

ESTUDO DA MOVIMENTAÇÃO DO MATERIAL DE
FUNDO NA BAÍA DE SANTOS - 1980

Divisão de Radioisótopos/DERL
Dezembro de 1980

- DERL.PD-061/80 -

ESTUDO DA MOVIMENTAÇÃO DO MATERIAL DE
FUNDO NA BAÍA DE SANTOS - 1980

AUTORES

Jefferson Vianna Bandeira
Virgílio Lopardi Bomtempo
Pedro Edmundo Aun

EQUIPE DE CAMPO

Jefferson Vianna Bandeira
Virgílio Lopardi Bomtempo
Lécio Hannas Salim
Ricardo da Silva Gomes
Antônio Fioravante Neto
Namir de Souza Vieira
Geraldo Godinho Pinto
Geraldo Eustáquio da Silva

EQUIPE DE ANÁLISE

Virgílio Lopardi Bomtempo
Pedro Edmundo Aun
Vera Lúcia Mendes Dias da Costa
Luiz Raphael Aun

DIVISÃO DE RADIOISÓTOPOS/DERL - CDTN/NUCLEBRÁS

- Dezembro de 1980 -

SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE FIGURAS	
1. INTRODUÇÃO	1.
2. O MÉTODO DE TRAÇADORES PARA O ESTUDO DA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS EM FUNDOS	3.
3. CONSIDERAÇÕES INICIAIS E PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS DE INJEÇÃO E ACOMPANHAMENTO DO TRAÇADOR RADIOATIVO	11.
4. O TRABALHO DE CAMPO: NAVEGAÇÃO, EQUIPAMENTOS, COLETA DE DADOS	19.
5. O TRABALHO DE ANÁLISE DOS DADOS DE CAMPO	21.
6. ANÁLISE DOS DADOS DE CAMPO DE SANTOS	23.
6.1 Estudo do Comportamento do Material de Fundo na Região do Ponto de Injeção PI_1	23.
6.2 Estudo do Comportamento do Material de Fundo na Região do Ponto de Injeção PI_2	37.

PÁGINA

6.3 Estudo do Comportamento do Material
de Fundo na Região do Ponto de Inje
ção PI_3 43.

7. CONCLUSÃO 51.

REFERÊNCIA

LISTA DE FIGURAS

NÚMERO		PÁGINA
1	Localização dos Pontos de Injeção	12.
2	Curva Granulométrica do Vidro Moido Injetado no Ponto de Injeção nº 1 (PI ₁), Representativa do Material <u>N</u> atural do Fundo na Região Considerada	15.
3	Curva Granulométrica do Vidro Moido Injetado no Ponto de Injeção nº 2 (PI ₂), Representativa do Material <u>N</u> atural do Fundo na Região Considerada	16.
4	Curva Granulométrica do Vidro Moido Injetado no Ponto de Injeção nº 3 (PI ₃), Representativa do Material <u>N</u> atural do Fundo na Região Considerada	17.
5	Diagrama de Transporte - 1a. Detecção PI ₁ - 03/08/80	25.
6	Diagrama de Transporte - 2a. Detecção PI ₁ - 06/08/80	26.
7	Diagrama de Transporte - 3a. Detecção PI ₁ - 11/08/80	27.
8	Curvas de Isocontagem - 1a. Detecção PI ₁ - 17/09/80 - 2a. Campanha	30.

NÚMERO		PÁGINA
9	Diagrama de Transporte - 1a. Detecção PI ₁ - 17/09/80 - 2a. Campanha	31.
10	Curvas de Isocontagem - 2a. Detecção PI ₁ - 22/09/80 - 2a. Campanha	33.
11	Diagrama de Transporte - 2a. Detecção PI ₁ - 22/09/80 - 2a. Campanha	34.
12	Diagrama de Transporte - 1a. Detecção PI ₂ - 08/08/80	39.
13	Curvas de Isocontagem - 1a. Detecção PI ₂ - 18/09/80 - 2a. Campanha	41.
14	Diagrama de Transporte - 1a. Detecção PI ₃ - 06/08/80	45.
15	Diagrama de Transporte - 2a. Detecção PI ₃ - 11/08/80	46.
16	Curvas de Isocontagem - 1a. Detecção PI ₃ - 19/09/80 - 2a. Campanha	47.
17	Diagrama de Transporte - 1a. Detecção PI ₃ - 19/09/80 - 2a. Campanha	49.

ESTUDO DA MOVIMENTAÇÃO DO MATERIAL DE
FUNDO NA BAÍA DE SANTOS - 1980

1. INTRODUÇÃO

A PORTOBRÁS - Empresa de Portos do Brasil S.A. - firmou Contrato de nº 80/038/00, datado de 08/05/80, com a NUCLEBRÁS - Empresas Nucleares Brasileiras S.A. para a realização de uma série de estudos na baía e no estuário de Santos que viessem a caracterizar o assoreamento do canal de acesso ao Porto de Santos e dar informações sobre o padrão de sedimentação da baía de Santos.

Os estudos foram contratados através do INPH - Instituto de Pesquisas Hidroviárias, da PORTOBRÁS, e a execução dos mesmos ficou a cargo da Divisão de Radioisótopos do Departamento de Radioproteção e Apoio ao Licenciamento, pertencente ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, instituto de pesquisas da NUCLEBRÁS, sediado em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Dos estudos constaram, numa primeira etapa, um programa de análise reológica da vasa do fundo da baía, um estudo granulométrico do material de fundo e aplicações de traçador radioativo para se determinar, qualitativa e quantitativamente, a vazão sólida de arraste no fundo da baía.

Além desses estudos, foram realizadas medições hidráulicas, que incluíram a medição de velocidade de correntes, a correntôgrafo, e a determinação das característi

cas ondulatórias reinantes durante o período experimental, por meio de ondógrafo e de observações visuais de direção. Estes aparelhos foram operados pela Divisão de Ra dioisótopos. Foram também recolhidas informações sobre ventos e marés durante o período experimental.

O presente relatório trata dos resultados obti dos nas duas primeiras campanhas de estudos com traçado res radioativos, com vistas a caracterizar o movimento do material do fundo da baía, em regime de inverno. Uma cam panha semelhante está prevista para a época de verão.

2. O MÉTODO DE TRAÇADORES PARA O ESTUDO DA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS EM FUNDOS

Trataremos aqui da metodologia de trabalho utilizada em estudos de sedimento de fundo com a utilização de traçadores radioativos. O relacionamento entre o INPH e a DIRAD, neste campo, já vem de longos anos, de modo que esta exposição da metodologia quase não se faz necessária. Ela está sendo apresentada aqui com o objetivo principal de tornar completo este relatório.

Um traçador é um material que, representando uma população, apresenta propriedades que, através do acompanhamento da sua evolução, permita definir certas propriedades da população global. Uma das primeiras aplicações de traçadores foi realizada quando Joãozinho e Maria, abandonados no bosque, utilizaram parte da comida que levaram para marcar o caminho de volta à sua casa. Esta aplicação não teve sucesso, devido a uma escolha inadequada do traçador: os pássaros, ao comerem os pedaços de comida deixados pelos meninos, impediram que o traçador se conservasse inalterado ao longo de todo o trabalho experimental. Para que as respostas obtidas em uma utilização de traçador sejam adequadas, ele deve, pois, ser conservativo: deve, permanecer, na mesma quantidade, entre o início e o fim do trabalho experimental. Além disso, ele deve também representar adequadamente a população. As propriedades essenciais da população, que interessem ao fenômeno estudado, devem aparecer também no traçador. No caso de Santos, a areia do fundo é simulada adequadamente por um vidro moído, ao qual é adicionado, pelo fabricante, 0,25% de irídio. As propriedades da areia que devem

ser repetidas no traçador, em estudos de movimentação de sedimentos, são a forma dos grãos, a densidade dos grãos e, obviamente, o tamanho dos grãos. O vidro moído é elaborado de modo a satisfazer estes condicionantes. O irídio a ele adicionado, por irradiação em um reator nuclear, dá ao vidro a propriedade que permite acompanhá-lo, no fundo do mar, durante o seu deslocamento: a radioatividade. O irídio é um emissor gama, de espectro relativamente amplo, com meia-vida de 74 dias; trata-se de um traçador adequado para processos de transporte de intensidade média ou pequena, que exijam tempos de acompanhamento relativamente longos.

A técnica básica de trabalho é relativamente simples. Deposita-se o vidro radioativo no local que se deseja estudar. As ações hidrodinâmicas, atuando sobre ele, espalham-no em uma certa área. Toda esta área é cuidadosamente levantada por meio de um detector de radiação - em geral, um cintilador - conduzido por um trenô rebocado por uma embarcação. A posição da embarcação é determinada, a intervalos de tempo prefixados, por um sistema de posicionamento: sextantes, teodolitos ou sistemas de radiolocalização. Cada cobertura completa da região onde está espalhado o material radioativo é denominada uma detecção. A simplicidade do método é apenas aparente. Cada trabalho apresenta características próprias, resultantes do conjunto de parâmetros que definem uma dada região. Como exemplo, os agentes hidrodinâmicos causadores do transporte têm importâncias diferentes em diferentes locais: ora a ação ondulatória predomina, ora o transporte por ação de correntes. Cada fundo tem características especiais. Em alguns casos a presença de rochas no

fundo, ou de detritos volumosos, dificultam grandemente a realização de uma detecção. Estas características diferentes de cada região estudada, enquanto impedem que os trabalhos de sedimentologia se tornem monótonos e repetitivos, exigem simultaneamente que a equipe que o executa seja bastante experiente e criativa, sendo capaz de reagir, de maneira adequada, às suas condições específicas.

Sob o efeito das ações hidrodinâmicas, o traçador espalha-se pelo fundo de maneira não uniforme. Os resultados de uma detecção consistem na determinação de algumas centenas (ou milhares) de pontos, a cada um dos quais corresponde uma certa radioatividade, definida por uma taxa de contagem. Unindo os pontos de mesma taxa de contagem por uma linha contínua, obtem-se um diagrama - assimilável a um conjunto de curvas de nível em um levantamento topográfico - denominado diagrama das curvas de isocontagem. A vantagem principal das curvas de isocontagem é facilitar a visualização dos fenômenos de transporte que estejam ocorrendo. A sua inspeção permite definir a direção de transporte (ou as direções de transporte).

