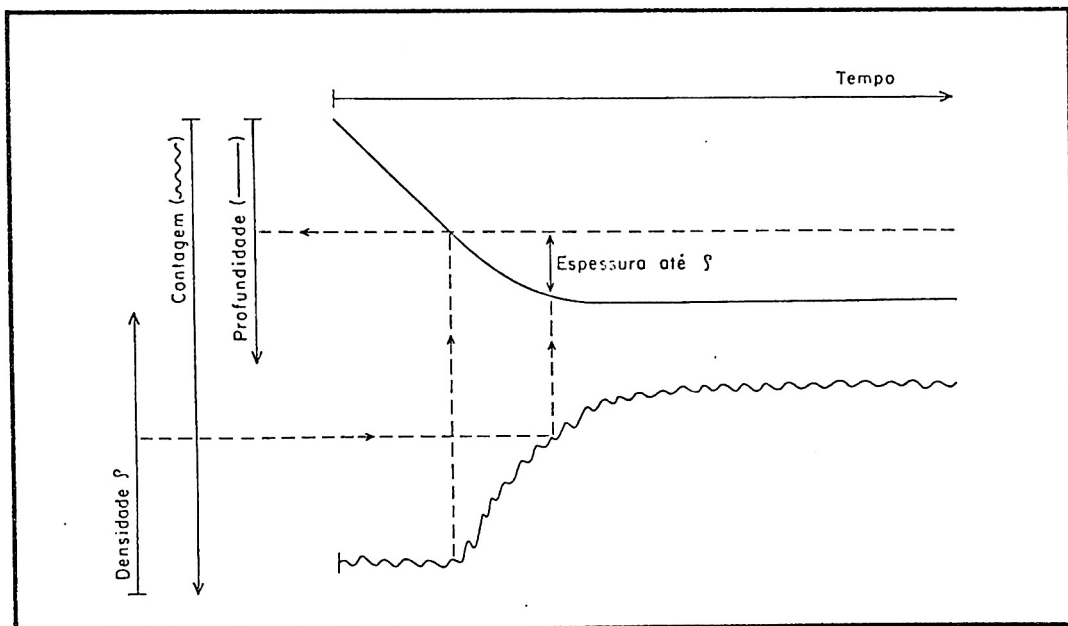
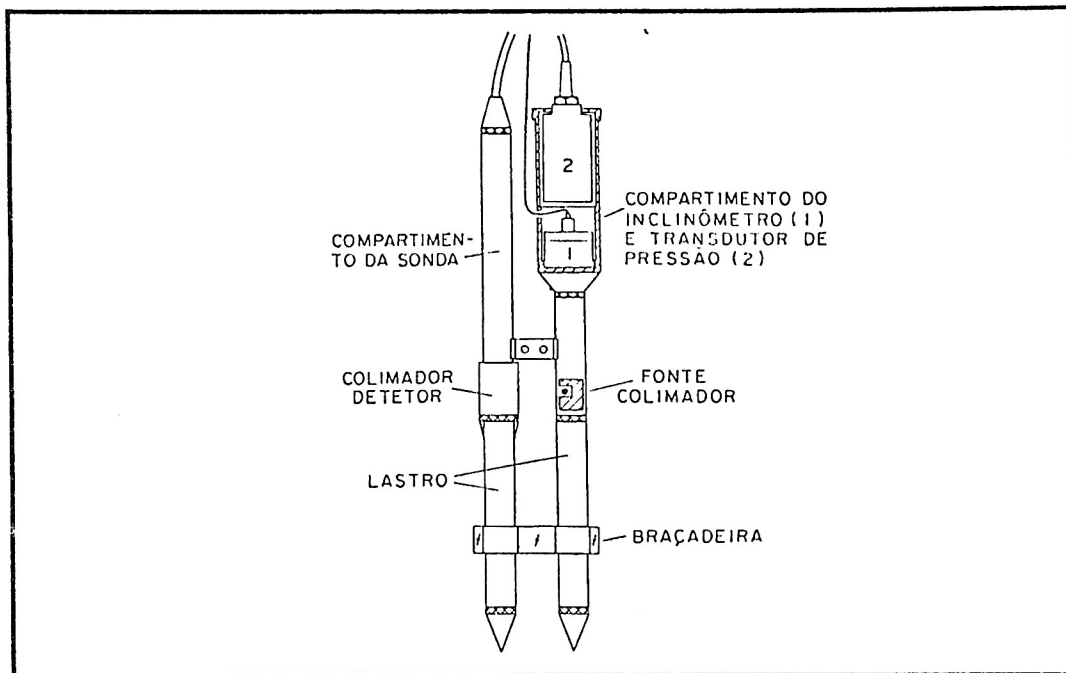


FIG. 2.1 - EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO PELO CDTN E REPRESENTAÇÃO DE UM REGISTRO GRÁFICO TÍPICO

- . Timer-Scaler
- . Registrador gráfico bi-canal.

