

MOVIMENTAÇÃO DO SEDIMENTO DE FUNDO NA BAÍA
DE SANTOS - ESTUDOS COM O TRAÇADOR
INJETADO NO VERÃO

Divisão de Engenharia Ambiental/DERL.PD
- Outubro/1981 -
DERL.PD-035/81



MOVIMENTAÇÃO DO SEDIMENTO DE FUNDO NA BAÍA
DE SANTOS - ESTUDOS COM O TRAÇADOR
INJETADO NO VERÃO

AUTORES

Virgílio Lopardi Bomtempo
Jefferson Vianna Bandeira
Pedro Edmundo Aun

EQUIPE DE CAMPO

Jefferson Vianna Bandeira
Antônio Fioravante Neto
Ladislau Miranda Ferreira
Lécio Hannas Salim
Namir de Souza Vieira
Ricardo da Silva Gomes
Virgílio Lopardi Bomtempo

EQUIPE DE ANÁLISE

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

DIVISÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CDTN - NUCLEBRÁS
- Outubro/1981 -



ÍNDICE

Página

LISTA DE FIGURAS

I.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1.
II.	MOVIMENTAÇÃO DO SEDIMENTO DE FUNDO NA BAÍA DE SANTOS. ESTUDOS COM O TRAÇADOR INJETADO NO INVERNO (AGOSTO E SETEMBRO DE 1980)	3.
III.	O MÉTODO DE TRAÇADORES RADIOATIVOS PARA O ESTUDO DA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS EM FUNDOS.	7.
III.1	Trabalho de Campo: Técnicas de Injeção e Detecção; Equipamentos.	8.
III.2	Trabalho de Análise: Metodologia e Objetivos	14.
IV.	MOVIMENTAÇÃO DO SEDIMENTO DE FUNDO NA BAÍA DE SANTOS. ESTUDOS COM O TRAÇADOR INJETADO NO VERÃO (Fevereiro e ABRIL DE 1981)	24.
IV.1	Trabalhos no Campo: Execução	25.
IV.2	Análise dos Dados de Campo	31.
IV.2.1	Estudo do Comportamento do Material de Fundo na Região do PI ₁ verão.	31.

IV.2.2	Estudo do Comportamento do Material de Fundo na Região do PI ₂ Verão	50.
IV.2.3	Estudo do Comportamento do Material de Fundo na Região do PI ₃ Verão	64.
IV.2.4	Considerações Especiais sobre o Comportamento do Material de Fundo na Região do PI ₁ Inverno	74.
IV.3	Conclusões	76.

ANEXO I

Movimentação do Sedimento de Fundo na Baía de Santos. Estudos Realizados em Junho de 1981.

REFERÊNCIAS

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Localização dos Pontos de Injeção e de Verão	4.
Figura 2	Caixa de Calibração	17.
Figura 3	Curva Granulométrica do Material Injetado em PI_1 Verão	26.
Figura 4	Curva Granulométrica do Material Injetado em PI_2 Verão	27.
Figura 5	Curva Granulométrica do Material Injetado em PI_3 Verão	28.
Figura 6	Curvas de Isocontagens da 1. ^a Deteção em PI_1 Verão - 09/02/81	34.
Figura 7	Diagrama de Transporte da 1. ^a Deteção em PI_1 Verão	36.
Figura 8	Curvas de Isocontagens da 2. ^a Deteção em PI_1 Verão - 18/02/81	37.
Figura 9	Curvas de Isocontagens da 1. ^a Deteção em PI_1 Verão - 2. ^a Campanha - 02/04/81	40.

Figura 10	Diagrama de Transporte da 1. ^a Detecção em PI ₁ Verão - 2. ^a Campanha.	41.
Figura 11	Curvas de Isocontagens da 2. ^a Detecção em PI ₁ Verão - 2. ^a Campanha - 03/04/81	44.
Figura 12	Diagrama de Transporte da 2. ^a Detecção em PI ₁ Verão	45.
Figura 13	Curvas de Isocontagens da 3. ^a Detecção em PI ₁ Verão - 2. ^a Campanha - 08/04/81	46.
Figura 14	Diagrama de Transporte da 3. ^a Detecção em PI ₁ Verão	48.
Figura 15	Curvas de Isocontagens da 1. ^a Detecção em PI ₂ Verão - 17/02/81	52
Figura 16	Diagrama de Transporte da 1. ^a Detecção em PI ₂ Verão	53
Figura 17	Curvas de Isocontagens da 2. ^a Detecção em PI ₂ Verão - 21/02/81	55
Figura 18	Diagrama de Transporte da 2. ^a Detecção em PI ₂ Verão	56

Figura 19	Curvas de Isocontagens da 1. ^a Deteção em PI ₂ Verão - 2. ^a Campanha - 03/04/81	58.
Figura 20	Diagrama de Transporte da 1. ^a Deteção em PI ₂ Verão	60.
Figura 21	Curvas de Isocontagens da 2. ^a Deteção em PI ₂ Verão - 2. ^a Campanha - 07/04/81	61.
Figura 22	Diagrama de Transporte da 2. ^a Deteção em PI ₂ Verão	63.
Figura 23	Curvas de Isocontagens da 1. ^a Deteção em PI ₃ Verão - 13/02/81	67.
Figura 24	Curvas de Isocontagens da 2. ^a Deteção em PI ₃ Verão - 19/02/81	68.
Figura 25	Curvas de Isocontagens da 2. ^a Deteção em PI ₃ Verão da 2. ^a Campanha - 02/04/81	71.
Figura 26	Diagrama de Transporte da 2. ^a Deteção em PI ₃ Verão	72.
Figura 27	Conformação do Material Radioativo Injetado em 02/08/80 no PI ₁ Inverno e Rastreado em 08/04/81	77.

MOVIMENTAÇÃO DO SEDIMENTO DE FUNDO NA BAÍA
DE SANTOS - ESTUDOS COM O TRAÇADOR
INJETADO NO VERÃO

I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Empresa de Portos do Brasil S.A. - PORTOBRÁS, como contratante, e as Empresas Nucleares Brasileiras S.A. NUCLEBRÁS, como contratada, assinaram contrato de número 80/038/00, cujo objeto seria a elaboração de estudos na baía de Santos, SP, conforme dispõe a cláusula primeira do mesmo.

Tais estudos estão especificados no Plano de Trabalho apresentado à contratante pela Divisão de Radioisótopos (atual Divisão de Engenharia Ambiental), do Departamento de Radioproteção e Apoio ao Licenciamento, que se acha instalada no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas da NUCLEBRÁS sediado em Belo Horizonte, MG.

O estudo proposto, datado de março/80, incluía a a mostragem de material de fundo, análise reológica, análise granulométrica, trabalho de campo, com traçador radioativo, em condições de inverno (2 campanhas de detecções), análise do trabalho em condições de inverno, trabalho de campo, também com traçador radioativo, em condições de verão (2 campanhas de detecções), análise do trabalho em condições de verão e medições de ondas, correntes, ventos e marés du



rante os trabalhos de inverno e de verão.

Posteriormente, em 10 de julho de 1980, em reunião havida no Instituto de Pesquisas Hidroviárias, órgão da PORTOBRÁS encarregado da coordenação dos estudos em apreço, acertou-se a realização de um terceiro lançamento de traçador radioativo no lado oeste da baía de Santos.

O novo lançamento teria como finalidade tentar definir o panorama de circulação de sedimentos na baía, complementando as informações que se previa obter com os dois lançamentos anteriormente contratados.

O acerto assim firmado resultou no aditivo número 80/038/01 ao contrato anteriormente assinado.



II. MOVIMENTAÇÃO DO SEDIMENTO DE FUNDO NA BAÍA DE SANTOS. ESTUDOS COM O TRAÇADOR INJETADO NO INVERNO (AGOSTO E SETEMBRO/80).

As duas campanhas de campo previstas para o período de inverno desenrolaram-se de 01 a 12 de agosto de 1980 e de 17 a 23 de setembro de 1980.

Com base em considerações hidráulicas e em estudos prévios realizados na baía de Santos pelo INPH e pela própria Divisão de Radioisótopos, os três pontos escolhidos para lançamentos de material radioativo, e que são apresentados na figura 1, têm as seguintes coordenadas no sistema UTM:

PONTO DE INJEÇÃO	COORDENADAS UTM	
	E	N
PI ₁ INV	363785	7346048
PI ₂ INV	364236	7343206
PI ₃ INV	360338	7343178

Tabela 1 - Coordenadas UTM dos Pontos de Injeção de Traçador Radioativo em Época de Inverno.

O ponto de injeção PI₁ INV está situado numa região de fundo composto quase exclusivamente de areia fina, com diâmetro médio em torno de 0,10mm.

Figure 1

O fundo da região onde se situa o PI₂ INV é composto de areia e vasa. A fração de areia é também fina e tem diâmetro médio de 0,10mm.

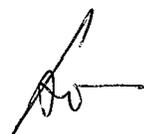
O terceiro ponto de injeção, PI₃ INV, está situado numa região de fundo composto quase que totalmente de areia fina, ficando o diâmetro médio também em 0,10mm.

É conveniente ressaltar ainda que o primeiro ponto fica situado no alinhamento da entrada do estuário, logo a oeste do canal de acesso ao porto. O PI₂ INV fica a leste do mesmo canal, a uns 1.200m a SW da Ilha das Palmas. O terceiro ponto fica situado no lado oeste da baía, a cerca de 1.300m a leste da Ponta de Itaipu.

Os resultados dos trabalhos desenvolvidos no período de inverno foram objeto do relatório de número DERL.PD-061/80, datado de dezembro de 1980, apresentado pela Divisão de Radioisótopos ao órgão contratante¹.

O referido relatório apresenta conclusões sobre o comportamento do material de fundo que resumimos a seguir.

Na região do PI₁ INV, 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. Tal deslocamento poderá ser creditado às ondas de S-SE que incidem na baía e transportam o material do fundo em direção à praia, numa região de profundidade pequena em relação à altura das ondas incidentes. Admitiu-se uma taxa média de transporte de 0,27 t/m



x dia (ou $0,17 \text{ m}^3/\text{m} \times \text{dia}$).

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 principal fator de colocação em movimento do material no fundo da região onde se situa o PI_2_{INV} . Esse efeito, combinado com as correntes de maré junto ao fundo, causaria o deslocamento do material de fundo para N-NW, com maior tendência para N, a uma taxa de $0,35\text{t}/\text{m} \times \text{dia}$.

Na região do terceiro ponto, PI_3_{INV} , duas componentes parecem atuar sobre o material de fundo. Uma componente tenderia a deslocá-lo para N-NE e a outra, a espalhá-lo para E. Tal situação 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, para o interior da baía. A vazão mássica tem ordem de grandeza de $0,20\text{t}/\text{m} \times \text{dia}$ e a areia fina da região tende a ser deslocada para dentro da baía.

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

Qualquer bom traçador deve apresentar como característica importante sua perfeita identificação com a população cujo comportamento, sob um determinado conjunto de circunstâncias, se deseja acompanhar.

Além disso deve necessariamente possuir a propriedade de se deixar acompanhar de algum modo, durante sua evolução junto com o restante da população, seja por uma avaliação visual, seja através de um detetor de radioatividade, que transmita informações tais sobre seu comportamento que permitam inferir o comportamento de toda a população.

Deve, ainda, ser conservativo, isto é, manter durante todo o período do experimento inalterada a quantidade inicial.

Um traçador radioativo como o que foi utilizado em Santos, por exemplo, atende bem a qualquer dessas exigências.

Em primeiro lugar a areia que compõe o fundo da baía, nas diversas regiões em estudo, pode ser simulada no tamanho, forma e densidade dos grãos por vidro moído, injetado, em quantidades e de modo adequados, junto ao fundo.

O vidro incorpora entre seus constituintes o irídio que, ativado em reator nuclear, forma um isótopo radioativo, o Irídio-192, com meia vida de 74,4 dias e emissor



de radiação gama. Os equipamentos hoje existentes para deteção e contagem desse tipo de radiação são altamente precisos e sensíveis, o que faculta a utilização de pequenas quantidades do material ativado, com atividade baixa, e com ótimos resultados quanto ao seu rastreamento.

Em terceiro lugar, a qualquer instante pode-se fazer a correção da atividade em relação à atividade injetada inicialmente pelo conhecimento da lei do decaimento radioativo e dos parâmetros específicos aplicados ao caso do Iridio-192, quais sejam sua constante de desintegração e, mais especificamente, sua meia-vida.

III.1 Trabalho de Campo: Técnicas de Injeção e Deteção; Equipamentos

O vidro moído, ativado, é, injetado (ou lançado) no local escolhido através de vários processos.

Destacam-se entre eles o uso de um frasco de vidro que conterà o material radioativo até o instante da injeção e que, baixado até a profundidade em que se deseja o lançamento, será feito explodir por uma cápsula de fulminato de mercúrio.

Pode-se utilizar, ainda, injetores mecânicos de vários tipos. Entre esses encontramos injetores que liberam o material radioativo ao atingirem o fundo da região, funcionando pela resistência do fundo à penetração do injetor, e outros que se abrem girando em torno de um eixo a

poiado em suas paredes laterais.

No caso de Santos usou-se um injetor construído na Divisão de Radioisótopos, e cujo fundo se abre sob a ação de um cabo de aço acionado do próprio barco quando o injetor alcança a profundidade desejada.

Durante a transferência do material radioativo da blindagem de chumbo, que impede a ação indesejável da radioatividade sobre o ambiente, para o injetor também convenientemente protegido, recolhe-se uma alíquota desse material para, posteriormente, conhecer-se a atividade de fato injetada.

O material radioativo assim injetado passa a sofrer, como o material naturalmente existente no fundo, ações hidrodinâmicas diversas que o espalham por uma determinada área no fundo.

Determinar a extensão dessa área e compreender a maneira como o material se espalhou, o que pode levar à quantificação das consequências das ações hidrodinâmicas sobre esse material, é o que se procura fazer num trabalho desse jaez.

Procura-se levantar toda a área em que se acha espalhado o material radioativo, por meio de um detetor de radiação, normalmente um cintilador, que viaja acoplado a uma espécie de trenô de ferro, deslizando sobre a superfície do fundo a reboque de um barco equipado para tal trabalho.

Tenta-se obter linhas de navegação paralelas entre si, retas o mais possível, e perpendiculares a uma certa direção conhecida como direção de transporte e que representa a direção preferencial de deslocamento do material no fundo, obtida logo após a injeção num trabalho conhecido como "deteção de mise-en-place". Esta direção pode se alterar no decorrer do experimento. O afastamento entre linhas varia com as necessidades surgidas em cada deteção, sendo elas normalmente mais próximas entre si (cerca de 10m) nas regiões mais ativas da nuvem.

Cada um desses acompanhamentos da evolução da nuvem radioativa é conhecido como uma "deteção".

Um trabalho completo é representado por uma série de deteções na mesma região, separadas por intervalos de tempo que variam de dias a meses, dependendo das informações que se puder conseguir em cada uma das deteções e da intensidade do fenômeno de transporte.

Após um certo número de deteções já se terá um panorama geral da movimentação do material no fundo e se poderá quantificá-lo, calculando a vazão sólida por arraste, o objetivo do processo.

Antes da injeção do material radioativo faz-se um levantamento da atividade natural do material do fundo, conhecido como "levantamento do ruído de fundo (ou do background)".

A evolução da navegação do barco é acompanhada

seguidamente por um sistema de posicionamento com base geralmente em terra e em pontos de localização conhecida.

Nesse caso, tanto pode-se usar o posicionamento a teodolitos, com dois aparelhos que visam sempre o mastro do barco, por exemplo, ou o posicionamento eletrônico.

Em Santos utilizou-se um sistema de radiolocalização, o Mini-Ranger III, de fabricação da Motorola. Uma estação-mãe, presa ao mastro do barco, transmite sinais de rádio de alta frequência que são refletidos por duas estações fixas, em terra, e recaptados pela estação no barco que os transmite a um console existente na cabine, o qual os transforma em valores de distância barco-estações. A cada 30 segundos essas informações são colhidas e lançadas em mapa de navegação próprio, o que permite acompanhar com bastante precisão a trajetória do barco, possibilitando fazerem-se as correções que forem julgadas necessárias. As estações em terra foram instaladas no Edifício Sete-Mares, na Ilha Porchat e no Edifício São Domingos, cujas coordenadas no sistema UTM constam da Tabela 2.

Para a campanha realizada em abril, uma das bases foi deslocada para a Torre 2, de sinalização da Marinha, cujas coordenadas também constam da Tabela 2.

ESTAÇÕES	COORDENADAS UTM	
	E	N
Edifício Sete Mares	360678,68	7347054,22
Torre 2	365271,60	7347970,66
Ed. São Domingos	365196,62	7348089,95

Tabela 2 - Coordenadas UTM das Estações do Sistema de Radio-posicionamento em Terra

Quanto à detecção do material radioativo propriamente dita, utiliza-se um elemento sensível à presença de radiação gama, o chamado detetor, e a eletrônica a ele associada, que permite informar e quantificar os níveis de radiação encontrados.

O equipamento normalmente utilizado, como foi o caso em Santos, consta de:

- a. Um detetor de cintilação SRAT, tipo SPP-3, com cristal de NaI(Tl), acoplado a fotomultiplicadora 150AVP, contidos em proteção dupla de metal e poliestireno.

Em Santos, em particular, em algumas fases do trabalho, empregou-se conjunto mais moderno, tipo IPP-4, com excelentes resultados.

- b. Dois contadores de impulsos digitais ("scaler/timer"), de fabricação Hewlett-Packard tipo

- 520IL, sendo um parcial e outro totalizador;
- c. Registrador gráfico Hewlett-Packard, modelo 7100BM ou Moseley, bicanal, 680M;
 - d. Impressora mecânica de fita de papel Hewlett-Packard 562A;
 - e. Um sistema de controle dos intervalos de tempo para impressão, desenvolvido no CDTN;
 - f. Um sistema para controle da alimentação do conjunto eletrônico, dispondo de amperímetro, voltímetro e frequencímetro;
 - g. Gerador Honda de 1500W para alimentação do conjunto de detecção e do sistema de posicionamento eletrônico.

A bordo e paralelamente à navegação faz-se um diagrama de transporte preliminar que ajuda a orientar a navegação, fornecendo informações iniciais sobre a movimentação e o espalhamento da nuvem, a posição do pico e a necessidade de melhor cobertura de determinada porção da região por onde se espalhou o material injetado.

Conceitualmente o trabalho pode ser entendido até como bastante simples. Essa simplicidade, no entanto, é apenas aparente, pois cada trabalho apresenta características próprias, resultantes do conjunto de parâmetros que definem uma dada região.

Os agentes hidrodinâmicos, por exemplo, têm importâncias diferentes em diferentes locais: ora a ação ondulatória predomina, ora predomina o transporte por ação de correntes. Além do mais, cada fundo tem características também próprias. A presença de rochas ou de detritos volumosos dificulta bastante o trabalho de deteção.

Fatores meteorológicos adversos deverão ser contornados, bem como o próprio desconforto de se trabalhar em mar muitas vezes agitado.

Tudo isso exige que o trabalho seja feito por uma equipe experimentada, bem coordenada e mesmo criativa, capaz de se adequar a cada uma das diferentes solicitações a que poderá estar sujeita.