A comparação de curvas correspondentes a detecções sucessivas dá indicações sobre a intensidade do transporte e, mesmo, sobre o agente hidrodinâmico predominante. A qualidade da detecção também pode ser aferida durante o processo de construção das curvas de isocontagem, já que ele exige o lançamento em carta de todas as trajetórias executadas pela embarcação e de todos os dados de taxa de contagem obtidos.

A etapa seguinte do trabalho de análise visa à quantificação das taxas de transporte. O método utilizado é conhecido como o "método do balanço das taxas de contagens", tendo sido desenvolvido pelo grupo do Commissariat à l'Energie Atomique de Saclay, por Courtois e Sauzay. O seu princípio é simples.

Em uma dada injeção, é depositada no fundo uma quantidade conhecida de material radioativo, o que corresponde a dizer que se injeta uma atividade conhecida. Para cada traçador, conhece-se previamente a resposta da sonda que vai ser utilizada durante o trabalho para uma unidade de atividade do material injetado. Como se determina esta resposta? A sonda é colocada em uma caixa de calibração contendo areia. Distribui-se uma quantidade conhecida de material radioativo na superfície da caixa, a qual é, em seguida, recoberta por uma espessura de areia z . Mede-se a taxa de contagem que a sonda fornece nestas condições. Repete-se o trabalho para diferentes espessuras z de areia recobrando o material radioativo.

Os dados obtidos permitem obter-se a resposta da sonda à uma atividade unitária, coberta por uma camada de areia de espessura z , que tem a forma

$$f = f_0 e^{-\alpha z} \quad (1)$$

Nela,

f = resposta da sonda, em contagens por segundo, para uma atividade unitária uniformemente distribuída à profundidade z .

f_0 = resposta da sonda, em contagens por segundo, a uma atividade unitária uniformemente distribuída na superfície da areia (isto é, $z = 0$).

α = coeficiente de absorção da radiação pela areia, obtido pelo ajuste dos dados experimentais à curva teórica acima.

Voltemos agora a uma dada detecção. Suponhamos que integrando todas as contagens recolhidas pela sonda ao longo da detecção, na área coberta por ela, obtivemos um valor N ($c/s \times m^2$). Se todo o material estivesse distribuído na superfície, a atividade despositada poderia ser calculada pela simples divisão de N por f_0 ($c/s/\mu c/m^2$). Esta divisão fornece a atividade injetada, ou seja, a quantidade de material radioativo depositado no fundo, em microcuries.

Durante o trabalho de campo, no caso do material radioativo estar distribuído na superfície do fundo, o valor da atividade obtido pela divisão de N por f_0 deve ser igual ao valor da atividade que foi inicialmente depositada no local do estudo. Em geral, a divisão de N por f_0 fornece um valor inferior ao da atividade injetada. A causa deste resultado é que, durante a sua movimentação pelo fundo, o material radioativo misturou-se à massa de areia em movimento. Parte do sinal que atingiria a sonda é absorvido por esta areia não radioativa, interposta entre os grãos radioativos e o detector.

Esta propriedade é a base do método do balanço

de taxas de contagem. O decréscimo no valor de N permite o cálculo da espessura média de transporte E pela expressão, demonstrável teoricamente:

$$\frac{\alpha N}{\beta f_0 A} = \frac{1 - e^{-\alpha E}}{E} \quad (2)$$

na qual A é a quantidade de material radioativo inicialmente depositada no fundo, e β um coeficiente que depende da distribuição do material radioativo em profundidade.

Lembremos que a vazão sólida de material de fundo é dada pela expressão

$$Q = \rho V_m L E \quad (3)$$

onde:

Q = vazão sólida, em toneladas/metro.dia

V_m = velocidade média de movimentação da areia

L = largura da faixa para a qual se calcula o transporte

E = espessura média de material em movimento

ρ = massa específica do material do fundo.

Para calcularmos Q , resta-nos ainda determinar V_m , já que ρ é conhecido e L é tomado, em geral, igual a $1m$.

A velocidade média de transporte V_m é calculada a partir das posições sucessivas dos centros de gravidade

das nuvens radioativas que correspondem às várias detecções. Estes centros de gravidade correspondem realmente à projeção, sobre o fundo do mar, de um "sólido" cuja base é a área em que se espalhou o traçador e cuja altura, em cada ponto, é a taxa de contagem correspondente àquele ponto.

A aplicação do método do balanço é facilitada, em sua execução prática, pelo emprego do "diagrama de transporte". O diagrama é construído do seguinte modo: integram-se as contagens correspondentes a cada linha de detecção descrita pelo barco. O valor obtido é lançado em um gráfico de modo a corresponder ao ponto em que a linha que o originou corta a direção média de transporte. O diagrama, obtido unindo os pontos correspondentes a todas as linhas de navegação por uma curva contínua, tem como área o valor de N (c/s x m^2).

Todo o trabalho acima descrito pode ser executado facilmente pela utilização de um computador. Nossa experiência demonstra, entretanto, que o emprego do computador deve ser feito com algum cuidado, evitando-se realizar a análise completa em uma só etapa. O objetivo da divisão da análise em vários passos permite detectar-se mais facilmente incorreções ou erros que tenham sido cometidos. Ela permite também a utilização de informações anotadas pela equipe de campo durante o trabalho, as quais facilitam a avaliação da qualidade dos resultados que estão sendo obtidos. Esta observação nos permite, mais uma vez, ressaltar a importância da experiência da equipe que realiza o trabalho na obtenção de resultados confiáveis. Permite-nos observar também que a aquisição de experiên

cia é um dos poucos resultados positivos - hélas - do passar dos anos.

3. CONSIDERAÇÕES INICIAIS E PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS DE INJEÇÃO E ACOMPANHAMENTO DO TRAÇADOR RADIOATIVO

Com base em considerações hidráulicas e em estudos prévios realizados na baía de Santos pelo INPH e pela própria Divisão de Radioisótopos, foram escolhidos três pontos para injeção do material radioativo (Fig. 1), conforme tabela 1:

TABELA 1 - Coordenadas Geográficas dos Pontos de Injeção de Traçador Radioativo.

PONTO	COORDENADAS	
	γ	λ
PI ₁	23°59'26,5" S	46°20'21,5" W
PI ₂	24°01'57" S	46°20'05" W
PI ₃	24°01'06" S	46°22'23,5" W

O primeiro ponto fica situado no alinhamento da entrada do estuário, logo a oeste do canal de acesso ao porto. O PI₂ fica a leste do mesmo canal, nas proximidades da Ilha das Palmas. O terceiro ponto fica situado na parte oeste da baía, a cerca de 1300m a leste da Ponta de Itaipu.

Esses valores são teóricos. Os valores reais das coordenadas, considerando o sistema UTM, são os da ta

Fig. 1

bela 2:

TABELA 2 - Coordenadas UTM dos Pontos de Injeção e das Bases utilizadas para Instalação das Antenas do Sistema Eletrônico de Posicionamento.

PONTO DE INJEÇÃO	COORDENADAS UTM	
	Norte	Leste
PI ₁	7346048	363785
PI ₂	7343206	364236
PI ₃	7343178	360338
Ed. São Domingos	7348089,95	365196,62
Ed. Sete Mares	7347054,22	360678,68

(Obs.: Referencial da Companhia Brasileira de Dragagem - CBD - Datum da Ilha da Moela).

A análise granulométrica do material que forma o piso marinho, realizada a partir de uma série de amostras de fundo colhidas em junho de 1980^[1], mostra que:

- a. o ponto de injeção PI₁, está situado numa região de fundo composto quase exclusivamente de areia fina, com diâmetro médio em torno de 0,10mm;
- b. a região do PI₂ é composta de areia e vasa. A porção de areia é também fina e com diâmetro médio de 0,10mm.

- c. PI_3 está situado numa região de fundo com posto quase que totalmente de areia fina, ficando o diâmetro médio em 0,10mm.

Essas constatações levaram à composição das curvas granulométricas do vidro moído a ser injetado em cada ponto (Figuras 2, 3 e 4). Juntamente com uma estimativa do espalhamento esperado, tais considerações levaram ao cálculo de 500g como massa de vidro ideal a injetar em cada um dos pontos.

O vidro é marcado com irídio, ativável em reator nuclear. Cada amostra foi ativada para fornecer cerca de 300 mCi de Irídio-192.

A primeira etapa do trabalho de injeções e medições radioativas, prevista para o período de inverno, foi realizada em duas campanhas e dentro dos prazos contidos na tabela 3.

O intervalo de aproximadamente 30 dias entre as campanhas de detecção é intencional, de modo a permitir que o material lançado no fundo sofra uma série mais longa de ações hidrodinâmicas.

A comparação entre os resultados obtidos durante as duas campanhas permite inferir o comportamento do material de fundo no período considerado e fazer-se boas estimativas de comportamento futuro.