O sensor de profundidade indica em que profundidade, a partir do nível d'água, a taxa de contagem está sendo registrada, permitindo, em cada imersão do equipamento, obter-se um perfil contínuo de densidades em função da profundidade. Isso encontra-se ilustrado no esquema na figura 2.1, a qual mostra ainda como as espessuras, a partir da interface água salgada-lama, são calculadas.



3. TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo, executado por dois engenheiros do CDTN, constou basicamente de:

DIA	ATIVIDADE
18/08/86	- Viagem de Belo Horizonte a Santos - Visita de inspeção à embarcação
19/08/86	- Providências junto à Capitania dos Portos para obtenção de autorização para realização do trabalho - Contactos junto à CODESP - Escolha e reconhecimento "in situ" de bases para o sistema de posicionamento eletrônico.
20/08/86	- Escolha e reconhecimento de bases - Contacto com pessoal da draga "Guanabara" - Elaboração de mapas de navegação
21/08/86	- Início das medições na 2ª região com execução de perfis em 7 pontos.
22/08/86	- Visita à draga "Guanabara" - Medições em 5 pontos da 2ª região
23/08/86	- Medições em 15 pontos da 2ª região

- 24/08/86 - Traçado de mapas de navegação relativos
à 3ª região
- 25/08/86 - Medições em 11 pontos da 3ª região
- 26/08/86 - Retorno a Belo Horizonte.

A handwritten signature or mark consisting of a large, loopy circle with a smaller, more complex scribble to its right.

4. RESULTADOS

As figuras 4.1 e 4.2 apresentam, respectivamente, a 2ª e a 3ª região de trabalho, com a localização dos pontos de medições em planta.

As coordenadas UTM desses pontos são mostradas nas tabelas 1 e 2.

As bases utilizadas para o sistema de posicionamento eletrônico na 2ª região (figura 4.1) foram três: Torre Grande E (IEDA), Moinho Pacífico e Dolfim 3A. A base Dolfim 3A não se encontra assinalada na figura 4.1 por se encontrar distante do local de medições. Para a 3ª região foram utilizadas as bases 1049-A e Pedra Barnabé (M-23).

Os resultados propriamente ditos são apresentados nas tabelas 3 e 4.

As profundidades da interface água salgada-lama estão referenciadas ao nível de redução da DHN, sendo distâncias medidas abaixo desse nível. Elas foram obtidas a partir de uma média dos registros de profundidade até o nível d'água, fornecidos pelo sensor de profundidade do gamadensímetro nas imersões em cada ponto, descontando-se a amplitude da maré. Para a 2ª região utilizaram-se registros de maré obtidos no Terminal de Fertilizantes de Conceiçãozinha e para a 3ª, registros obtidos na Ilha de Barnabé. Ambos foram fornecidos pela CODESP (PORTOBRÁS).