III.2 Trabalho de Análise: Metodologia e Objetivos

Sob o efeito das ações hidrodinâmicas o traçador radioativo espalha-se pelo fundo de maneira não uniforme. Como resultado de um trabalho de deteção localizam-se centenas (ou milhares) de pontos com vários níveis de radioatividade, definida por uma taxa de contagem do número de desintegrações acontecidas. Unindo-se pontos de mesmas taxas de contagem por linhas contínuas obtém-se o diagrama das curvas de isocontagem.

Em planta, esse diagrama pode ser assimilável às curvas de nível de um levantamento topográfico (ou às isóbatas de um levantamento batimétrico) e tem a grande

vantagem de permitir a visualização dos fenômenos de transporte, tais como a extensão do espalhamento da nuvem radioativa e a direção preferencial do transporte do material no fundo.

A comparação de curvas correspondentes a deteções sucessivas de uma mesma região dá indicações sobre a intensidade do transporte e, mesmo, sobre o agente hidrodinâmico predominante. Além disso, a própria qualidade do trabalho de deteção pode ser inferida do trabalho de construção dos diagramas das curvas de iso-contagens.

As informações qualitativas oferecidas pelas curvas de iso-contagens deve seguir-se a quantificação do transporte de material no fundo, por arraste.

Tal estudo é feito com base no método do balanço das taxas de contagem, desenvolvido por Courtois e Sauzay (2), do Commissariat à L'Energie Atomique, de Saclay, França.

Em cada injeção deposita-se na superfície do fundo uma quantidade conhecida de material radioativo, com uma atividade também conhecida. Para cada tipo de traçador conhece-se a resposta da sonda de deteção para uma unidade de atividade.

Essa resposta é geralmente uma exponencial do tipo

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

onde,

f - Resposta da sonda, em c/s, para uma atividade unitária uniformemente distribuída à profundidade z ;

f_0 - Resposta da sonda, em c/s, para uma atividade unitária uniformemente distribuída na superfície ($z = 0$);

α - Coeficiente de absorção da radiação pela areia.

Os valores dos parâmetros f_0 e α poderão ser obtidos por calibração da sonda numa caixa de calibração, conforme Figura 2.

Nessa caixa a sonda ficará mergulhada em água e distante da superfície do material de fundo de um valor igual ao que efetivamente existirá quando ela estiver fixada ao trenó. A sonda é presa num carro que lhe permite mover-se ao longo do eixo (y), paralelamente à superfície do material. Como é difícil obter-se uma fonte plana com atividade uniformemente distribuída, essa condição poderá ser simulada pela passagem de uma fonte pontual através de um tubo mergulhado na areia, com velocidade constante. Vários tubos a profundidades diferentes permitem simular camadas de areia de diferentes espessuras.

Na extremidade do 1º tubo ($z = 0$, pois se acha na superfície da areia) coloca-se a fonte puntiforme e ini

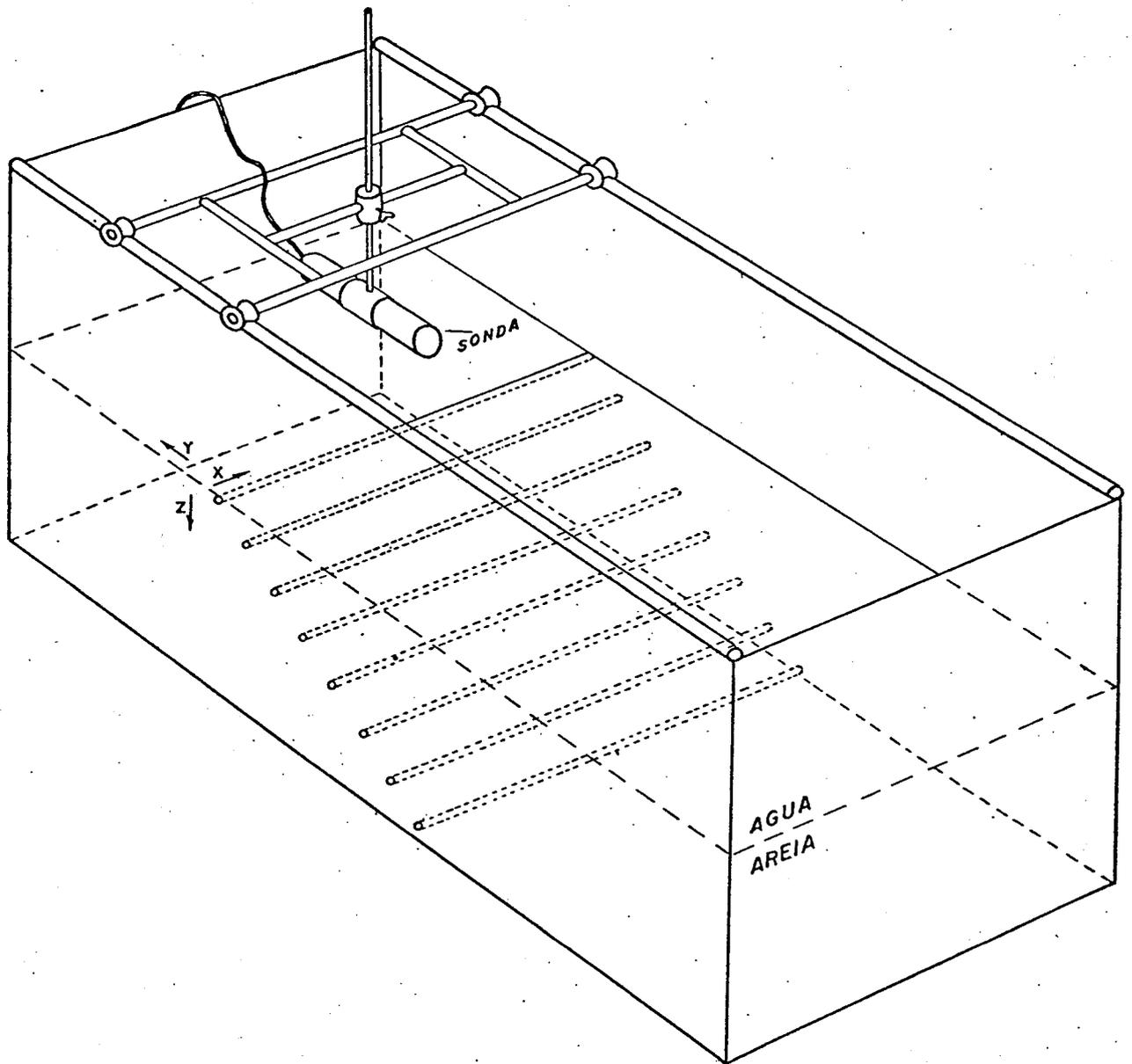


FIGURA 2

cia-se sua movimentação pelo inferior do tubo a uma velocidade v constante, com a sonda fixada na posição y_1 . A sonda de detecção está acoplada a um contador de impulsos que, ao fim da travessia, fornece um valor de contagem integrado C_1' do qual se deve descontar o valor do ruído de fundo integrado durante um período de tempo idêntico.

O valor líquido de contagem

$$C_{0_1} = C_1' - \text{BKG} \quad (2)$$

deverá ser multiplicado pelo valor da velocidade para se normalizar o resultado:

$$C_1 = C_{0_1} \times v \left(c \times \frac{m}{s} \right) \quad (3)$$

Repetindo essas operações para várias posições y_i da sonda, teremos, ao final, as contagens C_i obtidas ao longo de y , para uma dada profundidade z .

Para cada valor de z traça-se um gráfico $y_i \times C_i$ cuja área, em $\frac{c}{s} \times m$, representa a resposta da sonda a uma fonte uniformemente distribuída, para uma certa camada z de areia entre a sonda e a fonte.

A divisão de cada uma dessas áreas pelo valor da atividade da fonte, em μCi , fornecerá valores de f , em

$$\frac{\frac{c}{s}}{\frac{\mu Ci}{m^2}}$$

Lançando os valores de f como ordenadas num gráfico em escala logarítmica e como abcissas os valores de z correspondentes, obtém-se uma série de pontos aos quais se pode ajustar uma reta pelo método dos mínimos quadrados. A declividade da reta representa o valor de α e seu intercepto com o eixo das ordenadas representa o valor de f_0 .

Suponha-se agora, voltando à nossa detecção que, integrando todos os valores de contagem recolhidos pela sonda durante a detecção, por toda a área coberta nessa detecção, obtenha-se um valor N , em $\frac{C}{s} \times m^2$. Se todo o material radioativo estivesse distribuído na superfície do fundo, a atividade depositada poderia ser calculada dividindo-se N por f_0 , valor anteriormente ajustado ($\frac{C}{s} \times \frac{m^2}{\mu Ci}$), obtendo-se o resultado em μCi .

Acontece que esse resultado em μCi é quase sempre menor que a atividade realmente injetada (daí se recolherem alíquotas de material radioativo antes da injeção), o que pode ser explicado pelo recobrimento do material radioativo por areia do fundo, que absorve parte da atividade do material injetado.

Esta propriedade é a base do método do balanço das taxas de contagem. A diferença no valor de N calculado pelos dois processos permite obter-se o valor da espessura média de transporte E pela expressão

$$\frac{\alpha N}{\beta f_0 A} = \frac{1 - e^{-\alpha E}}{E} \quad (4)$$

demonstrável teoricamente e onde:

- A = Atividade real injetada;
 β = Coeficiente que representa a distribuição do material radioativo em profundidade.

A vazão sólida do material de fundo, por arraste, pode assim ser obtida pela expressão

$$Q = \rho V_m L E \quad (5)$$

onde:

- Q = Vazão sólida, em $\frac{t}{m}$ x dia;
 V_m = Velocidade média de deslocamento da nuvem;
L = Largura da faixa de transporte;
E = Espessura média de transporte;
 ρ = Massa específica do material do fundo, em t/m^3 .

A velocidade média de transporte, V_m , é calculada a partir das posições sucessivas dos centros de gravidade das nuvens radioativas obtidas a cada detecção. Estes centros de gravidade correspondem, na verdade, à projeção, sobre o fundo, do centro de gravidade de um corpo cuja base é a área em que se espalhou o traçador e cuja altura, em cada ponto, é a taxa de contagem correspondente ao tal ponto.

A largura da faixa de transporte, L , é tomada geralmente como $1m$.

Praticamente, a aplicação do método do balanço de traçador é facilitada pelo emprego do chamado diagrama de transporte.

Esse diagrama nada mais é que a curva de corres-

pondência entre as contagens totais integradas ao longo de cada linha, lançadas como ordenadas num sistema cartesiano de eixos, e o ponto em que cada linha corta a direção de transporte, cada um deles tomado como abcissa no sistema. A área sob a curva desse diagrama, em $\frac{C}{S} \times m^2$, representa o valor N de recuperação de atividade anteriormente mencionado e que deverá ser utilizado no cálculo da espessura média de transporte, E.

Além disso pode-se determinar o centro de gravidade desse diagrama que, projetado sobre o eixo das distâncias (ou abcissas), corresponde à projeção do centro de gravidade da nuvem sobre a direção de transporte. Assim, várias posições sucessivas do centro de gravidade da nuvem permitem determinar a velocidade média de movimentação do traçador entre deteções.

A forma da curva do diagrama de transporte permite ainda identificar se o material injetado está ou não concentrado em torno do ponto de injeção (pico mais ou menos agudo, com caudas menos ou mais longas).

Se houve espalhamento predominante num ou noutro sentido sobre a direção de transporte, ou se houve tendência à partição da nuvem, o diagrama de transporte poderá também esclarecer.

Devido às características próprias a um material radioativo, os dados de contagem colhidos no campo devem sofrer algumas correções.

Inicialmente todos os valores de atividade devem

ser corrigidos da atividade natural da região, o chamado ruído de fundo ou "background", sem o que os resultados estariam mascarados.

A atividade do traçador deverá também, quando for o caso, ser corrigida do efeito do decaimento radioativo, para se atender à necessidade do traçador precisar ser conservativo. Isto é feito facilmente, aplicando-se à atividade encontrada o chamado fator de correção do decaimento radioativo, que leva em conta a meia vida própria de cada isótopo radioativo e o tempo decorrido entre a irradiação e/ou primeira detecção (ou injeção) e as detecções seguintes.

A eficiência da sonda com que é feita a detecção também deverá ser considerada em relação à sonda inicialmente calibrada e que é tomada como referência.

Outras correções serão aplicadas tendo em vista as metodologias de trabalho no campo e no escritório desenvolvidas na DIRAD (atual DIEAM).

Já que o sistema de posicionamento localiza o barco mas o que realmente interessa é a posição do trenó rebocado pelo barco, essa posição pode ser corrigida a partir do conhecimento da posição do barco, da profundidade do local de trabalho e do comprimento do cabo que arrasta o trenó.

Os valores de contagem também deverão ser corrigidos da variação da velocidade do trenó e essa normalização é feita multiplicando-se cada grupo de contagens num



trecho pela velocidade do trenô nesse trecho.

Cada trajetória da sonda é corrigida para a melhor reta que possa representá-la, de modo que os valores de contagens integrados em cada trecho da linha de navegação possam ser também integrados ao final da linha e usados como ordenadas no diagrama de transporte, após a correção da inclinação da linha em relação ao eixo ou direção de transporte.

Todo o trabalho de análise de dados é feito por etapas, que têm por objetivo permitir detetar-se incorreções ou erros que tenham sido cometidos no campo, como também adequar a análise a alterações que possam ter acontecido no decorrer dos trabalhos, tais como mudanças de base, utilização de novos eixos de transporte, aproveitamento de partes de deteções em deteções anteriores ou seguintes. Nesse aspecto é de muita utilidade a anotação quase sistemática, que se faz no campo, de todos os acontecimentos surgidos no decorrer de um experimento de sedimentologia de fundo.



IV. MOVIMENTAÇÃO DO SEDIMENTO DE FUNDO NA BAÍA DE SANTOS. ESTUDOS COM O TRAÇADOR INJETADO NO VERÃO (FEVEREIRO E ABRIL DE 1981).

Dando prosseguimento aos estudos previstos para a baía de Santos, firmados entre a PORTOBRÁS e a NUCLEBRÁS pelo contrato de número 80/038/00, foram realizadas em fevereiro e abril de 1981 as duas campanhas de levantamento de dados hidráulicos e sedimentológicas em regime de verão.

O presente relatório trata dessas campanhas, comentando sobre o desenvolvimento dos trabalhos no campo e o resultado das análises feitas sobre os dados então colhidos.

Quando surge a necessidade, são feitas também comparações entre os resultados obtidos nessa campanha e aqueles conseguintes das campanhas realizadas em período de inverno, ou seja, em agosto e setembro de 1980.

Por sugestão do Superintendente Geral de Pesquisa e Desenvolvimento do CDTN à PORTOBRÁS, através do chefe de seu Instituto de Pesquisas Hidroviárias, foi realizada uma terceira campanha de detecções do traçador injetado no verão, com a qual se procurou melhor caracterizar o movimento do material de fundo.

O aceite dessa sugestão resultou num novo aditivo ao contrato 80/038/00 anteriormente firmado entre a NUCLEBRÁS e a PORTOBRÁS.

Os resultados desse trabalho são apresentados



num relatório anexo ao presente, intitulado "Movimentação do Sedimento de Fundo na Baía de Santos. Estudos realizados em junho de 1981".

IV.1 Trabalhos no Campo: Estratégia de Execução

Devido a ser um trabalho a médio prazo, para o estudo da movimentação de sedimentos de fundo na baía de Santos optou-se pelo uso de um traçador de meia-vida razoavelmente longa, como é o caso do Irídio - 192 ($T_{1/2} = 74,4$ dias).

Para cada um dos três pontos de injeção escolhidos foi montada uma curva granulométrica representativa do material do fundo da região. Cada uma das três curvas foi simulada com vidro moído especial que contém, em peso, 0,25% de irídio.

300 gramas foi um valor teórico de massa calculada como sendo adequada para cada uma das amostras, cuja atividade foi estipulada em 300 mCi de Ir-192. A irradiação foi feita no reator do Instituto de Pesquisas Energéticas e NUCLEBRÁS - IPEN, em São Paulo.

As figuras 3, 4 e 5 trazem as curvas granulométricas dos pontos PI_1 verão, PI_2 verão e PI_3 verão, respectivamente.