DIÂME- TRO	MATERIAL RETIDO	MATERIAL QUE PASSA	% QUE PASSA
4.000			
2.830			
2.000			
1.410			
1.000			
0.710			
0.500			
0.350			
0.250			
0.177		19,95	
0.125	1,30	18,65	93,48
0.088	11,77	6,88	34,49
0.062	5,83	1,05	5,26
0.044	1,05		
0.031			
0.022			
0.016			
0.011			
0.008			
0.006			
0.004			
0.003			

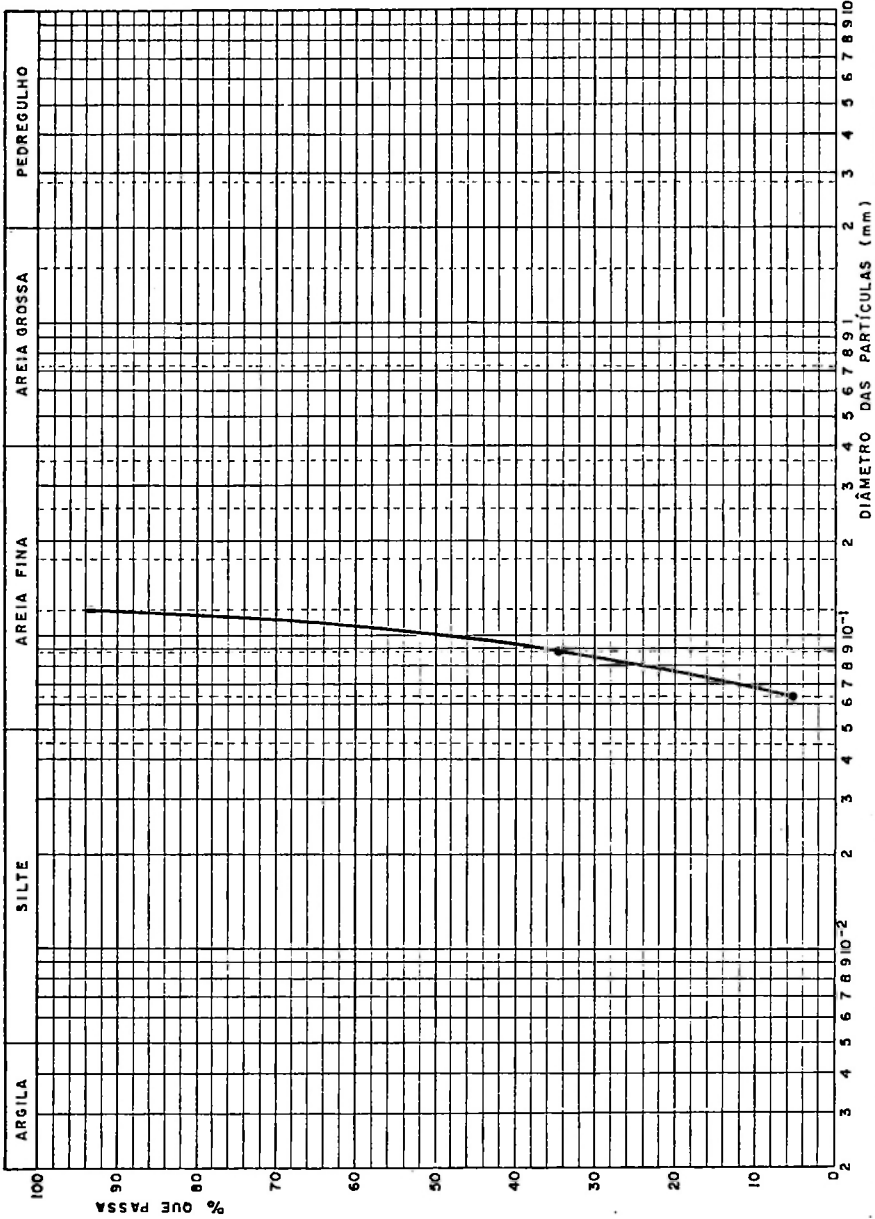


FIG. 3 (2)

CURVA GRANULOMÉTRICA DO VIDRO MOIDO INJETADO NO PONTO DE INJEÇÃO Nº1 (PI₁), REPRESENTATIVA DO MATERIAL NATURAL DO FUNDO NA REGIÃO CONSIDERADA

DIÂME- TRO	MATERIAL RETIDO	MATERIAL QUE PASSA	% QUE PASSA
4.000			
2.830			
2.000			
1.410			
1.000			
0.710			
0.500			
0.350			
0.250			
0.177		19,96	
0.125	0,19	19,77	99,05
0.088	11,64	8,13	40,73
0.062	6,97	1,16	5,81
0.044	1,16		
0.031			
0.022			
0.016			
0.011			
0.008			
0.006			
0.004			
0.003			

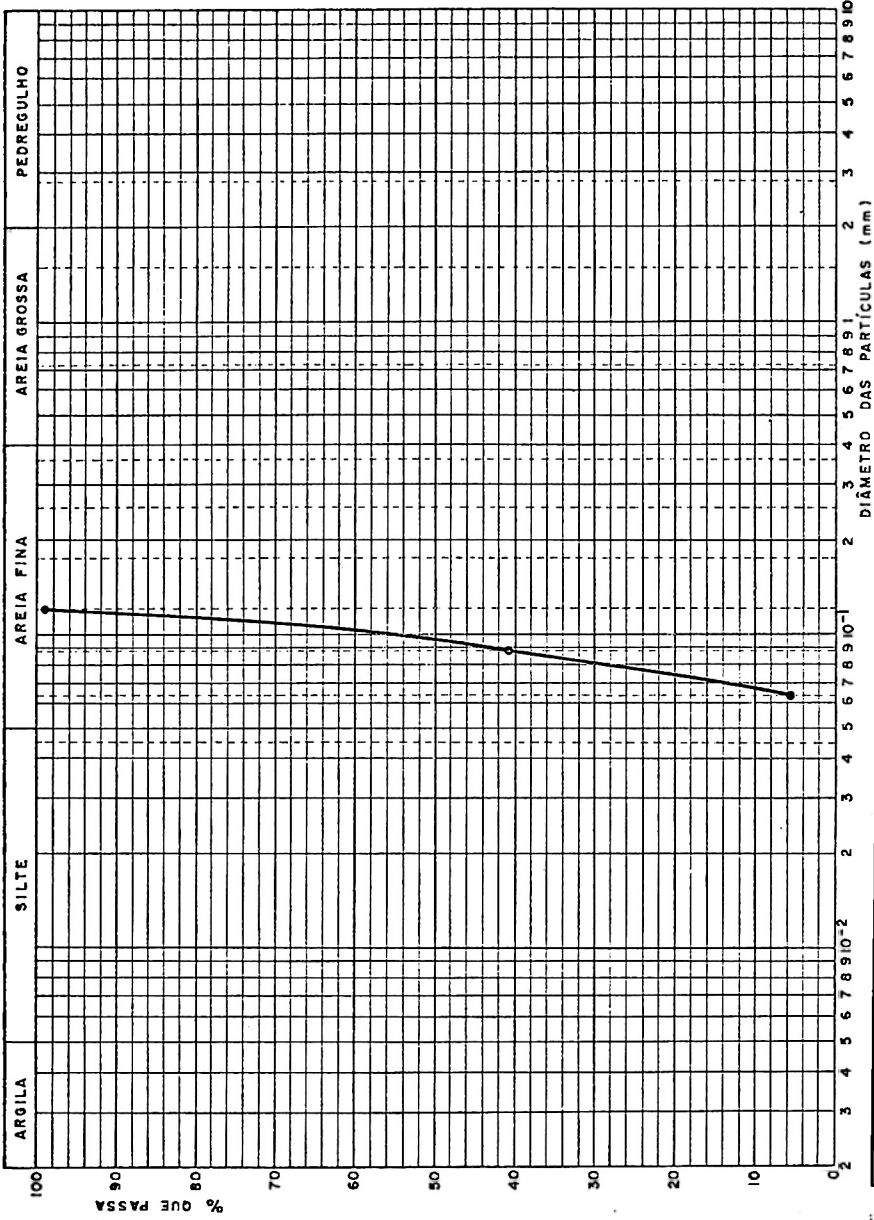


FIG. 4 (2)

CURVA GRANULOMÉTRICA DO VIDRO MOIDO INJETADO NO PONTO DE INJEÇÃO Nº2 (PI₂), REPRESENTATIVA DO MATERIAL NATURAL DO FUNDO NA REGIÃO CONSIDERADA

DIÂMETRO	MATERIAL RETIDO	MATERIAL QUE PASSA	% QUE PASSA
4.000			
2.830			
2.000			
1.410			
1.000			
0.710			
0.500			
0.350			
0.250			
0.177		20,04	
0.125	0,33	19,71	98,35
0.088	14,13	5,58	27,84
0.062	4,62	0,96	4,79
0.044	0,96		
0.031			
0.022			
0.016			
0.011			
0.008			
0.006			
0.004			
0.003			

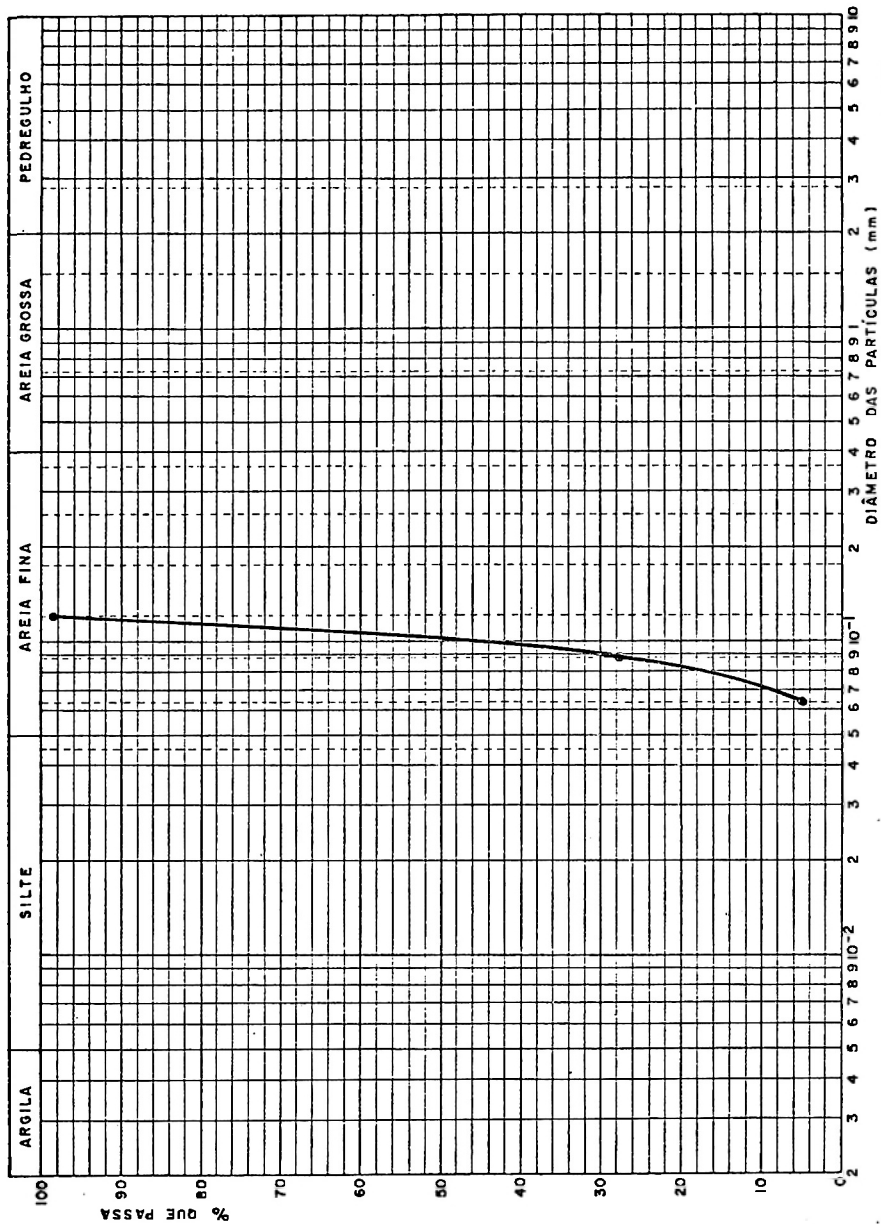


FIG. 5 (4)