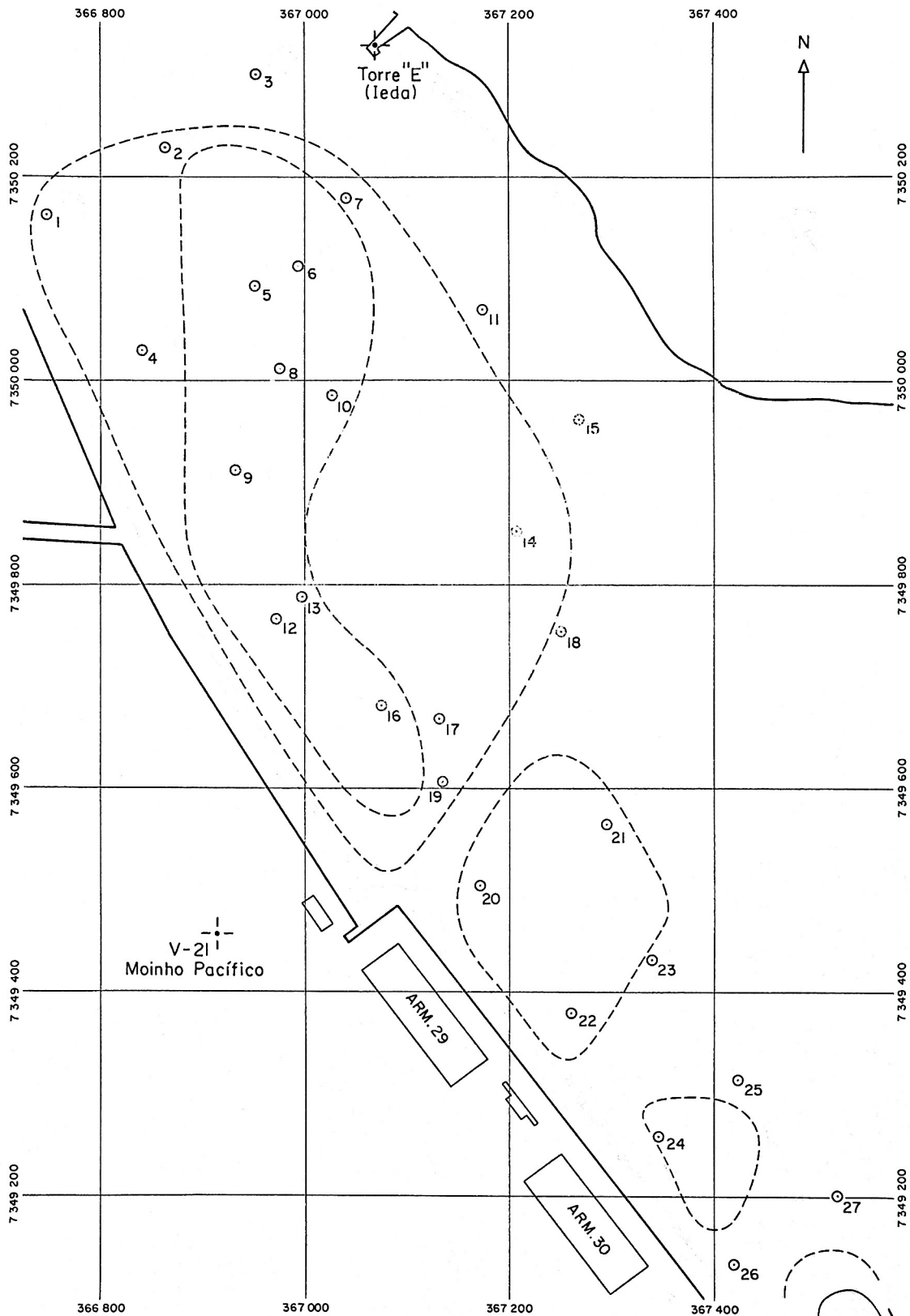


FIG.4.1 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO NA 2ª. REGIÃO

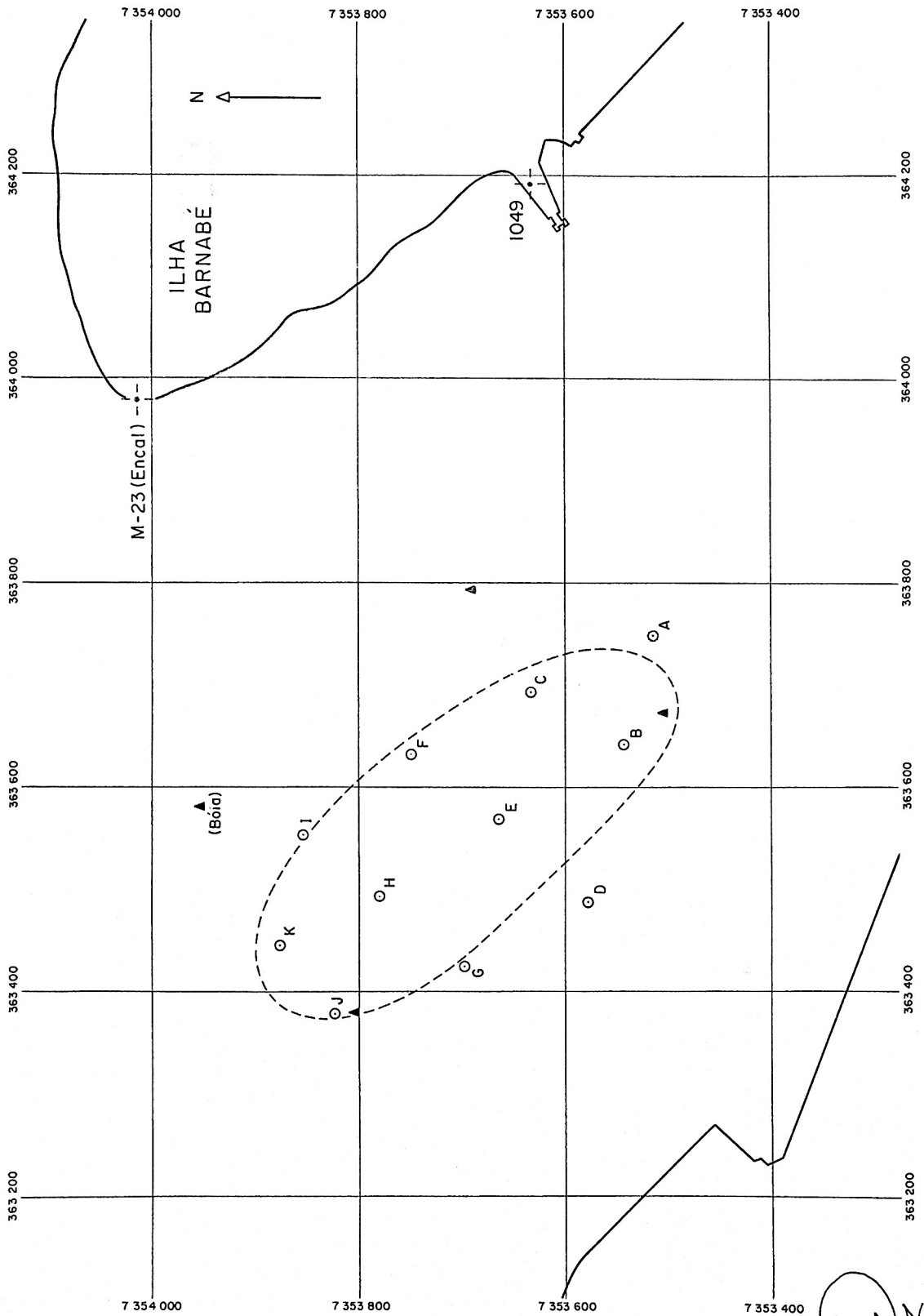


FIG.4.2 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO NA 3ª. REGIÃO

TABELA 1 - COORDENADAS UTM DOS PONTOS DE MEDIÇÃO
NA REGIÃO DOS ARMAZÊNS (2ª REGIÃO)

PONTO	COORDENADA E	COORDENADA N
1	366.744	7.350.161
2	366.862	7.350.228
3	366.953	7.350.300
4	366.839	7.350.029
5	366.950	7.350.092
6	366.994	7.350.111
7	367.040	7.350.179
8	366.975	7.350.010
9	366.932	7.349.910
10	367.028	7.349.985
11	367.175	7.350.070
12	366.972	7.349.766
13	366.996	7.349.786
14	367.207	7.349.852
15	367.267	7.349.961
16	367.075	7.349.681
17	367.133	7.349.668
18	367.251	7.349.754
19	367.135	7.349.605
20	367.173	7.349.505
21	367.295	7.349.565
22	367.262	7.349.380
23	367.340	7.349.433
24	367.346	7.349.259
25	367.424	7.349.314
26	367.420	7.349.129
27	367.521	7.349.200

TABELA 2 - COORDENADAS UTM DOS PONTOS DE MEDIÇÃO NA
REGIÃO DA ILHA DOS BAGRES (3ª REGIÃO)

PONTO	COORDENADA E	COORDENADA N
A	363.748	7.353.515
B	363.642	7.353.544
C	363.693	7.353.633
D	363.489	7.353.579
E	363.570	7.353.665
F	363.633	7.353.748
G	363.425	7.353.698
H	363.493	7.353.780
I	363.553	7.353.854
J	363.379	7.353.824
K	363.446	7.353.876



TABELA 3 - PROFUNDIDADES DA INTERFACE ÁGUA SALGADA-LAMA E ESPESSURAS DE VASA ATÉ DETERMINADAS DENSIDADES NA REGIÃO DOS ARMAZÊNS.