A escolha dos novos pontos de lançamentos foi feita com base em algumas condicionantes hidráulicas e, em particular, na apreciação de alguns dos resultados obtidos



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		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			

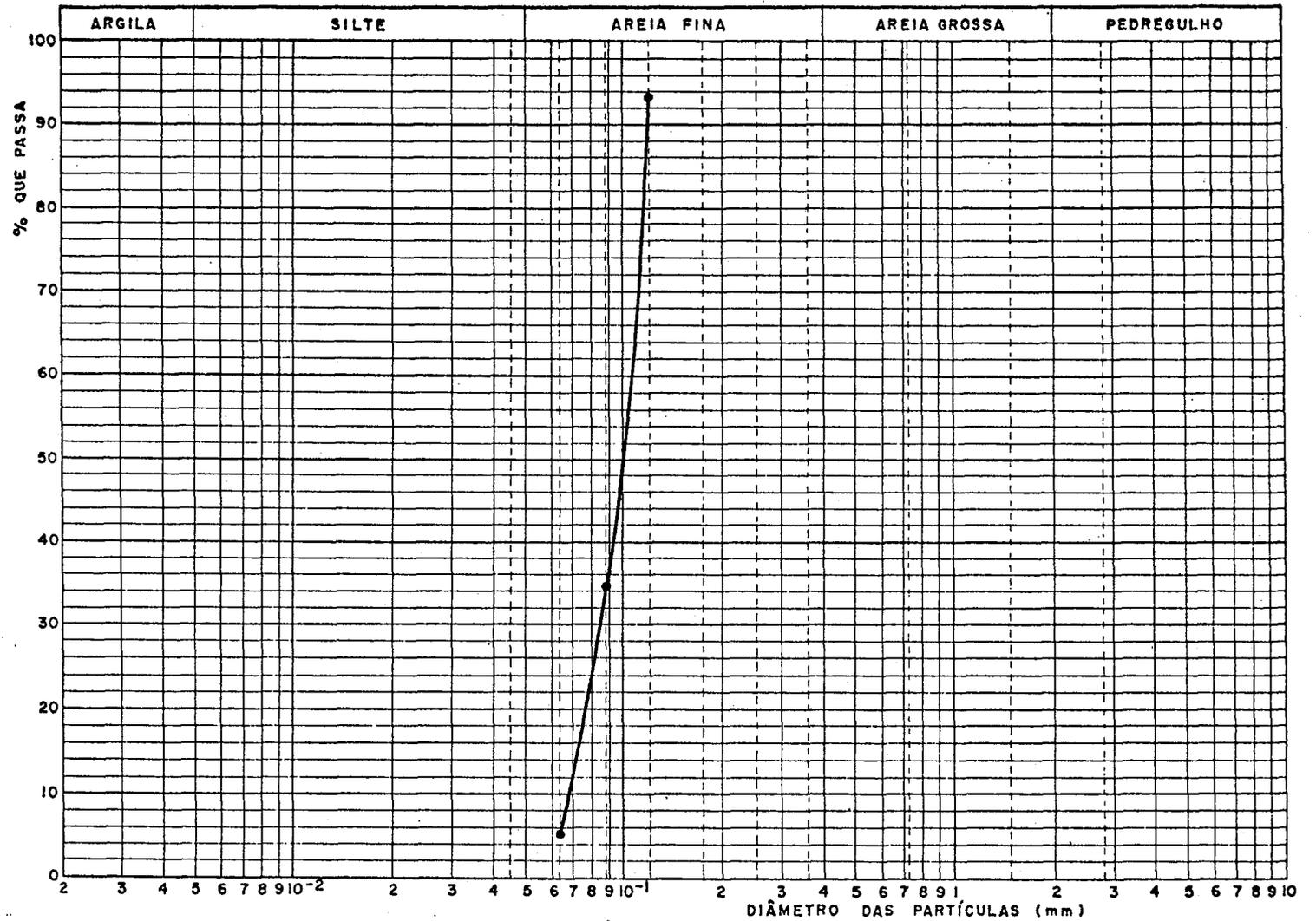


FIG. 3
 CURVA GRANULOMÉTRICA DO VIDRO MOIDO INJETADO NO PONTO DE INJEÇÃO Nº 1 (PI₁), REPRESENTATIVA DO MATERIAL NATURAL DO FUNDO NA REGIÃO CONSIDERADA

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		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			

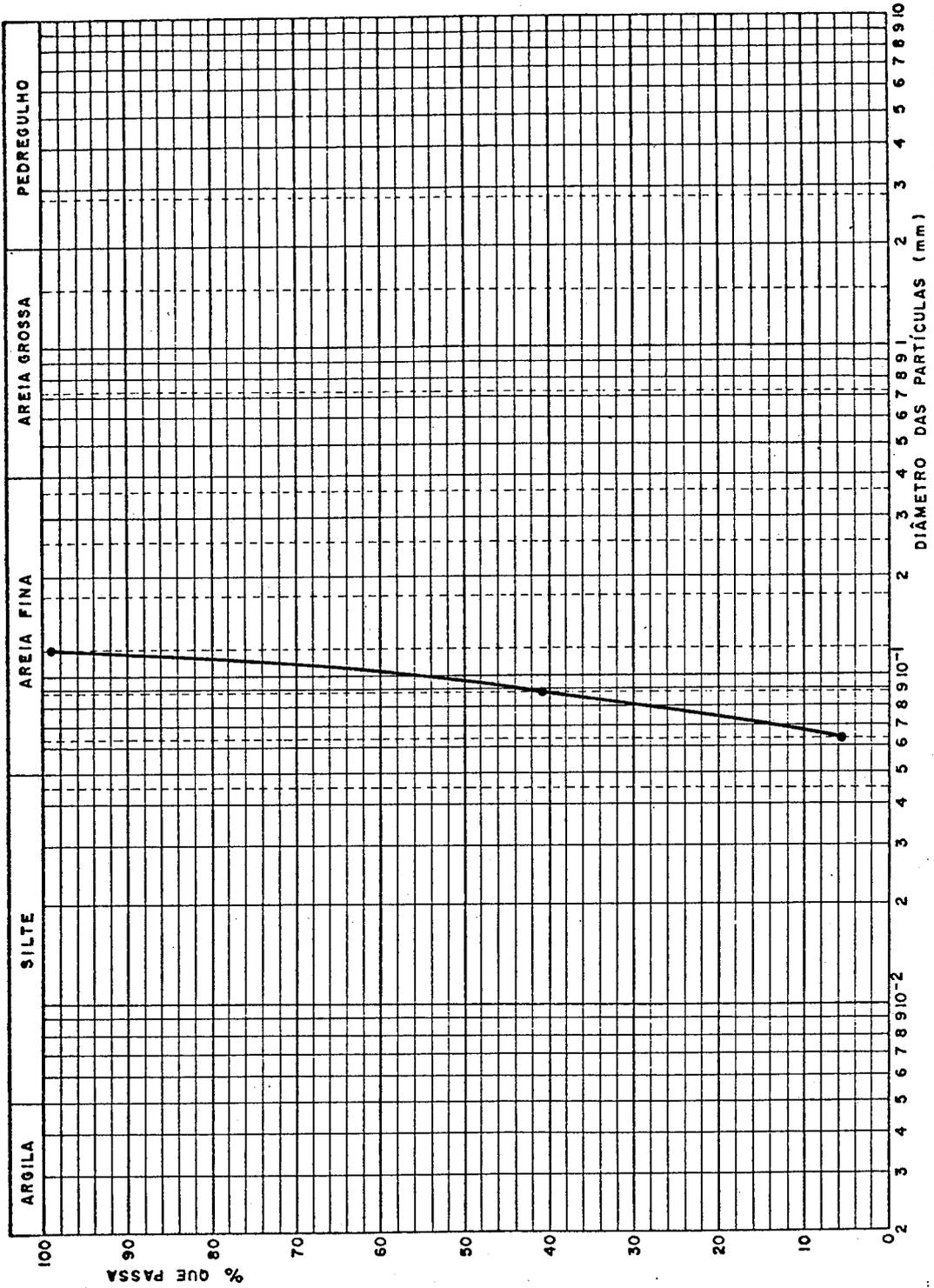


FIG. 4

CURVA GRANULOMÉTRICA DO VIDRO MOIDO INJETADO NO PONTO DE INJEÇÃO Nº 2 (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			

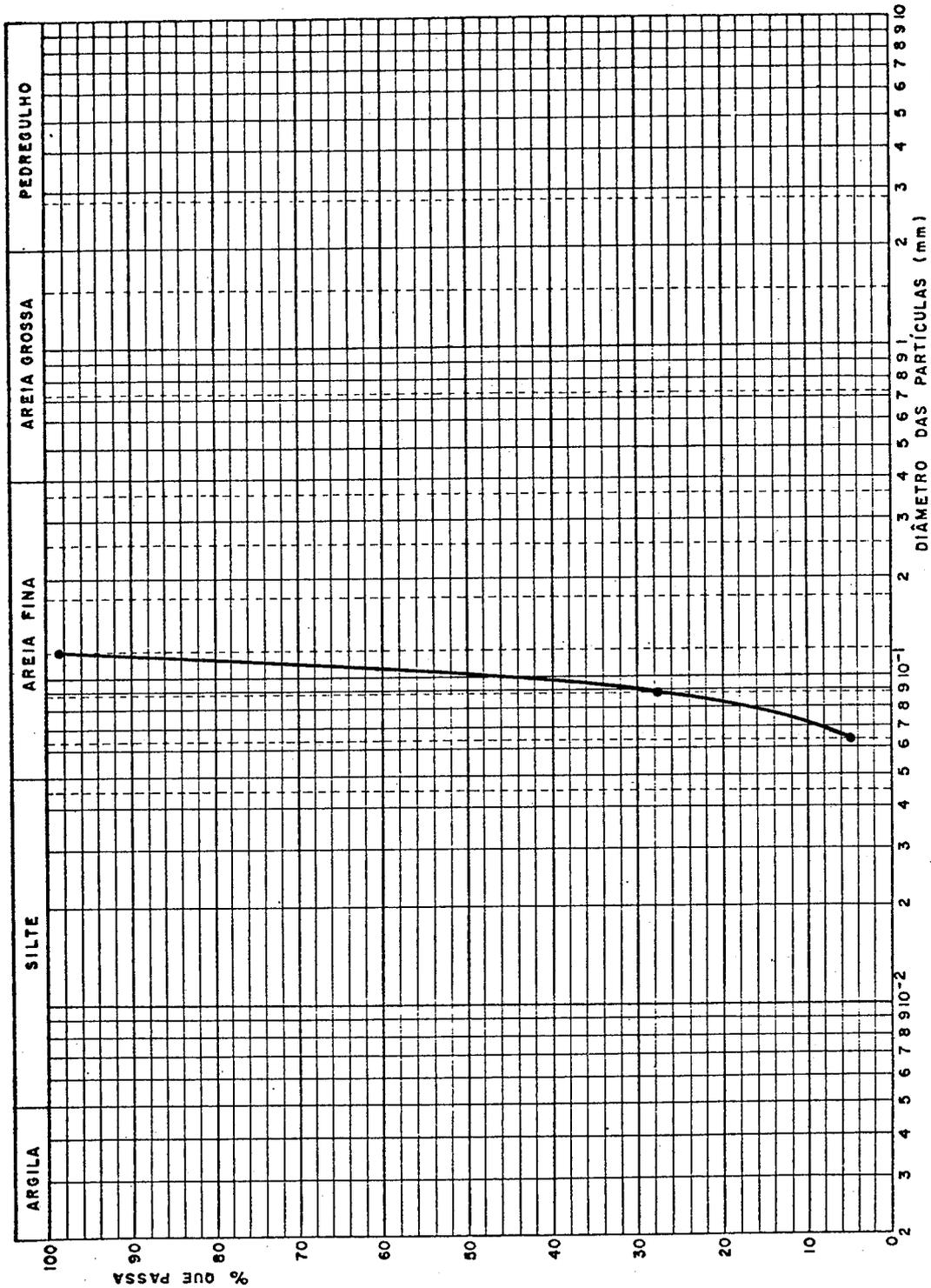


FIG. 5

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

na análise dos dados das campanhas de inverno.

O material lançado em PI_1 no período de inverno sofreu um espalhamento inicial para NNW, sobretudo durante seu período de decantação já que foi lançado a 3,0m do fundo. A detecção de "background" realizada em 07/02/81 mostrou que ainda existia material em torno desse ponto e que parte da "nuvem" infletira para leste, entre agosto de 1980 e fevereiro de 1981, acompanhando o alinhamento da costa até voltar ao canal, já na altura do alinhamento C (de acordo com carta 1701 da DHN). Optou-se, então, pelo lançamento do radiotraçador junto ao fundo, entre o ponto de lançamento do material no inverno e a inflexão do canal entre os alinhamentos B e C.

Esse ponto, portanto, fica a 590,0m a leste do PI_1 inverno. Sua posição pode ser vista na figura 1 e suas coordenadas constam da tabela 3. Situa-se em região de areia fina com diâmetro médio em torno de 0,10mm ⁽³⁾

A detecção de "background" na região do PI_2 inverno ratificou o resultado obtido nas análises anteriores, de que o material havia se deslocado para norte, de maneira uniforme, adentrando a baía.

O novo ponto de injeção, PI_2 verão, foi escolhido a 990m, aproximadamente, a norte do PI_2 inverno, e dista uns 550m da Ilha das Palmas, ficando a oeste dela.

Ele pode ser localizado na figura 1 e suas coordenadas se acham na tabela 3. Está situado numa região

também de areia fina com diâmetro médio de 0,10mm. ⁽³⁾

O ponto mais a oeste da baía, o PI_3 verão, foi lo cado a uns 815m a norte do PI_3 inverno. A areia no fundo é fina, com diâmetro médio em torno de 0,10mm, e existe um pouco de silte misturado a ela. ⁽³⁾

Na figura 1 pode-se localizar o PI_3 verão e na ta bela 3 pode-se encontrar suas coordenadas no sistema UTM.

Pontos de Injeção	Coordenadas UTM	
	E	N
PI_1 Verão	364367	7345952
PI_2 Verão	364527	7344150
PI_3 Verão	360334	7343991

Tabela 3 - Coordenadas UTM dos Pontos de Injeção de Material Radioativo no Período de Verão.

Conforme já havia sido executado nas campanhas anteriores, os trabalhos de sedimentologia correram paralelamente às medições hidráulicas que, aliás, não se interromperam no intervalo entre campanhas de um mesmo período.

O intervalo decorrido entre as duas campanhas de verão é intencional, de modo a se permitir que, por um pe-

ríodo de tempo mais longo, o material radioativo lançado no fundo possa sofrer maior gama de ações dos agentes hidrodinâmicos.

A tabela 4, resume o que foram os trabalhos nas duas campanhas de verão, com respeito aos estudos com traçadores.

Pode-se ainda mencionar que no desenrolar dos trabalhos de campo ocorreram dificuldades como existência de engastalhos no fundo, navios fundeados nas proximidades da região do PI₂ e condições meteorológicas adversas.

Utilizou-se nos trabalhos de campo o barco camaroneiro Gaúcho III, com uns 12,0m de comprimento e 4,0m de boca.

IV.2 Análise dos dados de campo.

IV.2.1 Estudo do comportamento do material de fundo na região do PI₁ verão.

O lançamento do material radioativo em PI₁ verão foi feito às 10:57 h do dia 08/02/81. O injetor foi aberto a 0,25m do fundo.

Predominava na superfície a corrente de vazante.

Na hora da injeção o mar apresentava ondas de cerca de 0,40m com direção 200° e período de 6 a 8 segun-



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

Tabela 4 - Trabalho de Campo em Período de Verão. Sedimentologia

dos. Não havia praticamente vento.

A detecção de "mise-en-place" feita a seguir mostrou que o material radioativo estava bastante concentrado em torno do ponto de injeção. Evidenciou também um espalhamento inicial do traçador na direção SSE, com tendência já para E, podendo-se aceitar que a nuvem tenha se depositado em um círculo quase centrado no $PI_{1,verão}$ (pequeno deslocamento para SE), com raio estimado entre 160 a 180m.

Essa constatação, aliás, veio confirmar o que se esperava, isto é, o fato de a maré já encher no fundo na hora do lançamento.

Isto porque as correções feitas para a BM prevista para as 11:36 h (Torre Grande) indicaram que a inversão teórica aconteceria às 11:21 h. O lançamento, feito às 10:57 h, adiantou-se em 24 minutos a esse tempo, encontrando a maré já em princípio de enchente junto ao fundo.

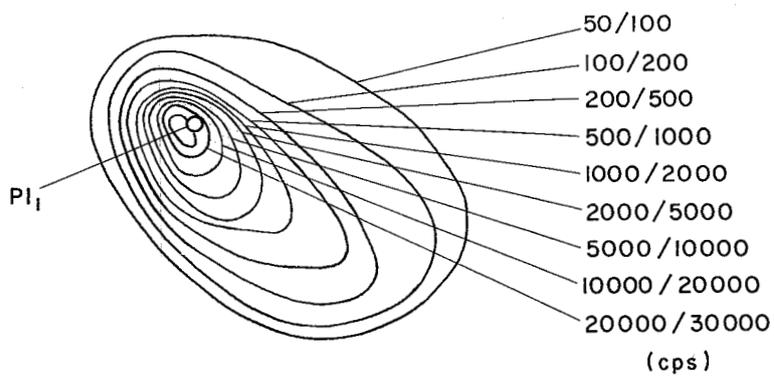
A primeira detecção completa do material radioativo na região do $PI_{1,verão}$ foi feita no dia seguinte, 09/02/81, de manhã. O tempo era bom e as ondas tinham de 0,10 a 0,20m de altura, com direção de 200° .

O material mostrava-se altamente concentrado em torno do ponto de injeção, revelando o pequeno espalhamento para SSE detetado no dia anterior e certamente devido à hora da injeção. A figura 6 retrata essa situação.

Apesar de altamente concentrado, conseguiu-se um



7 346 200



7 345 800

364 300

364 600

FIG. 6
CURVAS DE ISOCONTAGENS
I a. Det. - PI₁ - 09/02/81

bom valor de recuperação de atividade devido a se ter conseguido passar com o trenó praticamente no centro (pico) da nuvem. Assim, conseguiu-se um valor de contagem integrado da ordem de 510.000 cpsxm, num diagrama de transporte (figura 7) de pico agudo e praticamente sem caudas à esquerda ou à direita do referido pico.

A recuperação é da ordem de $N = 1,01 \times 10^7$ cpsxm².

A situação se mantém praticamente a mesma quando se analisam os dados colhidos na segunda deteção, realizada em 18/02/81.

Apesar de não ter sido atingido o pico que se obteve na deteção anterior pode-se perceber que o material continua concentrado em torno do pico e que as curvas de isocontagens (figura 8) mostram ainda o espalhamento para SSE.

A recuperação obtida é muito pequena e não deverá ser considerada como indicadora de fenômeno de transporte pois não se atingiu o pico máximo da nuvem.

A última deteção da primeira campanha em regime de verão foi realizada em 21/02/81.

A nuvem radioativa mostra ainda a cauda para SSE anteriormente detetada, e resultante das condições hidráulicas ocorridas durante a injeção.