CURVA GRANULOMÉTRICA DO VIDRO MOIDO INJETADO NO PONTO DE INJEÇÃO Nº 3 (PI₃), REPRESENTATIVA DO MATERIAL NATURAL DO FUNDO NA REGIÃO CONSIDERADA

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

TABELA 3 - TRABALHOS DE CAMPO EM SANTOS. SEDIMENTOLOGIA DE FUNDO.

4. O TRABALHO DE CAMPO: NAVEGAÇÃO, EQUIPAMENTOS,
COLETA DE DADOS

A injeção do material radioativo em cada um dos três pontos escolhidos foi feita com injetor desenvolvido na Divisão de Radioisótopos. Nele é colocado o material radioativo, que é lançado na água através da abertura do fundo do injetor, feita por um sistema de cabo, na profundidade em que se deseja injetar o material.

Após cada injeção, é feita uma detecção no local, chamada de "mise-en-place", que permite verificar se a injeção foi bem feita e se há alguma tendência inicial de movimento.

Todas as detecções foram feitas com o barco camaroneiro "Gaúcho I", de aproximadamente 12m de comprimento por 4m de boca.

A navegação é orientada por um sistema de posicionamento eletrônico, com estação-mãe fixada no barco e duas estações refletoras em bases em terra. Em Santos, em particular, uma delas foi instalada no Edifício São Domingos e a outra no Edifício Sete Mares, este na Ilha Porchat, conforme consta na tabela 2.

A cada 30 segundos toma-se a posição do barco e faz-se, paralelamente, a plotagem da navegação, com o fim de se orientar o barco para a perfeita cobertura da nuvem radioativa.

O barco arrasta uma espécie de trenó, que viaja na superfície do fundo e que conduz um detetor para transmitir as informações sobre a atividade encontrada. Esse é um detetor de cintilação SPP3 com cristal de NaI (com Tálcio), ligado a um medidor de taxas de contagem tipo SRAT e a um registrador gráfico Moseley. O conjunto eletrônico para contagem de impulsos inclui ainda escalímetros totalizadores e impressora.

Procura-se obter linhas de navegação retas e paralelas entre si, perpendiculares ao eixo de transporte, o qual é definido como a direção preferencial de movimento. O afastamento entre linhas varia com as necessidades surgidas em cada deteção. Normalmente são mais próximas (em torno de 10m) nas regiões mais ativas (próximas ao pico de atividade).

Faz-se a bordo um diagrama de transporte preliminar que possibilita orientar a navegação, fornecendo informações iniciais sobre a movimentação da nuvem, a posição do pico e a necessidade de melhor cobertura de determinada região.

5. O TRABALHO DE ANÁLISE DOS DADOS DE CAMPO

Os dados de navegação e de contagem são analisados em escritório, seguindo-se uma metodologia desenvolvida na DIRAD.

Todos os valores de contagem são tratados por correções que compensam a existência de atividade natural, o decaimento radioativo do traçador e a eficiência da sonda utilizada, em comparação com outra tomada como padrão. Normalizam-se também os valores de contagem trecho-a-trecho para a velocidade da embarcação e, conseqüentemente do trenó de detecção, de 1,0 m/s.

Corrige-se também a posição da sonda a cada 30s pelo conhecimento da profundidade do local e do comprimento do cabo que arrasta o trenó, já que a posição fornecida pelo sistema de radiolocalização refere-se ao barco e não ao trenó que transporta a sonda.

Cada trajetória da sonda é corrigida para a melhor reta que possa representá-la, de modo que as posições das contagens integradas em cada trecho possam ser somadas ao final de cada linha e usadas como ordenadas do diagrama de transporte, após a correção da inclinação da linha em relação ao eixo de transporte.

As curvas de isocontagem dão uma excelente idéia, em planta, de como se espalha a nuvem radioativa, bem como da direção preferencial desse espalhamento.

O diagrama de transporte é a curva de correspondência entre as contagens totais corrigidas das linhas e o ponto em que cada uma das linhas corta a direção de transporte. A área sob a curva representa a recuperação total da atividade conseguida numa determinada deteção e é usada no cálculo da espessura de transporte.

Além disso, vários diagramas de transporte, contruídos para uma dada injeção, a partir de detecções sucessivas, permitem conhecer a velocidade média de deslocamento da nuvem, através da comparação dos deslocamentos dos centros de gravidade das nuvens obtidas em cada deteção.

6. ANÁLISE DOS DADOS DE CAMPO DE SANTOS

6.1 Estudo do Comportamento do Material de Fundo na Região do Ponto de Injeção PI_1 .

O material radioativo foi lançado de cerca de 3,0m do fundo. Na hora do lançamento, 14:23h, estava-se em início de enchente, de acordo com a Tábua de Marés da DHN para o Porto de Santos. O vento era fraco e as ondas, com altura inferior a 0,5m, vinham de S-SSE, conforme observado do barco Gaúcho I. Tomou-se como 8,0m a profundidade na região.

A detecção de "mise-en-place" permitiu estabelecer um eixo de transporte na direção N-NNW.

A primeira detecção em PI_1 , realizada no dia seguinte ao da injeção, 03/08/80, mostrou que a maior parte do material achava-se concentrado próximo do ponto de lançamento, ficando os pontos de maior atividade a um máximo de 30m do PI_1 , na direção N-NNW. Houve espalhamento de atividade até uma distância, na direção mencionada, de aproximados 440m do PI_1 . Esse espalhamento inicial pode ser explicado pela ação das ondas de S-SSE quando da injeção, tendo o material se deslocado pelo efeito da corrente de transporte de massa, de natureza ondulatória.

De qualquer modo, a recuperação da atividade da nuvem (integração da área sob o diagrama de transporte) foi pequena, da ordem de $5,65 \times 10^6$ cps \times m², o que mostra a dificuldade de se encontrar o pico da nuvem quando con

centrado numa pequena região. O diagrama de transporte dessa região é a figura 5.

A segunda detecção na região do PI_1 , realizada em 06/08/80, confirma as informações qualitativas obtidas na 1a. detecção. Encontrou-se atividade, baixa é verdade, a até 480m do ponto de injeção na direção N-NNW. O material continuava concentrado, a 36m do PI_1 , mas a recuperação aumentou para $7,10 \times 10^6$ cps x m^2 devido à obtenção de um pico maior de atividade (em torno de 70000 cps x m) e também ao maior comprimento da nuvem. Pode-se tomar um deslocamento de 6,0m do centro de gravidade da nuvem da 2a. de teção em relação à nuvem da 1a. detecção, sempre na direção N-NNW. Na figura 6, está o diagrama de transporte da 2a. detecção.

A detecção do dia 11/08/80, a última feita na região do PI_1 , durante a 1a. campanha, permitiu obter um pico ainda mais elevado, da ordem de 88000 cps x m, integrado ao longo da linha que passa a 34m do PI_1 . A forma do diagrama é a mesma dos diagramas anteriores, caracterizando uma distribuição de atividade semelhante às já obtidas. A recuperação de atividade aumentou para $7,53 \times 10^6$ cps x m^2 devido à melhor cobertura da zona ativa; pode-se tomar um deslocamento do centro de gravidade dessa nuvem em relação à primeira de 12m. A figura 7 mostra o diagrama de transporte dessa detecção.

Os dados colhidos e analisados nesta primeira campanha levam a concluir que há uma real tendência de deslocamento do material do fundo para a praia, na direção N-NNW e que esse deslocamento é relativamente rápido, ten

Fig.

5, 6 e 7

do em vista que, no período de oito dias os centros de gravidade da primeira e da última nuvens se distanciaram mais que 12m. As ondas de S-SSE parecem ser o principal agente causador de tal movimentação.

Apenas como indicação de ordem de grandeza do transporte, os dados referentes ao período entre a 1a. e a 3a. detecções da 1a. campanha fornecem uma vazão sólida de fundo da ordem de 0,28 t/m x dia.

Decorrido um prazo de 46 dias, contado da primeira injeção, iniciou-se a segunda campanha de inverno com a primeira detecção na região do PI_1 , em 17/09/80.

Nesse período frentes frias se abateram sobre Santos, trazendo vento e chuvas e agitando de forma vigorosa as águas da baía.

Afora o fato da direção predominante de transporte continuar sendo a N-NNW, o comportamento do material radioativo no fundo parece diferir em alguns aspectos do que inicialmente se constatou.

Encontrou-se uma nuvem com dois picos de atividade, um em torno de 24500 cps x m e outro com 26500 cps x m, distando algo entre 70 e 80m entre si.

A presença dos dois picos pode ser explicada por um fenômeno misto de enterramento e misturamento do radioisótopo, na região de maior atividade, com a areia do fundo. Isto deve ocorrer sempre, para que o deslocamento do traçador seja representativo do movimento da areia. Após

um recobrimento inicial por material do fundo, o traçador começou a movimentar-se mais rapidamente sob a ação mais intensa dos temporais de inverno. Toda a nuvem se moveu, o que pode ser visto comparando-se os picos dos diagramas de transporte correspondentes às duas campanhas: o pico se desloca como um todo. Entretanto, o material mais superficial se deslocou mais rapidamente que o material mais enterrado, dando origem ao segundo pico que aparece nos diagramas de transporte da 2a. campanha de detecção.