PONTO	DATA		PROFUNDIDADE DA INTERFACE ÁGUA-LAMA (m)	ESPESSURA MÁXIMA (cm)	MAIOR DENSIDADE PENETRADA (Kg/m ³)
	DIA	HORA			
1	21	13:45	19,5	10	1200
2	21	14:45	16,9	-	-
3	21	15:12	10,4	20	1250
4	21	15:32	17,1	10	1350
5	21	15:52	16,8	-	-
6	22	15:04	15,4	5	1250
7	21	16:23	8,5	5	1400
8	22	15:58	16,4	-	-
9	21	16:49	16,1	5	1400
10	22	15:35	16,3	-	-
11	23	12:20	3,8	-	1400
12	22	16:23	14,0	5	1350
13	22	17:05	14,6	-	1400
14	23	11:36	13,3	5	1350
15	23	12:03	3,0	5	1350
16	23	10:50	14,4	5	1400
17	23	10:21	14,9	5	1400
18	23	12:34	13,7	-	1200
19	23	15:13	14,4	10	1400
20	23	12:58	14,4	5	1250
21	23	13:23	14,6	5	1350
22	23	15:31	13,4	-	1250
23	23	13:54	14,4	10	1300
24	23	15:47	13,0	10	1200
25	23	14:14	13,8	5	1250
26	23	14:50	12,8	10	1200
27	23	14:34	13,6	10	1200

TABELA 4 - PROFUNDIDADES DA INTERFACE ÁGUA SALGADA-LAMA E ESPESSURAS DE VASA ATÉ DETERMINADAS DENSIDADES NA REGIÃO DA ILHA DOS BAGRES.

PONTO	DATA		PROFUNDIDADE DA INTERFACE ÁGUA-LAMA (m)	ESPESSURA MÁXIMA (cm)	MAIOR DENSIDADE PENETRADA (Kg/m ³)
	DIA	HORA			
A	25	14:02	13,0	15	1250
B	25	13:24	10,2	15	1300
C	25	14:24	14,0	15	1250
D	25	15:34	8,3	-	-
E	25	12:10	13,1	5	1300
F	25	16:05	14,9	20	1350
G	25	16:30	4,3	5	1350
H	25	12:37	13,9	10	1150
I	25	15:16	12,5	-	-
J	25	12:54	10,2	5	1400
K	25	14:57	13,8	-	-

Devido à pequena magnitude das espessuras encontradas, não se justifica o traçado de perfis de densidade com a profundidade. Assim, as espessuras fornecidas correspondem à espessura de uma única imersão em cada ponto, selecionada de acordo com os seguintes critérios básicos:

- a. Para imersões que atingiram a mesma densidade final, considerou-se a menor espessura obtida entre elas;
- b. Para imersões com densidade final distintas, considerou-se a espessura correspondente à maior densidade penetrada;
- c. Somente se considerou a ausência de espessuras, quando nenhuma das imersões registrou densidades diferentes daquela da água salgada.

As espessuras são consideradas máximas porque, na realidade, elas podem ser um pouco menores do que os valores apresentados, devido ao tombamento do equipamento em fundos consistentes. Isso acontece porque o sensor de profundidade está localizado acima do feixe de radiação, o que faz com que, ao sair da posição vertical, num movimento de rotação em torno da ponteira do equipamento, as variações verticais do feixe de radiação sejam menores do que as variações verticais na altura do sensor.



5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas duas regiões estudadas (entre os armazéns 26 e 28, e proximamente ao Largo de Santa Rita) mostram, de forma inequívoca, a ausência de camadas significativas de sedimentos não consolidados no fundo vasoso. A maior espessura encontrada é de 20cm, a baixo da interface água salgada-lama, para uma densidade de 1250 kg/m³.

Esses resultados não são concordantes com os obtidos no estudo do INPH, com a utilização simultânea de e cobatímetros de alta e baixa frequências (relatório INPH-35/85), e que serviu de orientação à realização do presente trabalho. Tal fato pode ser atribuído a possíveis modificações no leito, oriundos de processos naturais ou de interferências humanas (dragagem), devido ao grande intervalo de tempo, da ordem de um ano e oito meses, decorrido entre a realização dos dois estudos.

Para os próximos trabalhos dessa natureza, recomenda-se que as medições de densidade "in situ" sejam realizadas imediatamente após o estudo com ecobatímetros.

/jms.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDROVIÁRIAS. Avaliação da Espesura da Camada de Vasa no Canal de Acesso e na Bacia de Evolução do Porto de Santos-SP. Rio de Janeiro, 1985 (INPH relatório 35/85).

MINARDI, P.S.P. & SALIM, L.H.. Medição "In Situ" de Concentração e Densidade de Sedimentos por Métodos Nucleares. Belo Horizonte, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, NUCLEBRÁS, 1985 (Artigo para Curso).