A forma de distribuição do material radioativo



Cps x m x 10³

500

400

300

200

100

0

FIG. 7

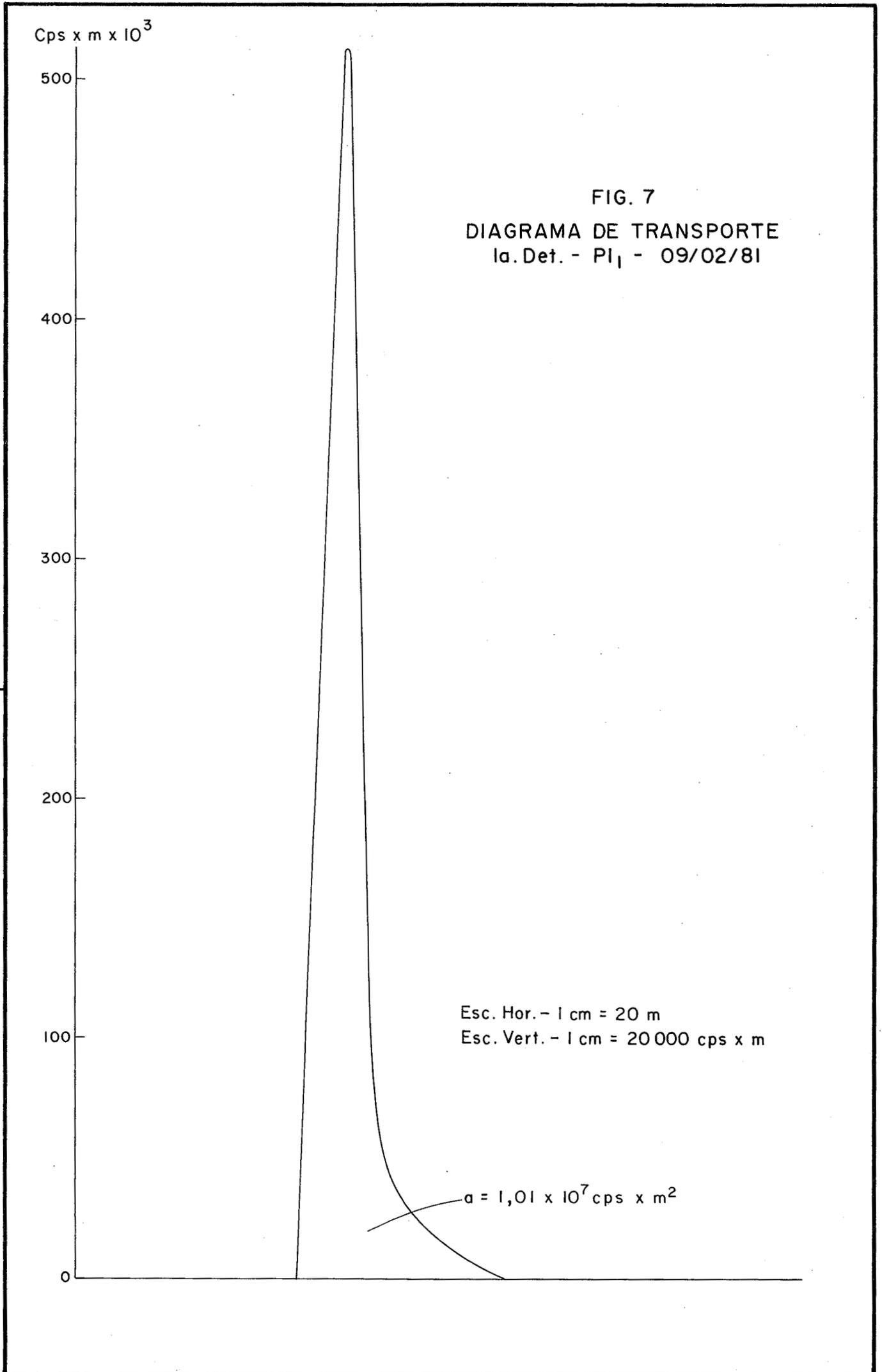
DIAGRAMA DE TRANSPORTE

la. Det. - PI₁ - 09/02/81

Esc. Hor. - 1 cm = 20 m

Esc. Vert. - 1 cm = 20 000 cps x m

$a = 1,01 \times 10^7 \text{ cps x m}^2$



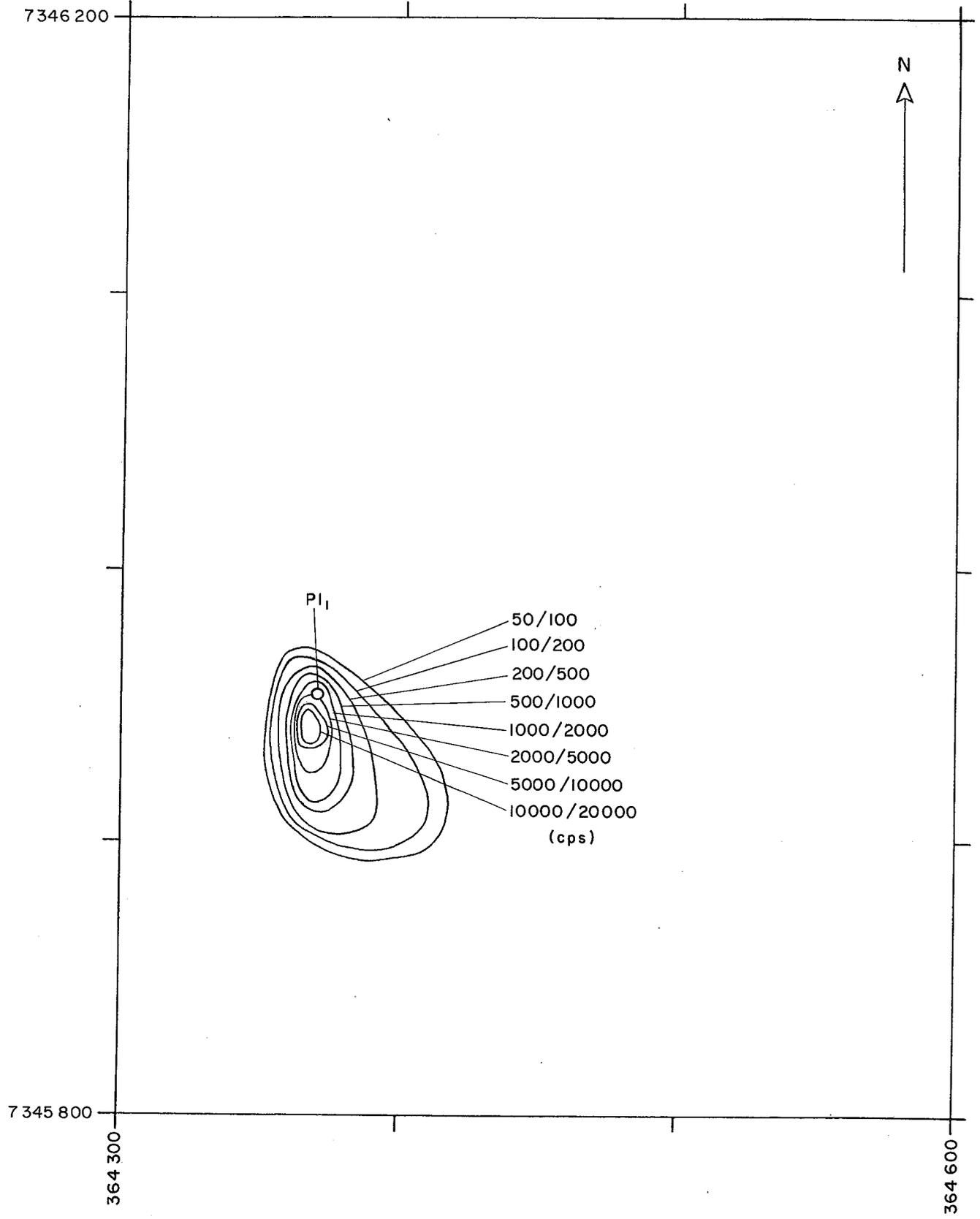


FIG. 8
CURVAS DE ISOCONTAGENS
2a. Det. - PI₁ - 18/02/81

é praticamente a mesma das detecções anteriores, estando ainda a maior parte do material concentrada em torno do pico, nas imediações do PI₁verão.

Essa concentração dificulta a obtenção de picos de atividade elevados durante o trabalho de detecção.

Nessa detecção como na anterior não se chegou a obter os níveis de atividade encontrados na primeira detecção, o que resultou num valor de recuperação em torno de dois terços do valor encontrado em 09/02/81.

Se esse fato limita conclusões quantitativas força, por outro lado, a se concluir pela relativa imobilidade do material radioativo durante o período de tempo decorrido entre a injeção e a última detecção da primeira campanha.

Os centros de gravidade das nuvens deslocaram-se muito pouco em direção NW, afastando-se ligeiramente do ponto de injeção, na direção aproximada em que se esperava haver algum deslocamento. Isto é, na direção NW em que se lançou o eixo de transporte.

No que se refere aos novos trabalhos de detecção desenvolvidos na região do PI₁verão, a segunda campanha iniciou-se em 01/04/81.

Nesse dia à tarde, foi feita a primeira detecção do PI₁verão que trouxe alguns resultados interessantes.

Decorridos 40 dias desde a última detecção, e



tendo o material no fundo permanecido por um período de tempo mais longo sob a ação dos agentes hidrodinâmicos característicos, pode-se constatar algumas mudanças em seu comportamento.

Em primeiro lugar a nuvem radioativa se mostra mais ampla em relação à última detecção, o que mostra sua melhor distribuição na superfície do fundo.

Além disso, a partir dessa detecção deslocou-se o eixo de transporte para a direção NNW, já que esta foi a direção de deslocamento preferencial obtida da observação da nuvem e do acompanhamento do deslocamento de seu centro de gravidade em relação aos centros de gravidade obtidos nas detecções anteriores e ao PI_1 verão.

A figura 9 traz as curvas de isocontagens da detecção onde se evidencia o fato de não se ter passado pelo pico de atividade o que contribuiu, aliás, para se obter um valor de recuperação da ordem de $7,84 \times 10^6 \frac{C}{S} \times m^2$, menor que a melhor recuperação obtida durante a primeira campanha.

O diagrama de transporte dessa detecção ilustra uma distribuição bem equilibrada da atividade em torno do pico e mostra também que esse pico chega à casa de $30.000 \frac{C}{S} \times m$.

A figura 10 apresenta o referido diagrama.

A segunda detecção dessa segunda campanha de ve-

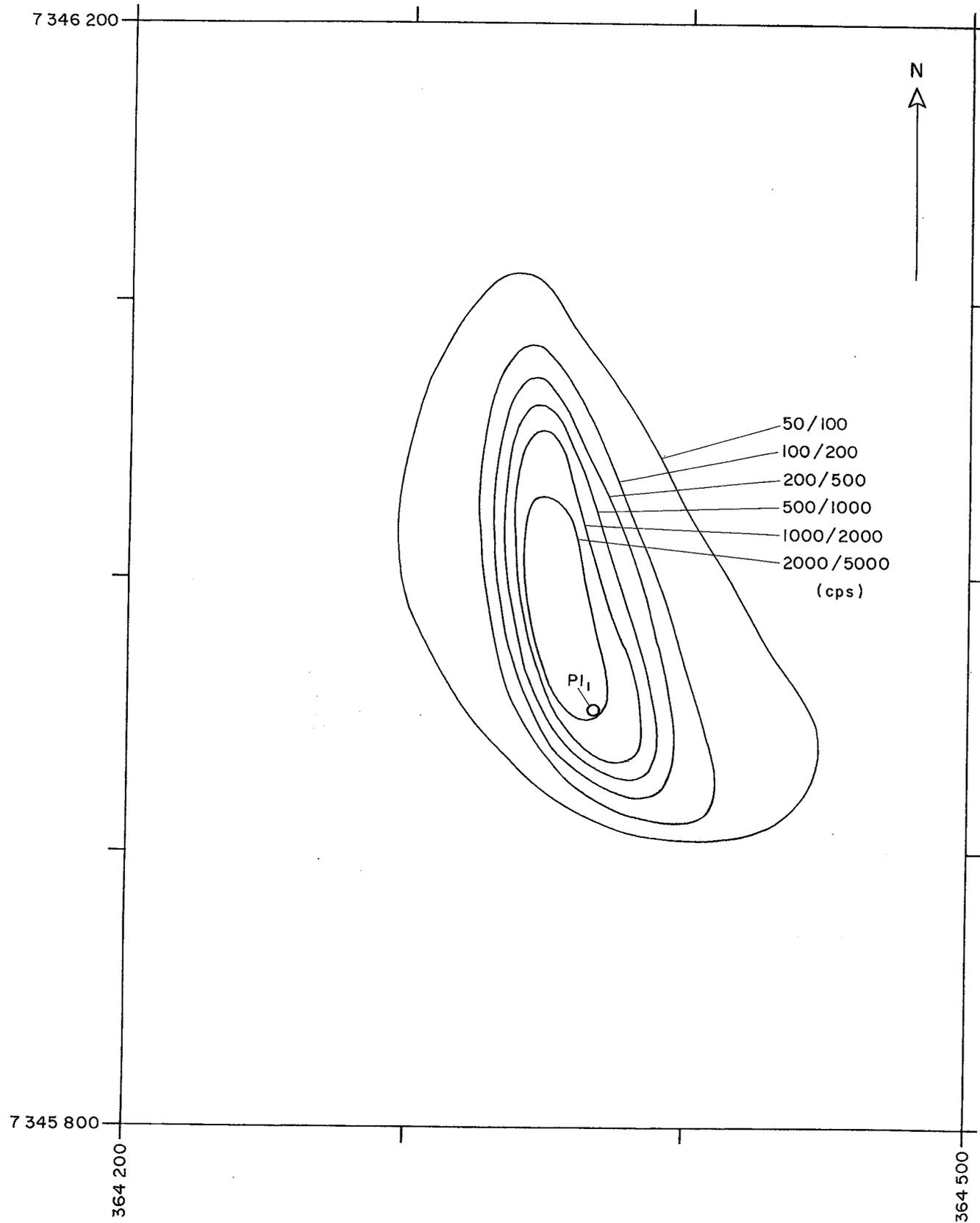
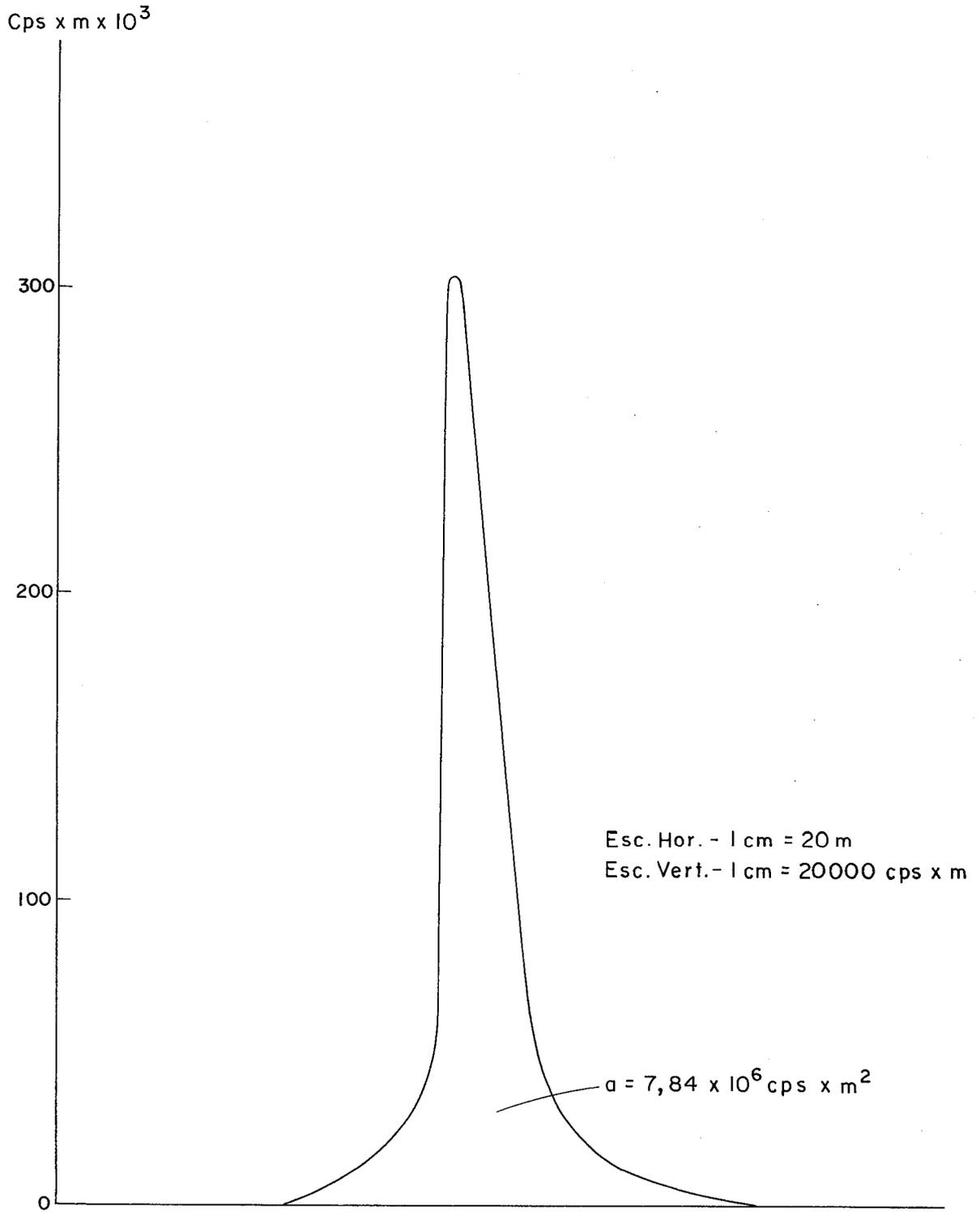


FIG. 9
CURVAS DE ISOCONTAGENS
Ia. Det. - PI₁ - 02/04/81

FIG. 10
DIAGRAMA DE TRANSPORTE
1a.Det. - PI₁ - 02/04/81



rão realizou-se no dia 03/04/81.

Foi considerada de excelente qualidade e mostrou o acerto de se tomar como direção de transporte a direção NNW.

A nuvem radioativa apresenta uma extensão máxima de 240m e uma largura máxima de 100m. O material radioativo encontra-se concentrado em torno do pico e o centro de gravidade da nuvem dista uns 3,60m do ponto de injeção, ficando a NW dele, enquanto a nuvem se expande para NNW.

A detecção conseguiu cobrir a nuvem com muita adequação e como a sonda passou nas imediações do pico conseguiu-se uma recuperação de atividade excelente, praticamente igual à recuperação obtida na primeira campanha de verão, na detecção de 09/02/81.

O novo valor de recuperação de atividade é da ordem de $N = 1,02 \times 10^7 \frac{c}{s} \times m^2$

Se a recuperação entre as duas detecções mencionadas é assim semelhante, pode-se a princípio aceitar que a distribuição do material no fundo é ainda praticamente superficial e que se não houve no período enterramento significativo da nuvem é sinal de que o arraste de material no fundo foi pequeno.

O deslocamento observado do centro de gravidade em relação ao $PI_{\text{verão}}$ é ainda muito pequeno para ser tomado como indicativo de que a nuvem, além de seu natural

espalhamento para NNW, esteja efetivamente se deslocando.

Esse valor pode inclusive ser atribuído a erros inerentes ao próprio processo de navegação e coleta de dados, apesar de que, associado às observações anteriores, possa vir a ser um indicativo da tendência do deslocamento.

As curvas de isocontagens para esta segunda detecção, apresentadas na figura 11, mostram bem as conclusões acima mencionadas, como também o faz o diagrama de transporte para essa mesma detecção, apresentado na figura 12.

Neste diagrama pode-se observar, por exemplo, um pico máximo da ordem de $470.000 \frac{C}{S} \times m$ e a cauda à esquerda (NNW) do pico mais acentuada.

A situação se aclara bastante ao se verificar os dados colhidos na terceira e última detecção da segunda campanha de verão realizada na região do PI₁verão.

A detecção foi realizada na manhã do dia 08/04/81 e também foi de boa qualidade. Apesar de não ter sido alcançado o pico da detecção anterior conseguiu-se, por um levantamento cuidadoso, uma excelente recuperação.

Deu-se um prazo de 5 dias entre a detecção anterior e esta para possibilitar maior gama de ações hidrodinâmicas sobre o material injetado em fevereiro.