De qualquer modo a recuperação da atividade no presente caso foi bem menor que a recuperação na última detecção da campanha anterior. Desta feita conseguiu-se $5,54 \times 10^6$ cps x m².

Uma outra constatação é a de que a nuvem radioativa expandiu-se na largura, com um visível espalhamento de grãos radioativos na direção oeste, o que pode mostrar uma componente nesta direção agindo sobre a nuvem; esta componente poderia ser resultante de uma combinação do efeito de ondas com a ação de correntes de maré vazante.

A projeção do centro de gravidade dessa nuvem sobre o eixo de transporte dista agora 48,0m da projeção obtida na 1a. detecção da 1a. campanha.

A figura 8 mostra as curvas de iso-contagens para a detecção de 17/09/80 e a figura 9 o diagrama de transporte para a mesma detecção.

Cinco dias após, em 22/09/80, foi feita a última detecção em PI₁.

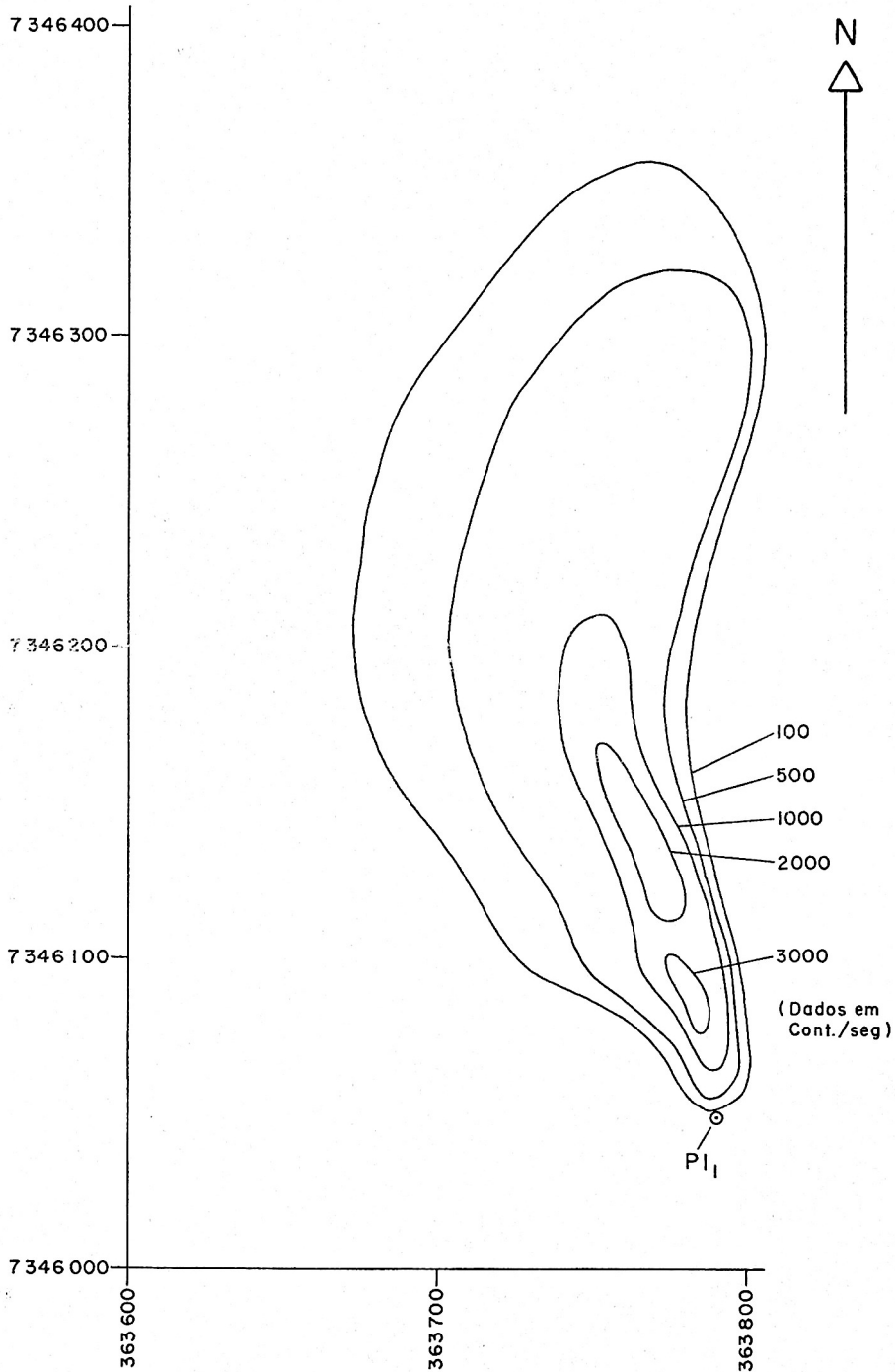


FIG. 8

CURVAS DE ISOCONTAGEM

1a. DETEÇÃO - PI₁

17/09/80

2a. Campanha

Fig.

9

Os resultados obtidos confirmam o que havia sido delineado anteriormente.

A nuvem alargada na direção oeste (ver figura 10) e a presença de dois picos, conforme a figura 11, são bastante semelhantes à nuvem e ao diagrama de transporte anteriores.

A recuperação da atividade diminuiu um pouco, caindo para cerca de $4,65 \times 10^6$ cps x m^2 , notando-se picos um pouco mais estreitos e distantes entre si cerca de 50m.

A distância entre o centro de gravidade dessa nuvem e a da detecção de 03/08/80, tomada como base de comparação, é de 64m.

Tendo em vista o exposto, algumas conclusões podem ser obtidas quanto ao comportamento do material do fundo na região em PI_1 .

Em primeiro lugar é nítido o caminhamento do material para a costa, na direção N-NNW por força certamente das ondas de S-SSE que adentram a baía.

A seguir pode-se dizer que há uma outra componente, que poderá ser a ação de correntes, que tende a agir sobre a nuvem, espalhando-a na direção aproximadamente oeste.

Se tomarmos a primeira detecção, em 03/08/80 e a última, em 22/09/80, e considerarmos que entre elas decor

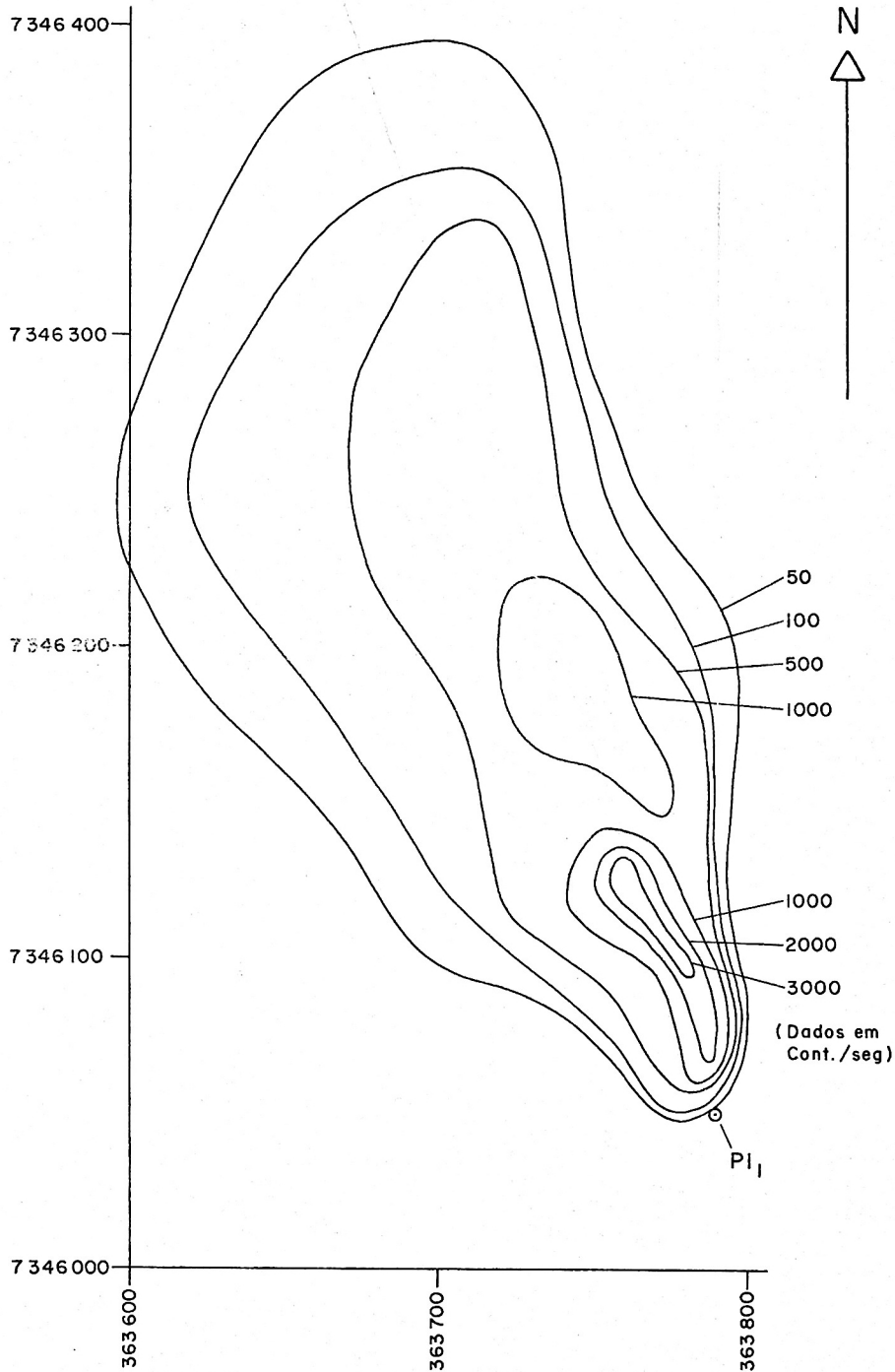


FIG. 10

CURVAS DE ISOCONTAGEM

2a. DETEÇÃO - PI₁

22/09/80

2a. Campanha

Fig.

c 18

reu um período de 50 dias e se observarmos que a distância entre os centros de gravidade dessas nuvens é de 64m, podemos estimar que o movimento nesse período se deu a uma taxa de ~ 1,30m/dia.