Se observarmos o diagrama das curvas de isocontagens da detecção, mostrado na figura 13, verificaremos



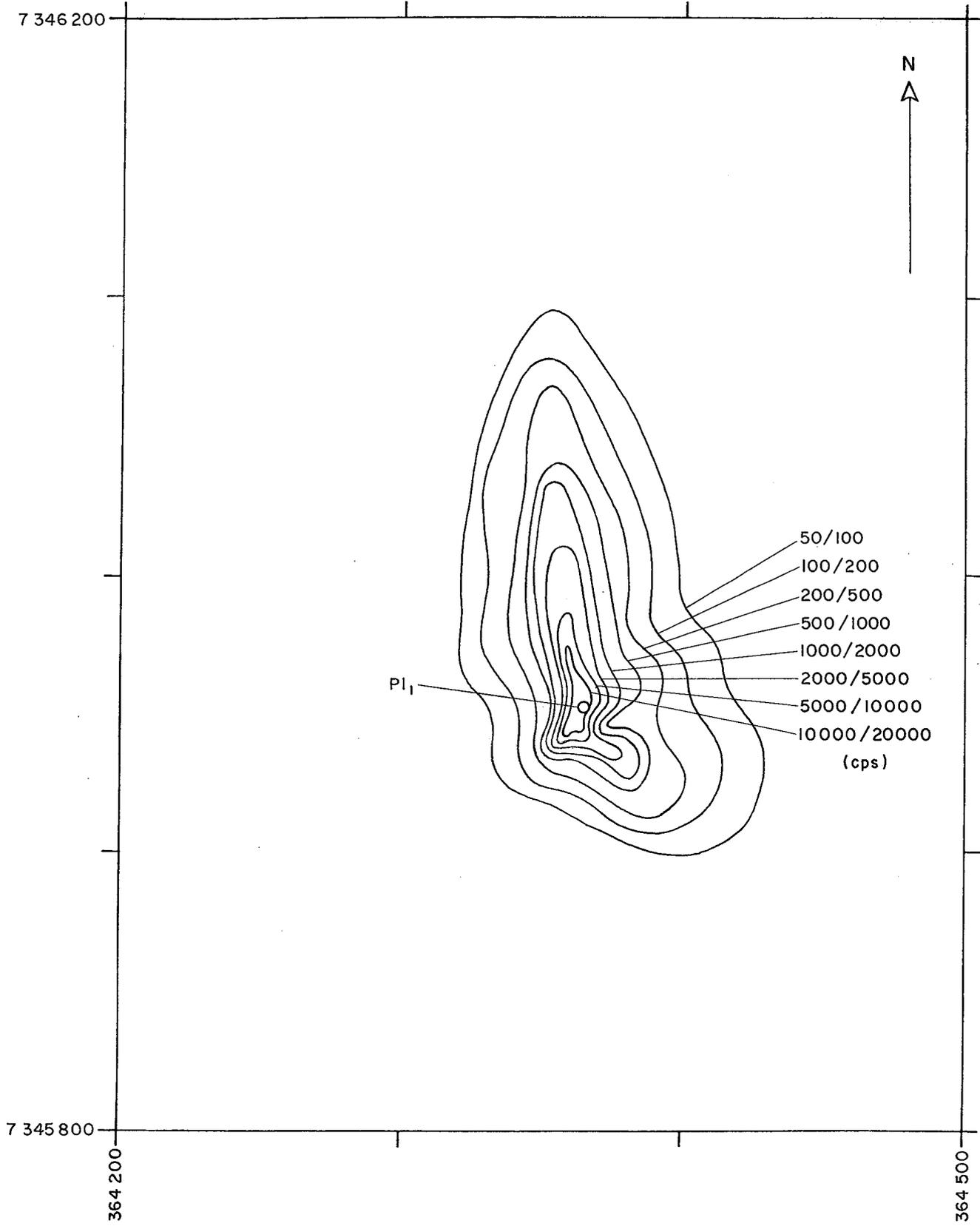


FIG. II
CURVAS DE ISOCONTAGENS
2a. Det. - PI₁ - 03/04/81

Cps x m x 10³

500

400

300

200

100

0

FIG. 12

DIAGRAMA DE TRANSPORTE
2a. Det. - PI₁ - 03/04/81

Esc. Hor. - 1 cm = 20 m
Esc. Vert. - 1 cm = 20000 cps x m

$a = 1,02 \times 10^7 \text{ cps x m}^2$



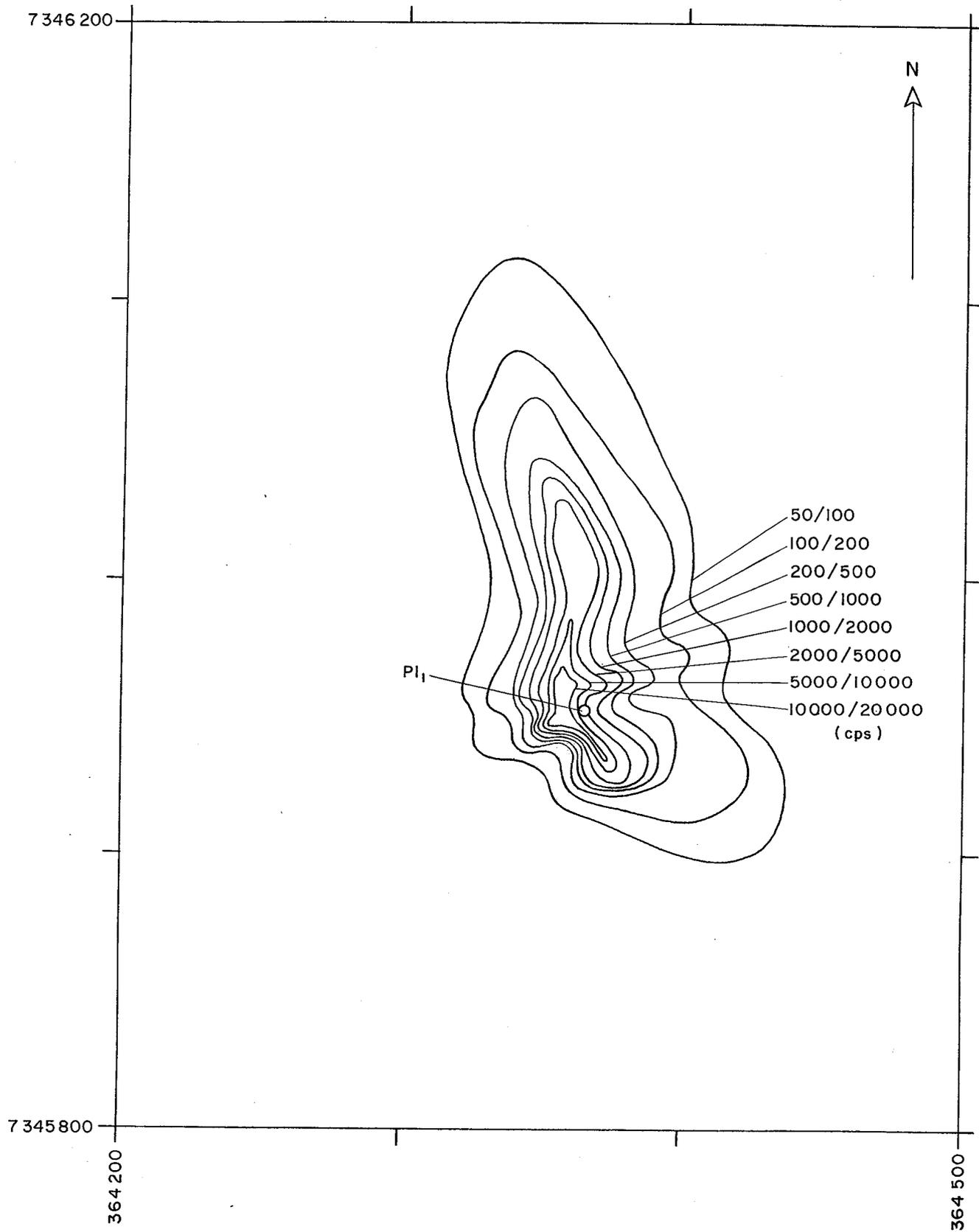


FIG. 13
CURVAS DE ISOCONTAGENS
3a. Det. - PI₁ - 08/04/81

que as curvas praticamente repetem a distribuição da detecção anterior ou seja, alongadas para NNW com tendência para NW, com extensão de perto de 240m, e alongadas na direção perpendicular a essa, com uns 100m de largura máxima.

Os pontos ativos situam-se nas mesmas regiões em que foram detetados anteriormente, e com semelhante densidade de distribuição.

Observa-se também que o centro de gravidade dessa nuvem está afastado de uns 5,80m do centro de gravidade da nuvem anterior, ou de uns 9,40m do ponto de injeção ou ainda de uns 27,0m do centro de gravidade da nuvem que representou a primeira detecção da primeira campanha de verão.

Todos esses pontos estão alinhados numa direção geral NW e certamente indicam que o deslocamento do material se dá nessa direção que é praticamente a mesma indicada pela expansão da nuvem radioativa.

Se há deslocamento, no entanto, este ocorre sem perda de material radioativo, o que é sugerido pela recuperação que se obteve, da ordem de $N = 1,04 \times 10^7$, praticamente igual às duas melhores recuperações anteriores.

O diagrama de transporte mostrado na figura 14 apresenta uma forma quase idêntica à observada no diagrama de transporte da detecção anterior sugerindo pouquíssimas variações no estado da nuvem radioativa, a não ser pelo pico menor encontrado, da ordem de $284.000 \frac{c}{s} \times m$, o

Sigma 14

que não quer dizer que não exista atividade mais alta e sim que não se conseguiu atingi-la com a sonda de detecção.

Tendo em vista as observações que se fizeram para cada detecção em particular pode-se concluir várias questões.

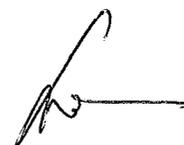
Tomando as três detecções da primeira campanha observa-se que a primeira delas apresentou boa recuperação de material radioativo. Essa recuperação seria maior, é certo, se o material não estivesse tão concentrado, dificultando a passagem da sonda pelo maior pico. Apesar disso ela será tomada como referência devido ao fato das duas seguintes terem apresentado recuperações muito menores, com valores certamente incorretos se comparados às detecções da segunda campanha.

Essas apresentaram recuperações próximas da detecção de 09/02/81, especialmente as duas últimas.

Para efeito de se estimar o transporte no fundo poderemos usar, portanto, as detecções de 09/02/81 e de 08/04/81.

Utilizando as fórmulas (4) e (5), conforme apresentadas no Capítulo III, chega-se a uma vazão mássica muito pequena, da ordem de 10 kg x dia.

Não se pode certamente afirmar que esse é o transporte sólido realmente ocorrido no período mesmo porque, como já se observou, a primeira detecção da primeira campanha poderia ter apresentado uma recuperação maior



o que, em comparação com a última detecção da segunda campanha, certamente elevaria o valor desse transporte.

No entanto, as evidências mencionadas ao longo do tratamento das detecções como nuvens radioativas de distribuição comparável, recuperações de atividade próximas e diagramas de transporte de formas semelhantes, associadas ao valor obtido para o transporte sólido levam a concluir pelo pequeno transporte de material de fundo ocorrido no período em estudo.

Essa conclusão é um pouco diversa daquela obtida nas campanhas de inverno, que apontavam para um arraste bem maior, o que provavelmente mostra a influência da agitação do mar, com a consequente alteração nos padrões de ondas sobre o material fino da região que, agora em escala bem menor, tende a caminhar para a praia, na direção geral NNW, detetada anteriormente nas campanhas de inverno.

IV.2.2 Estudo do Comportamento do Material de Fundo na Região do PI₂ verão.

A injeção do material radioativo foi feita às 13:23 h do dia 16/02/81. O injetor foi aberto a 0,20m do fundo em local de 13,0m de profundidade.

A injeção foi feita 48 minutos antes da PM teórica prevista, na Torre Grande, para as 14:11 h, com ondas provenientes da direção magnética 190° e praticamente sem vento.

Acredita-se que a maré já vazava junto ao fundo, informação fornecida pelo movimento inicial do traçador observado na detecção de "mise-en-place", realizada logo após a injeção.

A primeira detecção completa da primeira campanha de verão foi realizada no dia seguinte, 17/02/81.

Seu início foi prejudicado por um navio que se achava fundeado nas imediações do $PI_{1\text{verão}}$. Após ter manobrado e fundeado, a pedido, em região menos crítica pode-se completar o trabalho.

O material injetado acha-se muito concentrado junto ao ponto de injeção. Há um ligeiro espalhamento SSE da nuvem radioativa, conforme já se denunciara no "mise-en-place", devido à injeção ter sido feita com a maré em vazante no fundo.

Em todo caso, devido à alta concentração do material não se conseguiu rastrear picos elevados e a recuperação de atividade foi bastante pequena, da ordem de $N = 4,52 \times 10^6 \frac{c}{s} \times m^2$.

As curvas de isocontagens dessa detecção podem ser vistas na figura 15 e o diagrama de transporte, na figura 16.

Quatro dias depois foi realizada a segunda e última detecção do $PI_{2\text{verão}}$ na primeira campanha.

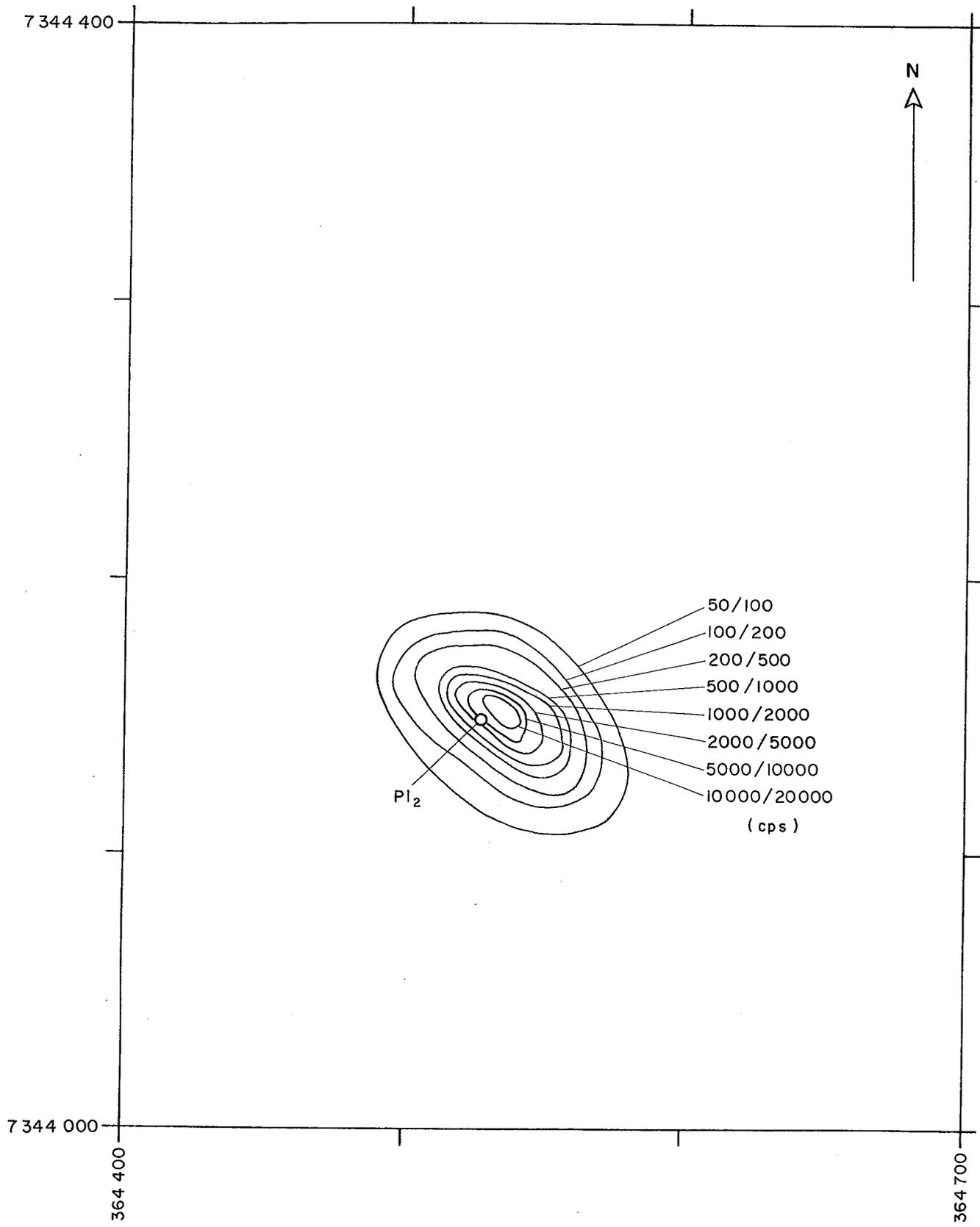
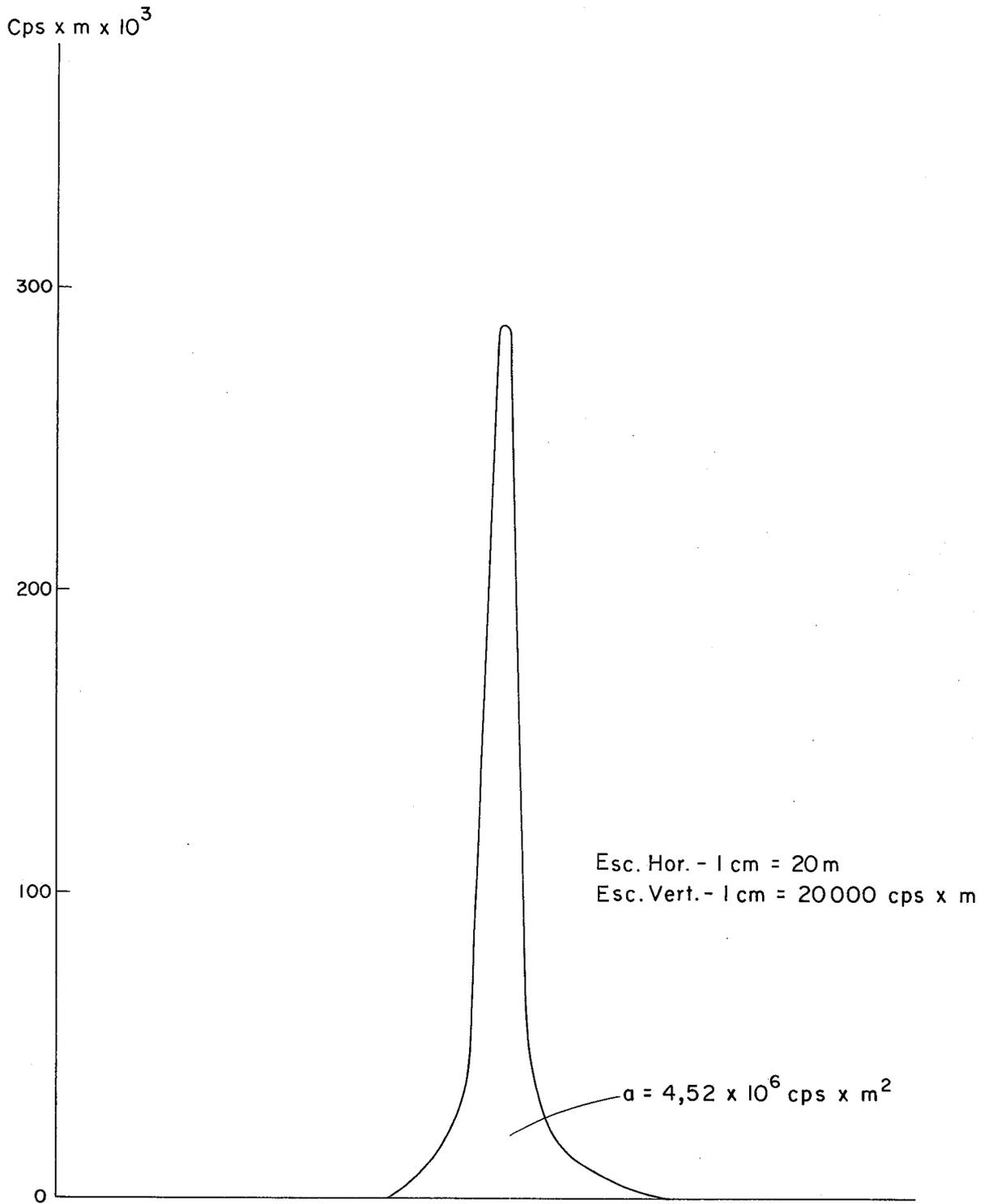


FIG. 15
CURVAS DE ISOCONTAGENS
1a. Det. - PI₂ - 17/02/81

FIG.16
DIAGRAMA DE TRANSPORTE
Ia.Det. - PI_2 - 17/02/81



A detecção de 21/02/81 apresentou uma recuperação de atividade da ordem de $N = 5,00 \times 10^6 \frac{c}{s} \times m^2$, melhor que a obtida na primeira detecção, mas ainda abaixo do possível tendo em vista a atividade injetada.

Tal fato, aliás, não é de se estranhar pois, conforme se depreende da análise dos dados colhidos, o material continua muito concentrado em torno do pico, dificultando a obtenção de pontos de maior atividade.

A nuvem radioativa se mantém praticamente idêntica à anterior em extensão e distribuição da atividade, e mostra ainda o resultado da ação da corrente de vazante sobre o material depositado, conforme se pode ver na figura 17.

A figura 18 mostra o pico agudo e a concentração do material radioativo em torno dele como principais características do diagrama de transporte dessa detecção.

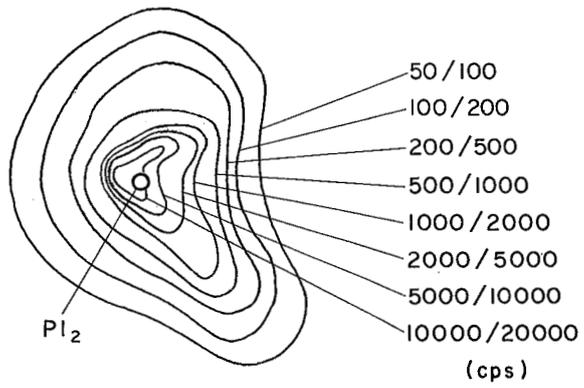
Sua forma, aliás, é bastante idêntica ao diagrama anterior o que reforça a conclusão pela pequena variação ocorrida na nuvem entre as duas detecções.

É interessante observar que nessa segunda detecção chegou-se a encontrar alguns pontos ativos a uns 210m a SSE do limite inferior da nuvem.

Esses pontos ativos poderão ser tomados como grãos carreados em condições diversas daquelas que atuam sobre a nuvem como um todo, e mesmo como atividade residu



7 344 400



7 344 000

364 400

364 700

FIG. 17
CURVAS DE ISOCONTAGENS
2a. Det. - PI₂ - 21/02/81

al da injeção de inverno, não devendo, portanto, ser considerados como indicadores de qualquer deslocamento significativo na direção mencionada.

Decorridos 41 dias da última detecção da primeira campanha em PI_2 verão, período em que o material radioativo ficou sujeito a ação de agentes hidrodinâmicos, em especial as ondas incidentes de SSE, foi realizada a primeira detecção da segunda campanha de verão.

O trabalho foi feito na tarde de 03/04/81 e a análise dos resultados mostra várias semelhanças com o que ocorrera durante as duas campanhas de inverno.

Em primeiro lugar observa-se uma clara movimentação do material radioativo para NNW, na direção escolhida, com base nas campanhas de inverno, como a direção preferencial de transporte.

Tanto o transporte como o espalhamento se dão na mesma direção, o que pode ser observado pelo exame das curvas de isocontagens apresentadas na figura 19.

Nota-se também a nuvem bem maior em comprimento que em largura e uma boa condição de cobertura, o que levou à recuperação de atividade da ordem de $N = 9,02 \times 10^6$ $\frac{c}{s} \times m^2$, bem maior que os valores conseguidos na primeira campanha.

Como não existe a possibilidade de criação de material radioativo deve-se aceitar que, realmente, as de

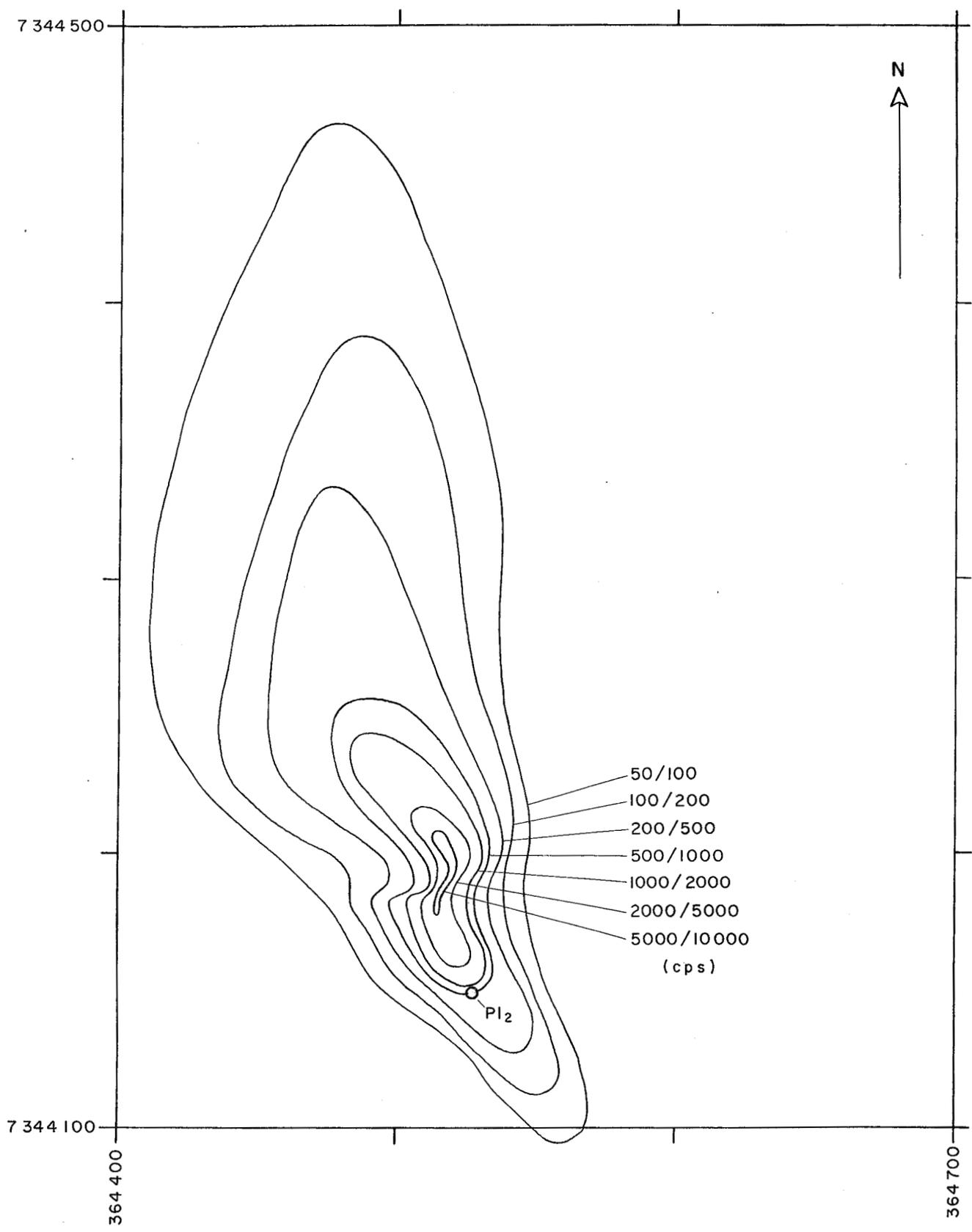


FIG.19
CURVAS DE ISOCONTAGENS
Ia. Det. - PI₂ - 03/04/81

teções anteriores, devido à concentração do material, não fizeram boas coberturas da nuvem.

O diagrama de transporte na figura 20 já mostra um pico um pouco menos agudo com mais material à esquerda (NNW) que à direita, numa distribuição menos concentrada que os diagramas anteriores.

Tendo-se já uma idéia bastante boa do que acontecia em termos de transporte optou-se por uma última detecção nessa região, em 07/04/81.

Essa detecção só veio confirmar os resultados da detecção anterior.

Entre as duas houve um deslocamento muito pequeno dos centros de gravidade, certamente devido ao pequeno intervalo de tempo pois, a essa altura, já se sabia que o transporte e os deslocamentos seriam pequenos se comparados com os valores encontrados nas campanhas de inverno, que é no que diferem mais substancialmente.

A nuvem radioativa, apresentada na figura 21, mantém o mesmo padrão de distribuição de atividade da detecção anterior: espalha-se num formato longilíneo para NNW e seu centro de gravidade aparece também a NNW do PI₂ verão.

Encontra-se atividade a algumas dezenas de metros a NNW da região considerada como limite superior da nuvem. Essa atividade, no entanto, é a nível de "background" e não deve interferir na consideração global do



Figura 20



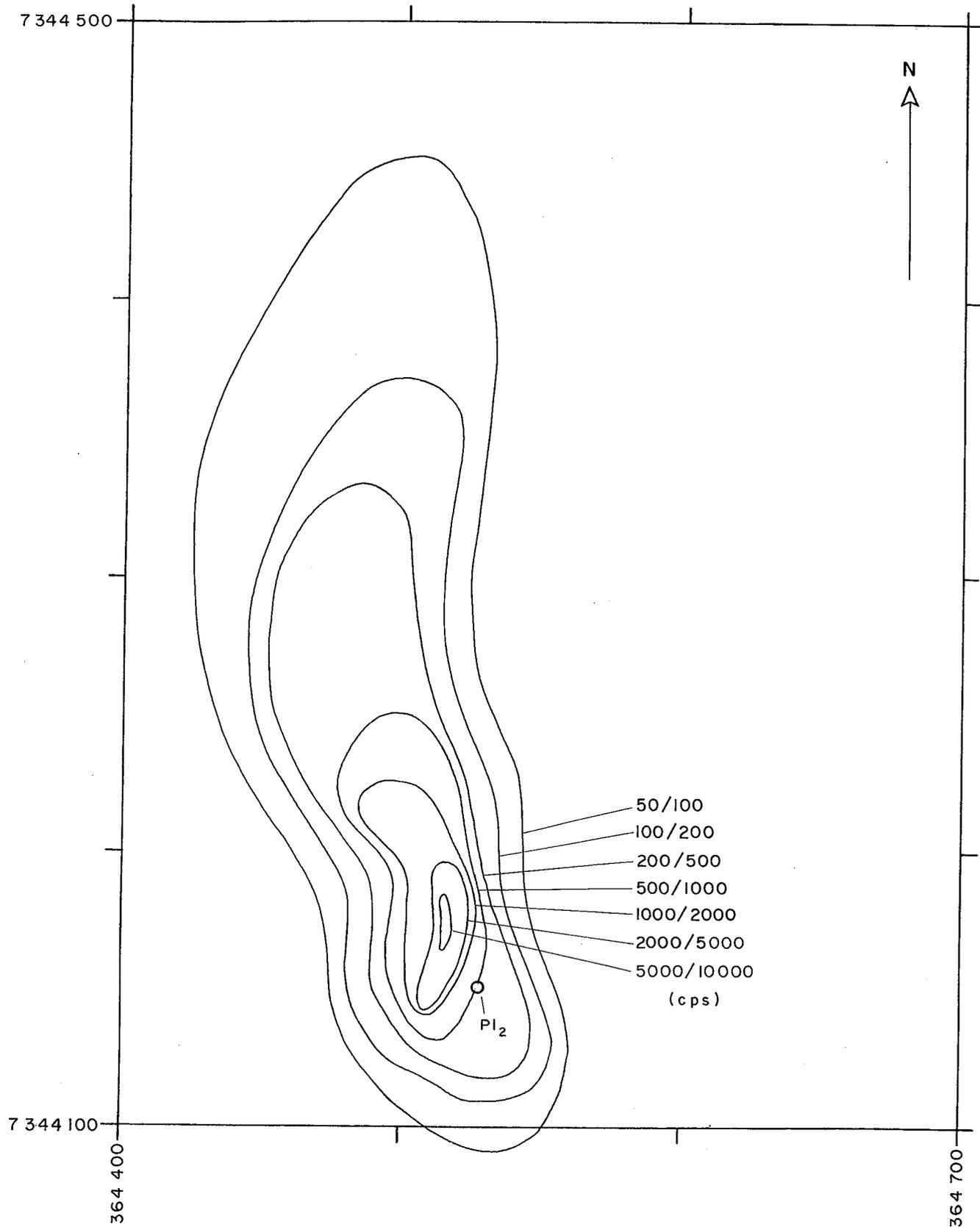


FIG. 2I
CURVAS DE ISOCONTAGENS
2a. Det. - PI₂ - 07/04/81

transporte.

Assim como as curvas de isocontagens o diagrama de transporte da última deteção, visto na figura 22, mostra uma grande semelhança com o diagrama da deteção de 03/04/81. Há mais atividade à esquerda (NNW) que à direita do pico, que também já não é mais tão agudo quanto o fora para as deteções da primeira campanha.

A recuperação de atividade é quase a mesma da deteção anterior, $N = 9,01 \times 10^6 \frac{c}{m^2}$, o que confirma a invariação do comportamento do material entre as duas deteções, além de reassegurar que a deteção anterior conseguiu boa recuperação e que aquelas realizadas na primeira campanha de verão não conseguiram cobrir a nuvem de maneira completa, pelo fato do material radioativo se achar muito concentrado.

Para se fazer uma estimativa razoável do transporte na região no período em estudos tomemos como referências as últimas deteções de cada uma das duas campanhas de verão.

Se o fizermos, poderemos considerar que a nuvem deslocou-se a uma taxa de 1,37m/dia pois, em 45 dias, os centros de gravidade se afastaram de uns 62m.

Podemos considerar também, pelas observações anteriores, que a atividade estava ainda distribuída praticamente na superfície do fundo quando da última deteção, o que nos habilita a acreditar que, pela recuperação obti



Figura 22

da, injetou-se algo em torno de 180 mCi.

Assim sendo, pelas fórmulas (4) e (5) do Capítulo III chega-se a uma espessura de transporte muito pequena, que já era esperada, e a uma vazão mássica por arraste também baixa, da ordem de $40 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia.

Reside aí, portanto, a diferença básica entre o ocorrido no inverno e o ocorrido no verão.

Para aquela época a vazão fora estimada como sendo da ordem de $350 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia, valor apreciavelmente maior que este ora obtido.

Fato semelhante observara-se no item IV.2.1 ao se tratar do transporte na região do PI_1 verão quando se chegou a uma vazão sólida no verão bem menor que aquela estimada para o inverno.

Portanto, há uma boa coerência em se comparar as duas conclusões para se confirmar o efeito crítico das ações ocorridas no período de inverno sobre o material do fundo da baía, nas duas regiões já consideradas.

IV.2.3 Estudo do Comportamento do Material de Fundo na Região do PI_3 Verão.

A injeção de 292g de material radioativo no PI_3 verão foi feita às 11:37 h do dia 12/02/81.

Na hora do lançamento no local do mesmo, as on-

das tinham a direção de 160° , relativamente ao Norte magnético (Nm) com altura de 0,20 a 0,30m. Soprava um vento fraco de direção 160° .

O injetor foi aberto a cerca de 0,20m do fundo, numa profundidade total de 10,0m.

A deteção de "mise-en-place", realizada após a injeção, mostrou que ela foi bem feita. O material se achava bem concentrado mas apresentou um ligeiro espalhamento na direção geral W. Encontrou-se inclusive um pico de atividade a 100m a W do ponto de injeção.

A SSW também se encontrou alguma atividade, nada se encontrando, no entanto, a E do ponto de injeção.

O novo ponto de injeção, como se sabe, encontra-se a uns 818m ao Norte do PI_3 inverno, e praticamente nenhuma atividade resultante da injeção de inverno foi ali detetada.

No dia seguinte, 13/02/81, à tarde, foi realizada a primeira deteção da primeira campanha de verão na região do PI_3 verão.

Iniciada às 14:00 h, com ondas de direção 160° em relação ao Nm e altura de 0,50m no PI_3 verão, a deteção terminou por volta de 17:50h, com ondas de 135° (Nm).

A análise dos dados então colhidos mostra que realmente existe o espalhamento para W conforme observado

na detecção de "mise-en-place".

Mostra também que o material radioativo está fortemente concentrado em torno do pico da nuvem, pico esse que, por sinal, não se conseguiu detetar em sua total grandeza.

Tal fato influiu bastante no valor conseguido para a recuperação da atividade injetada que, tendo sido de em torno de apenas $N = 2,36 \times 10^6 \frac{c}{s} \times m^2$, mostra que realmente o pico não foi atingido e que o material está bastante concentrado.

A figura 23 mostra que a nuvem ocupa uma área bastante pequena devido a essa forte concentração.

A detecção seguinte, realizada 6 dias após a primeira, encontrou quase a mesma situação: um ligeiro espalhamento para W, o centro de gravidade da nuvem muito próximo ao ponto de injeção e o material radioativo ainda fortemente concentrado em torno do pico.

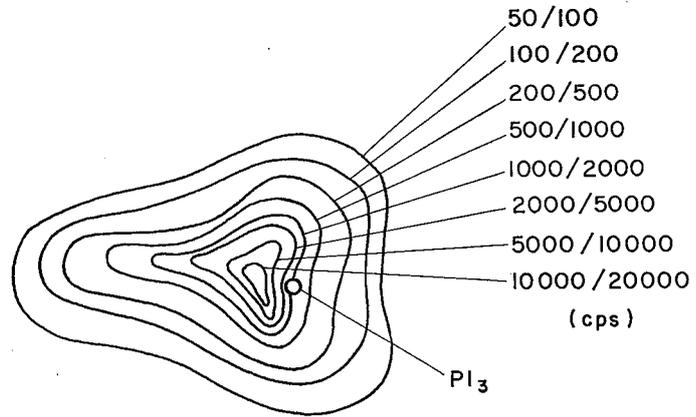
O pico obtido, aliás, foi novamente baixo, o que resultou num valor de recuperação igualmente pequeno.

Apesar disso nota-se que a nuvem tende a se deslocar para N, num comportamento aproximado ao comportamento observado no período de inverno quando, além de se espalhar em certa medida para E, a nuvem se deslocou para NNE.

As curvas de isocontagens obtidas para a detecção de 19/02/81 podem ser vistas na figura 24.