Aplicando a fórmula clássica para o cálculo da vazão mássica por arraste do material sólido pode-se obter uma boa estimativa do transporte na região em estudo.

A fórmula para cálculo da vazão é

$$Q = \rho L V_m E \quad (4)$$

onde:

Q = vazão mássica

ρ = densidade aparente do material de fundo

L = distância transversal através da qual se dá o arraste do material

V_m = velocidade média de transporte

E = espessura de transporte.

Para o caso em apreço tomaremos os seguintes valores:

$$\rho = 1,65 \text{ t/m}^3$$

$$L = 1,0\text{m}$$

$$V_m = 1,30\text{m/dia}$$

Adotando-se um valor de N da ordem de $5,5 \times 10^6$ cps x m², obtem-se E = 19cm e

$$Q = 1,65 \frac{t}{m^3} \times 1,30 \frac{m}{dia} \times 0,19m$$

$$\approx 0,41 \text{ t/dia/m} \text{ ou } 0,24 \text{ m}^3/\text{m} \times \text{dia}$$

O valor obtido para a vazão mássica indica um transporte considerável de sólidos.

Tal ordem de grandeza para o transporte é bastante razoável, no entanto, se considerarmos que o material no fundo é bem fino e, estando a uma profundidade pequena em relação à altura das ondas observadas no período - ondas de 3,0m não são raras - sofre considerável ação desse agente no sentido de ser deslocado para a costa. Entretanto, o valor obtido para a espessura de transporte é bastante grande. Ele resultou de uma estimativa de atividade injetada A = 300 mCi, o que foi realmente o valor pedido à equipe do reator nuclear que ativou o material.

Deve-se, porém, levar em conta que o volume e a massa da amostra são relativamente grandes, causando normalmente uma depressão no fluxo de neutrons que a atinge, o que resulta em valores efetivos de atividade inferiores aos solicitados.

Uma estimativa, por falta da vazão sólida, pode ser feita a partir da recuperação obtida na detecção de 11/08, que foi de N = $7,53 \times 10^6$ cps x m². Supondo-se que,

nesta data, a distribuição do material radioativo ainda era superficial, a atividade correspondente pode ser obtida dividindo-se o valor de N por f_0

$$A = \frac{7,53 \times 10^6}{50} = 151000 \text{ } \mu\text{Ci}$$

Supondo-se que a atividade injetada foi de 151 mCi, obtem-se pela aplicação do método do balanço, uma espessura de transporte da ordem de 6,8cm. Neste caso, a vazão sólida seria

$$Q = 1,65 \text{ t/m}^3 \times 1,3 \text{ m/dia} \times 1\text{m} \times 0,07\text{m} = 0,15 \text{ t/m} \times \text{dia}$$

ou seja, cerca de $0,1 \text{ m}^3/\text{m} \times \text{dia}$.

O valor real de transporte na região do PI_1 deve estar situado entre estes valores: $0,40 \text{ t/m} \times \text{dia}$ e $0,15 \text{ t/m} \times \text{dia}$. O valor médio seria da ordem de $0,27 \text{ t/m} \times \text{dia}$, ou seja, $0,17 \text{ m}^3/\text{m} \times \text{dia}$.

6.2 Estudo do Comportamento do Material de Fundo na Região do Ponto de Injeção PI_2

Injetou-se o vidro marcado com Irídio ativado a uma altura de 0,50m do fundo. A profundidade na região foi tomada como sendo de 13,0m.

A injeção foi feita mais próxima ao fundo para e

vidar que um eventual espalhamento em grande escala viesse a dificultar o trabalho de detecção já que nas imediações do ponto escolhido fundeia grande número de navios.

O ponto de injeção PI_2 fica a SW da Ilha das Palmas e o lançamento do material radioativo foi feito às 13:42h, em 07/08/80, praticamente em estofa de preamar.

A detecção de "mise-en-place", realizada logo após a injeção mostrou um certo espalhamento do material radioativo na direção S-SW. Como não havia ondas, esse espalhamento inicial pode ser atribuído às correntes de maré no início da vazante.

A primeira detecção na região do PI_2 veio confirmar o fato acima mencionado. Realizada no dia seguinte, 08/08/80, mostrou que o material radioativo encontrava-se fortemente concentrado em torno do PI_2 , mas achou-se atividade a 250m do ponto de injeção, na direção S-SW. A figura 12, que é o diagrama de transporte dessa detecção, esclarece esse aspecto.

Realizada em 12/08/80, a segunda detecção mostrou que o material radioativo continuava concentrado em torno do pico da detecção anterior, mas já não se achou atividade tão a S-SW como da outra vez, encontrando-se mais atividade a N-NW do ponto de injeção, um sinal de que a tendência de movimento iria se inverter.

Por sinal essa detecção foi feita em mar agitado, com vento SE, chuva e ondas superiores a 2,0m de altura.

Fig.

12

Decorridos 42 dias da injeção foi feita, em 18/09/80, nova detecção na região do PI₂, na 2a. campanha dos trabalhos de inverno.

Aquí, o que era um esboço da mudança do sentido de movimentação sugerido no último trabalho de detecção, confirmou-se. O material após sofrer as ações hidrodinâmicas integradas ao longo de um grande período de tempo desloca-se para dentro da baía, apesar de o fazer numa taxa menor que o material da região do PI₁, dada a maior profundidade da região.

Entre os dias 08/08/80 e 18/09/80, o centro de gravidade da nuvem radioativa percorreu 29,0m numa direção praticamente norte, o que dá uma taxa de movimentação de $29/41 = 0,71$ m/dia.

A figura 13, representando as curvas de isotagem dessa detecção, indica um movimento francamente N-NW da nuvem, tendo-se encontrado atividade a uns 240m do PI₂.

A recuperação da atividade foi muito inferior à recuperação obtida em 08/08/80. Enquanto na 1a. detecção da 1a. campanha obteve-se $7,20 \times 10^6$ cps x m², a detecção de 18/09/80 apresentou recuperação de $1,65 \times 10^6$ cps x m², mostrando que o pico não foi detetado.

Para corrigir tal problema pode-se tomar como pico dessa detecção o pico da detecção anterior corrigido do decaimento radioativo, o que daria uma recuperação em torno de $1,85 \times 10^6$ cps x m². Esse valor, ainda muito inferior ao obtido na primeira detecção é indicativo de um forte enterramento da nuvem.

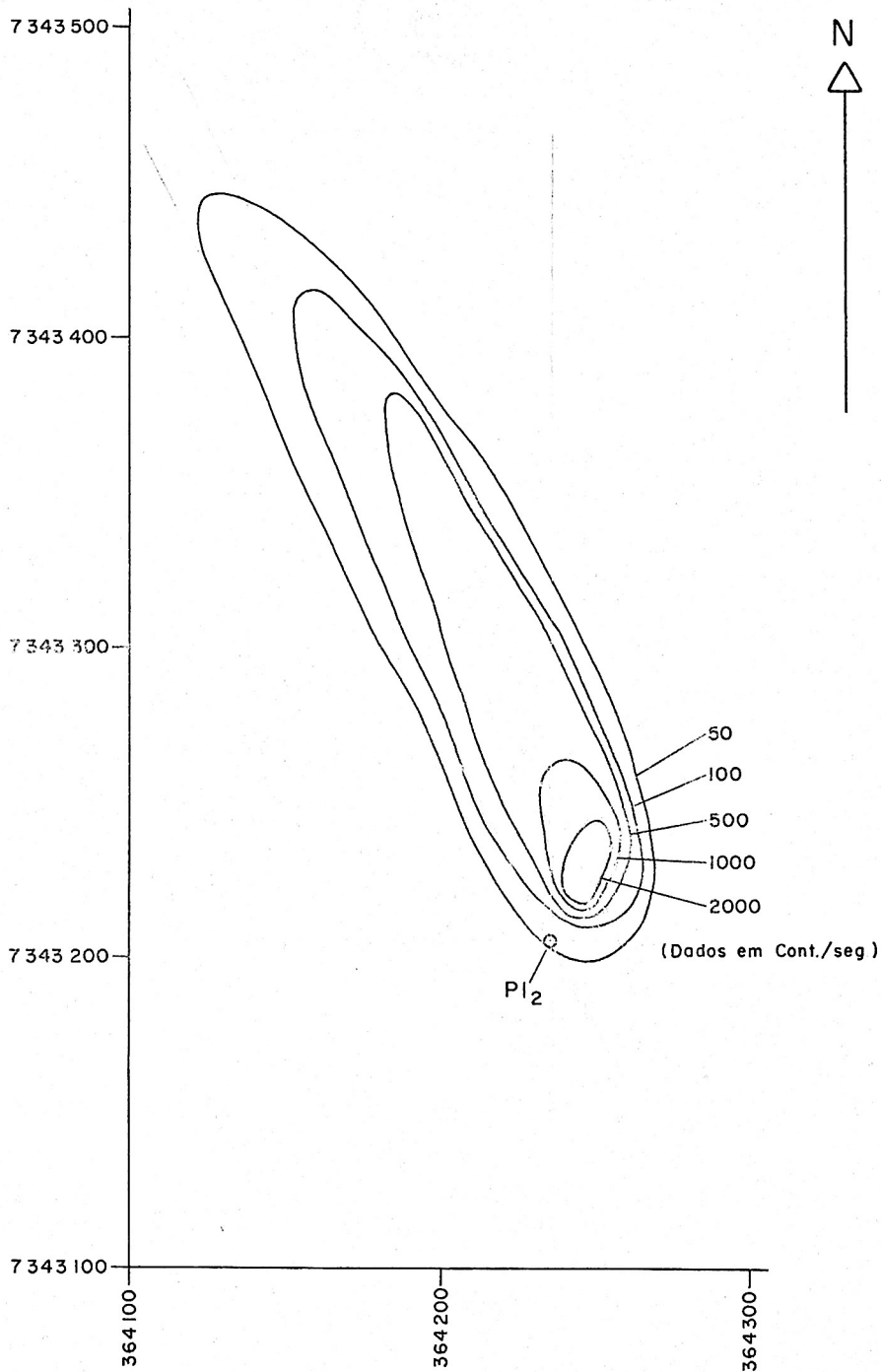


FIG. 13
CURVAS DE ISOCONTAGEM
1a. DETEÇÃO - PI_2
18/09/80
2a. Campanha

Entretanto, a detecção do dia 19/09/80 foi de excelente qualidade, obtendo-se uma cobertura da nuvem radioativa bastante completa.