7 344 200



7 343 800

360 200

360 500

FIG. 23
CURVAS DE ISOCONTAGENS
1a. Det. - PI₃ - 13/02/81

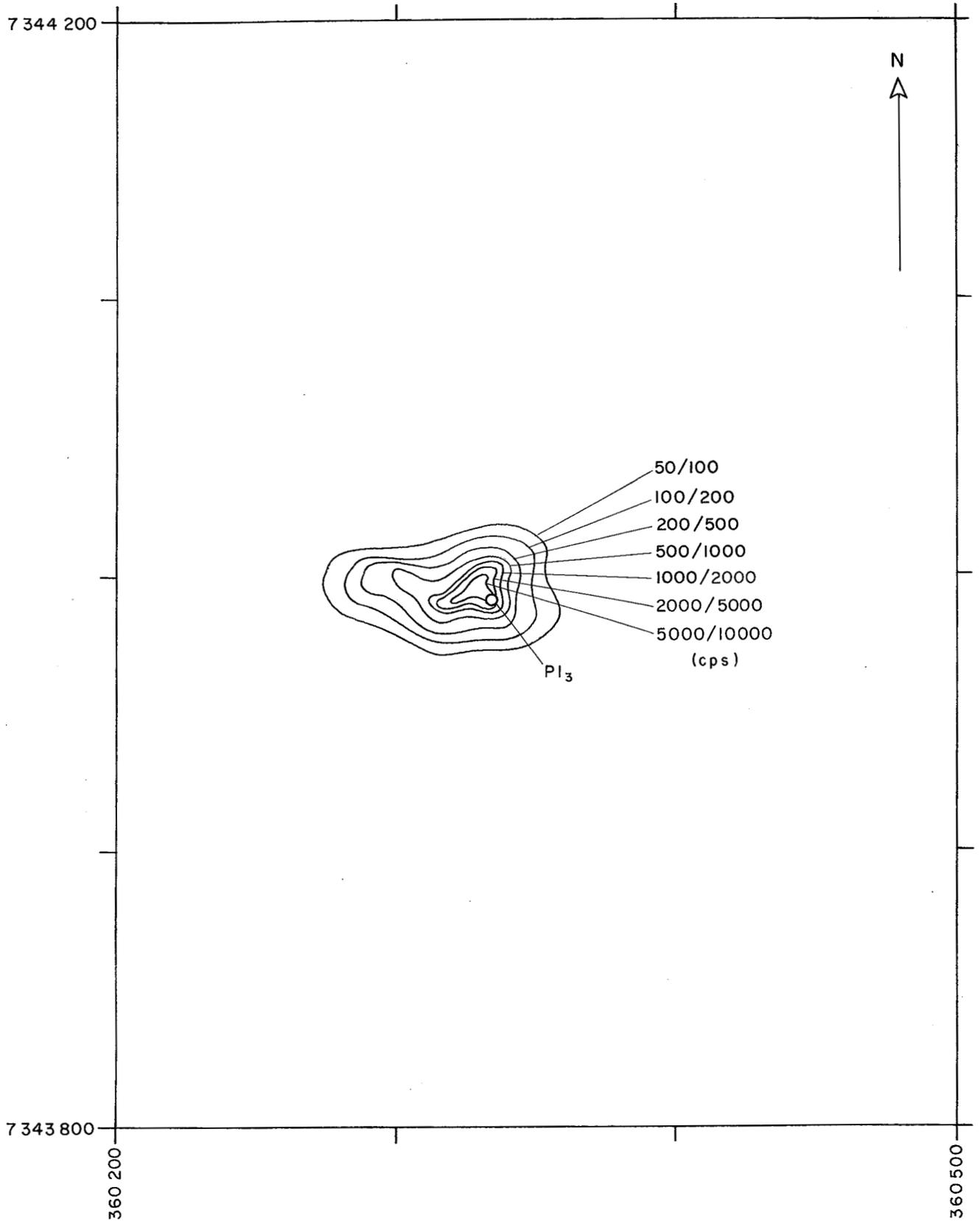


FIG.24
CURVAS DE ISOCONTAGENS
2a. Det. - PI₃ - 19/02/81

Decorridos 40 dias da deteção acima mencionada iniciaram-se os trabalhos de deteção da segunda campanha de verão na região do PI₃verão.

Para a deteção de 01/04/81 houve necessidade de se promover uma troca de bases, ou seja, uma das antenas refletoras do sistema Motorola de posicionamento foi transferida do Edifício São Domingos para a Torre 2 de sinalização da Marinha.

Essa deteção deixou claro que o deslocamento do material se faz para N, o que obrigou inclusive à mudança da direção preferencial de transporte para uma inclinação próxima daquela direção.

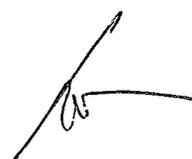
Desapareceu também a atividade distribuída para W e a nuvem tornou-se bastante alongada para NNW e estreita na direção perpendicular.

Conseguiu-se melhorar a recuperação da atividade, mas ainda a níveis um pouco baixos, talvez devido à distorção causada por se supor a movimentação da nuvem numa direção um pouco diferente da real.

No dia seguinte, de manhã, efetuou-se a segunda deteção da segunda campanha de verão.

Essa deteção de 02/04/81 já foi realizada em função do novo eixo de transporte e apresentou bons resultados gerais.

A observação das curvas de isocontagens, mos-



tradas na figura 25, reitera o alongamento da nuvem na direção aproximadamente N e mostra seu centro de gravidade deslocado do $PI_{3,ver\tilde{a}o}$ na mesma direção.

Conseguiu-se uma recuperação bem melhor que a das detecções anteriores, prova de que nas outras detecções não se chegou aos picos. Apesar disso, a recuperação obtida, da ordem de $N = 3,74 \times 10^6 \frac{C}{S} \times m^2$ não pode ser considerada excelente e nem como indicadora de grande enterramento da nuvem, tendo em vista a atividade injetada e as recuperações anteriores, menores que a atual.

O diagrama de transporte, na figura 26, mostra que para a esquerda (aproximadamente N) do pico acha-se uma quantidade de material radioativo bastante considerável, confirmando o espalhamento do material na direção geral N.

Foi realizada uma terceira detecção na região do $PI_{3,ver\tilde{a}o}$, no dia 06/04/81.

Ao se comparar os resultados obtidos com os da detecção anterior observa-se um espalhamento atípico, acentuado, na direção E-W.

De posse da informação de que nesse dia havia barcos camaroneiros pescando na área, local proibido pela Marinha para arraste, pode-se certamente atribuir esse espalhamento inesperado ao arraste de redes no fundo.

Esse arraste pode ter colocado material radioativo em suspensão o qual, ao sofrer influência das corren



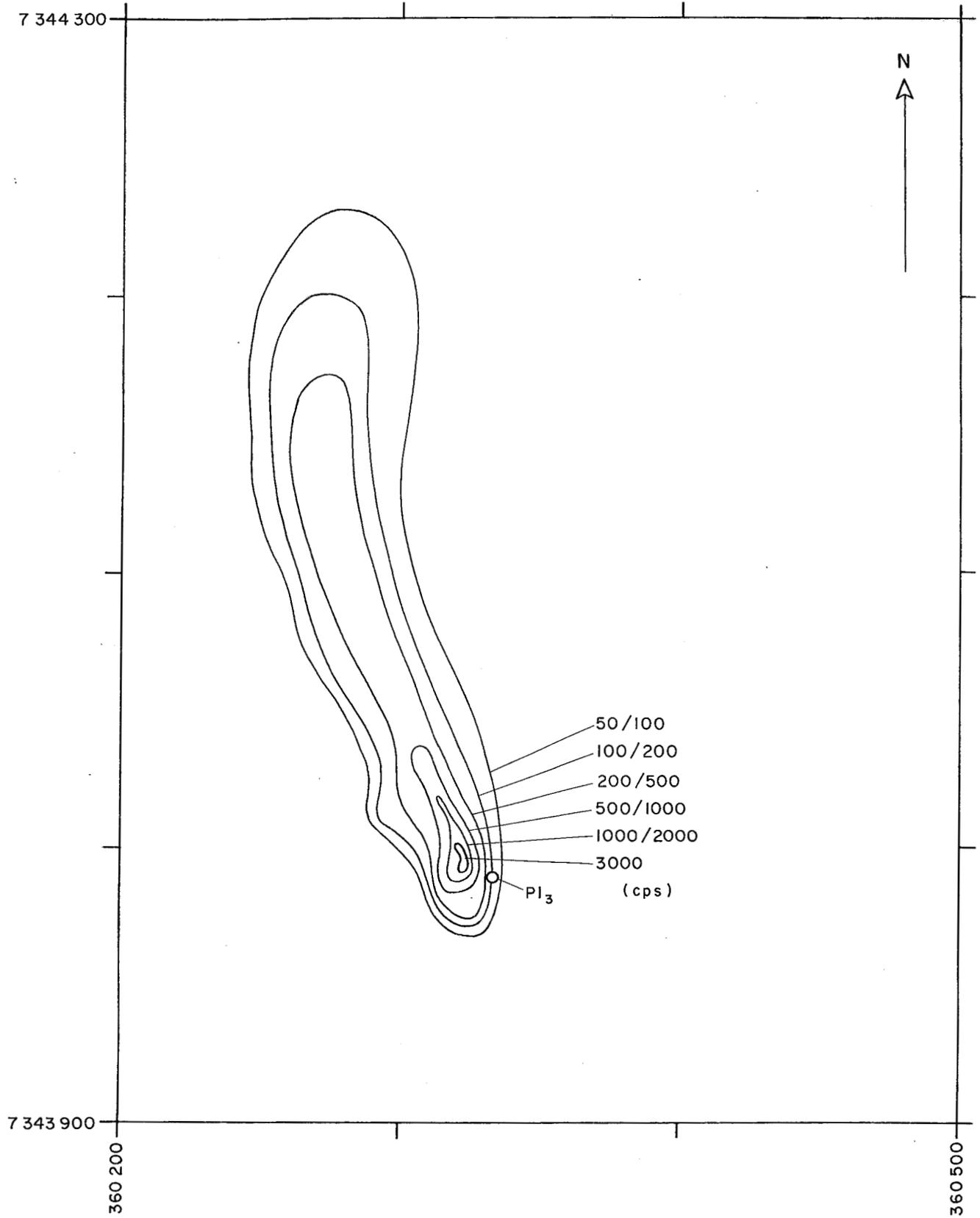


FIG. 25
CURVAS DE ISOCONTAGENS
2a. Det. - Pl₃ - 02/04/81

Cps x m x 10³

50

FIG. 26

DIAGRAMA DE TRANSPORTE

2a. Det. - Pl₃ - 02/04/81

40

30

20

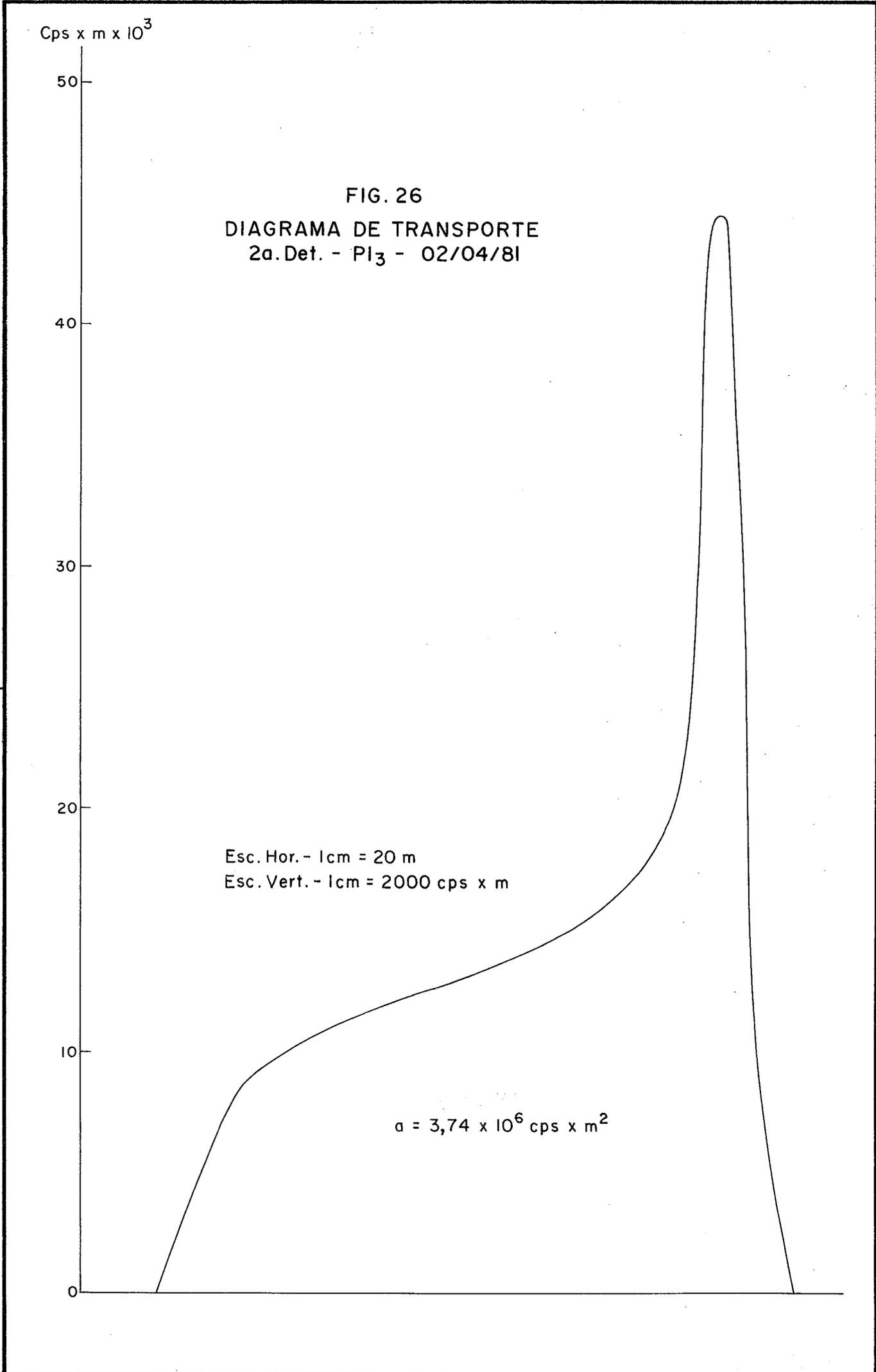
Esc. Hor. - 1cm = 20 m

Esc. Vert. - 1cm = 2000 cps x m

10

$$a = 3,74 \times 10^6 \text{ cps} \times \text{m}^2$$

0



tes de transporte de massa das ondas e das correntes da maré junto ao fundo, se espalhou em diversas direções, e talvez até mesmo na direção norte.

No entanto, como o espalhamento nessa direção N já fora detetado nas campanhas de inverno e na de verão, onde se comportou homogeneamente até o dia 02/04/81 é de se aceitar que o arraste de redes tenha sido feito somente após a detecção de 02/04/81 e que o transporte em direção norte seja fenômeno causado pelos agentes hidrodinâmicos naturais. Entre 02/04 e 06/04 não houve nenhum tempo ral ou estado de mar agitado, a que atribuir esta movimentação. Se tivesse havido, certamente isto também se refletiria em PI_1 e PI_2 .

Usando como referências as detecções de 19/02/81 e de 02/04/81, entre as quais houve um intervalo de 42 dias em que os centros de gravidade se afastaram de aproximados 25m, pode-se estimar o valor da vazão sólida de arraste junto ao fundo.

Considerando a recuperação de atividade conseguida para a última detecção, chega-se a uma espessura de transporte da ordem de 1,00cm e a um valor de vazão, em ordem de grandeza, de $10 \frac{kg}{m}$ x dia.

É um valor pequeno, bastante semelhante ao valor obtido para a vazão sólida na região do PI_1 verão.

Aliás, os valores de vazão obtidos para as regiões dos pontos de injeção 1 e 3, nas campanhas de inverno,



também foram comparáveis e, é certo, bem maiores que os atuais índices obtidos para as campanhas de verão.

IV.2.4 Considerações Especiais sobre o Comportamento do Material de Fundo na Região do PI₁ inverno.

Comparada às outras duas regiões em estudo na Baía de Santos, a região onde se fez os lançamentos no chamado ponto de injeção 1 assume especial importância.

Situada ao norte da região do PI₂ e a NE da região do PI₃, está localizada próxima ao canal de acesso ao porto e alinhada com a entrada do estuário, distando uns 3.100m da boca, contatos de PI₁ inverno.

Essas considerações levaram a um estudo bem detalhado do espalhamento do material radioativo ocorrido após a injeção feita em 02/08/80, na ocasião da primeira campanha de inverno.

Esses estudos se materializaram em dois levantamentos de ruído de fundo realizados em 07/02/81 quando da primeira campanha de verão, e em 08/04/81 por ocasião da segunda campanha também em período de verão.

O levantamento do "background" no dia 07/02/81 prolongou-se por mais de 6 horas ininterruptas, pois se detetou material radioativo em áreas bem distantes do ponto de injeção.

Deve-se lembrar que o material radioativo em PI_1 inverno foi lançado de 3,0m do fundo, às 14:23 h, em início de enchente junto ao fundo.

Predominou, no entanto, o transporte na direção das ondas que na ocasião eram de 0,50m de altura e provinham de SSE, conforme observado da embarcação. A ação das ondas provocou um espalhamento inicial NNW, sobretudo no intervalo de tempo decorrido durante a decantação do traçador.

O levantamento feito em 07/02/81 detetou pontos radioativos próximos ao local de injeção e atividade em dobro do valor do ruído de fundo natural a até 800m a NNW do PI_1 inverno.

Nessa altura o material como um todo influiu para leste acompanhando o alinhamento C, conforme carta 1701 da DHN.

Esta informação ajuda a compreender melhor o padrão de circulação de sedimentos na região e pode demonstrar que, a partir de uns 1.500m da costa, no mesmo alinhamento o transporte de sedimento no fundo deixa de se dirigir para NNW por efeito da ação de ondas de SSE e passa a predominar o transporte por ação de correntes paralelas à costa.

O conhecimento desse fenômeno levou à realização de um novo trabalho de detecção com a finalidade de comprovar os resultados obtidos e talvez definir mais ade

quadamente a maneira como fora feito o espalhamento do material na região.

A análise dos dados da nova detecção, realizada durante cinco horas ininterruptas no dia 08/04/81, vem com provar de maneira definitiva os resultados anteriores.

O material radioativo, após um deslocamento na direção NNW, e um espalhamento ligeiro E-W, por efeito quase certamente das ondas incidentes de SSE, infletiu para leste, e tomou a direção da entrada do estuário, numa disposição quase paralela à costa. O contorno da área ativa obtida nessa detecção está mostrada na figura 27.

Acredita-se serem estas informações qualitativas de extrema importância no planejamento das obras ou soluções corretivas do assoreamento na curva do canal de acesso ao porto de Santos.

IV.3 Conclusões

Os resultados das análises dos dados de sedimentologia colhidos em duas etapas de trabalho, uma no período de inverno e outra no período de verão, levam a algumas conclusões bastante elucidativas do panorama de transporte de sedimentos sólidos no fundo da baía de Santos.

Em primeiro lugar, os dados de análises das duas primeiras campanhas de inverno realizadas na região do primeiro ponto de injeção levaram a concluir pelo deslocamento



Figure 27

mento do material de fundo na direção NNW, a uma taxa média de $270 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia.

Para as campanhas de verão, quando se usou um ponto de injeção a 590m a E do PI₁ inverno, chegou-se a um transporte na mesma direção, a uma taxa bem inferior, mas que poderá ser maior que os $10 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia usados como valor quantitativo.

Na região do PI₂ inverno observou-se o deslocamento do material de fundo na direção NNW a uma taxa acentuada, de grandeza em torno de $350 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia.

Esse número caiu para em torno de $40 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia ao analisarmos os resultados das duas campanhas em regime de verão, para um ponto a 990m a norte do anterior. O deslocamento do material, no entanto, se faz também na direção NNW, caminhando para dentro da baía.