Parece ter havido um recobrimento do material por areia no período inicial do trabalho, o que faz com que nem todo ele participe do movimento. Se for utilizada a recuperação obtida em 18/09/80 para o cálculo da espessura de transporte, para uma atividade injetada de 300 mCi, chega-se a valores da espessura média de transporte de 50cm, o que é evidentemente exagerado.

Se deduzirmos a atividade injetada da recuperação obtida em 08/08, chega-se a $A = 144$ mCi, supondo-se uma distribuição superficial de atividade. Para esta atividade, obtém-se uma espessura média de transporte ainda grande: $E = 0,3m$. Para ela, a vazão mássica calculada entre 08/08 e 18/09/80 é da ordem de $0,35$ t/m x dia ou $0,21$ m³/m x dia. Estes valores são comparáveis aos obtidos no primeiro ponto de injeção, em ordem de grandeza.

Tendo em vista os resultados obtidos pode-se ter algumas considerações sobre o comportamento do material de fundo na região do PI₂.

O deslocamento do material se faz principalmente por ação das ondas incidentes de S-SSE, ação essa bastante crítica durante o período em estudo. O material se desloca para N-NNW, com mais tendência para norte, isto é, em direção à praia, podendo vir a ser fator de assoreamento do canal de acesso ao porto.

O material no fundo nessa região é fino e pode, portanto, ser movimentado em escala avultada pela ação das ondas, daí resultando o valor de vazão mássica relativamente elevado, da ordem de 350kg/m x dia.

6.3 Estudo do Comportamento do Material de Fundo na Região do Ponto de Injeção PI₃

O material radioativo foi lançado a 1,0m do fundo, no dia 05/08/80 à 14:45h.

No momento da injeção a maré estava em fase de vazante, com fluxo paralelo à costa de Itaipu. Além disso não havia ondas altas de modo que, aliados ao lançamento a 1,0m do fundo, colocando material em suspensão, esses fatores podem explicar a movimentação inicial SSW do material ativo que, na detecção de "mise-en-place", chegou a ser encontrado, em pequena quantidade, a até 300m do PI₃.

Para efeito de análise considerou-se a região com uma profundidade média de 11,0m.

No dia seguinte, 06/08/80, foi realizada a primeira detecção do PI₃ na primeira campanha.

Já não se encontrou mais atividade tão distante do PI₃ como acontecera na véspera. Ficou mesmo assim caracterizado um pequeno espalhamento para SSW, acompanhando o sentido da corrente de vazante predominante quando da in

jeção. O material apresentava-se fortemente concentrado em torno do PI_3 , o que pode ser visto na figura 14, que representa o diagrama de transporte dessa detecção. Ali aparece um pico agudo, estreito, com caudas curtas, com alguma tendência para SSW. O pico atingido tinha 178000 cps x m e a recuperação de atividade, ou área sob a curva do diagrama de transporte foi da ordem de $4,60 \times 10^6$ cps x m².

As condições enunciadas praticamente não mudam quando da análise dos resultados obtidos na segunda detecção, em 11/08/80. O centro de gravidade dessa nuvem distancia-se do primeiro de 3,0m, o que pode ser atribuído a aproximações durante o processamento dos dados.

O material continua ainda fortemente concentrado em torno do PI_3 , conforme figura 15. Dessa vez atingiu-se um pico maior, da ordem de 210000 cps x m o que certamente contribuiu para elevar a recuperação da atividade para $5,40 \times 10^6$ cps x m².

Decorridos 44 dias da primeira detecção os resultados apresentados após a análise dos dados colhidos na detecção de 19/09/80 mostram um quadro que pode ser considerado algo diferente do anterior.

O que se achou de material ativo a SSW do PI_3 estava a uns meros 18,0m do ponto. Ainda havia grande concentração de material próximo ao PI_3 , mas achou-se um pico de somente 40000 cps x m. Praticamente todo o material havia se deslocado para NNE e para E, espalhamento esse mostrado na figura 16, que representa as curvas de iso-contagem para essa detecção.

fis.

14,

Esc. vert.: 1cm = 10000 cps x m

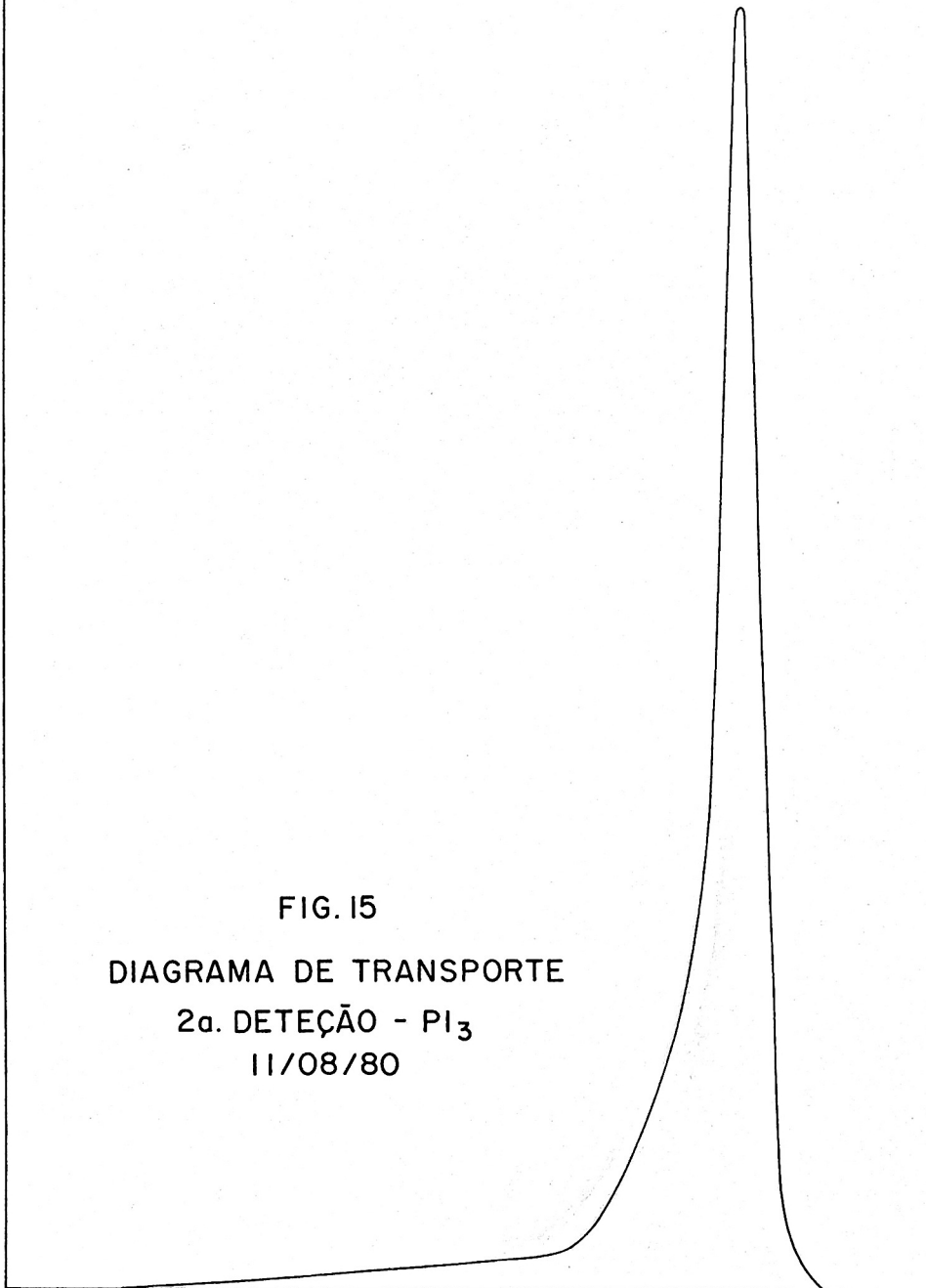


FIG. 15
DIAGRAMA DE TRANSPORTE
2a. DETEÇÃO - PI_3
11/08/80

Esc. hor.: 1cm = 20m

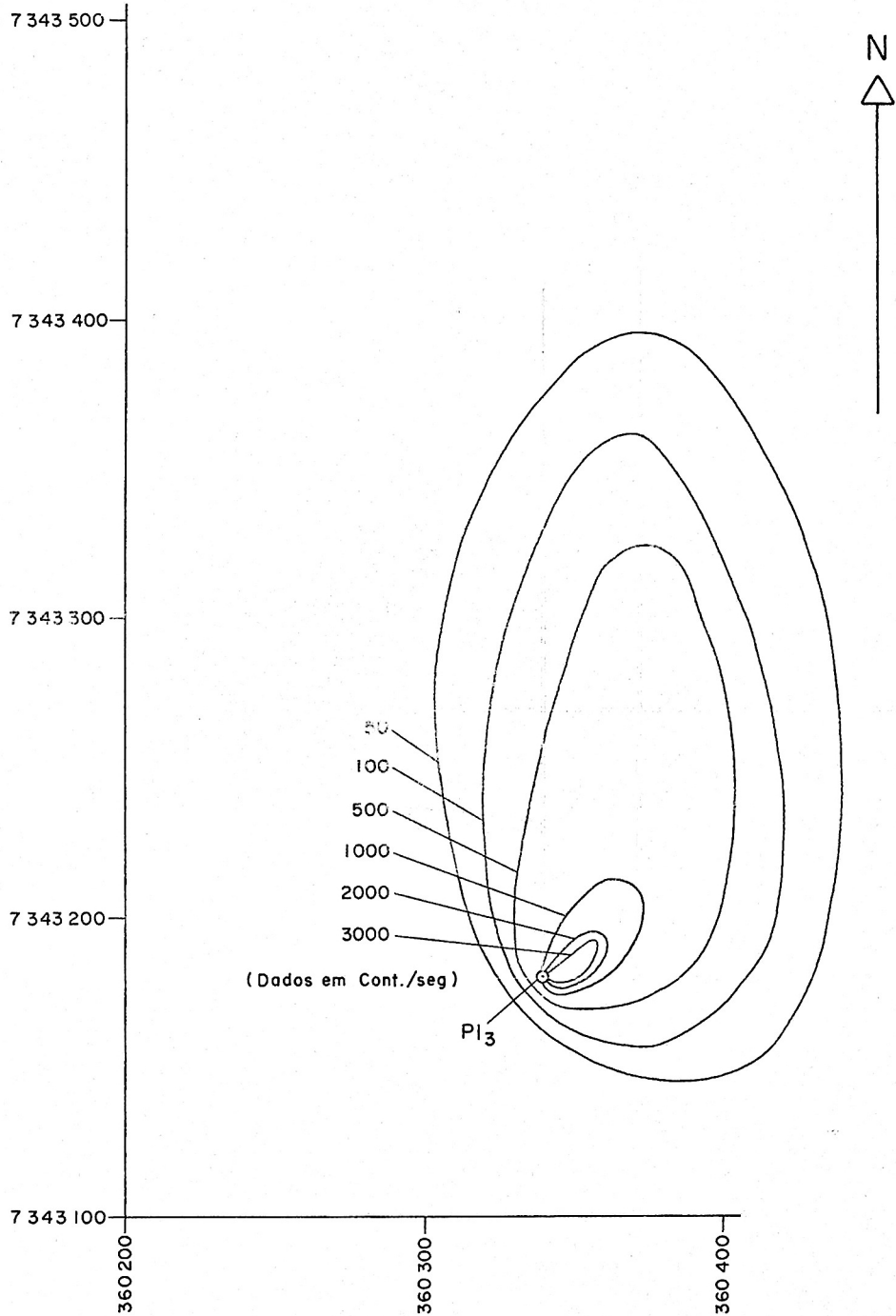


FIG. 16

CURVAS DE ISOCONTAGEM

1a. DETEÇÃO - PI₃

19/09/80

2a. Campanha

Pode-se encontrar atividade a 210m a NNE do PI_3 e o centro de gravidade da nuvem radioativa apresentou um afastamento de 24,0m para NNE do centro de gravidade da primeira detecção.

A atividade recuperada caiu para $1,83 \times 10^6$ cps x m^2 indicando enterramento da nuvem; a forma do diagrama de transporte pode ser vista na figura 17.

Parece haver, assim, duas componentes agindo sobre o material no fundo. Uma que tende a deslocá-lo para NNE e outra que tende a espalhá-lo para E. Este movimento pode resultar de uma combinação do efeito das ondas incidentes do quadrante sul com as ondas refletidas na costa rochosa de Itaipu, e a possível dominância das correntes junto ao fundo na fase de enchente da maré, nesta região.

Se adotarmos, ainda neste caso, uma atividade injetada da ordem de 110 mCi, deduzida da recuperação obtida na 1.ª detecção da 1.ª campanha, obtem-se, pela aplicação do método do balanço, uma espessura de transporte da ordem de 22cm. Dela resulta uma vazão mássica

$$Q = 1,65 \frac{t}{m^3} \times 0,55 \frac{m}{d} \times 0,22m =$$

$$= 0,20 \text{ t/m} \times \text{dia}$$

ou seja, cerca de $0,12 \text{ m}^3/\text{m} \times \text{dia}$.

Esc. vert.: 1 cm = 2000 cps x m

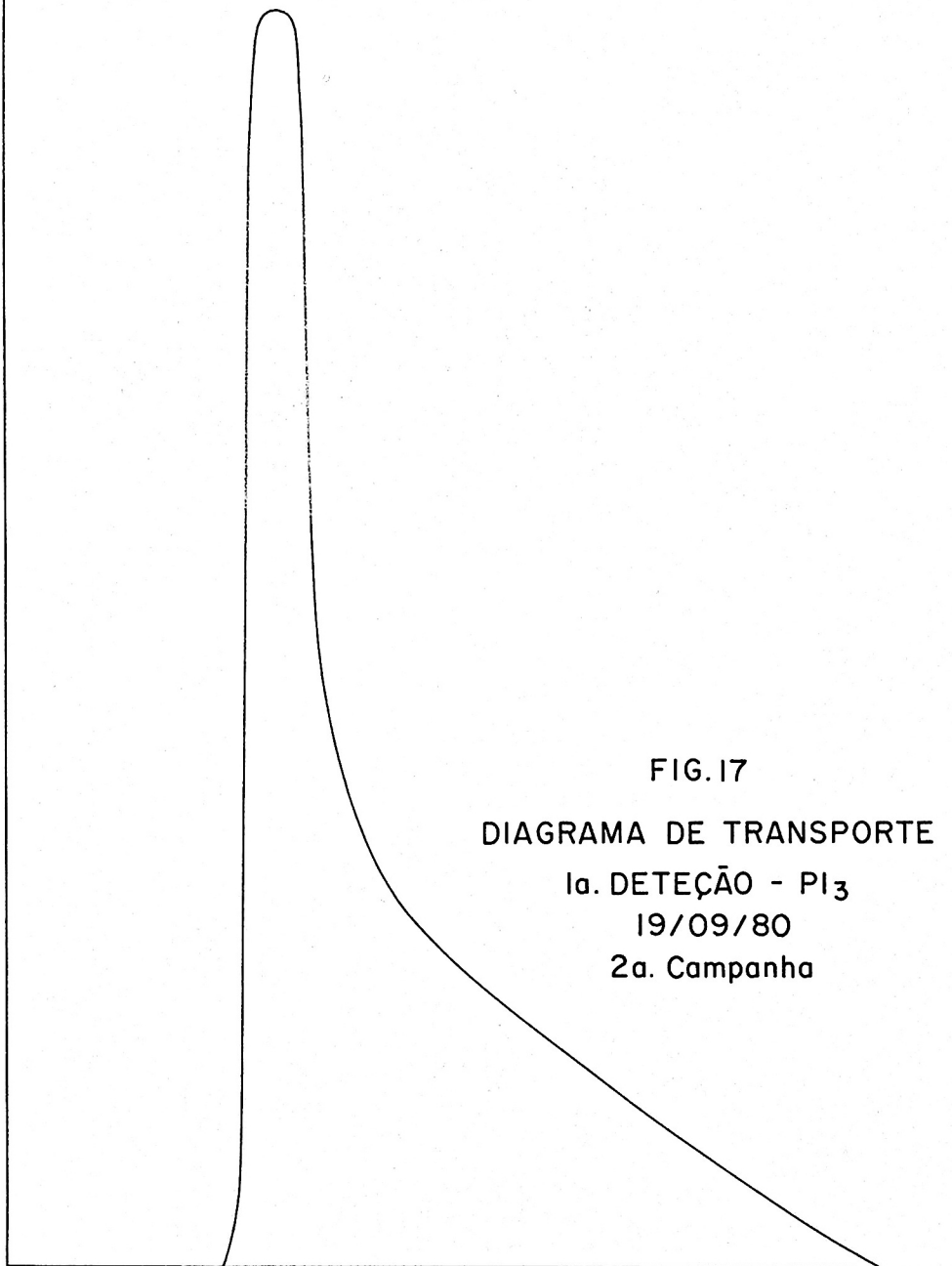


FIG.17
DIAGRAMA DE TRANSPORTE
1a. DETEÇÃO - PI₃
19/09/80
2a. Campanha

Esc. hor. : 1 cm = 20 m

Conclui-se, portanto, pela existência de razoável movimentação de material na região do PI_3 , na direção básica NNE, com algum espalhamento para E, quantificado em cerca de 0,20 t/m x dia. O material da área, areia fina, tende a penetrar na baía.

Uma interpretação mais completa dos resultados encontrados durante o trabalho, em função dos agentes hidrodinâmicos atuantes no período, será apresentada no relatório referente às medições hidráulicas e meteorológicas realizadas no decorrer das campanhas de detecção de traçadores.

7. CONCLUSÃO

Os trabalhos de campo realizados na região do primeiro ponto de injeção, PI_1 , e a respectiva análise dos dados então colhidos levam a concluir que, no período compreendido entre as duas campanhas de detecção, o material injetado em 02/08/80 apresentou um deslocamento relativamente rápido, na direção N-NW. Esse deslocamento poderá ser creditado às ondas de S-SE que incidem na baía e transportam o material de fundo em direção à praia, numa região de profundidade pequena em relação à altura das ondas incidentes. A taxa de transporte estará compreendida entre 0,40 t/m x dia e 0,15 t/m x dia, podendo-se admitir uma taxa média de 0,27 t/m x dia ou 0,17 m³/m x dia.

Quanto à região do segundo ponto de injeção pode-se dizer que aqui também as ondas incidentes de S-SE, cuja ação foi bastante crítica durante o período em estudo devido à ocorrência de frentes frias, podem ser o fator principal de colocação do material de fundo em suspensão. Esse efeito, combinado com as correntes de maré enchente, causaria o deslocamento do material de fundo para N-NW, com tendência mais acentuada para N a uma taxa também razoável de 0,35 t/m x dia.

Na região do PI_3 duas componentes parecem atuar sobre o material do fundo. Uma componente tenderia a deslocá-lo para NNE e outra, a espalhá-lo para E. Tal movimento poderia resultar de uma combinação do efeito das ondas incidentes do quadrante sul com as ondas refletidas na costa rochosa de Itaipu, e a possível dominância das correntes junto ao fundo na fase de enchente da maré, nes

ta região. A vazão mássica tem a ordem de grandeza de 0,20 t/m x dia e a areia fina da região tende, portanto, a ser deslocada para dentro da baía.

./jms.

REFRÊNCIA

- 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.