As campanhas de inverno na região do PI₃ concluíram pela possibilidade da existência de duas componentes atuando sobre o material no fundo da região. Uma delas tenderia a deslocar o material para NNE e a outra, a espalhá-lo para E, num movimento que poderia resultar da 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. A vazão mássica fora estimada em torno de $200 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia.

As campanhas de verão também concluíram por um deslocamento na direção preferencial norte, tendo havido

a princípio algum espalhamento para oeste.

A detecção de 06/04/81 e as conclusões dela decorrentes poderão ter ficado prejudicadas em certo grau pela citada ocorrência de arraste de redes de pesca de camarão na região.

Quanto ao transporte, foi estimada uma taxa pequena, da ordem de $10 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia, valor semelhante ao obtido para a região do PI₁.

Comparando, portanto, as campanhas realizadas em inverno e verão podemos destacar que, se as condições de mar não influem de maneira significativa na direção em que é feito o transporte, influem decisivamente na quantidade de material transportado.

As direções preferenciais de transporte mantiveram-se praticamente as mesmas, conforme mostrou a análise dos dados das campanhas de inverno e de verão.

No entanto, as taxas de transporte ou vazões mássicas no fundo foram, para cada uma das regiões estudadas, consideravelmente maiores no inverno que no verão podendo-se portanto entender que as condições de mar, decorrentes de ações meteorológicas mais ou menos rigorosas, influem de modo direto na quantidade de transporte.

Quanto ao levantamento feito tendo em vista melhor detalhar o comportamento do material na região do PI₁, inverno após decorrido um período de tempo mais longo

observou-se que, nas duas deteções realizadas, tanto em 07/02/81 quanto em 08/04/81, cerca de 6 e 8 meses, respectivamente, após o lançamento, o material teve um comportamento bastante interessante.

Deslocou-se, a princípio, para NNW e a seguir, a uns 800m do ponto de injeção, infletiu para leste, acompanhando o alinhamento da costa, possivelmente por efeito de correntes paralelas à praia, caminhando em direção à entrada do estuário.

Este comportamento é importante no planejamento das obras ou soluções que corrigirão o assoreamento da curva do canal de acesso ao porto de Santos.



ANEXO I

MOVIMENTAÇÃO DO SEDIMENTO DE FUNDO NA
BAÍA DE SANTOS. ESTUDOS REALIZADOS
EM JUNHO/81

A handwritten signature in black ink, located in the bottom right corner of the page. The signature is stylized and appears to consist of several connected strokes.

I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O relatório que trata dos estudos de sedimentologia na baía de Santos em época de verão, ao qual o presente é ora anexado, concluiu pela pequena movimentação do material injetado nas três regiões, em estudo, se comparada com os resultados obtidos nas campanhas de inverno.

Essa conclusão é bastante importante no sentido de identificar qual o período mais crítico de ações que produzam movimentação de sedimento no fundo pois qualquer obra hidráulica que se realize precisará considerar essa criticidade, se se quiser que ela apresente um desempenho compatível com a função para a qual será projetada.

Para melhor caracterizar esse comportamento do material no fundo o Superintendente Geral de Pesquisa e Desenvolvimento do CDTN propôs à PORTOBRÁS, na pessoa do chefe de seu Instituto de Pesquisas Hidroviárias, uma campanha complementar de detecções do material radioativo.

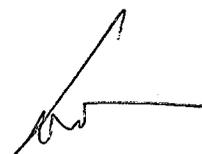
Além de permitir a decorrência de um prazo maior em que o material ficaria submetido a ações hidrodinâmicas diversas, um trabalho nessa época (maio ou junho) encerraria um ciclo quase completo de estudos hidráulicos no local, já que os primeiros estudos de movimentação do fundo iniciaram-se em agosto de 1980.

A proposta formulada à PORTOBRÁS pela CI.SUPED. RJ-001.81, posteriormente corrigida pelo telex SUPED/BH-167/81, foi aceita e resultou num novo aditivo ao contra



to nº 80/038/00 anteriormente firmado entre a NUCLEBRÁS e a PORTOBRÁS.

Estabeleceu-se que os trabalhos teriam início em junho de 1981, sendo realizadas deteções de material radioativo nas três regiões anteriormente em estudo.



II. MOVIMENTAÇÃO DO SEDIMENTO DE FUNDO NA BAÍA DE SANTOS. ESTUDOS REALIZADOS EM JUNHO/81.

O trabalho de montagem do barco, com a instalação dos diversos equipamentos de rastreamento e posicionamento foi realizado no dia 17/06/81.

O mau tempo reinante só permitiu o início dos trabalhos no dia 19/06/81, quando foi feita a detecção na região do PI₂verão.

No dia 20/06/81 foi desenvolvido um trabalho longo, com detecções na região do PI₁verão, PI₃verão e cerca de 5 linhas na região do PI₁inverno.

O resultado desse trabalho é o que passamos a analisar a seguir.

II.1 Estudo do Comportamento do Material de Fundo na Região do PI₁verão.

O trabalho de detecção iniciou-se às 10:30h do dia 20/06/81 e terminou, com tempo bom, às 14:25h.

Foi um trabalho bem feito, e o resultado das análises comprova esse fato.

A nuvem radioativa, representada na figura 1A por suas curvas de isocontagem apresenta uma forma muito semelhante à nuvem da última detecção da 2.^a campanha de ve

7 346 300



7 345 900

364 200

364 500



FIG. I.A

CURVAS DE ISOCONTAGENS

1a. Det. - PI₁ - 20/06/81

rão, em 08/04/81.

O alongamento na direção NNW, no entanto, é bem maior, indicando que o material sofreu ações que propiciaram seu espalhamento na direção mencionada.

Quanto ao deslocamento da nuvem como um todo, no entanto, o que caracterizaria uma velocidade de transporte mais acentuada, este não houve, via de regra.

Basta, para isso, considerar que o centro de gravidade dessa nuvem se acha a 28,0m a NNW do centro de gravidade da nuvem anterior, de 08/04/81, o que dá uma taxa média de deslocamento de aproximadamente 0,40m/dia.

Também o transporte foi pequeno, da ordem de $20 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia. Esse valor é bastante compatível, em ordem de grandeza, com o valor estimado para o transporte nas duas primeiras campanhas de verão, de mais de $10 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia.

A estimativa ora calculada leva em conta a detecção de 08/04/81 e a presente. É interessante notar que a recuperação de atividade (área do diagrama de transporte) foi um pouco maior agora, o que se deve atribuir à melhor cobertura da nuvem que se encontra um pouco mais espalhada e facilita o trabalho de detecção. Tudo porque não se pode pensar em criação de atividade entre as duas campanhas.

O cálculo da vazão sólida por arraste no fundo foi feito com base nas fórmulas (4) e (5) do capítulo III do relatório principal e traduz, de qualquer forma, uma

realidade já suspeitada, qual seja o fato de o transporte, em época de verão, ser bastante menos intenso que em época de inverno.

Isto apesar de o material radioativo lançado no fundo ter ficado sujeito às variadas ações hidrodinâmicas por um longo período de tempo.

Confirma-se também o fato de o transporte, pequeno, ser realizado na direção NNW, fazendo o material de fundo caminhar de maneira lenta em direção à praia onde poderá, eventualmente, sofrer a inflexão para leste constatada em rastreamentos anteriores.

O diagrama de transporte dessa detecção, visto na figura 2A se assemelha na forma e na altura do pico ao diagrama da figura 14, apenas com a cauda NNW mais alongada, o que dá origem a uma recuperação um pouco maior, da ordem de $1,34 \times 10^7 \frac{C}{S} \times m^2$, mas representa bastante bem a semelhança entre as duas distribuições de material.

No mesmo dia 20/06/81 foi feita uma nova pesquisa, ainda que rápida, da situação do material injetado no inverno de 1980.

O material se deslocou para N, conforme anunciado em relatórios anteriores, e apresentou alguns pontos ativos com picos agudos, o que pode ser devido à lavagem do material mais fino.

Um terceiro trabalho de rastreamento foi desenvolvido nesse dia.

Signa 2.A

Fez-se um levantamento da situação do material lançado em PI₃verão.

Nessa detecção praticamente não se achou mais atividade devido ao decaimento e, especialmente, ao espalhamento anômalo causado pela continuidade do arraste de barcos camaroneiros na região. Como se recorda na última detecção realizada em abril de 1981 já se havia constatado essa ocorrência mas também já se sabia que, antes da perturbação pelo arraste, o material radioativo apresentara a tendência natural de se deslocar para norte.

II.2 Estudo do Comportamento do Material de Fundo na Região do PI₂verão.

O rastreamento do material radioativo na região do PI₂verão foi realizado no dia 19/06/81.

Iniciou-se às 11:00h e terminou às 16:25h, tendo sido coberta uma área além daquela em que se encontrou material resultante da injeção.

A observação do diagrama das curvas de isocontagem dessa detecção, na figura 3A, mostra que o formato da nuvem pouco mudou em relação à detecção de 07/04/81. Ela se apresenta alongada na direção NNW, com os pontos mais ativos junto ao ponto de injeção e com uma largura máxima de aproximados 90,0m.

A distância entre centros de gravidade é de não mais de 15,0m, estando o centro de gravidade da nuvem cor



7 344 500



7 344 100

364 400

364 700

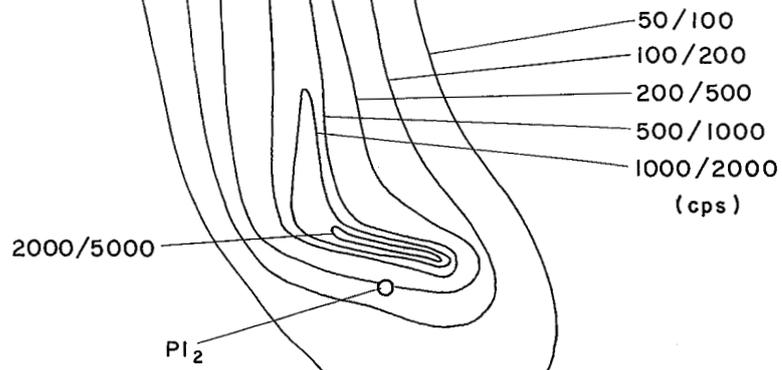


FIG.3.A

CURVAS DE ISOCONTAGENS

1a. Det. - PI₂ - 19/06/81

respondente à detecção de 19/06/81 ao norte do centro de gravidade da nuvem correspondente à última detecção da segunda campanha de verão.

No entanto essa detecção conseguiu picos de atividade que aquela não obteve, o que resultou numa recuperação para a detecção de 19/06/81 de apenas $4,99 \times 10^6 \frac{c}{s} \times m^2$ contra os $9,01 \times 10^6 \frac{c}{s} \times m^2$ anteriormente obtidos.

Devido ao panorama observado anteriormente nas campanhas de verão, à forma das nuvens nas campanhas anteriores e nesta, à pequena movimentação da nuvem entre 07/04/81 e 19/06/81 (taxa média de $0,21 \frac{m}{dia}$), à pequena quantidade de transporte observada em $PI_{1,verão}$, não parece adequado atribuir essa diferença de recuperação a enterramento da nuvem, caracterizando, assim, um transporte bem mais acentuado que aquele que se previa.

A comparação entre os diagramas de transporte das figuras 22 e 4A deverá reforçar essa afirmativa.

Cálculos feitos com base nas fórmulas (4) e (5) já mencionadas levam a um valor de transporte bastante semelhante à estimativa anterior, na faixa dos $40 \frac{kg}{m} \times dia$, o que só vem confirmar o fato de ser o transporte no verão bastante mais lento e em quantidade bem inferior aos valores observados para o período de inverno, também na região do $PI_{2,verão}$.

Conforme referência feita nos parágrafos iniciais desse ítem II.2, o trabalho de detecção nessa área abrangeu uma região maior que aquela necessária à cobertura da nuvem.



Cps x m x 10³

60

40

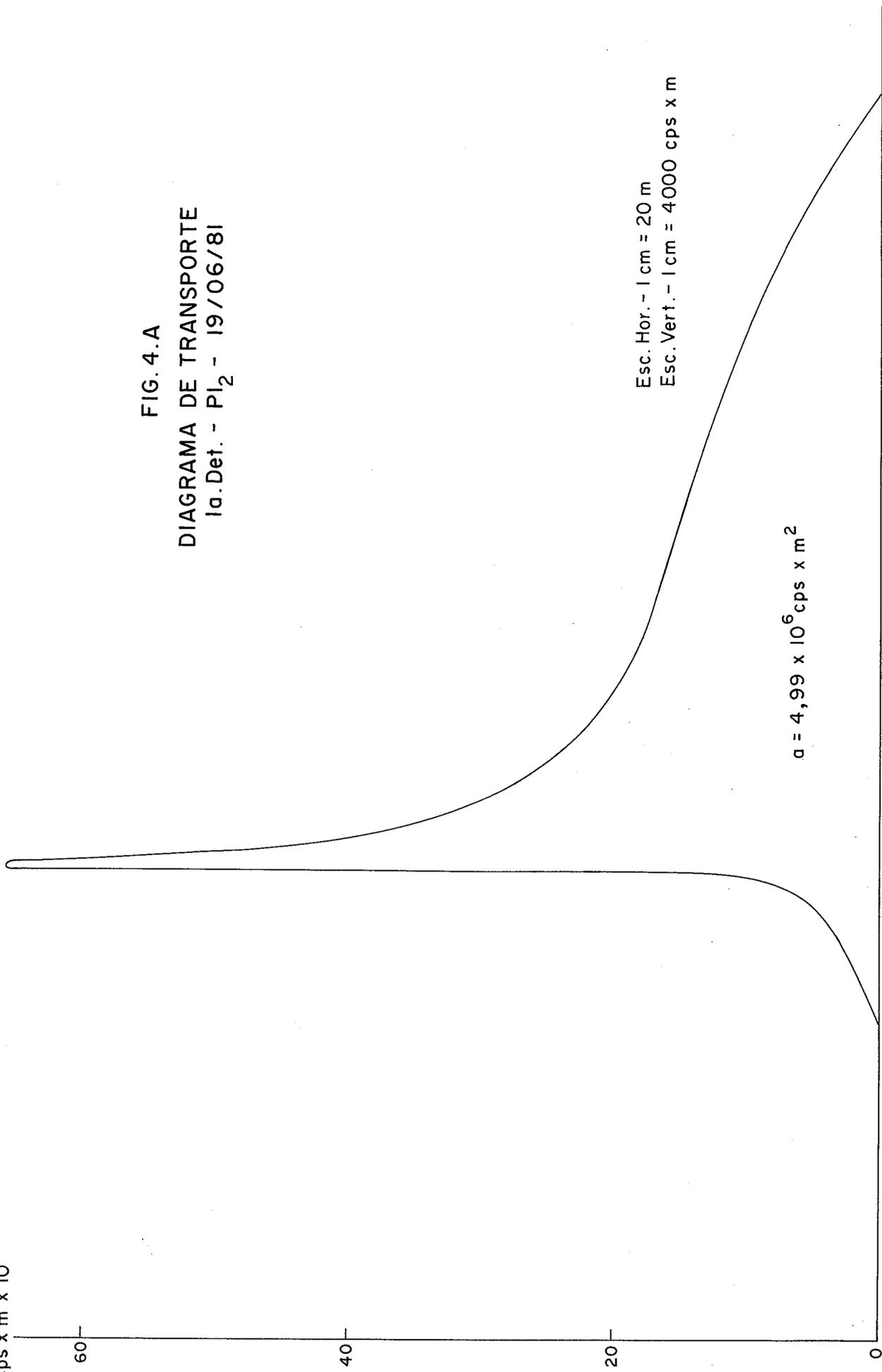
20

0

FIG. 4.A
DIAGRAMA DE TRANSPORTE
1a.Det. - PI₂ - 19/06/81

Esc. Hor. - 1 cm = 20 m
Esc. Vert. - 1 cm = 4000 cps x m

$$a = 4,99 \times 10^6 \text{ cps} \times \text{m}^2$$



Essa providência possibilitou fazer algumas linhas de navegação sobre o canal de acesso, no alinhamento A, e facultou suspeitar da presença de lama no fundo, numa largura de uns 300m, tendo o eixo do canal como divisor da faixa.

Foram feitas linhas de navegação quase perpendiculares ao alinhamento A a 175m, 350m e 450m ao sul da inflexão à direita, que forma o alinhamento B.

Em todas elas constatou-se um aumento da atividade natural do fundo, correspondendo à presença de lama no fundo do canal.

II.3 Conclusões

Os resultados das análises dos dados colhidos na campanha de detecções realizada em junho de 1981 confirmam as fortes indicações fornecidas pelas duas campanhas de verão anteriores.

O rastreamento realizado na região do PI₁ verão mostra que há um deslocamento lento do material radioativo na direção NNW, a uma baixa taxa de transporte, $20 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia, ou seja, semelhante em ordem de grandeza ao fenômeno observado quando da realização das campanhas de verão em fevereiro e abril de 1981.

Confirma, portanto, a influência significativa das condições de mar registradas no período de inverno so



bre o transporte no fundo pois, de acordo com os resultados de análises desenvolvidas sobre dados colhidos em agosto e setembro de 1980, registrou-se taxa de transporte bem mais acentuada, da ordem de $270 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia.

Essa conclusão pode também ser estendida ao material na superfície do fundo da região do PI₂verão.

Após a realização da terceira campanha, em junho, chega-se a uma vazão sólida por arraste da ordem de $40 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia, um valor bastante semelhante ao anteriormente detetado nas duas primeiras campanhas de verão.

Por outro lado, esses valores são inferiores às estimativas estudadas para a época de inverno, que dão conta de um transporte ao redor de $350 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia.

A taxa de movimentação é mais lenta no verão mas o deslocamento, em qualquer época, foi sempre em direção NNW, no sentido de adentramento da baía.

Quanto ao material na região do PI₃verão, a oeste da baía, conseguiu-se uma vazão mássica da ordem de $200 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia na situação de inverno e na faixa de $10 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia na condição de verão, podendo-se aceitar que essa taxa chegue a uns $20 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ x dia, valor também admitido para o material na região do PI₁verão.

A direção preferencial de deslocamento foi N em ambos os casos e há uma tendência da nuvem se espalhar um pouco para E.

Assim, ao final de cinco campanhas de detecções de material radioativo lançado em diferentes áreas da baía de Santos acredita-se conhecer bastante bem o panorama de circulação de sedimentos de fundo nessa baía e mais, compreender melhor os mecanismos que geram e controlam tais padrões.



REFERÊNCIAS

- (1) BANDEIRA, J.V. e outros - Estudo da Movimentação do Material de Fundo na Baía de Santos. Divisão de Radiosótopos/DERL. Dezembro de 1980
- (2) COURTOIS, G. e outros - Utilisation de Traceurs Radioactifs a L'Estude Sedimentologique du Lac de Maracaibo - Compte-Rendu de Mission au Venezuela - Departement des Radioelements, Section D'applications des Radioelements, 1968.
- (3) MINARDI, P.S.P. e outros - Estudos Sedimentológicos na Baía de Santos: Análise e Interpretação de Dados Granulométricos. Divisão de Radio-isótopos/DERL. Outubro de 1980.

